

中核韶关锦原铀业有限公司  
棉花坑矿井三期工程  
**环境影响报告书**

中核韶关锦原铀业有限公司

二〇二三年三月

中核韶关锦原铀业有限公司  
棉花坑矿井三期工程  
环境影响报告书

中核韶关锦原铀业有限公司



中核韶关锦原铀业有限公司  
棉花坑矿井三期工程  
环境影响报告书

中核韶关锦原铀业有限公司

法定代表：刘海洋

通讯地址：广东省韶关市仁化县

邮政编码：512300

## 编制单位和编制人员情况表

|                  |                              |          |     |
|------------------|------------------------------|----------|-----|
| 项目编号             | 650a82                       |          |     |
| 建设项目名称           | 中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程        |          |     |
| 建设项目类别           | 55--169铀矿开采、冶炼；其他方式提铀        |          |     |
| 环境影响评价文件类型       | 报告书                          |          |     |
| <b>一、建设单位情况</b>  |                              |          |     |
| 单位名称（盖章）         | 中核韶关锦原铀业有限公司                 |          |     |
| 统一社会信用代码         | 914402007436750099           |          |     |
| 法定代表人（签章）        | 刘海洋                          |          |     |
| 主要负责人（签字）        | 匡正平                          |          |     |
| 直接负责的主管人员（签字）    | 陈晓锋                          |          |     |
| <b>二、编制单位情况</b>  |                              |          |     |
| 单位名称（盖章）         | 中核第四研究设计工程有限公司               |          |     |
| 统一社会信用代码         | 911301001043361316           |          |     |
| <b>三、编制人员情况</b>  |                              |          |     |
| <b>1. 编制主持人</b>  |                              |          |     |
| 姓名               | 职业资格证书管理号                    | 信用编号     | 签字  |
| 谢占军              | 2016035130350000003510130352 | BH018156 | 谢占军 |
| <b>2. 主要编制人员</b> |                              |          |     |
| 姓名               | 主要编写内容                       | 信用编号     | 签字  |
| 尹冉               | 第4、5、6、7章                    | BH059857 | 尹冉  |
| 葛佳亮              | 第3、8、9、10章                   | BH018159 | 葛佳亮 |
| 张云涛              | 第1、2、11、12、13章               | BH018149 | 张云涛 |

## 前 言

天然铀在国民经济中占有重要的地位，有鲜明的军、民两用的特点。我国是一个有重要影响力的核大国，天然铀的重要性是不言而喻的，同时天然铀又是核电的基本燃料，天然铀的储备和生产是我国国防安全与核电发展的基本保障。因此，天然铀的持续稳定生产既是国防建设的需要，也是我国能源结构调整的需要。

中核韶关锦原铀业有限公司（简称“锦原公司”）是中核集团旗下，专门从事天然铀生产的企业。锦原公司始建于 1969 年 3 月，原为中国人民解放军基建工程兵部队编制，1984 年部队整改为国营企业建制。2002 年对企业资产进行了重组，组建成立了中核韶关锦原铀业有限公司，为国有独资的大型军工企业，是从事天然铀生产的大型采冶联合企业和我国军工核材料和核电燃料的主要原料生产基地之一。

棉花坑矿井现为我国目前唯一在产的地下硬岩铀矿山。随着生产的持续，现有生产中段的铀矿资源量逐渐减少。为了维持企业的正常生产，必须不断的开拓、补充逐渐消耗的地质资源。根据核工业二九〇研究所于 2020 年 11 月提交的《广东省仁化县棉花坑（302）铀矿床资源储量核实报告》，棉花坑矿井南部 17 线~16 线（标高为 200m~-150m）、深部 61 线~16 线（标高为 -150m~-440m），保有铀矿石\*\*t。以上资源的开发和利用，对维持棉花坑矿井天然铀生产能力，对确保锦原公司国内天然铀主要生产基地的地位具有重要的意义。

鉴于此，锦原公司拟开展棉花坑矿井三期工程，2023 年 X 月，国防科工局以科工计（XXXX）XXX 号文《中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑三期矿井三期工程项目申请报告的批复》对该项目进行了批复。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》等有关法律法规的要求，锦原公司委托中核第四研究设计工程有限公司承担该项目的环评工作。接受委托后，环境影响评价小组赴现场进行了实地踏勘，收集了项目的工程资料、环境资料以及相关监测资料，最终于 2023 年 3 月完成了报告书的编制工作，现提交生态环境部审查。中核韶关锦原铀业有限公司负责提供环评工作所需的工程基础资料、监测年报，开展本项目的公众参与工作，并编制公参报告单独成本上报。

## 目 录

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| <b>1 概述</b>        | <b>1</b>  |
| 1.1 项目基本情况         | 1         |
| 1.2 主要建设内容         | 1         |
| 1.3 本项目与锦原公司现有设施关系 | 2         |
| 1.4 编制依据           | 5         |
| 1.5 评价范围           | 6         |
| 1.6 评价因子           | 10        |
| 1.7 评价控制指标         | 11        |
| 1.8 主要环境保护目标       | 14        |
| <b>2 评价区域环境概况</b>  | <b>17</b> |
| 2.1 地理位置           | 17        |
| 2.2 地形地貌           | 17        |
| 2.3 地质             | 19        |
| 2.4 水文地质           | 21        |
| 2.5 地表水系           | 21        |
| 2.6 气候与气象          | 24        |
| 2.7 土地和水体利用        | 26        |
| 2.8 生态和资源开发利用      | 28        |
| 2.9 产业政策与“三线一单”情况  | 29        |
| 2.10 社会环境          | 35        |
| <b>3 工程分析</b>      | <b>45</b> |
| 3.1 现有铀矿冶设施工程分析    | 45        |
| 3.2 本项目概况          | 60        |
| 3.3 本项目工程分析        | 61        |
| 3.4 三本账            | 71        |
| 3.5 废物最小化          | 73        |
| <b>4 环境质量状况</b>    | <b>74</b> |
| 4.1 建矿前本底水平        | 74        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 4.2 监测内容 .....               | 74         |
| 4.3 调查结果与分析 .....            | 78         |
| <b>5 施工期环境影响 .....</b>       | <b>85</b>  |
| 5.1 环境影响因素 .....             | 85         |
| 5.2 环境影响分析 .....             | 86         |
| 5.3 生态影响分析 .....             | 88         |
| <b>6 辐射环境影响预测与评价 .....</b>   | <b>89</b>  |
| 6.1 排放源项 .....               | 89         |
| 6.2 辐射评价参数设置 .....           | 90         |
| 6.3 估算结果与分析 .....            | 93         |
| 6.4 对粤北华南虎省级自然保护区影响分析 .....  | 112        |
| 6.5 公众辐射环境影响评价 .....         | 112        |
| 6.6 地下水影响分析 .....            | 113        |
| <b>7 运行期非放射性环境影响分析 .....</b> | <b>118</b> |
| 7.1 大气环境影响分析 .....           | 118        |
| 7.2 水环境影响分析 .....            | 118        |
| 7.3 固体废物环境影响分析 .....         | 121        |
| 7.4 声环境影响分析 .....            | 122        |
| <b>8 事故环境影响分析 .....</b>      | <b>124</b> |
| 8.1 事故的环境影响 .....            | 124        |
| 8.2 环境风险评价 .....             | 127        |
| <b>9 环境保护措施及其可行性论证 .....</b> | <b>130</b> |
| 9.1 施工期环境保护措施及其可行性论证 .....   | 130        |
| 9.2 运行期环境保护措施及其可行性论证 .....   | 132        |
| <b>10 环境影响经济损益分析 .....</b>   | <b>139</b> |
| 10.1 环境影响经济损益分析 .....        | 139        |
| 10.2 环境保护投资分析 .....          | 140        |
| <b>11 环境管理及监测计划 .....</b>    | <b>141</b> |
| 11.1 环境管理 .....              | 141        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 11.2 监测计划 .....             | 143        |
| 11.3 采样及测量方法 .....          | 146        |
| 11.4 监测机构及设备配置 .....        | 148        |
| 11.5 监测质量保证 .....           | 148        |
| 11.6 环境保护“三同时”验收一览表 .....   | 150        |
| <b>12 退役治理与长期监护 .....</b>   | <b>151</b> |
| 12.1 退役治理 .....             | 151        |
| 12.2 长期监护 .....             | 155        |
| <b>13 结论与建议 .....</b>       | <b>158</b> |
| 13.1 结论 .....               | 158        |
| 13.2 建议 .....               | 164        |
| 附录一 气态途径辐射环境影响预测模式与参数 ..... | 165        |
| 附录二 液态途径辐射环境影响预测模式与参数 ..... | 181        |

## 附件

附件 1 环评委托书

附件 2 《中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程环境影响评价执行标准的申请函》及韶关市生态环境局仁化分局的复函

附件 3 《关于中核韶关锦原铀业有限公司矿区范围不涉及生态保护红线的证明》



## 1 概述

### 1.1 项目基本情况

- 1) 项目名称：中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程；
- 2) 建设性质：本项目为扩建项目，属铀矿采冶行业，最终产品为“111”；
- 3) 建设单位：中核韶关锦原铀业有限公司
- 4) 建设地点：广东省韶关市仁化县长江镇境内；
- 5) 生产规模：本项目开采范围为棉花坑矿井南部 17 线~16 线（标高为 200m~-150m）、深部 61 线~16 线（标高为-150m~-440m），项目建成后开采矿石\*万 t/a；矿石破碎、水冶依托现有设施，年产“111”产品\*\*t。
- 6) 服务年限：本项目服务年限为 24 年，其中建设期 4 年，项目生产年限 20 年（正常生产期 19 年，减产期 1 年）；
- 7) 劳动定员及工作制度：年工作 330d，4 班/d，6h/班；
- 8) 项目投资：本项目建设投资 12767.71 万元，其中环保投资 1231.8 万元，环保投资占建设投资的 9.65%。

### 1.2 主要建设内容

棉花坑矿井自上世纪 70 年代开始基建至今，已建设两期。其中，一期工程采用平硐—竖井联合开拓，竖井直径 5.5m，从地表（385m）开拓至 26m 标高；二期延深工程建设始于 2004 年，采用原竖井延深方案，竖井延深至-178m 标高，增加四个生产中段（0m、-50m、-100m 和-150m 中段）。棉花坑矿井开采分期情况见图 1.3-1。

本项目针对棉花坑矿井-150m 以下深部，以及-150m 以上南部资源开展建设；开采范围包括两部分，南部为 17 线~16 线，标高范围为 200m~-150m；深部为 61 线~16 线，标高范围为-150m~-440m。主要建设内容包括井下采掘系统、提升运输系统、通风排水压风系统、供配电及通信设施等。

本项目开采的矿石依托锦原公司现有的破碎、水冶设施进行处理，矿井废水、工艺废水、尾矿库流出水依托现有处理设施处理，水冶尾渣运至尾矿库堆存。

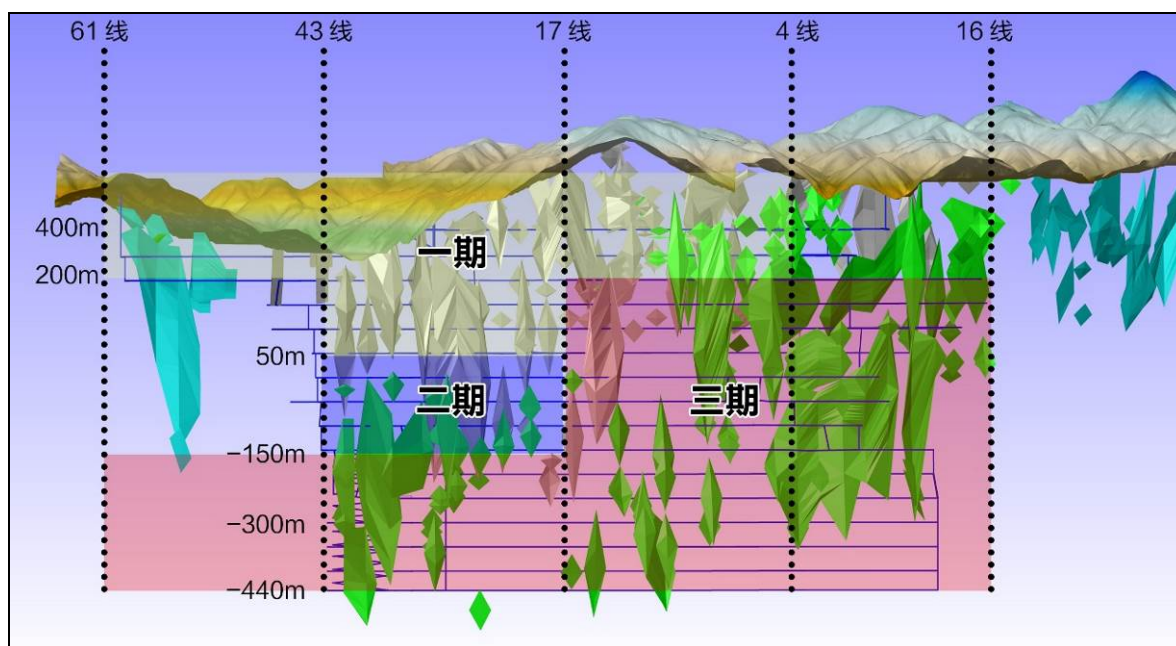


图 1.2-1 棉花坑矿井开采分期情况

### 1.3 本项目与锦原公司现有设施关系

#### 1.3.1 锦原公司设施概况

锦原公司前身为 745 矿，始建于 1969 年 3 月，2002 年 745 矿破产重组，成立中核韶关锦原铀业有限公司。自 1969 年起，745 矿在仁化县境内相继建成了棉花坑矿井（501 工区）、斜州矿井（503 工区）、蕉坪矿井（504 工区）、小桃园矿点等矿井、508 水冶厂、尾矿库等设施。

斜州工区（503）、蕉坪工区（504）、小桃园矿点已完成退役治理，进入长期监护阶段。2003 年，锦原公司对水冶生产工艺进行了调整，在尾矿库内修建了堆浸及水冶设施并使用至今；508 水冶厂于 2003 年停产，并在 2022 年开始退役治理，预计 2025 年完成退役。尾矿库 1976 年建成后使用至今。

目前，书楼丘矿井处于待产状态，仅对矿井水进行抽排。棉花坑矿井处于生产状态，所采矿石利用锦原公司现有的堆浸及水冶设施进行处理。

745 矿生产设施分布情况见图 1.3-1。





图 1.3-1 745 矿生产设施分布情况

### 1.3.2 水冶设施、废物处理处置及辅助设施

本项目在棉花坑矿井二期工程的基础上，对开采范围进行延伸。破碎、堆浸、水冶以及废水和堆浸尾渣处理设施利用现有的设施；废石处置利用书楼丘废石场。此外，本项目办公、生活设施等依托现有设施。

本项目与棉花坑矿井、破碎厂房、水冶厂等现有设施关系见表 1.3-1。

铀矿冶设施的设计使用寿命一般为 50a，在三期工程的生产周期内，破碎、堆浸水冶以及工艺废水处理设施均在设计使用周期内；矿井水、尾矿库流出水处理设施虽然建成时间较早，但都于 2006 年进行了改造，更换了老化的管

线和设备，延长了使用寿命，可以满足三期工程运行期内废物处理的需要。

表 1.3-1 本项目相关设施与锦原公司现有设施关系

| 类别       | 项目         | 现有工程主要设施现状                                                                                          | 本项目依托关系                                                   |
|----------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 矿井       | 采掘系统       | 地下开采；竖井开拓，水平分层填充法开采。                                                                                | 在现有设施的基础上，新建采掘、通风、排水设施，并与现有设施接续。                          |
|          | 通风系统       | 竖井入风，两翼回风的对角双翼通风系统、抽出通风。                                                                            |                                                           |
|          | 排水系统       | 在不同中段设水仓、水泵房，接力将矿井水排出。                                                                              |                                                           |
| 水冶厂      | 破碎厂房       | 于 2019 年建成投入使用，现有处理能力为 16 万 t/a 的破碎生产线一条。                                                           | 依托。                                                       |
|          | 堆浸场        | 于 2006 年建成投产，共有规格为 50m×22m×3.5m 的堆浸池 15 个，矿山堆浸周期为 200d~220d。                                        | 依托。                                                       |
|          | 浸出液处理设施    | 于 2006 年建成投产，采用吸附淋洗工艺，堆浸的淋浸合格液用密实移动床吸附塔吸附，吸附尾液大部分返回配制淋浸剂。饱和树脂送至淋洗塔淋洗得到淋洗合格液。                        | 依托。                                                       |
| 废物处理处置设施 | 尾矿库        | 尾矿库 1976 年建成，1982 年投入运行，设施包括排水井、截洪沟、位移观测、地下谁监测井等。目前，剩余库容约 91.6 万 m <sup>3</sup> 。                   | 依托。                                                       |
|          | 废石场        | 二期工程废石通过充填井全部回填井下。                                                                                  | 部分依托，本项目基建期废石用于回填前期工程遗留的采空区；三期工程大部分采矿废石回填井下，少量运至书楼丘废石场堆存。 |
|          | 矿井水处理设施    | 现有设施于 1985 年投入使用，2006 年更换了老化的管道、设备；设施采用树脂吸附法处理工艺，处理规模约 6000m <sup>3</sup> /d。处理达标后的废水排入马牯丘小溪。       | 依托。                                                       |
|          | 工艺废水处理设施   | 于 2007 年建成投入使用，工艺废水处理设施采用石灰乳中和除铀、氯化钡除镭工艺，处理规模为 500m <sup>3</sup> /d。处理达标后的废水排入官田小溪。                 | 依托。                                                       |
|          | 尾矿库流出水处理设施 | 现有设施与 1982 年投入使用，2006 年进行技术改造，更换了老化的设备和管线；设施采用软锰砂吸附除镭工艺，处理规模为 6000m <sup>3</sup> /d，处理达标后的废水排入官田小溪。 | 依托。                                                       |
| 办公/生活设施  |            | 包括办公室、宿舍、车库和食堂等。                                                                                    | 依托。                                                       |

## 1.4 编制依据

### 1.4.1 法律法规和标准

#### 1.4.1.1 法律法规

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日；
- 2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日；
- 3) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日；
- 4) 《建设项目环境保护管理条例》2017 年 10 月 1 日；
- 5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》2021 年 1 月 1 日；
- 6) 《环境影响评价公众参与办法》2019 年 1 月 1 日；
- 7) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录（2019 年本）>的决定》（国家发改委令 49 号），2021 年 12 月 30 日；
- 8) 广东省生态环境厅关于印发《广东省生态环境保护“十四五”规划》的通知（粤环〔2021〕10 号）；
- 9) 韶关市人民政府办公室关于印发《韶关市生态环境保护“十四五”规划》的通知（韶府办〔2021〕1 号）；
- 10) 《韶关市“三线一单”生态环境分区管控方案》（韶府〔2021〕10 号）。

#### 1.4.1.2 标准规范

- 1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
- 2) 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；
- 3) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）；
- 4) 《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）；
- 5) 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）；
- 6) 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）；
- 7) 《环境影响评价技术导则 铀矿冶》（HJ1015.1-2019）；
- 8) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 9) 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 10) 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；

- 11)《声环境质量标准》(GB3096-2008);
- 12)《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(15618-2018);
- 13)《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001);
- 14)《水污染物排放限值》(DB44/26-2001);
- 15)《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011);
- 16)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);
- 17)《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020);
- 18)《铀矿冶辐射环境监测规定》(GB23726-2009);
- 19)《食品中放射性物质限制浓度标准》(GB14882-1994)。
- 20)《铀矿冶设施所造成的气态(载)放射性与有毒性源项的确定》(EJ/T1090-1998)。

#### 1.4.2 相关文件

- 1) 国防科工局《中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程项目申请报告的批复》，科工计(XXX)XXX号；
- 2)《中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程项目申请报告》，中核第四研究设计工程有限公司，2022年9月；
- 3)《中核韶关锦原铀业有限公司铀矿冶流出物与环境监测总结报告》(2019年~2021年)，中核韶关锦原铀业有限公司；
- 4)《中核韶关锦原铀业有限公司职业危害现状评价报告》，浙江建安检测研究院有限公司，2022年12月；
- 5) 环评委托书(附件一)。

### 1.5 评价范围

#### 1.5.1 辐射环境

根据《环境影响评价技术导则 铀矿冶》(GB1015.1-2019)相关规定，结合本项目特点，确定以北翼回风井为评价中心，半径20km范围的区域为辐射环境影响评价范围。子区划分是以北翼回风井为圆心，以1km、2km、3km、5km、10km、20km为半径画6个同心圆，与圆心角22.5°的16个方位相交割



分扇形区，共 96 个评价子区。评价子区划分见图 1.5-1。

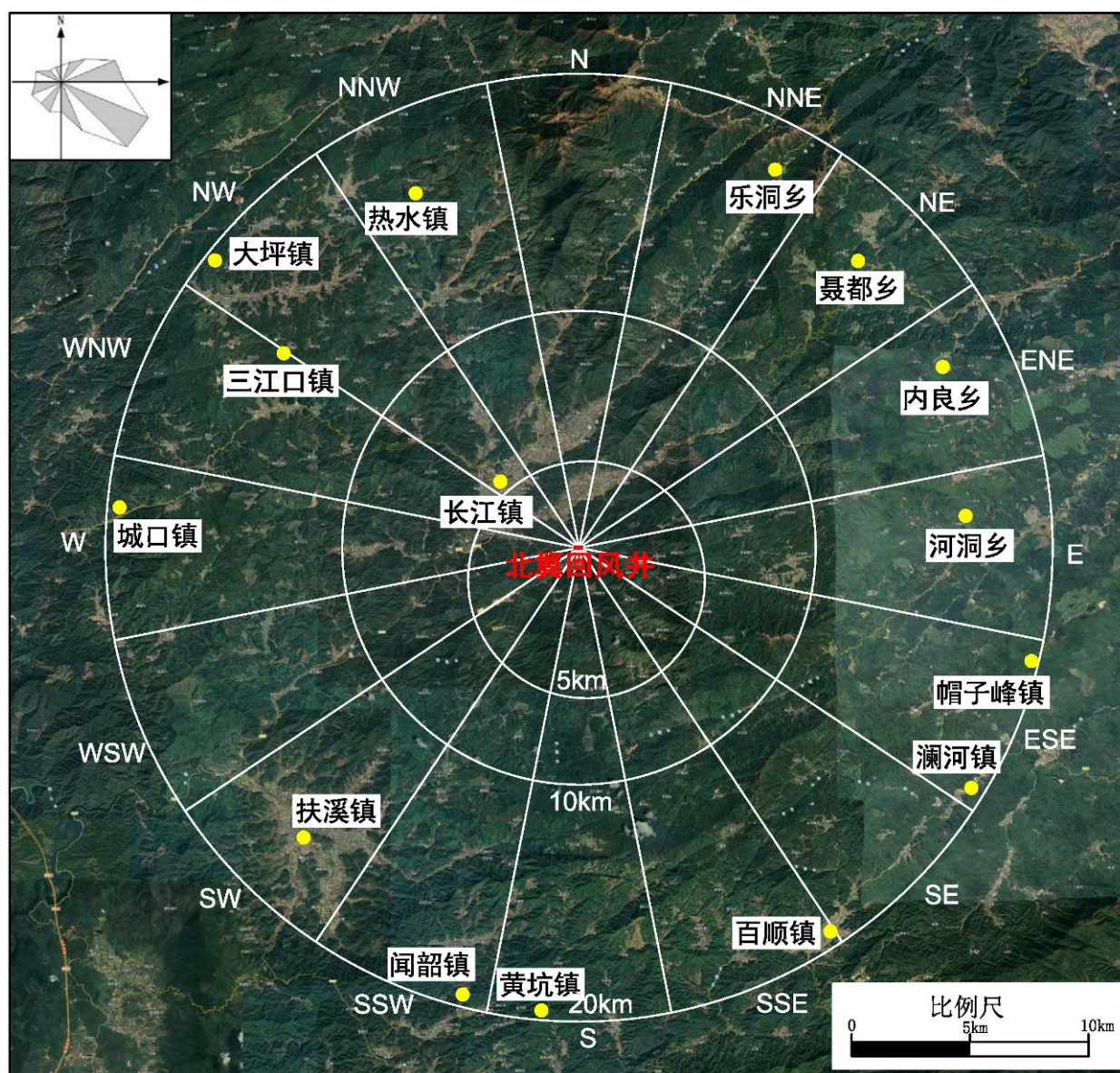


图 1.5-1 评价子区划分图

## 1.5.2 非放射性环境影响评价

### 1.5.2.1 大气环境影响评价等级与评价范围

本项目矿石开采过程中不产生非放射性废气；与本项目有关的非放射性大气污染物主要是堆浸场、浸出液处理厂房内产生的含硫酸废气。本项目实施后，堆浸、浸出液处理工艺不发生变化，硫酸源强也不发生变化，其环境影响与现状相同，故仅对硫酸雾现状达标排放及环境影响情况进行分析，不再划定评价等级。

### 1.5.2.2 地表水环境影响评价

与本项目相关的废水主要包括棉花坑矿井水、尾矿库流出水以及工艺废水。其中，棉花坑三期工程建成后尾矿库流出水、工艺废水均利用现有的设施进行处理，排放口不发生变化，对外环境不会新增污染物排放，根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）以上两个废水排口的评价等级定为三级 B，仅对以上排口现状达标排放情况及环境影响进行分析。

棉花坑矿井三期工程建成后，矿井水处理设施日均排水量由  $2440\text{m}^3$  增加至  $2958\text{m}^3$ ， $200 < Q < 20000\text{m}^3/\text{d}$ 。根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）中 5.1.2 节评价因子筛选要求，结合棉花坑矿床现有监测数据，将氟化物列为本项目地表水影响评价因子。棉花坑矿井水处理设施氟化物排放浓度最大值为  $5.09\text{mg/L}$ ；本项目建成后，外排矿井水中氟化物浓度变化不大。以此计算，矿井水氟化物的水污染当量数为  $W=10991$ ， $6000 < W < 600000$ 。根据 HJ2.3-2018 中“表 1 水污染影响型建设项目评价等级判定”，矿井水排口评价等级为二级，评价范围为马牯丘小溪矿井水排口河段至马牯丘小溪与锦江交汇处，关心断面为马牯丘小溪马牯丘村段。

### 1.5.2.3 地下水环境影响评价

《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016）未对铀矿冶行业进行地下水环境影响评价项目类别分类，参照其附录 A—地下水环境影响评价行业分类表中行业类别“H 有色金属中第 47 项（采选）”，本项目属于 III 类项目；本项目不涉及集中式水源地，且项目周边无分散式地下水水源地，故本项目属不敏感区域。参照 HJ 610-2016 中表 2 评价工作等级分级表，本项目地下水评价等级确定为三级。根据本项目所在的水文地质单元边界，确定地下水评价范围：以矿井水处理设施四周分水岭为边界，面积为  $1.30\text{km}^2$  的区域。

### 1.5.2.4 声环境影响评价

本项目所在区域声环境功能区划为 2 类区。本项目主要爆破、凿岩等操作均位于井下，距离地表较远，经岩层阻隔后，对地表声环境影响很小；地表产噪设备，如破碎设备、泵类、吸附塔、风机等，在扩建前后均不增加，故本项目实施前后对周边的声环境影响基本不变，故仅对现状及本项目的声环境影响进行分析，不再划定评价等级。



## 1.5.2.5 环境风险评价等级与范围

本项目涉及的主要危险物质为矿石堆浸使用的硫酸。棉花坑矿井硫酸罐区设有 4 个容量为  $150\text{m}^3$  的储罐, 3 用 1 备。单罐硫酸最大储量为容量的 80%, 即  $120\text{m}^3$ , 则罐区最大硫酸储存量为  $360\text{m}^3$ , 约 663t。根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018) 附录 B、C、D, 本项目所涉及的危险物质的临界量、危险物质及工艺系统危险性分级见表 1.5-4, 行业及生产工艺、危险物质及工艺系统危险性分级见表 1.5-5; 各环境要素的环境敏感程度 (E) 分级见表 1.5-6, 各环境要素的环境风险潜势划分及评价工作等级的确定见表 1.5-7。

表 1.5-4 危险物质的临界量、危险物质及工艺系统危险性分级相关参数

| 项目 | 临界量 (t) | 最大存量 (t) | 物质总量与临界量比值 Q | Q 划分              |
|----|---------|----------|--------------|-------------------|
| 硫酸 | 10      | 663      | 66.3         | $10 \leq Q < 100$ |

表 1.5-5 危险物质的临界量 (M)、危险物质及工艺系统危险性等级 (P) 判断

| 行业   | 评估依据           | M 分值     | M 划分  | P 划分 |
|------|----------------|----------|-------|------|
| 有色冶炼 | 危险物质贮存罐区 (硫酸罐) | 5/套 (罐区) | 5, M4 | P4   |

表 1.5-6 各环境要素环境敏感程度分级

| 要素  | 环境敏感性                                                                                                                                                                                                                | 分级 |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 大气  | 硫酸罐区周边 5km 范围内居住区、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公等机构人口总数小于 1 万人; 且周边 500m 范围内人口总数小于 500 人。                                                                                                                                         | E3 |
| 地表水 | 硫酸罐区占地长×宽为 $43.5\text{m} \times 13.5\text{m}$ , 四周设 0.4m 高围堰, 围堰底部铺设耐酸砖, 侧壁采用防腐蚀涂料涂刷; 如发生泄漏可通过泵等对硫酸进行回收, 不外排; 且硫酸罐区 1km 范围内没有地表水体, 故发生泄漏后不会排放至地表水体。                                                                  | /  |
| 地下水 | 棉花坑矿井硫酸罐区不在集中式饮用水水源地准保护区及其以外的补给径流区, 分散式饮用水水源地或特殊地下水资源保护区及其以外的分布区等敏感区范围内, 地下水功能按照不敏感 G3 考虑; 项目所在地包气带厚度大于 1m, $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s} \leq K \leq 1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ , 且分布连续、稳定, 包气带防污性能均属于 D2 级。 | E3 |

表 1.5-7 各环境要素的环境风险潜势划分及评价工作等级

| 环境要素 | 环境敏感度 (E) | 危险性等级 (P) | 环境风险潜势 | 评价工作等级 |
|------|-----------|-----------|--------|--------|
| 大气   | E3        | P4        | I      | 简单分析   |
| 地表水  | /         |           | /      | /      |
| 地下水  | E3        |           | I      | 简单分析   |

综上, 硫酸罐区风险潜势为 I 级, 评价工作等级为简单分析。

1.5.2.6 生态影响评价

本项目为扩建项目，新建内容主要为井下开拓施工，地表不新建生产设施，不新增占地，且符合韶关市生态环境分区管控要求，根据《环境影响评价技术导则 生态环境》（HJ19-2022）可不确定评价等级，直接进行生态影响简单分析。

1.6 评价因子

1.6.1 环境影响因素识别

为明确本项目建设可能对自然环境、生态环境、社会环境和公众健康产生的影响，根据项目工程特点、规模和污染物排放规律，结合评价区域的环境特征，进行项目对环境的影响识别，结果见表 1.6-1。

表 1.6-1 本项目环境影响要素识别

| 影响<br>阶段    |        | 自 然 环 境 |       |       |     |      |      | 社 会 环 境 |      |    |    |      |      |
|-------------|--------|---------|-------|-------|-----|------|------|---------|------|----|----|------|------|
|             |        | 大气环境    | 地表水环境 | 地下水环境 | 声环境 | 辐射环境 | 生态环境 | 农业发展    | 工业发展 | 交通 | 就业 | 公众健康 | 社会经济 |
| 施<br>工<br>期 | 场地清理   | -1      |       |       | -1  |      | -1   |         |      |    | +1 |      |      |
|             | 材料运输   | -1      |       |       | -1  |      |      |         |      | +1 | +1 |      |      |
|             | 井下开拓   | -1      |       | -1    |     | -1   |      |         |      |    | +1 |      |      |
| 运<br>营<br>期 | 废气排放   | -1      |       |       |     | -1   |      |         |      |    |    | -1   |      |
|             | 废水处理   |         |       | -1    |     |      |      |         |      |    |    |      |      |
|             | 固体废物处置 |         |       | -1    |     | -1   |      |         |      |    |    |      |      |

\*注：表中+为正效应，-为负效应；1 为一般（轻微、不显著的）影响，2 为中等影响，3 为较（重）大影响。

由该表可知，本项目的实施对周边环境的影响要素，施工期主要是施工扬尘、机械噪声等活动对大气环境、声环境的影响；运行期主要是生产过程中的废气、固废、废水以及噪声对大气环境、地表水环境及声环境的影响；而项目的建设及投产，将对该地区的社会经济具有一定的积极影响。

1.6.2 评价因子筛选

根据本项目施工期及运行期工程特点及污染物排放特点，确定本项目评价因子如下：

表 1.6-2 本项目评价因子一览表

| 时期  | 评价内容  |         | 评价因子                                                                                                                              |
|-----|-------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 施工期 | 大气污染源 |         | TSP、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>                                                                                              |
|     | 废水污染源 |         | 施工废水 SS，生活污水 COD、NH <sub>3</sub> -N                                                                                               |
|     | 固废污染源 |         | 废石、拆除的废旧金属、生活垃圾                                                                                                                   |
|     | 噪声污染源 |         | Leq (A)                                                                                                                           |
|     | 生态评价  |         | 生态完整性、水土流失                                                                                                                        |
| 运行期 | 大气污染源 | 放射性污染物  | 铀尘、 <sup>222</sup> Rn 及其子体                                                                                                        |
|     |       | 非放射性污染物 | 颗粒物、硫酸雾                                                                                                                           |
|     | 废水污染源 | 放射性污染物  | U <sub>天然</sub> 、 <sup>226</sup> Ra 等                                                                                             |
|     |       | 非放射性污染物 | 矿井水：氟化物、Cd、As、Zn、Hg、Cr、Pb、Mn<br>工艺废水：氟化物、Cd、As、Zn、Hg、Cr、Pb、Mn<br>尾矿库流出水：氟化物、Cd、As、Zn、Hg、Cr、Pb、Mn<br>生活污水中的 COD、NH <sub>3</sub> -N |
|     | 固废污染源 | 放射性污染物  | 废石、堆浸尾渣、废水处理渣                                                                                                                     |
|     |       | 非放射性污染物 | 生活垃圾                                                                                                                              |
|     | 噪声污染源 |         | Leq (A)                                                                                                                           |
|     | 风险源   |         | 硫酸罐区                                                                                                                              |

## 1.7 评价控制指标

### 1.7.1 剂量约束值

#### 1) 正常工况下公众剂量约束值

根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020)：铀矿冶企业实践所致的公众关键居民组成员所受的年平均剂量约束值不应超过 0.5mSv/a。

本项目 20km 评价范围内，锦原公司所属主要设施及其公众剂量约束值见表 1.7-1。由表可以看出，退役治理 I 期、II 期工程，书楼丘矿井共占用剂量约束值 0.25mSv/a。

表 1.7-1 20km 范围内锦原公司设施及剂量约束值

| 序号 | 设施名称               | 生产状态                             | 剂量约束值 (mSv/a) |
|----|--------------------|----------------------------------|---------------|
| 1  | 斜州矿井、蕉坪矿井<br>小桃园矿井 | I 期退役治理设施, 已完成                   | 0.05          |
| 2  | 508 水冶厂            | II 期退役治理设施, 治理进行中,<br>2025 年完成治理 | 0.1           |
| 3  | 书楼丘矿井              | 待产矿井                             | 0.1           |
| 4  | 合计                 |                                  | 0.25          |

虽然本项目仅涉及棉花坑矿井采矿相关设施, 但由于棉花坑矿井与锦原公司堆浸场、浸出液处理厂房、尾矿库等设施距离很较近, 故将以上源项统一考虑, 制定剂量约束值。根据预测结果, 棉花坑矿井三期工程实施后, 矿井开采、水冶及废物处置设施造成公众最大个人剂量为 0.0181mSv/a。考虑为锦原公司未来生产留下余量, 故本项目公众照射剂量约束值定为 0.1mSv/a。

## 2) 事故工况下公众剂量约束值

事故工况下, 公众成员最大个人受照剂量不超过 1mSv/次。

### 1.7.2 归一化排放量限值

根据 GB23727-2020 相关要求, 本项目回风井气载流出物及堆浸水冶归一化排放量管理限值分别见表 1.7-1 和表 1.7-2。

表 1.7-1 铀矿山回风井归一化排放管理限值 单位: Bq/100t (U)

| 放射性核素 | U <sub>天然</sub>   | <sup>226</sup> Ra | <sup>222</sup> Rn    | <sup>210</sup> Pb | <sup>210</sup> Po |
|-------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 气载流出物 | $4.0 \times 10^7$ | $6.0 \times 10^7$ | $6.0 \times 10^{13}$ | $2.5 \times 10^7$ | $2.5 \times 10^7$ |

表 1.7-2 堆浸水冶厂流出物归一化排放管理限值 单位: Bq/100t (U)

| 放射性核素 | U <sub>天然</sub>   | <sup>226</sup> Ra | <sup>222</sup> Rn    | <sup>210</sup> Pb | <sup>210</sup> Po |
|-------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 气载流出物 | $3.5 \times 10^8$ | $5.0 \times 10^6$ | $4.0 \times 10^{12}$ | $2.5 \times 10^7$ | $2.5 \times 10^7$ |
| 液态流出物 | $9.5 \times 10^8$ | $2.5 \times 10^8$ | —                    | $6.5 \times 10^7$ | $6.5 \times 10^7$ |

### 1.7.3 评价采用的非放射性标准

根据韶关市生态环境局仁化分局《关于中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程环境影响评价执行标准的复函》的相关要求 (见附件 2), 本项目执行的非放环境质量标准如下:

#### 1) 环境质量标准:

(1) 环境空气执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准;

(2) 地表水环境执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中Ⅲ类标准;

(3) 地下水质量执行《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) 中Ⅲ类标准;

(4) 声环境执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 中 2 类标准;

(5) 土壤环境执行《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准 (试行)》(GB15618-2018) 中土壤污染风险筛选值标准。

## 2) 污染物排放标准:

(1) 废气执行《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) 表 2 中二级标准及无组织排放监控浓度限值;

(2) 废水执行《水污染物排放限值》(DB44/26-2001) 表 1 及表 4 一级标准限值;

(3) 施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 中相关要求; 运行期厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中 2 类标准。

表 1.7-3 本项目评价采用的非放标准值

| 类别     | 污染物名称 |                        | 标准值                                 | 标准来源                                 |
|--------|-------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 环境质量标准 | 大气    | TSP                    | 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (日均值)  | 《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准        |
|        |       | 硫酸                     | 0.3 $\text{mg}/\text{m}^3$ (1h 平均值) | 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ 2.2-2018) 中附录 D |
|        | 地表水体  | pH                     | 6~9                                 | 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中Ⅲ类标准       |
|        |       | COD                    | 20 $\text{mg}/\text{L}$             |                                      |
|        |       | $\text{NH}_3\text{-N}$ | 1.0 $\text{mg}/\text{L}$            |                                      |
|        |       | 氟化物                    | 1.0 $\text{mg}/\text{L}$            |                                      |
|        |       | Mn                     | 0.1 $\text{mg}/\text{L}$            |                                      |
|        |       | Cd                     | 0.005 $\text{mg}/\text{L}$          |                                      |
|        |       | As                     | 0.05 $\text{mg}/\text{L}$           |                                      |
|        | 地下水   | pH                     | 6.5~8.5                             | 《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) 中Ⅲ类标准      |
|        |       | Mn                     | 0.1 $\text{mg}/\text{L}$            |                                      |
|        |       | Cd                     | 0.005 $\text{mg}/\text{L}$          |                                      |
|        |       | As                     | 0.01 $\text{mg}/\text{L}$           |                                      |
|        |       | Pb                     | 0.01 $\text{mg}/\text{L}$           |                                      |
|        |       | $\text{Cr}^{6+}$       | 0.05 $\text{mg}/\text{L}$           |                                      |
|        |       | Hg                     | 0.001 $\text{mg}/\text{L}$          |                                      |



| 类别           | 污染物名称   |                    | 标 准 值                            | 标 准 来 源                                         |
|--------------|---------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
|              | 土壤      | 硫酸盐                | 250mg/L                          |                                                 |
|              |         | pH                 | ≤5.5                             |                                                 |
|              |         | Cd                 | 0.3mg/kg                         |                                                 |
|              |         | As                 | 40mg/kg                          |                                                 |
|              | 噪声      | 昼间                 | 60dB（A）                          | 《声环境质量标准》<br>（GB3096-2008）中 2 类标准               |
|              |         | 夜间                 | 50dB（A）                          |                                                 |
| 排放<br>标<br>准 | 废水      | pH                 | 6~9                              | 《水污染物排放限值》<br>（DB44/26-2001）中一级标准               |
|              |         | COD                | 90mg/L                           |                                                 |
|              |         | NH <sub>3</sub> -N | 10mg/L                           |                                                 |
|              |         | 氟化物                | 10mg/L                           |                                                 |
|              |         | Cd                 | 0.1mg/L                          |                                                 |
|              |         | As                 | 0.5mg/L                          |                                                 |
|              |         | Mn                 | 2.0mg/L                          |                                                 |
|              |         | Zn                 | 2.0mg/L                          |                                                 |
|              |         | Hg                 | 0.05mg/L                         |                                                 |
|              |         | Cr                 | 1.5mg/L                          |                                                 |
|              |         | Pb                 | 1.0mg/L                          |                                                 |
|              | 废气      | 颗粒物                | 最高允许排放浓度<br>120mg/m <sup>3</sup> | 《大气污染物排放限值》<br>（DB44/27-2001）表 2 二级标准           |
|              |         | 硫酸雾                | 1.2mg/m <sup>3</sup>             | 《大气污染物排放限值》<br>（DB44/27-2001）表 2 无组织排<br>放监控浓度值 |
|              | 施工<br>期 | 昼间                 | 70dB（A）                          | 《建筑施工场界环境噪声排放标<br>准》（GB12523-2011）              |
|              |         | 夜间                 | 55dB（A）                          |                                                 |
|              | 运行<br>期 | 昼间                 | 60dB（A）                          | 《工业企业厂界环境噪声排放标<br>准》（GB12348-2008）2 类           |
|              |         | 夜间                 | 50dB（A）                          |                                                 |

## 1.8 主要环境保护目标

根据本项目工程性质和周围环境特征，确定本次环境评价的大气环境保护目标为项目评价范围内居民点，下表中主要列出了评价中心周围半径 5km 范围内重要居民点分布情况；地表水环境保护目标为马牯丘小溪、官田小溪和锦江；地下水环境保护目标为厂址周围的浅层地下水；声环境保护目标为棉花坑矿井生产设施外 200m 声环境；生态环境保护目标为项目建设占地区域。本项目环境保护目标见表 1.8-1。

表 1.8-1 项目环境保护目标

| 要素   | 保护对象 | 相对方位 | 距离 (km) | 人口数 | 性质  | 保护级别                           |
|------|------|------|---------|-----|-----|--------------------------------|
| 大气环境 | 书楼丘  | NNW  | 1.38    | 279 | 居民点 | 《环境空气质量标准》<br>(GB3095-2012) 二级 |
|      | 马牯丘村 | WSW  | 1.11    | 245 |     |                                |
|      | 杨梅坝  | NW   | 1.77    | 159 |     |                                |
|      | 黄竹坪  | NW   | 1.69    | 155 |     |                                |
|      | 里周村  | N    | 2.29    | 467 |     |                                |
|      | 寨脚下村 | NNE  | 2.65    | 205 |     |                                |
|      | 黄土寨村 | NNE  | 2.47    | 181 |     |                                |
|      | 亚吉岭村 | ESE  | 2.04    | 180 |     |                                |
|      | 学堂垌村 | E    | 2.51    | 195 |     |                                |
|      | 黄沙塘村 | SE   | 2.40    | 75  |     |                                |
|      | 油洞   | SSE  | 2.35    | 329 |     |                                |
|      | 朱洞   | S    | 2.66    | 301 |     |                                |
|      | 黄竹头下 | WNW  | 2.67    | 127 |     |                                |
|      | 大村   | WNW  | 2.47    | 342 |     |                                |
|      | 水尾垌村 | NW   | 2.95    | 130 |     |                                |
|      | 桐子坪村 | NW   | 2.69    | 302 |     |                                |
|      | 李屋排村 | NW   | 2.75    | 318 |     |                                |
|      | 功富村  | NNW  | 3.85    | 296 |     |                                |
|      | 阔田坝村 | NNW  | 3.63    | 206 |     |                                |
|      | 周屋水村 | NNW  | 3.93    | 415 |     |                                |
|      | 竹山下村 | NNW  | 4.36    | 208 |     |                                |
|      | 白沙坡村 | NNW  | 4.90    | 330 |     |                                |
|      | 海螺寨村 | N    | 3.81    | 85  |     |                                |
|      | 木溪村  | N    | 4.07    | 106 |     |                                |
|      | 王屋村  | N    | 4.33    | 98  |     |                                |
|      | 兰头坑村 | N    | 4.56    | 151 |     |                                |
|      | 枫树下村 | N    | 4.76    | 55  |     |                                |
|      | 四方丘村 | N    | 4.66    | 208 |     |                                |
|      | 佛坳村  | NE   | 4.28    | 222 |     |                                |
|      | 佛垌村  | ESE  | 3.14    | 65  |     |                                |
|      | 桥顶坑村 | SE   | 3.46    | 82  |     |                                |
|      | 驼背岭  | SE   | 3.75    | 61  |     |                                |
|      | 沈洞村  | SSE  | 4.51    | 192 |     |                                |

| 要素   | 保护对象 | 相对方位                 | 距离 (km) | 人口数  | 性质   | 保护级别                            |
|------|------|----------------------|---------|------|------|---------------------------------|
| 大气环境 | 邓屋村  | SSE                  | 4.61    | 216  |      |                                 |
|      | 罗屋村  | SSE                  | 4.93    | 220  |      |                                 |
|      | 晒茂村  | W                    | 3.67    | 141  |      |                                 |
|      | 低坪村  | W                    | 3.30    | 159  |      |                                 |
|      | 沙坪村  | WNW                  | 3.70    | 165  |      |                                 |
|      | 黄屋   | WNW                  | 3.52    | 208  |      |                                 |
|      | 大石坝村 | NW                   | 3.11    | 201  |      |                                 |
|      | 下竹田村 | NW                   | 4.66    | 98   |      |                                 |
|      | 长江镇  | NW                   | 3.31    | 3760 |      |                                 |
| 水环境  | 地表水  | 马牯丘小溪、官田小溪、锦江        |         |      | 地表水  | 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类  |
|      | 地下水  | 项目周边浅层地下水            |         |      | 地下水  | 《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) III 类 |
| 声环境  |      | 棉花坑矿井设施外 200m 声环境    |         |      | 声环境  | 《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2 类      |
| 生态环境 |      | 项目建设占地区域             |         |      | 生态环境 | 防止生态环境破坏、水土流失等。                 |
| 辐射环境 |      | 评价中心半径 20km 范围内环境和公众 |         |      | 辐射环境 | 本项目公众剂量约束值                      |

## 2 评价区域环境概况

### 2.1 地理位置

中核韶关锦原铀业有限公司矿部位于广东省韶关市仁化县长江镇，矿部所在地与仁化县有公路相通，距离仁化县城公路 49km，距离韶关市公路 103km，交通较为便利。棉花坑矿井位于锦原公司矿部东部，直线距离约 1.3km 处，有乡村公路与矿部相通。本项目地理位置及交通情况见图 2.1-1。

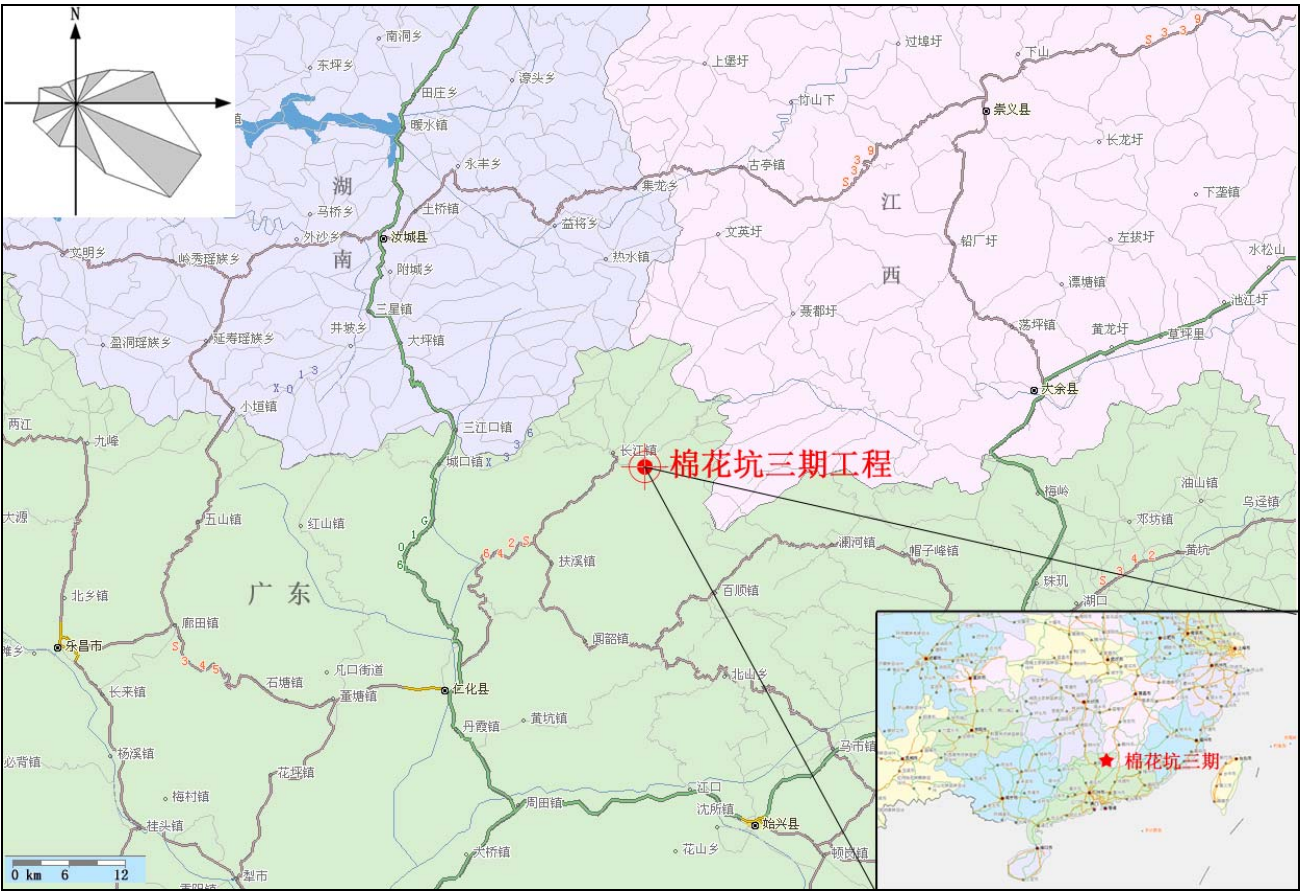


图 2.1-1 项目地理位置图

### 2.2 地形地貌

区域地处南岭山大庾岭南麓，评价区内山峦起伏，水系发育，地形切割强烈，多呈“V”型沟谷，坡陡沟深，主要为低山地、丘陵、盆地和山前平地等地貌，形态多样。区域内总体地势北东高、南西低，山川河流多沿该地势走向。棉花坑矿床处于中低山丘陵地区，以低山为主，地貌形态表现为浑圆

状山峰，猪背形山脊，凸形山坡，“V”形谷和小型山间盆地，区域内地表植被发育，树、竹、茅草交杂丛生。矿区地形地貌见图 2.2-1。



图 2.2-1 矿区地形地貌图

本次调研收集了国家测绘局提供的 90m 精度的 DEM 地形高程数据，根据矿区所在地形文件范围为  $113^{\circ} N25^{\circ} E$  和  $114^{\circ} N25^{\circ} E$  两个高程数据文件，绘制得到的评价区域三维地形见图 2.2-2。

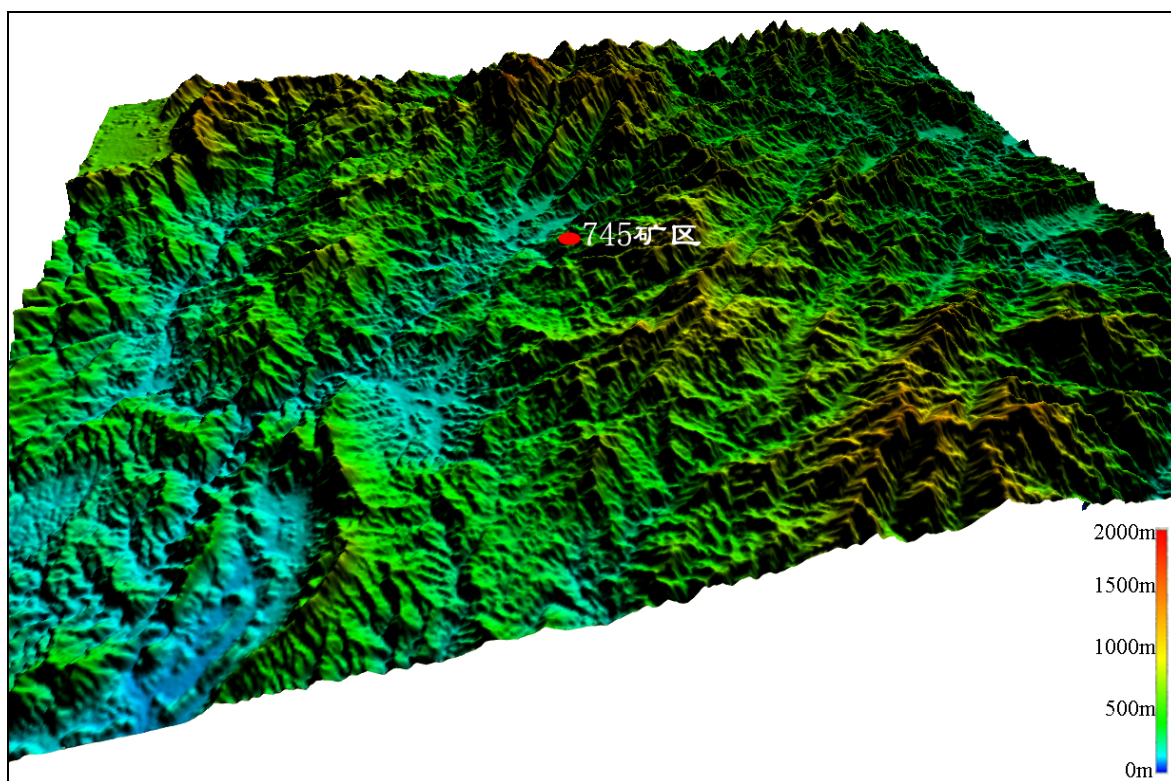


图 2.2-2 矿区三维地形图



## 2.3 地质

### 2.3.1 区域地质

棉花坑矿床所处的诸广岩体位于扬子准地台与华夏古陆之间的加里东褶皱带。岩体位于闽赣后加里东隆起南缘与湘桂粤北海西—印支拗陷的刚柔地块结合部；岩体还受九峰—大余东西隆起带，万洋—诸广南北隆起带和万长山北东隆起带的三重控制。

诸广岩体外围出露的地层主要是下古生界浅变质岩系，次为上古生界和中新生界，地层出露总厚度 20500m 以上。地层自上而下分别为：震旦—奥陶系、泥盆系—三叠系和侏罗系—古近系。

区内构造主要有深大断裂构造、诸广岩体断裂构造和矿区断裂构造。

### 2.3.2 矿床地质

#### 1) 地层、岩性

区内岩浆活动频繁，出露岩石主要有印支期第三阶段中粒斑状二云母花岗岩和燕山早期中粒—中粗粒黑云母花岗岩、中粗粒斑状黑云母花岗岩，其次为印支期第二阶段中粗粒斑状二长花岗岩、燕山早期第三阶段细不等粒斑状黑云母花岗岩和燕山晚期细粒黑云母花岗岩，晚期有中基性岩脉、细晶岩脉侵入，另外还有碱交代岩。

矿区浅部为印支期、燕山早期中粒、中粗粒斑状黑云母花岗岩，而深部被燕山晚期细粒、细不等粒斑状黑云母花岗岩及细粒含石榴子石二云母花岗岩侵入，在其侵入接触处多为破碎的碎裂岩带。

#### 2) 构造

区内构造主要有北东东向、北西西向和北北西向（近南北向）三组，其中北东东向为控矿构造，北西西向既是控矿构造又是成矿构造，北北西向（近南北向）为成矿构造。

##### （1）控矿构造

##### ①棉花坑断裂

为区内重要的控矿构造，通过长江矿区中部由棉花坑向西南经官田及向北东经秋对水延伸，区内出露长 9~10km，地貌上表现为直线状的“V”形沟谷，



产状：走向北东东， $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，倾向南东，倾角  $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。主要由糜棱岩和碎裂花岗岩所组成的破碎带，具有比较普遍的绢云母化、绿泥石化和硅化，破碎带中局部见有中基性岩脉充填和角砾岩带，角砾成分有碎裂花岗岩、糜棱岩和中基性岩脉，胶结物为硅质。

## ②油洞断裂

该构造既是控矿构造又是成矿构造。由油洞村往东南经驼背岭延伸，长  $6\sim 7\text{km}$ ，地形上表现为直线状“V”形沟谷。产状：走向北西西， $300^{\circ}\sim 310^{\circ}$ ，倾向南西，倾角  $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，充填物以中基性岩脉为主，局部也见硅化岩脉，中基性岩脉具有片理化，在油洞村片理的走向为  $310\sim 320^{\circ}$ ，煌斑岩走向为  $300^{\circ}$ ，倾向南西，倾角  $80^{\circ}$ ，在其面上见到有  $0.8\sim 1.5\text{cm}$  宽，具赤铁矿化的硅质细脉，在煌斑岩的上下盘都有糜棱岩化，在上盘也见赤铁矿化、硅化，而下盘多见碳酸盐细脉，其产状与煌斑岩一致。

## （2）矿床外围成矿构造

棉花坑矿床近外围的长江矿区成矿带密集分布在不同时代的岩体中，在印支期第二阶段、燕山早期第一阶段花岗岩附近分布较多。脉带多呈北北西向展布，少数呈北西向、北东向展布，常呈平行密集带状成组出现，在东西宽  $5\text{km}$ ，南北长  $10\text{km}$  的范围内形成诸广地区独具特色的铀矿脉密集分布区。脉带长数百米至数千米，最长  $5000\text{m}$  以上，宽数十厘米至十几米，最宽达  $60\text{m}$ ，沿倾斜延深百余米至数百米，最大延伸大于  $1000\text{m}$ 。脉带由硅化岩及其两侧蚀变花岗岩组成，硅化岩位于脉带中心，不同规模的脉带具有不同的含矿性，北北西向中规模大的脉带含矿性最好。

## （3）成矿构造

在棉花坑、油洞断裂夹持的楔状岩块中，发育一组近南北向蚀变破碎带，为矿床的含矿构造带。由碎裂花岗岩、糜棱岩化花岗岩、糜棱岩及微晶石英岩组成，在构造带中常呈透镜体出现。构造作用强烈部位发育糜棱岩，两侧渐变为糜棱岩化花岗岩，普遍发育硅化、绢云母化、赤铁矿化等，构造中心部位常形成硅质骨架，成为铀矿化的富集中心。

## 2.4 水文地质

受区域构造、岩性的影响，矿床的主要含水层均为花岗岩风化壳潜水含水层，及构造脉状断裂含水层，只有局部地段有少量第四系孔隙潜水呈零星分布。

矿区地下水主要有第四系孔隙潜水、基岩风化裂隙水和构造裂隙水。它们的埋藏、分布受地层岩性和构造控制，均接受大气降水补给，以泉的形式排泄于地表的山间河溪中。地下水水温一般为 20℃，化学成分简单。地下水分布呈垂直分带，由浅往深矿化度逐渐增高。浅部地下水为  $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$  ( $\text{Ca}\cdot\text{Na}$ ) 型水，矿化度为 0.056g/L~0.087g/L；深部地下水为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$  型水，地下水中  $\text{SO}_4^{2-}$  含量为 0.03mg/L~2mg/L，矿化度为 0.071g/L~0.364g/L，pH 值为 6.52~8.0。

## 2.5 地表水系

所在区域内地表水系发达，主要水体为锦江，矿区内各小溪最终汇入锦江。锦江为浈江一级支流，发源于万时山和江西省崇义县的天华山，流经长江镇、扶溪镇、仁化县城，在曲江县境内的大桥西面汇入浈江，浈江与武江在韶关汇合后形成北江，属珠江流域的北江水系。锦江在仁化县境内全长 108km，流域面积 1913km<sup>2</sup>。

区域地表水系情况以及项目排水口位置见图 2.5-1。棉花坑矿井废水受纳水体为马牯丘小溪，水冶工艺废水和尾矿库流出水受纳水体为官田小溪，废水排放口下游直接受纳水体及汇入河流水文参数见表 2.5-1，废水排入河流及汇入水系情况见表 2.5-2。

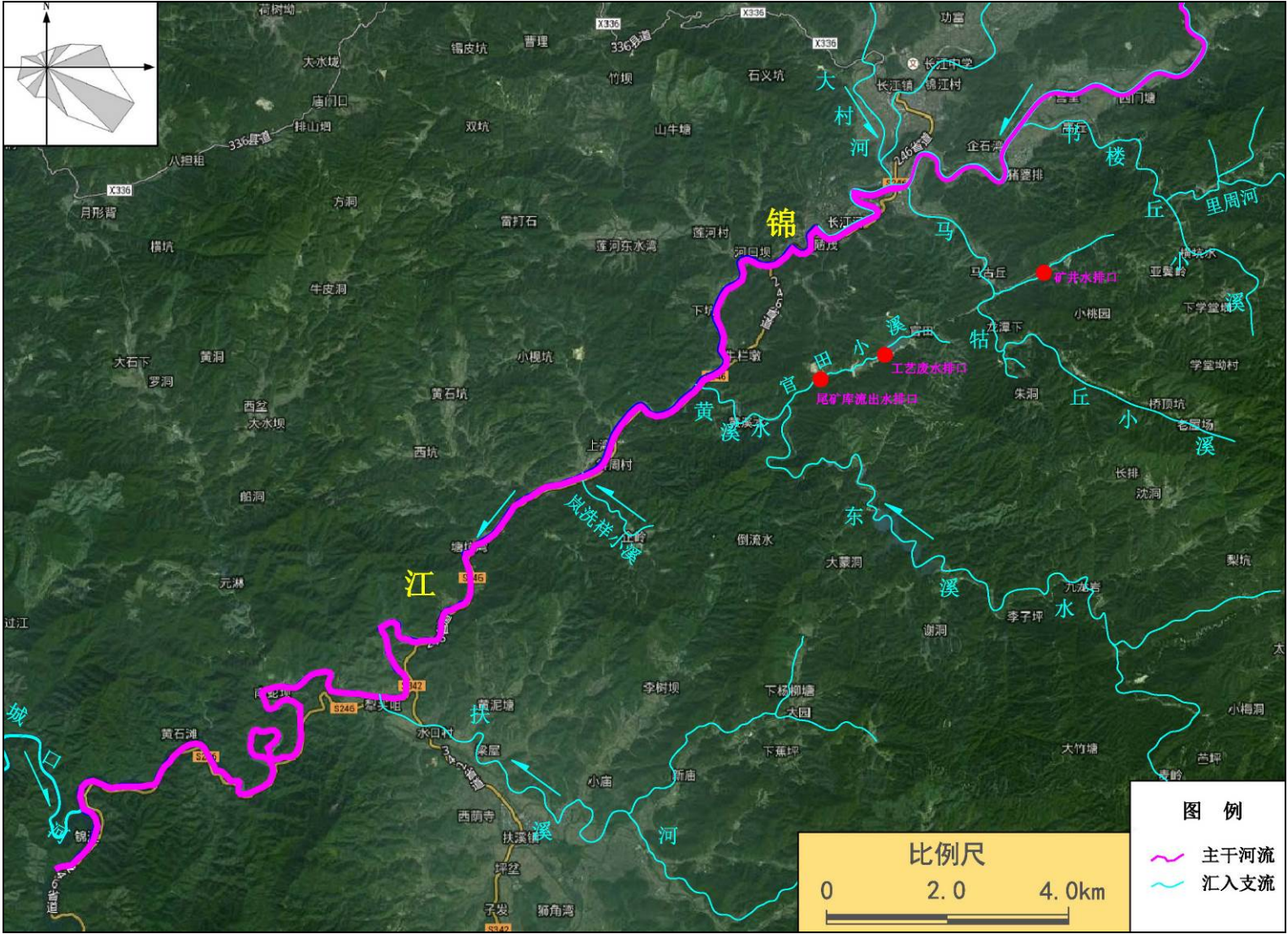


表 2.5-1 直接接纳水体主要水文参数

| 时间<br>水文参数 |                       | 1 月   | 2 月   | 3 月   | 4 月   | 5 月   | 6 月   | 7 月   | 8 月   | 9 月   | 10 月  | 11 月  | 12 月  |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 马牯丘小溪      | 流量, m <sup>3</sup> /s | 0.18  | 0.2   | 0.2   | 0.25  | 0.6   | 0.37  | 0.45  | 0.21  | 0.34  | 0.28  | 0.23  | 0.19  |
|            | 河宽, m                 | 1.02  | 1.02  | 1.11  | 1.67  | 2.2   | 2.9   | 3.81  | 1.95  | 3.15  | 2.6   | 2.13  | 1.11  |
|            | 流速, m/s               | 0.53  | 0.59  | 0.51  | 0.37  | 0.34  | 0.16  | 0.12  | 0.23  | 0.14  | 0.17  | 0.21  | 0.63  |
|            | 河深, m                 | 0.33  | 0.33  | 0.35  | 0.4   | 0.8   | 0.82  | 1     | 0.47  | 0.76  | 0.62  | 0.51  | 0.27  |
|            | 水力坡度, %               | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.3   | 1.0   | 0.6   | 0.8   | 0.4   | 0.6   | 0.5   | 0.4   | 0.2   |
| 官田小溪       | 流量, m <sup>3</sup> /s | 0.15  | 0.18  | 0.17  | 0.52  | 0.75  | 0.78  | 0.4   | 0.35  | 0.27  | 0.22  | 0.17  | 0.16  |
|            | 河宽, m                 | 1.31  | 1.57  | 1.48  | 4.53  | 6.53  | 6.79  | 3.48  | 3.05  | 2.35  | 1.91  | 1.48  | 1.39  |
|            | 流速, m/s               | 1.041 | 0.882 | 0.884 | 0.294 | 0.205 | 0.198 | 0.383 | 0.441 | 0.574 | 0.720 | 0.884 | 0.959 |
|            | 河深, m                 | 0.32  | 0.39  | 0.37  | 1.12  | 1.61  | 1.68  | 0.86  | 0.75  | 0.58  | 0.47  | 0.37  | 0.34  |
|            | 水力坡度, %               | 0.2   | 0.3   | 0.3   | 0.8   | 1.1   | 1.2   | 0.6   | 0.5   | 0.4   | 0.3   | 0.3   | 0.2   |

表 2.5-2 下游汇入河流水文参数

单位: m<sup>3</sup>/s

| 河流名称  | 月份 (月) |      |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |
|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
|       | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9     | 10    | 11   | 12   |
| 大村河   | 7.18   | 8.17 | 15.9 | 21.6 | 35.6 | 36.6 | 18.9 | 15.5 | 11.85 | 10.14 | 8.50 | 6.01 |
| 黄溪水   | 0.76   | 1.08 | 0.96 | 3.23 | 4.52 | 4.72 | 2.50 | 2.06 | 1.60  | 1.34  | 1.03 | 0.80 |
| 东溪水   | 0.61   | 0.9  | 0.79 | 2.71 | 3.77 | 3.94 | 2.1  | 1.71 | 1.33  | 1.12  | 0.86 | 0.64 |
| 岗洗祥小溪 | 0.76   | 1.08 | 0.96 | 3.23 | 4.52 | 3.72 | 1.50 | 1.88 | 1.60  | 1.34  | 1.03 | 0.80 |
| 扶溪河   | 0.76   | 1.08 | 1.96 | 3.23 | 3.52 | 6.53 | 4.14 | 2.75 | 1.24  | 0.33  | 0.42 | 1.12 |
| 城口河   | 1.34   | 2.40 | 4.38 | 7.15 | 3.92 | 6.52 | 4.00 | 2.93 | 1.24  | 0.31  | 0.40 | 1.14 |

表 2.5-3 废水排放口与下游汇入河流河道距离

单位: km

| 河流名称  | 矿井废水排放口 | 工艺废水排放口 | 尾矿库流出水排放口 |
|-------|---------|---------|-----------|
| 马牯丘小溪 | —       | —       | —         |
| 大村河   | 3.4     | —       | —         |
| 黄溪水   | 9.2     | —       | —         |
| 东溪水   | —       | 1.3     | 0.8       |
| 岗洗祥小溪 | 11.6    | 5.5     | 5         |
| 扶溪河   | 17.4    | 11.3    | 10.8      |
| 城口河   | 26.5    | 20.4    | 19.9      |

## 2.6 气候与气象

### 2.6.1 区域气候特征

745 矿所在地区属于中亚热带湿润型季风气候区，具有光热充足，雨量充沛，雨热同季，无霜期长的特征。春季阴雨天气多，阳光少，空气潮湿，天气多变；夏季雨水多，雷雨、洪涝、强风、高温活跃，强对流天气频繁；秋季雨水少，阳光普照，空气干燥，天气稳定；冬季，天气冷，早晚温差大，雨量少，霜日、冰冻、寒潮、低温天气经常出现，寒冷天气较多。

评价范围内多年平均日照时数为 1724.5h，年平均温度 19.7℃，极端最高气温 40.9℃，极端最低气温-4.8℃。全年无霜期 323 天，多年平均降雨量 1715mm，降雨多集中于 3~7 月，月平均最大降雨量为 290.9mm（6 月），最小为 42.0mm（11 月），平均年蒸发量为 1415mm，平均相对湿度 81%，平均大气压为 1001.98hPa。多年风频最大的风向为南风 and 东南风，多年平均风速 1.1m/s，极端最大风速达 32m/s。

### 2.6.2 气象

#### 1) 地面气象数据

距离本项目厂址最近的地面气象站为仁化站，该气象站站点编号为 57989。该气象站地理坐标为东经 113.763°、北纬 25.059°，距离棉花坑矿井直线距离约 30km，气象站所在地地理特征与本项目所在地基本一致。

本次评价采用的地面气象参数为仁化站 2022 年全年逐时数据，包括观测风向、风速、总云、低云、温度和降雨量。根据仁化气象站 2022 年气象数据，当地温度、风速的月平均变化情况见表 2.6-1 和图 2.6-1。全年和各季的风向变化见表 2.6-2，季小时平均风速的日变化情况见表 2.6-3。以此为依据绘制的 2022 年四季及全年风频玫瑰图见图 2.6-2。

由 2022 年全年气象数据统计结果可以看出，项目所在区域全年平均气温为 20.2℃，年均风速 1.4m/s，全年最大风频风向为 E~SE 方位，其风频之和为 30.9%，为当地主导风向。

#### 2) 高空气象数据

高空气象数据采用 WRF-ARW 方式模拟获得,模拟点坐标为东经 113.82°、北纬 25.17°, 模拟气象要素包括风、气压、温度等。

表 2.6-1 仁化站 2022 年温度、风速月平均变化

| 月份       | 1 月  | 2 月  | 3 月  | 4 月  | 5 月  | 6 月  |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 温度 (°C)  | 11.6 | 8.4  | 18.5 | 19.8 | 22.1 | 26.1 |
| 风速 (m/s) | 1.3  | 1.3  | 1.4  | 1.4  | 1.1  | 1.3  |
| 月份       | 7 月  | 8 月  | 9 月  | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
| 温度 (°C)  | 28.9 | 28.8 | 27.5 | 22.5 | 19.3 | 9.6  |
| 风速 (m/s) | 1.4  | 1.5  | 1.5  | 1.7  | 1.3  | 1.4  |

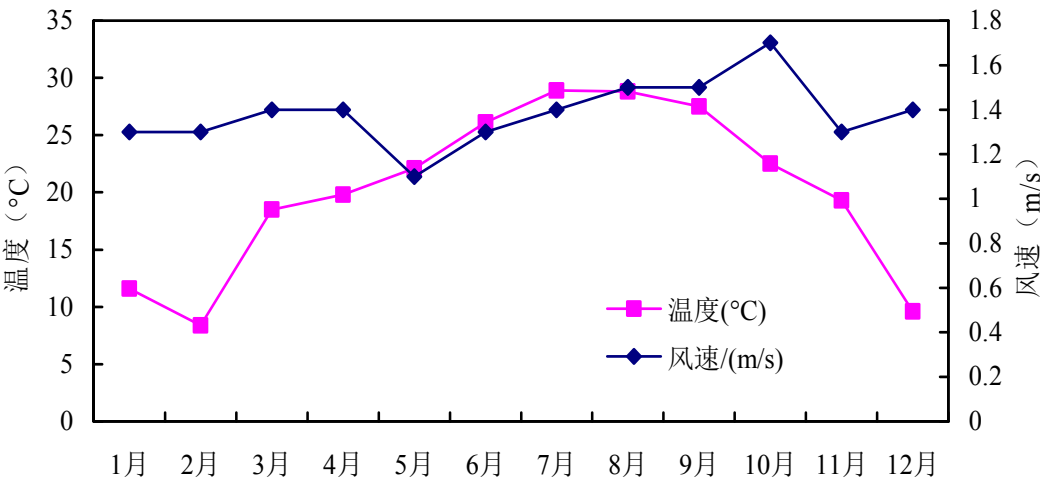


图 2.6-1 仁化站 2022 年温度、风速月平均变化图

表 2.6-2 各季及全年风向变化 单位：%

| 季节 | N   | NNE | NE  | ENE | E    | ESE  | SE   | SSE  | S   |
|----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|
| 春节 | 1.7 | 2.4 | 2.6 | 6.6 | 6.1  | 9.1  | 9.0  | 5.1  | 3.4 |
| 夏季 | 1.3 | 2.6 | 5.6 | 9.1 | 9.7  | 12.0 | 7.0  | 4.5  | 4.5 |
| 秋季 | 3.3 | 4.0 | 5.9 | 8.3 | 10.0 | 11.3 | 12.1 | 6.9  | 3.3 |
| 冬季 | 2.1 | 1.7 | 2.4 | 4.8 | 5.6  | 14.4 | 17.7 | 9.6  | 3.6 |
| 全年 | 2.1 | 2.7 | 4.1 | 7.2 | 7.8  | 11.7 | 11.4 | 6.5  | 3.7 |
| 季节 | SSW | SW  | WSW | W   | WNW  | NW   | NNW  | 静风   |     |
| 春节 | 4.8 | 5.3 | 6.4 | 4.3 | 4.3  | 1.9  | 1.6  | 25.4 |     |
| 夏季 | 6.0 | 5.0 | 4.6 | 3.5 | 2.8  | 1.9  | 1.3  | 18.7 |     |
| 秋季 | 2.4 | 2.1 | 2.9 | 2.4 | 3.5  | 2.8  | 3.0  | 15.9 |     |
| 冬季 | 2.7 | 2.3 | 2.6 | 3.0 | 3.4  | 2.0  | 2.0  | 20.1 |     |
| 全年 | 4.0 | 3.7 | 4.1 | 3.3 | 3.5  | 2.1  | 2.0  | 20.1 |     |



表 2.6-3 季小时平均风速日变化情况

单位: m/s

| 小时/h | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 春季   | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 1.4 | 1.7 | 1.9 |
| 夏季   | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 1.9 | 2.0 |
| 秋季   | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.0 |
| 冬季   | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.2 | 1.3 | 1.6 | 1.6 |
| 小时/h | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  |
| 春季   | 2.0 | 2.1 | 2.0 | 2.1 | 2.0 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 夏季   | 2.3 | 2.2 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 1.7 | 1.2 | 1.5 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 秋季   | 2.2 | 2.2 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 1.9 | 1.8 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| 冬季   | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |

## 2.7 土地和水体利用

### 2.7.1 土地利用

长江镇辖区面积 31300ha, 其中耕地面积 3102.8ha, 山林面积 25709.4ha, 森林覆盖率 83.3%。根据现场调查, 本项目周边 3km 范围内土地类型主要包括林地、农业用地及建设用地。其中, 林地为区内的主要土地类型; 建设用地及农业用地主要分布于锦江两岸, 以居民住宅用地、水田为主。

### 2.7.2 水体利用

仁化县水利资源丰富, 小水电已成为仁化县主要经济支柱之一。截至 2020 年底, 全县建成小水电站 257 座, 仁化县水利资源蕴藏量约 16 万 kW, 水电装机总量 17.53 万 kWh, 年发电量达 7.13 亿 kWh, 火电装机容量达 12 万 kWh, 年发电量可达 7.66 亿 kWh, 是全国首批初级电气化达标县。根据调查统计, 本项目周边, 锦江大村段上游约 400m 处有长江电站; 官田小溪与黄溪水交汇处上游有龙潭电站。

评价中心周边 5km 范围内的居民点中, 靠近长江镇的居民点使用长江镇集中供水; 其余居民点使用周边山泉水作为饮用水水源。农业灌溉用水主要取自锦江及周边溪流。

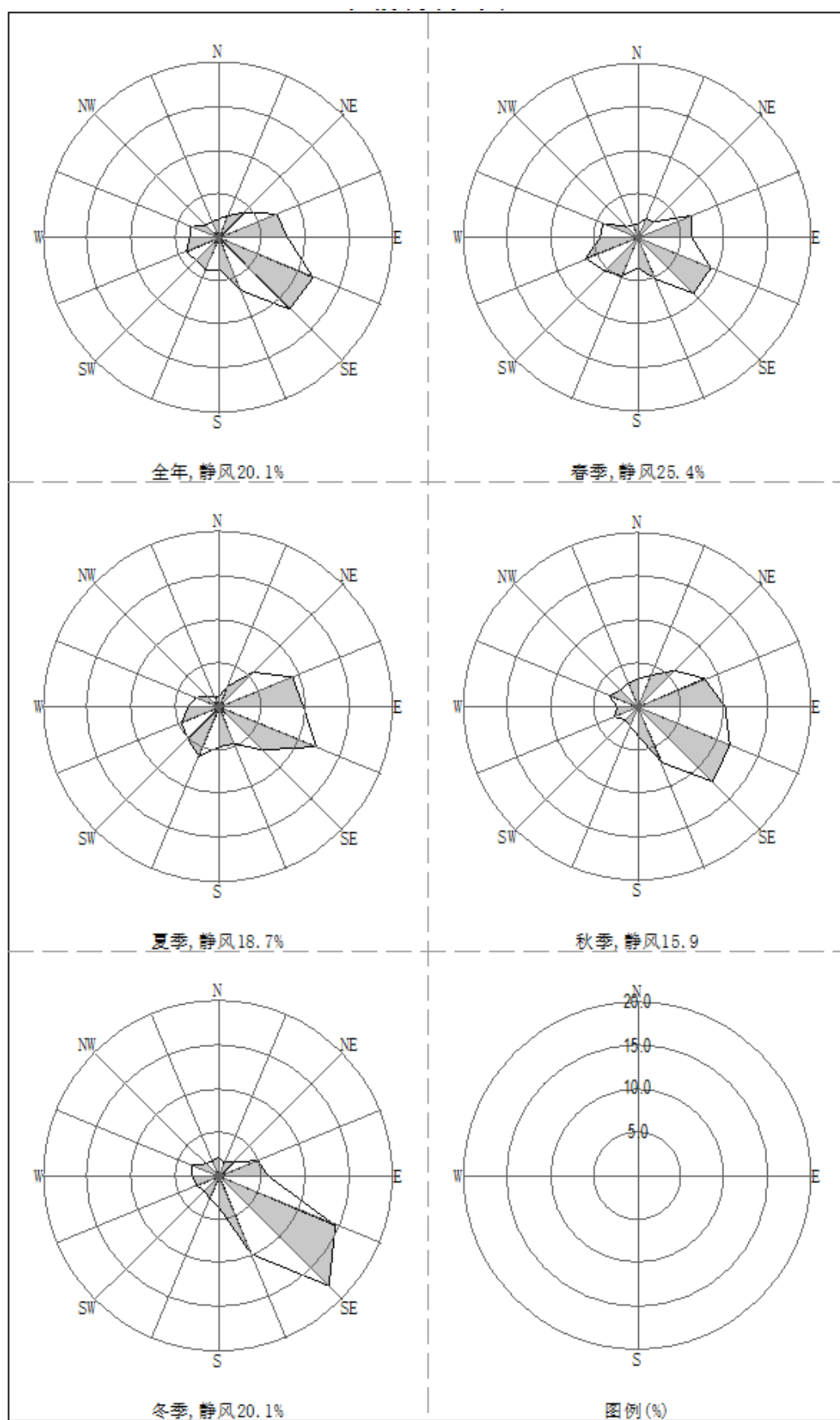


图 2.6-2 全年及四季风频玫瑰图

## 2.8 生态和资源开发利用

### 2.8.1 动植物资源

长江镇地处大庾岭南麓南岭山脉，山峦重叠，气候宜人，林深草密，动植物资源丰富，木本植物多达 476 种以上，特别是毛竹占全省首位。境内动植物品种繁多，分布有山牛、野猪、果子狸等野生动物，植被类型属亚热带常绿林，植物品种包括林木、果树、竹类、花卉、药材、菌类等。

### 2.8.2 土地及矿产资源

区域内矿产、水能、土地等资源很丰富，矿产有煤、铅、锡、硫铁矿、钨、钼、铀、铜等。可耕种土地 15.5 万亩，占总面积的 5.5%，可放牧的平山草坡 160km<sup>2</sup>，水能储量 9.18 万千瓦，已开发 3.54 万千瓦，占 38%。森林面积 160 万亩，毛竹 23 万亩，森林覆盖率为 63%，木材总蓄积量 64 万 m<sup>3</sup>。

### 2.8.3 生态敏感目标分布情况

棉花坑矿井及相关设施北部有粤北华南虎省级自然保护区。该保护区成立于 1990 年，保护区分为乐昌沙盘（西片）和仁化长江（北片）两个片区，总面积 16360.8hm<sup>2</sup>。其中仁化长江片区地理坐标为东经 113°49'26"~114°02'31"，北纬 25°19'50"~25°27'25"，面积 11065.1hm<sup>2</sup>。本项目拟使用的相关设施（书楼丘废石场）距粤北华南虎省级自然保护区试验区边界最近约 1.9km，距本次评价中心北翼回风井约 2.7km（见图 2.8-1）。

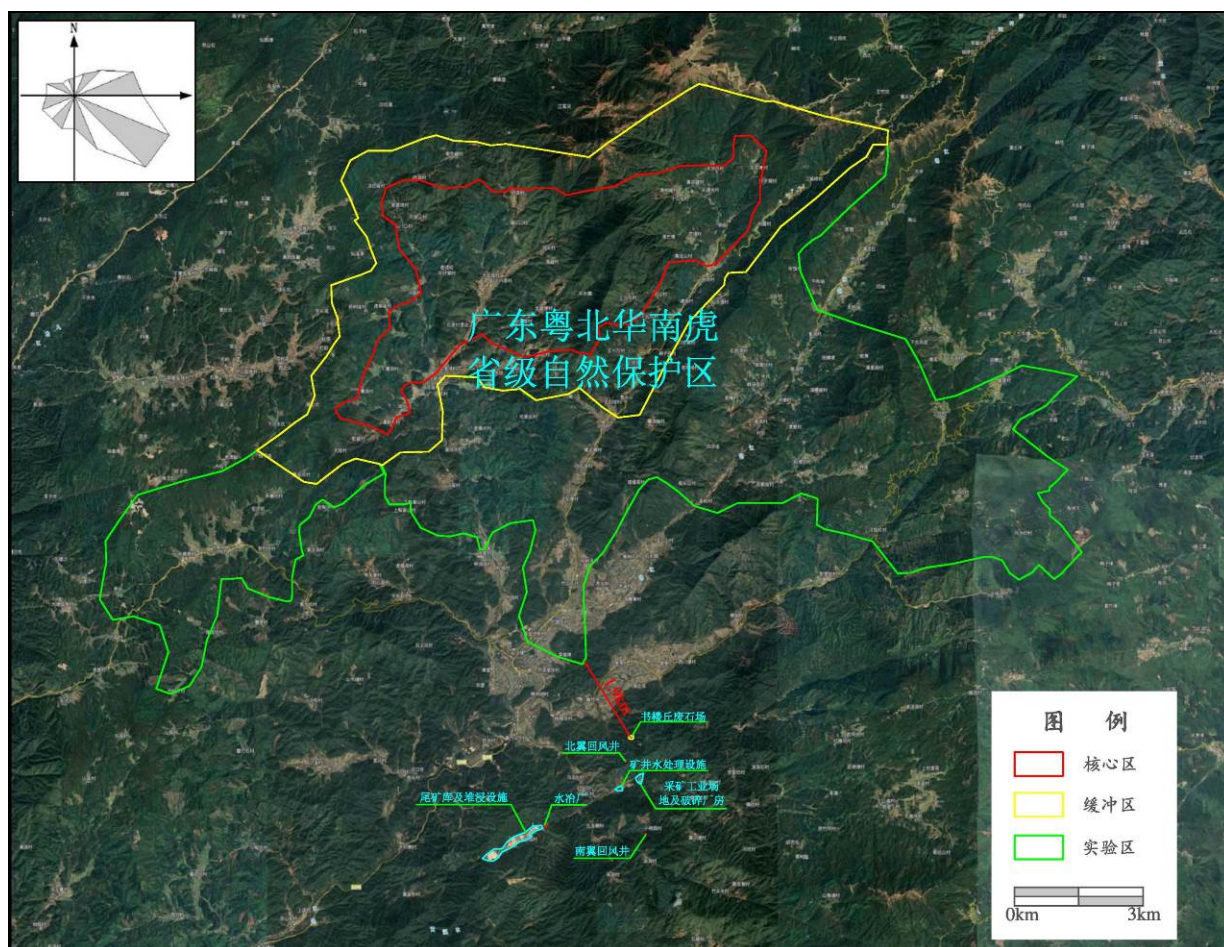


图 2.8-1 本项目与粤北华南虎省级自然保护区位置关系

## 2.9 产业政策与“三线一单”情况

### 2.9.1 产业政策符合分析

本项目属于铀矿采冶项目，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号），本项目不属于产业政策指导目录规定的限制类和淘汰类项目，属于鼓励类“六、核能”中“1、铀矿地质勘查和铀矿采冶、铀精制、铀转化”，符合我国现行产业政策。

### 2.9.2 “三线一单”符合性分析

#### 2.9.2.1 与《韶关市“三线一单”生态环境分区管控方案》的符合性

根据《韶关市“三线一单”生态环境分区管控方案》（韶府〔2021〕10 号），韶关市共划定环境综合管控单元 88 个，包括优先保护单元、重点管控单元、一般管控单元三类。

优先保护单元：39 个，以维护生态系统功能为主，包括生态红线、饮用

水水源保护区、环境空气质量一类功能区等区域，含盖以南岭、南水水库、丹霞山、车八岭等重要自然保护地为主的生物多样性保护极重要区域，与全市生态安全格局基本吻合。该区域依法禁止或限制大规模、高强度的工业和城镇建设，严守生态环境质量底线，确保生态功能不降低，在功能受损的优先保护单元优先开展生态保护修复活动，恢复生态系统服务功能；

重点管控单元：31 个，涉及水、大气等要素重点管控的区域，主要包括工业集聚、人口集中和环境质量超标区域等，该区域应优化空间布局，加强污染物排放控制和环境风险防控，不断提升资源利用效率，解决生态环境质量不达标、生态环境风险高等问题；

一般管控单元：18 个，涉及优先保护单元和重点管控单元之外的其他区域，该区域应落实生态环境保护基本要求。

根据本项目所在地位置与管控分区图叠图分析，本项目位于“16 仁化县丹霞山街道、红山、石塘、董塘、城口、扶溪、长江镇优先保护单元”和“56 广东仁化县产业转移工业园重点管控单元”（尾矿库部分）（见图 2.9-1）。以上单元管控要求见表 2.9-1。本项目不新增占地，对比项目所在管控单元的管控要求可以看出，本项目不属于禁止类、限制类项目，满足管控要求。



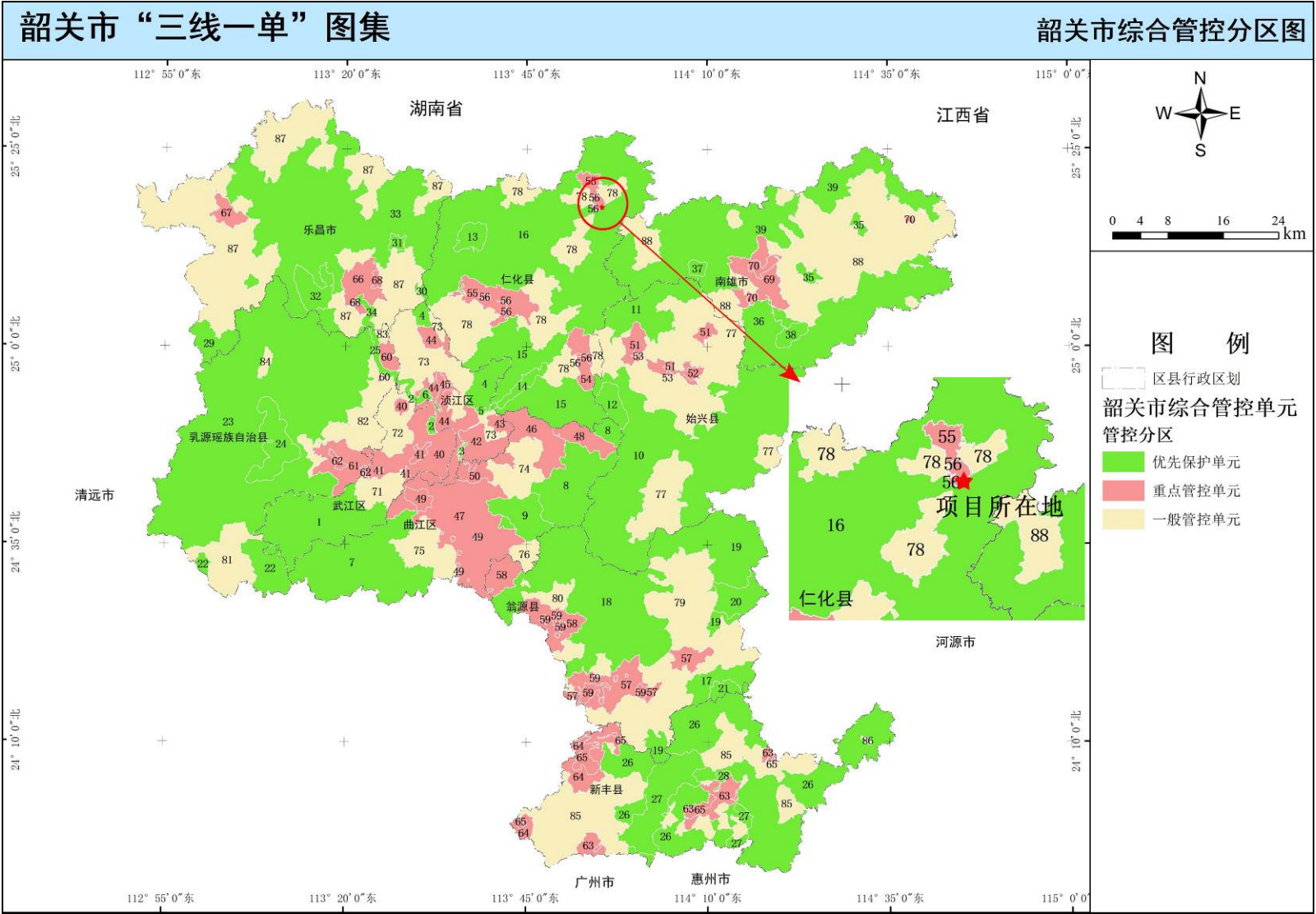


图 2.9-1 项目所在地生态管控单元



表 2.9-1 与所在单元管控要求相符性分析

| 16 仁化县丹霞山街道、红山、石塘、董塘、城口、扶溪、长江镇优先保护单元 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                     |    |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 管控维度                                 | 管控要求                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 相符性分析                                                                                                               |    |
| 区域布局<br>管控                           | <p>1-1.【生态/禁止类】生态保护红线内，自然保护区核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。</p> <p>1-2.【生态/限制类】单元内一般生态空间，加强生态保护与恢复，恢复与重建水源涵养区森林、湿地等生态系统，提高生态系统的水源涵养能力。原则上禁止在 25 度以上的陡坡地开垦种植农作物，禁止在崩塌、滑坡危险区、泥石流易发区从事采石、取土、采砂等可能造成水土流失的活动。禁止从事非法猎捕、毒杀、采伐、采集野生动植物等活动，禁止破坏野生动物栖息地。一般生态空间内的人工商品林，允许依法进行抚育采伐、择伐和树种更新等经营活动。一般生态空间内可进行已纳入市级及以上矿产资源开发利用规划采矿权与探矿权的新设、延续，新设和延续的矿山应满足绿色矿山的相关要求。一般生态空间的风电项目须符合省级及以上的开发利用规划，光伏发电项目应满足土地使用的相关要求。</p> <p>1-3.【生态/禁止类】单元涉及华南虎省级自然保护区仁化长江片、广东仁化高坪省级自然保护区、仁化斯鸡山县级自然保护区，禁止在自然保护区内进行砍伐、放牧、狩猎、捕捞、采药、开垦、烧荒、开矿、采石、挖沙等活动；法律、行政法规另有规定的除外。</p> <p>1-4.【生态/禁止类】单元涉及仁化渐溪湖湿地公园，除国家另有规定外，湿地公园内禁止下列行为：开（围）垦、填埋或者排干湿地；截断湿地水源；挖沙、采矿；倾倒有毒有害物质、废弃物、垃圾；从事房地产、度假村、高尔夫球场、风力发电、光伏发电等任何不符合主体功能定位的建设项目和开发活动；破坏野生动物栖息地和迁徙通道、鱼类洄游通道，滥采滥捕野生动植物；引入外来物种；擅自放牧、捕捞、取土、取水、排污、放生、其他破坏湿地及其生态功能的活动。</p> <p>1-5.【大气/禁止类】大气环境优先保护区内，禁止新建、扩建大气污染物排放的工业项目（不纳入环评管理的项目除外）。</p> | <p>本项目不新增占地，不在生态保护红线内，项目建设不会造成生态破坏；项目不在华南虎省级自然保护区仁化长江片、广东仁化高坪省级自然保护区、仁化斯鸡山县级自然保护区范围内，不涉及仁化渐溪湖湿地公园。不在大气环境优先保护区内。</p> | 符合 |

表 2.9-1 与所在单元管控要求相符性分析

| 56 广东仁化县产业转移工业园区重点管控单元 |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                    |    |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----|
| 管控维度                   | 管控要求                                                                                                                                                                                                                                                                           | 相符性分析                                              |    |
| 区域布局<br>管控             | 1-1.【产业/鼓励引导类】园区重点发展先进材料产业（有色金属新材料），包括铅锌深加工、有色金属深加工、金属回收加工、稀贵金属深加工等产业，适度发展现代轻工产业（竹木家具）。<br>1-2.【产业/限制类】严格限制不符合园区发展定位的项目入驻。<br>1-3.【产业/禁止类】园区禁止引入专业电镀、化学制浆、漂染、鞣革等水污染物排放量大的项目。<br>1-4.【产业/综合类】居民区、学校等环境敏感点邻近地块优先布局废气排放量小、工业噪声影响小的产业。                                             | 锦原公司尾矿库及水冶设施位于该管控单元，其周边没有居民点分布，尾矿库运行不增加重金属污染物排放总量。 | 符合 |
| 能源资源<br>利用             | 2-1.【能源/鼓励引导类】园区内能源结构应以电能、燃气等清洁能源为主。<br>2-2.【资源/鼓励引导类】提高园区土地资源利用效益和水资源利用效率。<br>2-3.【其他/综合类】有行业清洁生产标准的新引进项目清洁生产水平须达到本行业国内先进水平。                                                                                                                                                  |                                                    |    |
| 污染物排放<br>管控            | 3-1.【水、大气/限制类】园区各项污染物排放总量不得突破园区规划环评核定的污染物排放总量管控要求。<br>3-2.【水/限制类】新建、改建、扩建增加重金属污染物排放总量的建设项目应通过实施“区域削减”，实现增产减污。铅锌工业废水中总锌、总铅、总镉、总汞、总砷、总镍、总铬执行《铅、锌工业污染物排放标准》（GB 25466-2010）特别排放限值。<br>3-3.【大气/限制类】新建项目原则上实施氮氧化物、挥发性有机物排放量等量替代。<br>3-4.【其它/鼓励引导类】支持危险废物专业收集转运和利用处置单位建设区域性收集网点和贮存设施。 |                                                    |    |
| 环境风险<br>防控             | 4-1.【风险/综合类】园区内生产、使用、储存危险化学品的项目应设置足够容积的事故应急池，园区应制定环境风险事故防范和应急预案，建立健全企业、园区和市政三级事故应急体系，落实有效的事故风险防范和应急措施，有效防范污染事故发生，并避免发生事故对周围环境造成污染，确保环境安全。园区污染处理厂设置足够容积的事故应急池，纳污水体设置水质监控断面，发现问题，及时采取限制废水排放等措施。                                                                                  | 本项目硫酸罐区设有围堰，锦原公司编制有完备的事故应急预案。                      | 符合 |

### 2.9.2.2 “三线一单”符合性分析

#### (1) 生态保护红线符合性

本项目建设地点位于棉花坑矿井现有生产设施范围内，不新增占地，项目建设用地不在生态红线范围内（见附件三），符合生态红线的要求。

#### (2) 资源利用上线符合性

本项目建设运行过程中，主要资源消耗有水、土地、能源（电能）。本项目不涉及新建设施，不新增占地；棉花坑矿井运行多年，周边和矿区内建有完善的供配电设施可满足本项目用电需求，且本项目现有和扩建项目不涉及高耗电设备。本项目建成后水冶工艺不发生变化，淋浸剂、淋洗剂采用矿井水和吸附尾液进行配置，从而减少了水量的消耗；且本项目不新增劳动定员，不新增生活用水量。因此，本项目水、电、土地资源使用符合资源配置要求，总体符合资源利用上线的要求。

#### (3) 环境质量底线符合性

根据《仁化县 2022 年政府工作报告》，2022 年仁化县空气质量优良天数比例为 99.2%，空气质量六项指标均达到国家二级标准；境内 2 条主要河流，2 个国省级控（考）断面水质达标比例为 100%。

本项目所在区域环境空气质量属于二类功能区，地下水属于 III 类功能区，声环境属于 2 类功能区。根据对现有工程的监测，在矿山开采、水冶过程中污染物能够实现达标排放；本项目施工期采取相应的措施对污染物进行处理，运行期污染物处理排放依托现有的设施，均可实现达标排放；且本项目不涉及重大危险源。由此可以看出，本项目施工及运行后产生的各类污染物均能实现达标排放，可维持区域的环境质量等级，本项目的建设符合环境质量底线要求。

#### (4) 生态环境准入清单符合性

本项目对照《韶关市“三线一单”生态环境分区管控方案》（韶府〔2021〕10 号），附件 4《韶关市生态环境管控单元准入清单》，本项目不在“16 仁化县丹霞山街道、红山、石塘、董塘、城口、扶溪、长江镇优先保护单元”和“56 广东仁化县产业转移工业园重点管控单元”管控要求中所列的限制类和禁止类清单中，故满足环境准入清单的要求。

综上所述，本项目建设符合“三线一单”的要求。

## 2.10 社会环境

### 2.10.1 社会经济

根据《仁化县 2021 年国民经济和社会发展统计公报》，2021 年仁化县实现地区生产总值 111.43 亿元，比 2020 年增长 8.1%，其中，第一产业增加值 23.698 亿元，增长 5.4%；第二产业增加值 45.35 亿元，增长 10.5%；第三产业增加值 42.38 亿元，增长 7.3%。人均地区生产总值 59965 元，比上年增长 8.2%。第一、二、三产业对经济增长的贡献率分别为 15.4%、48.9%、35.7%。

### 2.10.2 人口分布

#### 2.10.2.1 人口概况

2021 年末，仁化县全县户籍人口数 24.3 万人，其中：城镇人口 8.76 万人，占 36.1%；乡村人口 15.51 万人，占 63.9%；按性别划分，男性人口 12.47 万人，占 51.4%；女性人口 11.79 万人，占总人口比重的 48.6%。户籍人口城镇化率为 36.1%。按照年龄组划分，0~17 岁户籍人口比重为 24.0%，18~59 岁户籍人口比重为 60.2%，60 岁及以上户籍人口比重为 15.8%

全县全年出生人口 1464 人，出生率 7.58‰；死亡人口 1419 人，死亡率 7.35‰；人口自然增长率 0.23‰。

结合《仁化县 2021 年国民经济和社会发展统计公报》以及现场勘查情况，评价区域内各年龄组人口年龄结构约为：婴儿 1.9%、幼儿 10.2%、少年 17.6%、成人 70.3%。

#### 2.10.2.2 自然增长率

2017 年~2021 年《仁化县国民经济和社会发展统计公报》中人口自然增长率数据如表 2.10-1 所示；本项目取近 3 年（2019~2021 年）人口自然增长率均值 4.05‰作为预测参数。

表 2.10-1 仁化县 2017~2021 年人口自然增长率

| 年份         | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|------------|------|------|------|------|------|
| 人口自然增长率（‰） | 8.63 | 5.77 | 3.63 | 1.98 | 0.23 |

### 2.10.2.3 评价中心 5km 人口分布

根据 2022 年现场调查，以棉花坑矿井北翼回风井为评价中心，本项目周边 5km 范围内主要居民点分布及人口统计情况见表 2.10-2，居民点分布情况见图 2.10-1。

距离棉花坑矿井及锦原铀业水冶设施最近的居民点为油洞村，距离其最近的设施为棉花坑矿井南翼回风井，两者之间的距离为 520m，满足《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020）中铀矿冶设施与居民区最小间隔距离不小于 300m。

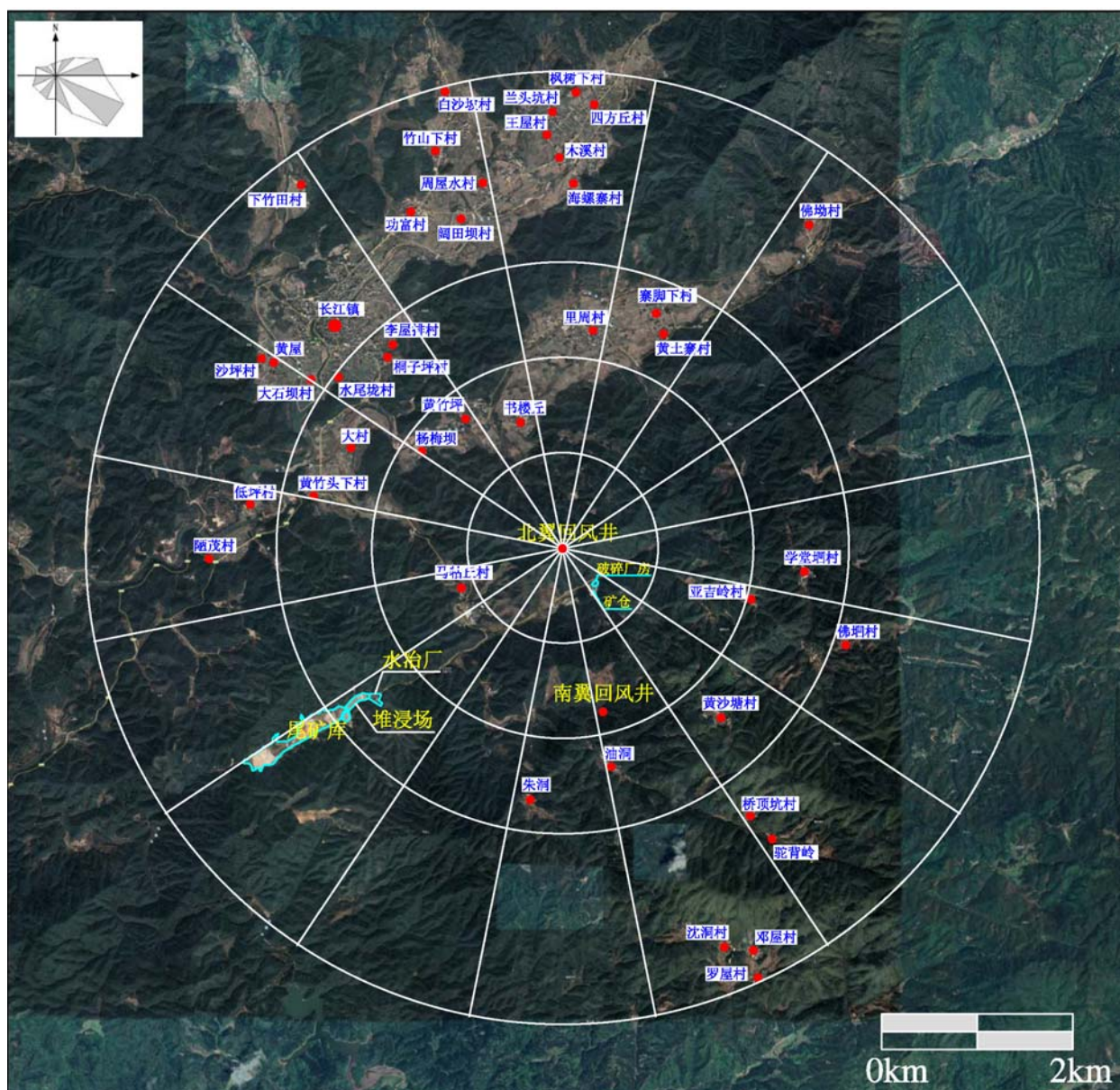


图 2.10-1 评价中心 5km 人口分布

表 2.10-2 评价中心 5km 范围内居民点分布情况（2022 年）

| 序号 | 居民点  | 方位  | 距离（km） | 人口数（人） |
|----|------|-----|--------|--------|
| 1  | 书楼丘  | NNW | 1.38   | 279    |
| 2  | 马牯丘村 | WSW | 1.11   | 245    |
| 3  | 杨梅坝  | NW  | 1.77   | 159    |
| 4  | 黄竹坪  | NW  | 1.69   | 155    |
| 5  | 里周村  | N   | 2.29   | 467    |
| 6  | 寨脚下村 | NNE | 2.65   | 205    |
| 7  | 黄土寨村 | NNE | 2.47   | 181    |
| 8  | 亚吉岭村 | ESE | 2.04   | 180    |
| 9  | 学堂垌村 | E   | 2.51   | 195    |
| 10 | 黄沙塘村 | SE  | 2.40   | 75     |
| 11 | 油洞   | SSE | 2.35   | 329    |
| 12 | 朱洞   | S   | 2.66   | 301    |
| 13 | 黄竹头下 | WNW | 2.67   | 127    |
| 14 | 大村   | WNW | 2.47   | 342    |
| 15 | 水尾垌村 | NW  | 2.95   | 130    |
| 16 | 桐子坪村 | NW  | 2.69   | 302    |
| 17 | 李屋排村 | NW  | 2.75   | 318    |
| 18 | 功富村  | NNW | 3.85   | 296    |
| 19 | 阔田坝村 | NNW | 3.63   | 206    |
| 20 | 周屋水村 | NNW | 3.93   | 415    |
| 21 | 竹山下村 | NNW | 4.36   | 208    |
| 22 | 白沙坡村 | NNW | 4.90   | 330    |
| 23 | 海螺寨村 | N   | 3.81   | 85     |
| 24 | 木溪村  | N   | 4.07   | 106    |
| 25 | 王屋村  | N   | 4.33   | 98     |
| 26 | 兰头坑村 | N   | 4.56   | 151    |
| 27 | 枫树下村 | N   | 4.76   | 55     |
| 28 | 四方丘村 | N   | 4.66   | 208    |
| 29 | 佛坳村  | NE  | 4.28   | 222    |
| 30 | 佛垌村  | ESE | 3.14   | 65     |
| 31 | 桥顶坑村 | SE  | 3.46   | 82     |
| 32 | 驼背岭  | SE  | 3.75   | 61     |



| 序号 | 居民点  | 方位  | 距离 (km) | 人口数 (人) |
|----|------|-----|---------|---------|
| 33 | 沈洞村  | SSE | 4.51    | 192     |
| 34 | 邓屋村  | SSE | 4.61    | 216     |
| 35 | 罗屋村  | SSE | 4.93    | 220     |
| 36 | 晒茂村  | W   | 3.67    | 141     |
| 37 | 低坪村  | W   | 3.30    | 159     |
| 38 | 沙坪村  | WNW | 3.70    | 165     |
| 39 | 黄屋   | WNW | 3.52    | 208     |
| 40 | 大石坝村 | NW  | 3.11    | 201     |
| 41 | 下竹田村 | NW  | 4.66    | 98      |
| 42 | 长江镇  | NW  | 3.31    | 3760    |

#### 2.10.2.4 20km 评价范围内人口

本项目 20km 评价范围内人口分布情况见图 2.10-2；20km 内各评价子区人口（2022 年）分布见表 2.10-3。

本项目预计 2024 年开始施工，施工期 4 年，预计 2028 年投入运行。2028 年各评价子区人口预测以 2022 年人口数为基础，利用马尔萨斯人口计算模型：

$$N = N_0 e^{r \cdot t} \quad (\text{式 2.10-1})$$

式中：N……预期人口数（人）；

$N_0$ ……现有人口数（人）；

$r$ ……预测时段保守人口增长率；

$t$ ……N 与  $N_0$  之间的时间间隔（年）。

以此计算的 2028 年各评价子区人口分布情况见表 2.10-4。

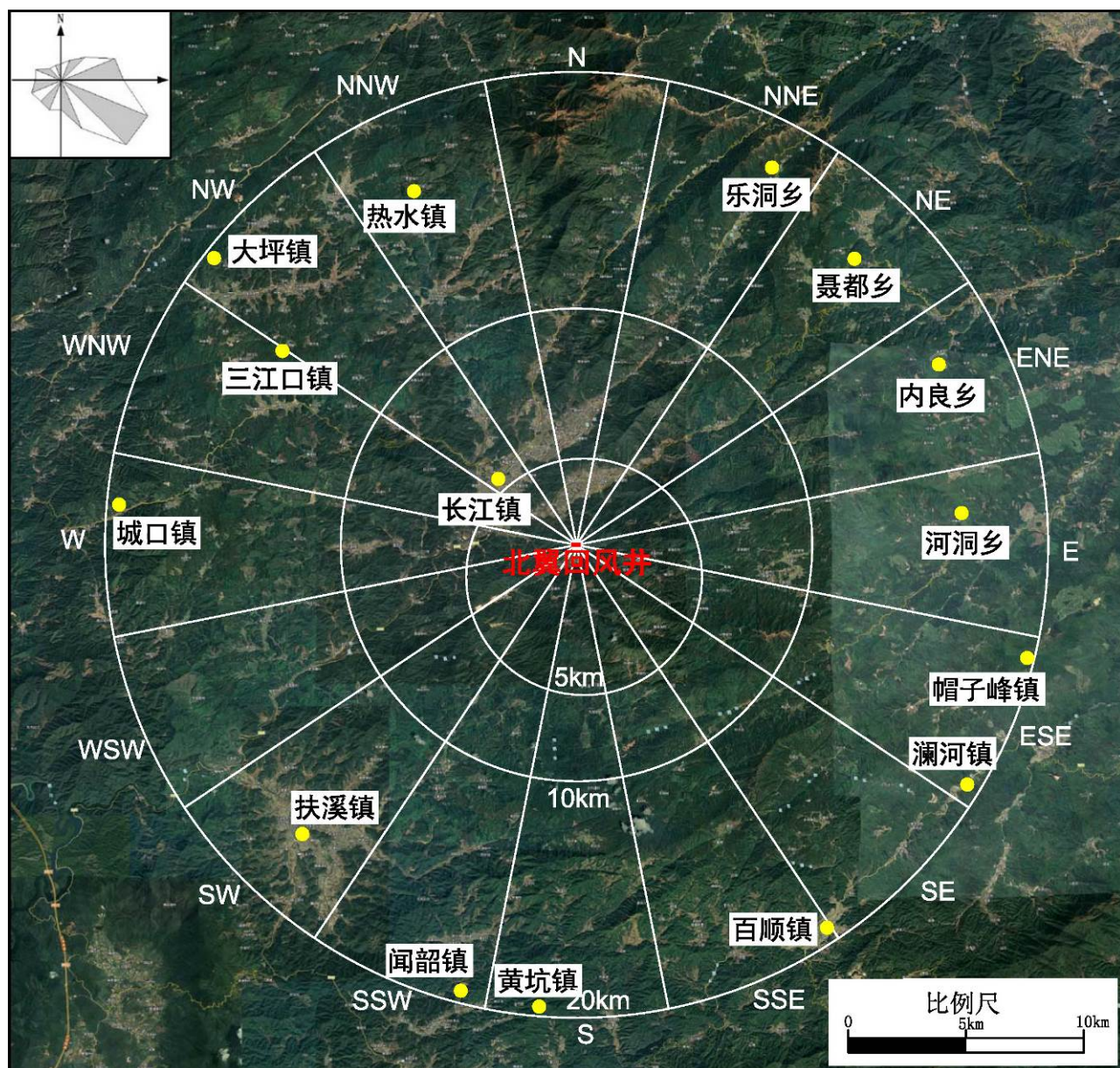


图 2.10-2 评价中心 20km 人口分布

表 2.10-3 评价中心 20km 范围内各子区人口分布（2022 年）

| 半径      | 年龄组 | N    | NNE  | NE  | ENE  | E   | ESE  | SE   | SSE  | S    | SSW  | SW   | WSW | W    | WNW  | NW   | NNW  |
|---------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 0~1km   | 婴儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|         | 幼儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|         | 少年  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|         | 成人  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 1~2km   | 婴儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 5   | 0    | 0    | 6    | 5    |
|         | 幼儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 25  | 0    | 0    | 32   | 28   |
|         | 少年  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 43  | 0    | 0    | 55   | 49   |
|         | 成人  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 172 | 0    | 0    | 221  | 196  |
| 2~3km   | 婴儿  | 9    | 7    | 0   | 0    | 4   | 3    | 1    | 6    | 6    | 0    | 0    | 0   | 0    | 9    | 14   | 0    |
|         | 幼儿  | 48   | 39   | 0   | 0    | 20  | 18   | 8    | 34   | 31   | 0    | 0    | 0   | 0    | 48   | 77   | 0    |
|         | 少年  | 82   | 68   | 0   | 0    | 34  | 32   | 13   | 58   | 53   | 0    | 0    | 0   | 0    | 83   | 132  | 0    |
|         | 成人  | 328  | 271  | 0   | 0    | 137 | 127  | 53   | 231  | 212  | 0    | 0    | 0   | 0    | 330  | 527  | 0    |
| 3~5km   | 婴儿  | 13   | 0    | 4   | 0    | 0   | 1    | 3    | 12   | 0    | 0    | 0    | 0   | 6    | 7    | 77   | 28   |
|         | 幼儿  | 72   | 0    | 23  | 0    | 0   | 7    | 15   | 64   | 0    | 0    | 0    | 0   | 31   | 38   | 414  | 148  |
|         | 少年  | 124  | 0    | 39  | 0    | 0   | 11   | 25   | 111  | 0    | 0    | 0    | 0   | 53   | 66   | 714  | 256  |
|         | 成人  | 494  | 0    | 156 | 0    | 0   | 46   | 101  | 441  | 0    | 0    | 0    | 0   | 211  | 262  | 2853 | 1023 |
| 5~10km  | 婴儿  | 39   | 10   | 18  | 26   | 7   | 24   | 9    | 5    | 5    | 6    | 17   | 4   | 18   | 13   | 15   | 42   |
|         | 幼儿  | 210  | 52   | 98  | 138  | 38  | 131  | 47   | 26   | 28   | 31   | 91   | 19  | 98   | 67   | 80   | 225  |
|         | 少年  | 363  | 89   | 170 | 238  | 65  | 225  | 80   | 45   | 49   | 54   | 157  | 33  | 170  | 116  | 138  | 389  |
|         | 成人  | 1448 | 356  | 678 | 949  | 259 | 900  | 321  | 179  | 195  | 214  | 626  | 134 | 678  | 463  | 552  | 1552 |
| 10~20km | 婴儿  | 10   | 68   | 20  | 57   | 13  | 65   | 37   | 87   | 30   | 85   | 101  | 18  | 30   | 88   | 90   | 78   |
|         | 幼儿  | 55   | 366  | 108 | 308  | 70  | 349  | 200  | 465  | 159  | 458  | 541  | 96  | 159  | 471  | 481  | 417  |
|         | 少年  | 94   | 632  | 186 | 531  | 121 | 603  | 346  | 803  | 275  | 790  | 933  | 166 | 275  | 813  | 829  | 719  |
|         | 成人  | 377  | 2524 | 742 | 2120 | 483 | 2408 | 1381 | 3206 | 1097 | 3156 | 3726 | 664 | 1097 | 3248 | 3313 | 2872 |

表 2.10-4 评价中心 20km 范围内各子区人口分布（2048 年）

| 半径      | 年龄组 | N    | NNE  | NE  | ENE  | E   | ESE  | SE   | SSE  | S    | SSW  | SW   | WSW | W    | WNW  | NW   | NNW  |
|---------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 0~1km   | 婴儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|         | 幼儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|         | 少年  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|         | 成人  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 1~2km   | 婴儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 6   | 0    | 0    | 7    | 6    |
|         | 幼儿  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 30  | 0    | 0    | 39   | 34   |
|         | 少年  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 52  | 0    | 0    | 66   | 59   |
|         | 成人  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 207 | 0    | 0    | 266  | 236  |
| 2~3km   | 婴儿  | 11   | 8    | 0   | 0    | 5   | 4    | 1    | 7    | 7    | 0    | 0    | 0   | 0    | 11   | 17   | 0    |
|         | 幼儿  | 58   | 47   | 0   | 0    | 24  | 22   | 10   | 41   | 37   | 0    | 0    | 0   | 0    | 58   | 93   | 0    |
|         | 少年  | 99   | 82   | 0   | 0    | 41  | 39   | 16   | 70   | 64   | 0    | 0    | 0   | 0    | 100  | 159  | 0    |
|         | 成人  | 395  | 326  | 0   | 0    | 165 | 153  | 64   | 278  | 255  | 0    | 0    | 0   | 0    | 398  | 635  | 0    |
| 3~5km   | 婴儿  | 16   | 0    | 5   | 0    | 0   | 1    | 4    | 14   | 0    | 0    | 0    | 0   | 7    | 8    | 93   | 34   |
|         | 幼儿  | 87   | 0    | 28  | 0    | 0   | 8    | 18   | 77   | 0    | 0    | 0    | 0   | 37   | 46   | 499  | 178  |
|         | 少年  | 149  | 0    | 47  | 0    | 0   | 13   | 30   | 134  | 0    | 0    | 0    | 0   | 64   | 80   | 860  | 308  |
|         | 成人  | 595  | 0    | 188 | 0    | 0   | 55   | 122  | 531  | 0    | 0    | 0    | 0   | 254  | 316  | 3437 | 1232 |
| 5~10km  | 婴儿  | 47   | 12   | 22  | 31   | 8   | 29   | 11   | 6    | 6    | 7    | 20   | 5   | 22   | 16   | 18   | 51   |
|         | 幼儿  | 253  | 63   | 118 | 166  | 46  | 158  | 57   | 31   | 34   | 37   | 110  | 23  | 118  | 81   | 96   | 271  |
|         | 少年  | 437  | 107  | 205 | 287  | 78  | 271  | 96   | 54   | 59   | 65   | 189  | 40  | 205  | 140  | 166  | 469  |
|         | 成人  | 1745 | 429  | 817 | 1143 | 312 | 1084 | 387  | 216  | 235  | 258  | 754  | 161 | 817  | 558  | 665  | 1870 |
| 10~20km | 婴儿  | 12   | 82   | 24  | 69   | 16  | 78   | 45   | 105  | 36   | 102  | 122  | 22  | 36   | 106  | 108  | 94   |
|         | 幼儿  | 66   | 441  | 130 | 371  | 84  | 420  | 241  | 560  | 192  | 552  | 652  | 116 | 192  | 567  | 580  | 502  |
|         | 少年  | 113  | 761  | 224 | 640  | 146 | 726  | 417  | 967  | 331  | 952  | 1124 | 200 | 331  | 979  | 999  | 866  |
|         | 成人  | 454  | 3041 | 894 | 2554 | 582 | 2901 | 1664 | 3863 | 1322 | 3802 | 4489 | 800 | 1322 | 3913 | 3991 | 3460 |

### 2.10.3 居民饮食结构及评价相关参数

#### 2.10.3.1 饮食结构及气载途径计算参数

评价区域内居民主食以大米为主，副食有猪肉、鸡蛋、草鱼及各种蔬菜等，水果以桔子、橙子、西瓜为主。根据对矿床周围居民点实地调查结果，确定评价区域内人群主要食谱及食物消费量见表 2.10-5。评价采用的气载途径相关参数见表 2.10-6。

表 2.10-5 各年龄组对食物的消费量（kg/a）及自给份额

| 食物种类          |      | 谷物   | 蔬菜   | 水果  | 牛肉  | 猪肉   | 家禽   | 蛋    | 奶   |
|---------------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|
| 消费量<br>(kg/a) | 婴儿   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0   |
|               | 幼儿   | 83   | 55   | 12  | 1.5 | 10   | 6    | 7    | 10  |
|               | 少年   | 145  | 90   | 25  | 3   | 25   | 13   | 10   | 8   |
|               | 成人   | 210  | 120  | 20  | 4   | 30   | 18   | 9    | 5   |
| 自给份额          |      | 0.95 | 0.98 | 0.5 | 1   | 0.95 | 0.98 | 0.95 | 0.1 |
| 贮存时间<br>(d)   | 最大个人 | 30   | 1    | 2   | 2   | 1    | 1    | 1    | 1   |
|               | 平均个人 | 180  | 3    | 30  | 15  | 15   | 5    | 10   | 2   |
| 生长期 (d)       |      | 120  | 90   | 180 | —   | —    | —    | —    | —   |

表 2.10-6 与农作物有关的参数

| 动物产品种类       | 牛   | 猪   | 家禽   | 蛋    | 奶   |
|--------------|-----|-----|------|------|-----|
| 饲料消费量 (kg/d) | 10  | 3   | 0.25 | 0.25 | 10  |
| 饲料贮存时间 (d)   | 10  | 5   | 1    | 1    | 10  |
| 放牧季节鲜草份额     | 1   | 1   | 1    | 1    | 1   |
| 放牧季节时间份额     | 0.8 | 0.8 | 0.8  | 0.8  | 0.8 |
| 牧草生长期 (d)    | 30  | 30  | 30   | 30   | 30  |
| 饲料生长期 (d)    | 100 | 100 | 100  | 100  | 100 |

#### 2.10.3.2 液态途径计算参数

评价区域内居民饮水来源于山泉水或由山泉水、大气降水汇集而成的水库，接纳水体下游评价范围内无饮水途径。根据对矿部周围居民点的实地调查统计结果，液态途径评价相关参数见表 2.10-7~表 2.10-9，影响子区及人口情况见表 2.10-10。

表 2.10-7 环境水体使用因子

| 年龄组       | 婴儿 |    | 幼儿   |      | 少年    |       | 成人    |       |
|-----------|----|----|------|------|-------|-------|-------|-------|
|           | 最大 | 平均 | 最大   | 平均   | 最大    | 平均    | 最大    | 平均    |
| 游泳时间, a   | 0  | 0  | 0    | 0    | 0.01  | 0.005 | 0.007 | 0.004 |
| 划船时间, a   | 0  | 0  | 0    | 0    | 0.01  | 0.005 | 0.007 | 0.004 |
| 岸边活动时间, a | 0  | 0  | 0.02 | 0.01 | 0.015 | 0.01  | 0.03  | 0.02  |

表 2.10-8 食入受污染农产品参数

| 农产品        | 污水灌溉率<br>$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{a}$ | 收获到消费时间 d |     | 婴儿 |    | 幼儿 |     | 少年  |     | 成年  |     |
|------------|-----------------------------------------------|-----------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            |                                               | 最短        | 平均  | 最大 | 平均 | 最大 | 平均  | 最大  | 平均  | 最大  | 平均  |
| 南方水稻, kg/a | 0.4                                           | 30        | 180 | 0  | 0  | 35 | 28  | 125 | 103 | 190 | 175 |
| 蔬菜, kg/a   | 0.5                                           | 1         | 3   | 0  | 0  | 10 | 7   | 65  | 52  | 112 | 96  |
| 水果, kg/a   | 0.5                                           | 2         | 30  | 0  | 0  | 2  | 1   | 7   | 4   | 8   | 5   |
| 鱼, kg/a    | —                                             | —         | —   | 0  | 0  | 1  | 0.5 | 2   | 1   | 5   | 2   |

表 2.10-9 食入受污染动物产品参数

| 动物产品     | 动物饮污水量<br>$\text{L/d}$ | 屠宰到消费时间 d |    | 婴儿消费量 |    | 幼儿消费量 |     | 少年消费量 |     | 成年消费量 |     |
|----------|------------------------|-----------|----|-------|----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|          |                        | 最短        | 平均 | 最大    | 平均 | 最大    | 平均  | 最大    | 平均  | 最大    | 平均  |
| 蛋, kg/a  | 0.03                   | 1         | 10 | 0     | 0  | 2     | 1.4 | 4.5   | 3   | 4     | 3.5 |
| 牛肉, kg/a | 0.5                    | 2         | 15 | 0     | 0  | 0.6   | 0.5 | 1.2   | 0.9 | 1.8   | 1.5 |
| 猪肉, kg/a | 0.4                    | 1         | 15 | 0     | 0  | 5.5   | 4   | 15    | 13  | 18    | 16  |
| 家禽, kg/a | 0.03                   | 1         | 5  | 0     | 0  | 3     | 2   | 7     | 5   | 12    | 10  |



表 2.10-10 废水排口下游使用途径子区及人口一览表

| 方位  | 距离    | 划船外照射 |    |     |     | 游泳外照射    |    |    |     | 食入水生生物内照射 |     |     |     |
|-----|-------|-------|----|-----|-----|----------|----|----|-----|-----------|-----|-----|-----|
|     | km    | 婴儿    | 幼儿 | 少年  | 成人  | 婴儿       | 幼儿 | 少年 | 成人  | 婴儿        | 幼儿  | 少年  | 成人  |
| WNW | 2-3   | 0     | 5  | 8   | 33  | 0        | 0  | 17 | 67  | 0         | 0   | 0   | 0   |
| WNW | 3~5   | 0     | 4  | 7   | 27  | 0        | 0  | 13 | 53  | 0         | 11  | 20  | 80  |
| W   | 3~5   | 0     | 3  | 5   | 21  | 0        | 0  | 11 | 43  | 0         | 9   | 16  | 64  |
| W   | 5~10  | 0     | 10 | 17  | 69  | 0        | 0  | 34 | 137 | 0         | 30  | 52  | 206 |
| WSW | 5~10  | 0     | 2  | 3   | 14  | 0        | 0  | 7  | 27  | 0         | 6   | 10  | 41  |
| WSW | 10-20 | 0     | 10 | 17  | 67  | 0        | 0  | 34 | 134 | 0         | 29  | 50  | 202 |
| 方位  | 距离    | 岸边活动  |    |     |     | 食入农产品内照射 |    |    |     | 食入动物产品内照射 |     |     |     |
|     | km    | 婴儿    | 幼儿 | 少年  | 成人  | 婴儿       | 幼儿 | 少年 | 成人  | 婴儿        | 幼儿  | 少年  | 成人  |
| WSW | 1~2   | 0     | 0  | 0   | 0   | 0        | 13 | 22 | 87  | 0         | 25  | 44  | 174 |
| WNW | 2-3   | 0     | 39 | 67  | 267 | 0        | 25 | 42 | 167 | 0         | 49  | 84  | 334 |
| WNW | 3~5   | 0     | 30 | 54  | 212 | 0        | 19 | 34 | 133 | 0         | 38  | 67  | 265 |
| W   | 3~5   | 0     | 25 | 43  | 170 | 0        | 16 | 27 | 107 | 0         | 31  | 54  | 213 |
| W   | 5~10  | 0     | 80 | 138 | 549 | 0        | 50 | 86 | 343 | 0         | 100 | 172 | 686 |
| WSW | 5~10  | 0     | 16 | 27  | 108 | 0        | 10 | 17 | 68  | 0         | 20  | 34  | 135 |
| WSW | 10-20 | 0     | 78 | 134 | 538 | 0        | 49 | 84 | 336 | 0         | 98  | 168 | 672 |

### 3 工程分析

#### 3.1 现有铀矿冶设施工程分析

##### 3.1.1 棉花坑矿井

棉花坑矿井分别于 1985 年和 2004 年完成了两期工程建设和运行。其中，一期工程采用平硐—竖井联合开拓，从地表（385m）开拓至 26m 标高；二期工程，采用原竖井延深方案，竖井延深至-178m 标高，增加 0m、-50m、-100m 和-150m 四个竖井中段。

目前，棉花坑矿井矿石采出量为 XX 万 t/a，开拓方式为竖井开拓，开采方式为水平分层充填法，开采工艺：顶板编录→凿岩爆破→出矿→找边→架设顺路井→充填→砂浆垫板。主要矿井通风采用竖井入风、两翼回风的对角双翼抽出通风系统，剥离的废石回填井下采空区。

井下开采的矿石装铲车后，运至中段溜井，通过放矿机装入矿车，采用竖井提升系统将矿车提升至 304m 平硐；矿车在电机车牵引下驶出平硐，并沿固定路线运至矿仓顶部放矿，然后空车原路返回。

##### 3.1.2 水冶生产设施及工艺流程

###### 3.1.2.1 水冶生产设施

目前，锦原公司采用堆浸水冶工艺，主要生产设施包括：破碎厂房、堆浸场、浸出液处理厂房等，水冶厂主要生产设施详见表 3.1-1，水冶厂主要生产设施与本项目依托关系见表 1.3-1，水冶相关设施现状见图 3.1-1。

表 3.1-1 水冶厂主要生产设施

| 序号 | 设施名称    | 主要功能               | 设施现状                                                                |
|----|---------|--------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1  | 破碎厂房    | 用于矿石破碎，提供合格的堆浸矿料。  | 由矿仓（2 个）、粗碎间、中细碎间、筛分间和皮带输送机及连廊组成，占地面积 701m <sup>2</sup> 。           |
| 2  | 堆浸场     | 用于矿石堆浸，提供合格浸出液。    | 由 15 个堆浸池（单池尺寸为 50m×22m×3.5m）、6 个下集液池和 2 个浸出剂配置池组成，采用退后式筑堆、前进式卸堆方式。 |
| 3  | 浸出液处理厂房 | 用于处理浸出液，生产“111”产品。 | 厂房尺寸 61.6m×14m×20m，四层建筑物，主要布置树脂吸附、淋洗、转型、沉淀和过滤等工艺生产设备等。              |
| 4  | 硫酸罐区    | 提供水冶工艺所需的辅助材料。     | 罐区内有容积为 150m <sup>3</sup> 的硫酸储罐 4 个（3 用 1 备），罐区四周设有围堰。              |
| 5  | 产品库     | 主要储存“111”产品。       | 产品库位于水冶厂内。                                                          |



图 3.1-1 锦原公司水冶相关设施现状

### 3.1.2.2 水冶工艺流程

目前，水冶工艺流程为：原矿→破碎→筑堆→堆浸→吸附→淋洗→沉淀→过滤→“111”产品，具体如下：

#### 1) 破碎

现有破碎生产线位于棉花坑矿井主竖井工业场地东侧，矿石破碎处理能力为 16 万 t/a，矿石破碎采用三段式工艺流程，即粗碎→中细碎→筛分，破碎后的矿石粒度小于-6mm，由汽车运至堆浸生产线进行堆浸。

#### 2) 筑堆、堆浸

堆浸生产线位于尾矿库东北侧，矿石堆浸周期为 200d~220d。淋浸剂采用硫酸、吸附尾液以及矿井水进行配制，配制好的淋浸剂先送入上集液池；利用地形高差经布液装置将淋浸剂均匀地喷洒在淋浸矿石堆上进行淋浸，每段的淋浸剂自上而下向堆底渗透，最终自流到各自的下集液池内，再利用耐腐蚀液下泵送入澄清池内，输送入浸出液处理厂房处理。浸出结束后，浸出渣用挖掘机和翻斗车等设备卸堆，并运往尾矿库处置。

#### 3) 吸附、淋洗

浸出液处理设施位于堆浸池东侧，来自堆浸的淋浸合格液用密实移动床吸附塔吸附，吸附尾液大部分返回配制淋浸剂。饱和树脂送至淋洗塔淋洗得到淋洗合格液和脱铀贫树脂。贫树脂经过转型返回到吸附塔，淋洗合格液送入沉淀、过滤工序。

#### 4) 沉淀、过滤

淋洗合格液加入 NaOH 搅拌沉淀析出铀化学浓缩物，经过静置后沉淀母液输送至工艺废水处理厂房处理，底部浆体送入隔膜压滤机压滤，压滤产生的滤液同沉淀母液一并处理，滤饼即为“111”产品，装桶后送入产品库储存。

水冶工艺流程见图 3.1-2。

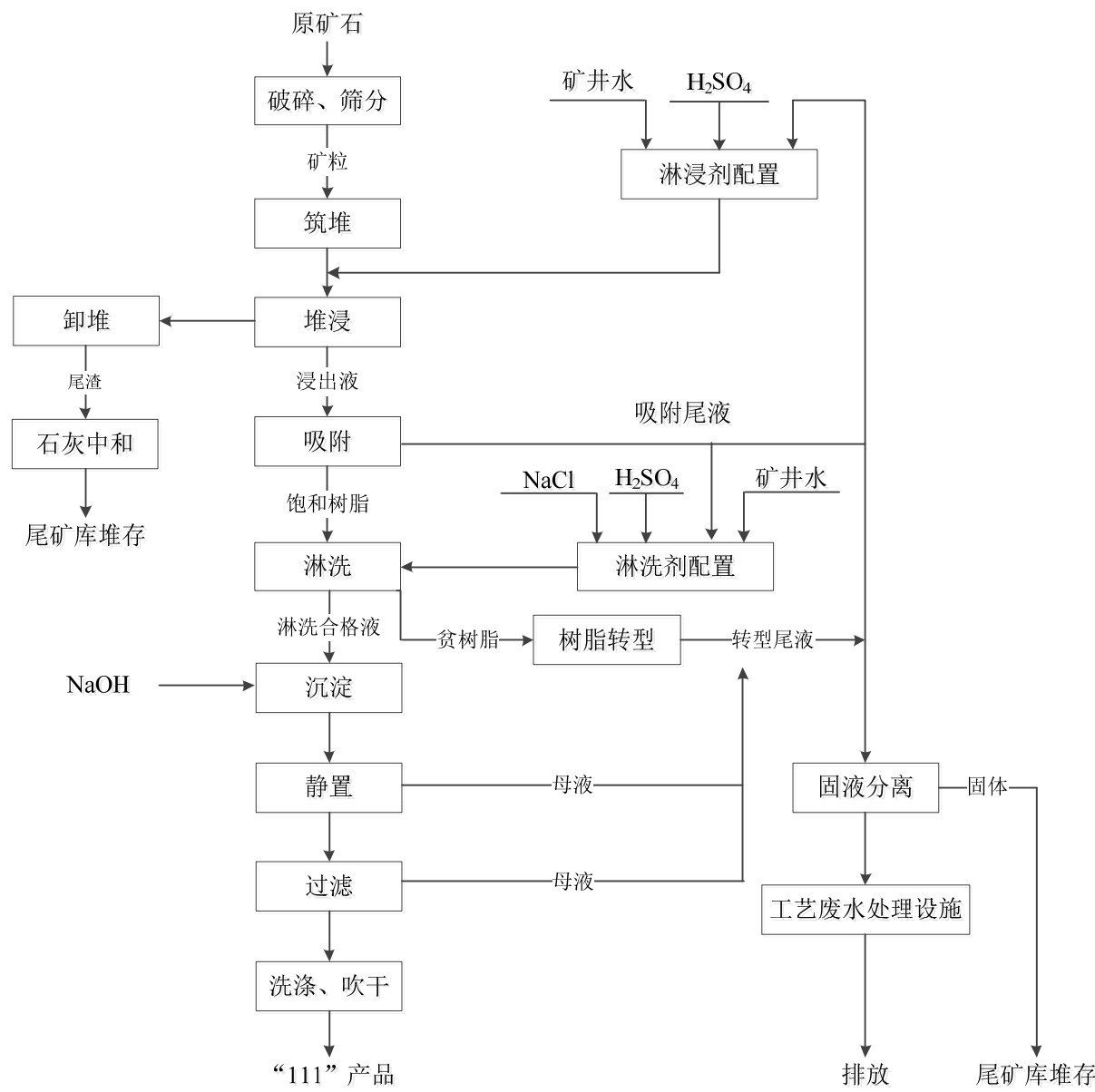


图 3.1-2 水冶工艺流程图

3.1.3 废物处理、处置设施

目前，锦原公司废物处理处置设施主要包括：废石场、矿井水处理厂房、工艺废水处理厂房、尾矿库流出水处理厂房和尾矿库等，设施详见表 3.1-2，废物处理处置设施与本项目依托关系见表 1.3-1，设施现状见图 3.1-3。

表 3.1-2 废物处理处置设施

| 序号 | 设施名称       | 主要功能               | 设施现状                                                                                                        |
|----|------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 废石场        | 用于储存铀矿开采剥离产生的废石。   | 棉花坑矿井有地表废石场四处，其中 401m、341m、304m 中段平硐废石场已到达设计堆存量，表面进行了覆盖和植被恢复，不再使用；在用的 301 硐口废石场为废石的临时堆场，在此堆存的废石最终用于回填井下采空区。 |
| 2  | 矿井水处理设施    | 用于处理矿井排水。          | 厂房尺寸 33m×9m×18.7m，三层建筑物，采用“澄清—树脂吸附除铀”工艺，处理能力为 6000m <sup>3</sup> /d。                                        |
| 3  | 工艺废水处理设施   | 用于处理水冶工艺废水。        | 厂房尺寸 34.9m×11.85m×6m，两层建筑物，采用“石灰乳中和除铀—氯化钡除镭”工艺，处理能力为 500m <sup>3</sup> /d。                                  |
| 4  | 尾矿库流出水处理设施 | 用于处理尾矿库流出水。        | 位于尾矿库坝下游，采用“软锰砂吸附除镭”工艺，处理能力为 6000m <sup>3</sup> /d。                                                         |
| 5  | 尾矿库        | 用于储存堆浸尾渣和废水中和渣等。   | 尾矿库由初期坝、尾矿堆积坝和排洪设施等组成，库内已堆存了大量尾渣，目前剩余库容 91.6 万 m <sup>3</sup> 。                                             |
| 6  | 生活污水处理设施   | 处理淋浴、洗衣等废水，使其达标排放。 | 设地理生活污水处理设施，采用“水解+三级氧化”工艺，处理能力 15m <sup>3</sup> /h。                                                         |

### 3.1.4 其他环保措施

1) 锦原公司设有专门的危险废物暂存库，用于存放采矿、水冶生产过程中产生的废机油、废化工材料保证袋等废物，定期送有资质单位处置；

2) 矿石采用卡车由破碎设施运至堆浸水冶设施，运输路线全长 2.7km（见图 3.1-4）。运输过程中对车辆进行苫盖，并控制车辆行驶速度防止矿石洒落；定期对矿石运输沿线道路进行检查，如发现洒落的矿石及时清理；

3) 堆浸场、水冶厂南、北两侧山体上距离设施约 30m 处设有截洪沟，用于截留山体汇流的地表水，以减少进入堆浸场和水冶厂的雨水；

4) 堆浸池内衬 PVC 软板防渗层，下部安装由渗漏检测管；每天对渗漏检测管进行巡查，如发现漏液，立即停止喷淋，对渗漏液进行收集，并卸堆清空堆浸池对防渗层进行修复。此外，每个堆浸池筑堆前都会对堆内 PVC 软板进行检测，如发现破损及时修复；在空堆其还会在池内注水检测是否存在渗漏；

5) 对水冶厂、堆浸设施、废水处理设施的管线进行巡查，对老化、破损的设备、管线进行更换，避免跑冒滴漏情况发生。



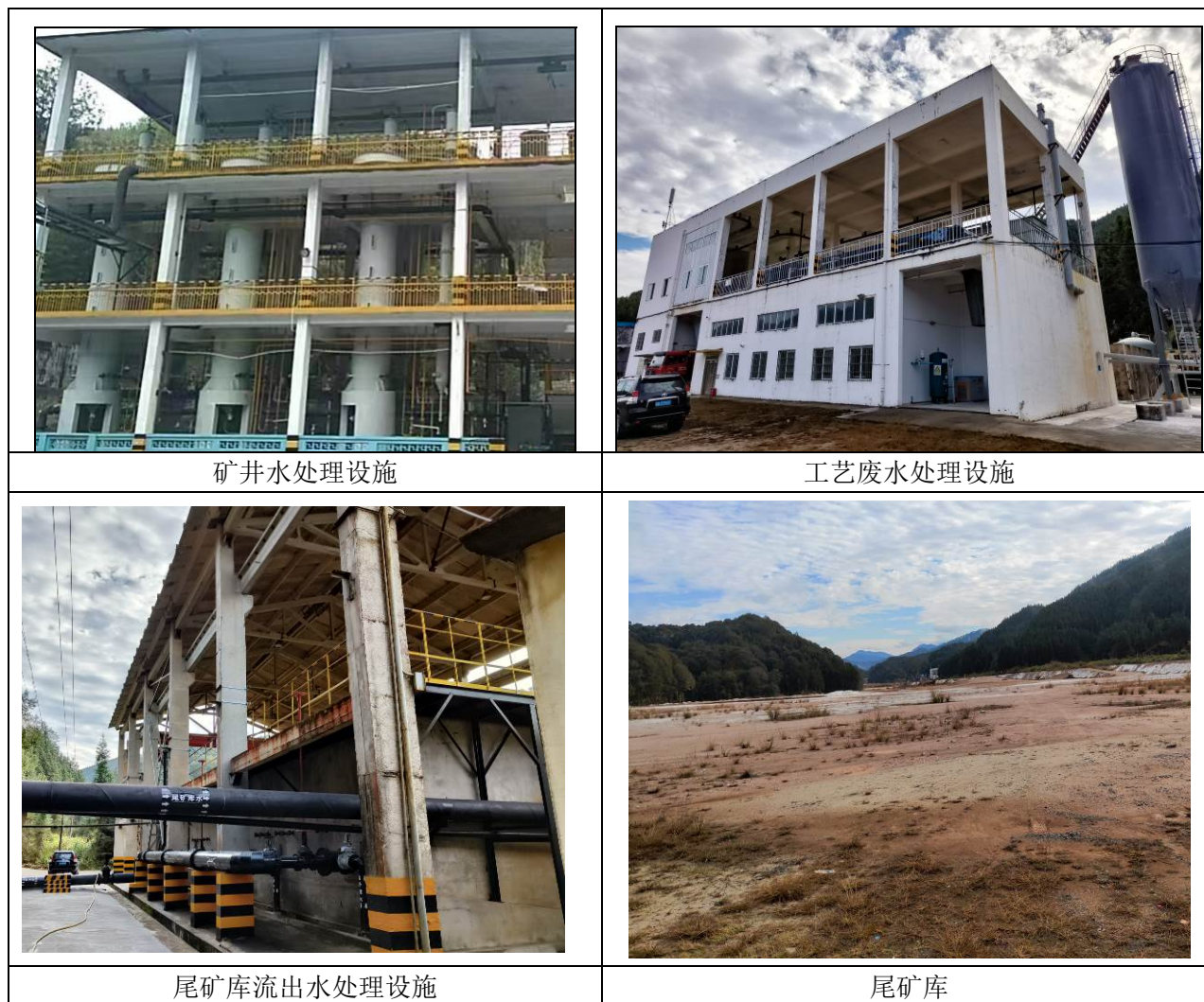


图 3.1-3 锦原公司主要废物处理、处置设施现状



图 3.1-4 现有生产设施及废物处置设施现状



### 3.1.5 现有工程“三废”处理及排放情况

#### 3.1.5.1 放射性污染物

##### 1) 废气

##### (1) 矿井废气

矿井废气主要包括氡和铀尘，采用主平硐进风，南北两翼风机回风的对角式抽出通风方式，将矿井废气排出地表。

其中，南翼回风井氡浓度为  $6246.7\text{Bq/m}^3$ ， $U_{\text{天然}}$  浓度为  $5.11\text{ng/m}^3$ ，通风量为  $44.2\text{m}^3/\text{s}$ ，年工作时间  $330\text{d/a}$ ，则南翼回风井氡释放量为  $7.87 \times 10^{12}\text{Bq/a}$ ， $U_{\text{天然}}$  释放量为  $6.44\text{g/a}$ ；北翼回风井氡浓度为  $5955.4\text{Bq/m}^3$ ， $U_{\text{天然}}$  浓度为  $5.74\text{ng/m}^3$ ，通风量为  $50.87\text{m}^3/\text{s}$ ，年工作时间  $330\text{d/a}$ ，则南翼回风井氡释放量为  $8.63 \times 10^{12}\text{Bq/a}$ ， $U_{\text{天然}}$  释放量为  $8.32\text{g/a}$ ；南、北翼回风井合计矿井氡释放量为  $1.65 \times 10^{13}\text{Bq/a}$ ， $U_{\text{天然}}$  释放量为  $14.76\text{g/a}$ 。

##### (2) 矿仓废气

矿石在矿仓堆存的过程中会产生一定量的氡气。锦原公司在用矿仓有两个，均在竖井口工业场地内；两矿仓相邻，矿仓总面积为  $100\text{m}^2$ ，矿石表面氡析出率为  $3.58\text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$ ，以此计算矿仓氡气排放量为  $1.13 \times 10^{10}\text{Bq/a}$ 。

##### (3) 破碎厂房废气

破碎厂房生产过程中会产生放射性粉尘、氡及其子体等放射性废气，采用泡沫干雾抑尘，在颚式破碎机进出料口、圆锥破碎机出料口、振动筛出料口等 4 个主要产尘点设置雾化喷头，通过向产尘点喷雾状水滴抑制破碎过程中产生的粉尘，抑尘效率 95%。

破碎厂房废气处理后，由厂房顶部的排气筒排出厂房，风量为  $6000\text{m}^3/\text{h}$ ，排放废气中氡浓度为  $326\text{Bq/m}^3$ ，年工作时间  $1250\text{h/a}$ ，则氡释放量为  $2.45 \times 10^9\text{Bq/a}$ ；粉尘排放浓度为  $23.25\text{mg/m}^3$ ，粉尘排放速率为  $0.14\text{kg/h}$ ，年排放量为  $0.175\text{t/a}$ ，排放高度  $15\text{m}$ ，破碎废气满足《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）中表 2 二级排放限值要求。

##### (4) 堆浸废气

堆浸废气主要是矿石堆浸过程中产生的氡气，堆浸场表面氡析出率为

$3.58\text{Bq/m}^2\cdot\text{s}$ , 裸露面积为  $16500\text{m}^2$ ; 堆浸场全年均堆有矿石, 故氡气全年释放, 堆浸设施氡释放量为  $1.86\times 10^{12}\text{Bq/a}$ 。

#### (5) 水冶厂房废气

浸出液处理厂房也会析出少量的氡, 厂房内的氡浓度为  $37.6\text{Bq/m}^3$ , 与矿区周围环境水平 ( $32.5\sim 45.1$ )  $\text{Bq/m}^3$  处于同一水平, 可以看出浸出液处理过程中氡的释放量较低, 可忽略不计。

#### (6) 尾矿库废气

尾矿库内堆存的尾矿、尾渣表面有氡气析出。尾矿库表面氡析出率为  $1.87\text{Bq/m}^2\cdot\text{s}$ , 尾矿库滩面面积为 17.5 万  $\text{m}^2$ , 以及计算尾矿库氡释放量为  $1.03\times 10^{13}\text{Bq/a}$ 。

#### (7) 废石场废气

书楼丘废石场内堆存矿井开采剥离的废石表面不断有氡析出, 废石场表面氡析出率为  $0.75\text{Bq/m}^2\cdot\text{s}$ , 废石场目前裸露面积为  $8000\text{m}^2$ , 以此计算废石场氡释放量为  $1.89\times 10^{11}\text{Bq/a}$ 。

### 2) 废水

#### (1) 矿井水

棉花坑矿井建设有矿井水处理设施一套, 用于处理棉花坑矿井和书楼丘矿井排水。矿井水处理设施排水量为  $2440\text{m}^3/\text{d}$ , 其中, 棉花坑矿井排水  $1630\text{m}^3/\text{d}$ , 书楼丘矿井排水  $810\text{m}^3/\text{d}$ 。矿井水处理设施采用离子交换吸附除铀工艺, 设计处理能力为  $6000\text{m}^3/\text{d}$ 。矿井水处理设施处理工艺流程见图 3.1-5。

处理后的矿井水中,  $\text{U}_{\text{天然}}$  浓度为  $0.138\text{mg/L}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  浓度为  $0.272\text{Bq/L}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $0.046\text{Bq/L}$ ,  $^{210}\text{Po}$  浓度为  $0.07\text{Bq/L}$ , 可以满足《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020) 表 3 中规定相应核素排放浓度限值要求, 排入马牯丘小溪。马牯丘小溪最小流量为  $0.18\text{m}^3/\text{s}$  (1 月), 是矿井水排放量 ( $0.028\text{m}^3/\text{s}$ ) 的 6.37 倍, 可以满足 GB23727-2020 中规定的不低于 5 倍稀释倍数的要求。

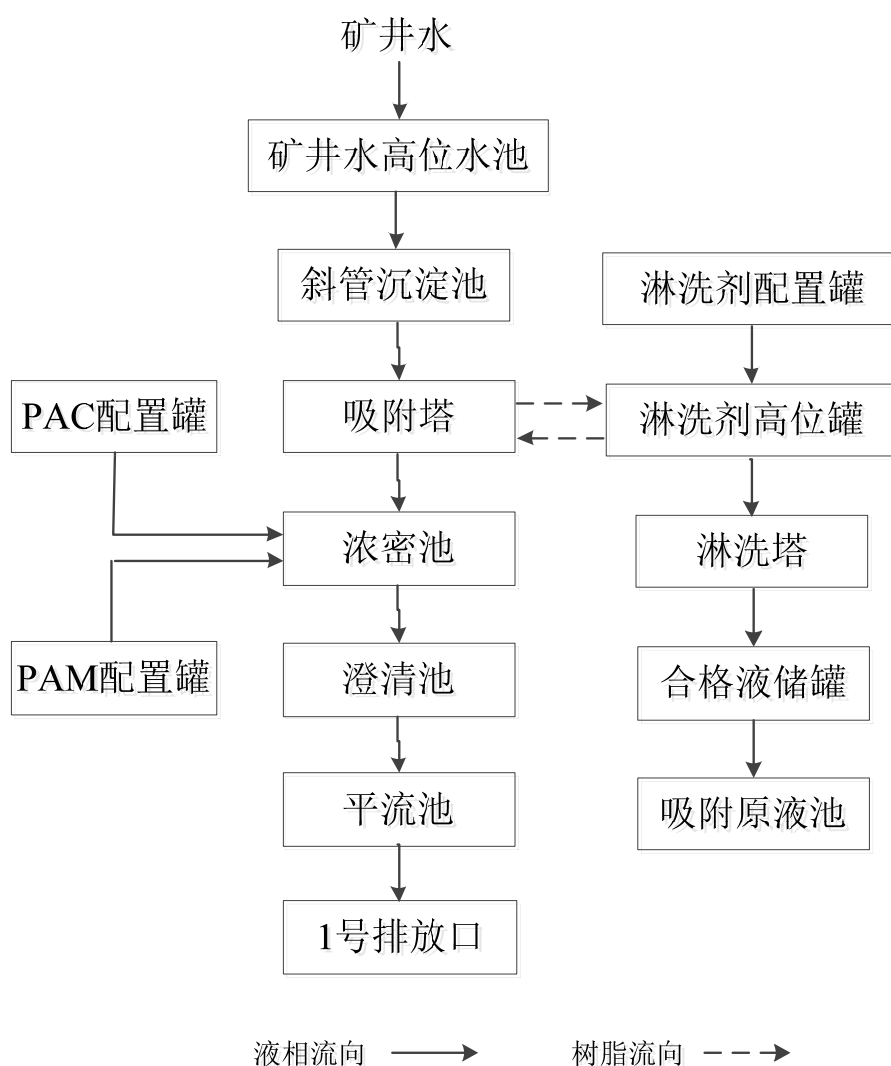


图 3.1-5 矿井水处理工艺流程

## (2) 尾矿库流出水

尾矿库流出水产生量为  $1725\text{m}^3/\text{d}$ 。尾矿库坝下建有流出水处理设施一套，采用软锰砂吸附除镭的处理工艺对尾矿库流出水进行处理，设施处理能力为  $6000\text{m}^3/\text{d}$ 。尾矿库流出水处理工艺流程见图 3.1-6。

处理后的尾矿库流出水中， $U_{\text{天然}}$  浓度为  $0.131\text{mg/L}$ ， $^{226}\text{Ra}$  浓度为  $0.34\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $0.039\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Po}$  浓度为  $0.018\text{Bq/L}$ ，可以满足《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020）表 3 中排放浓度限值要求，排入官田小溪。

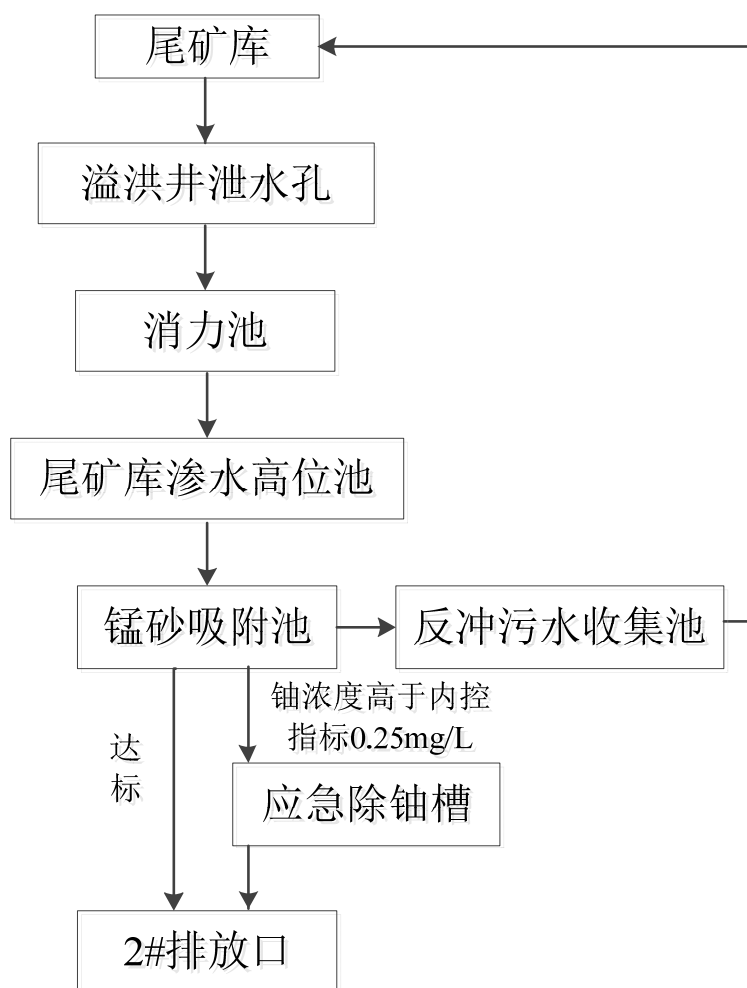


图 3.1-6 尾矿库流出水处理流程

### （3）工艺废水

浸出液处理过程中产生的吸附尾液、转型尾液、沉淀母液等，以上液体大部分回用于配置淋浸剂、淋浸剂，少部分以工艺废水的形式外排。废水中含有铀、镭等放射性核素，产生量为  $242\text{m}^3/\text{d}$ 。锦原公司水冶厂配备工艺废水处理设施一套，采用石灰乳中和除铀、氯化钡除镭工艺对工艺废水进行处理，处理能力为  $500\text{m}^3/\text{d}$ ，可以满足处理需要。工艺废水处理设施处理工艺流程见图 3.1-7。

处理后的工艺废水中， $U_{\text{天然}}$  浓度为  $0.012\text{mg/L}$ ， $^{226}\text{Ra}$  浓度为  $0.33\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $0.046\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Po}$  浓度为  $0.07\text{Bq/L}$  可以满足《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020）表 3 中规定的  $U_{\text{天然}} \leq 0.3\text{mg/L}$ ， $^{226}\text{Ra} \leq 1.1\text{Bq/L}$ 、 $^{210}\text{Pb} \leq 0.5\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Po} \leq 0.5\text{Bq/L}$  的排放浓度限值要求，处理达标的废水排入官田小溪。



由以上数据可以看出，工艺废水、尾矿库流出水的总排放量为  $1967\text{m}^3/\text{d}$  ( $0.023\text{m}^3/\text{s}$ )；受纳水体官田小溪最小流量为  $0.15\text{m}^3/\text{s}$ ，是尾矿库流出水、工艺废水总排放量的 6.58 倍，可以满足 GB23727-2020 中规定的不低于 5 倍稀释倍数的要求。

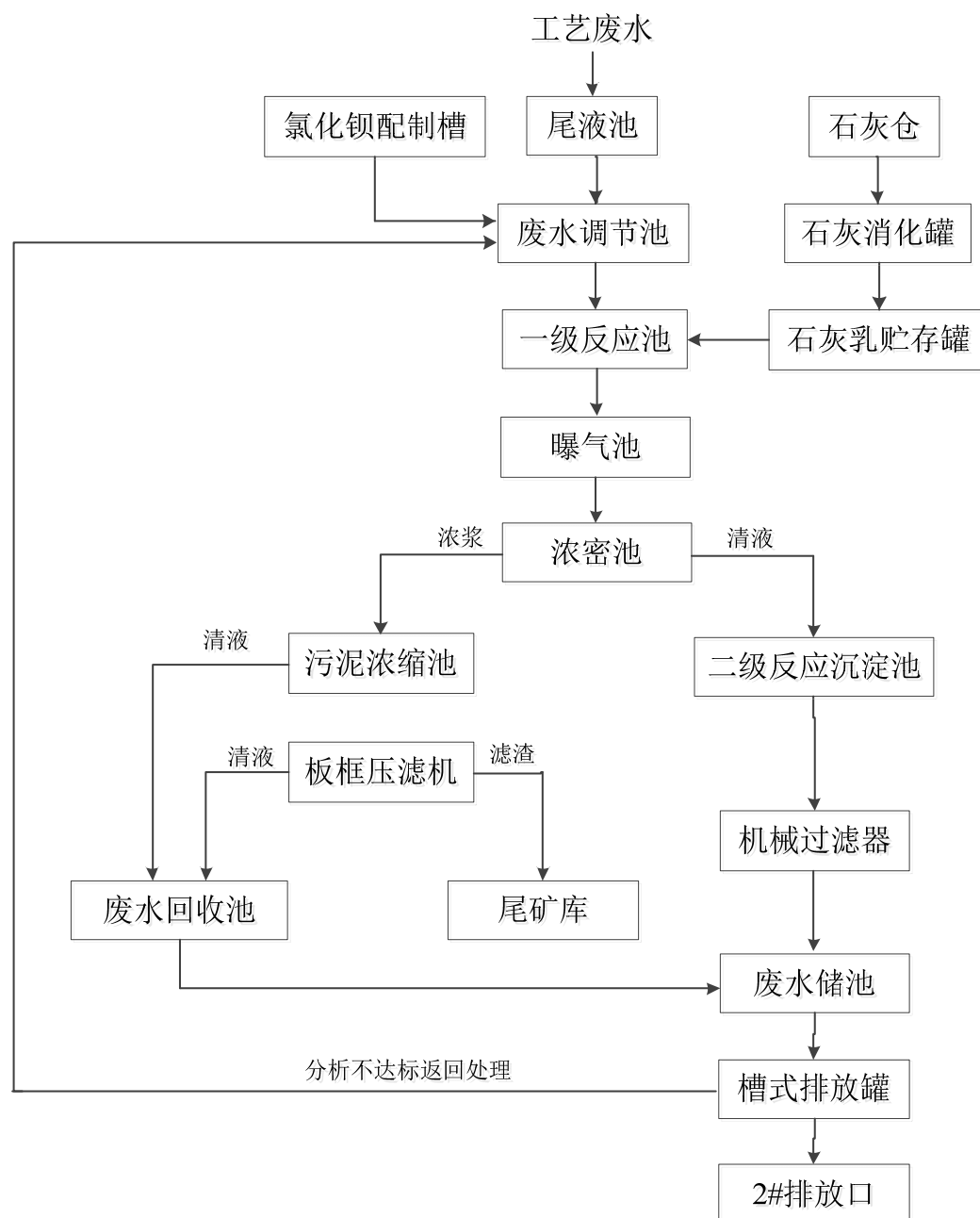


图 3.1-7 工艺废水处理流程

除废水中的放射性核素外，锦原公司还对废水中的非放射性污染进行了取样分析。2021 年、2022 年废水中非放射性污染物排放浓度见表 3.1-3。由表中数据可以看出，外排的矿井水、工艺废水及尾矿库流出水中非放射性污染

物浓度均可以满足《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)中表 1 及表 4 相关限值要求。

表 3.1-3 废水中非放射性污染物浓度

| 废水<br>污染物                  | 矿井水       |            | 工艺废水       |                | 尾矿库流出水     |           | 标准<br>值 |
|----------------------------|-----------|------------|------------|----------------|------------|-----------|---------|
|                            | 2021 年    | 2022 年     | 2021 年     | 2022 年         | 2021 年     | 2022 年    |         |
| pH                         | 7.14~7.87 | 7.8~8.6    | 7.00~8.23  | 7.6~8.6        | 6.80~7.86  | 6.4~7.7   | 6~9     |
| NH <sub>3</sub> -N<br>mg/L | 0.165     | 0.03~0.36  | 0.114~2.02 | 0.025<br>~3.18 | 0.124~1.84 | 0.07~1.64 | 10      |
| 氟化物<br>mg/L                | 1.04~5.01 | 2.74~5.09  | 0.64~3.0   | 2.40~9.76      | 0.082~3.33 | 1.60~6.73 | 10      |
| Mn, mg/L                   | 0.06~1.33 | 0.02~0.094 | 0.2~1.53   | 0.2~1.82       | 0.50~1.56  | 0.14~1.82 | 2       |
| Cd, µg/L                   | 未检出       | 0.11       | 1.08       | 3.0            | 0.08       | 0.96      | 100     |
| As, µg/L                   | 1.35      | 5.93       | 0.38       | 0.6            | 0.34       | 1.54      | 500     |
| Zn, µg/L                   | 4.75      | 3.95       | 14.7       | 91.2           | 5.56       | 9.56      | 2000    |
| Hg, µg/L                   | 未检出       | 未检出        | 0.04       | 未检出            | 未检出        | 未检出       | 50      |
| Cr, µg/L                   | 0.13      | 0.35       | 3.01       | 0.25           | 0.15       | 0.52      | 1500    |
| Pb, µg/L                   | 0.3       | 1.17       | 4.56       | 1.89           | 0.98       | 1.14      | 1000    |

### 3) 固体废物

#### (1) 废石

目前,棉花坑矿井开采采用充填法,废石产生量万 5.2t/a,大部分矿石直接回填井下采空区,少量废石在 301 坑口废石场暂存后,最终回填井下。

#### (2) 堆浸尾渣及工艺废水处理废渣

水冶厂堆浸尾渣产生量为 4.1 万 m<sup>3</sup>/a,工艺废水处理产生水处理废渣产生量约 0.13 万 m<sup>3</sup>/a,均运至尾矿库堆存。该尾矿库目前剩余库容约 91.6 万 m<sup>3</sup>。

棉花坑矿井现有工程及水冶相关放射性污染物排放量见表 3.1-4。

表 3.1-4 现有设施放射性污染物排放情况

| 类别    | 源项名称       | 核素排放量, Bq/a       |                  |                  |                   |                     |                   |                   |
|-------|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
|       |            | $^{222}\text{Rn}$ | $^{238}\text{U}$ | $^{234}\text{U}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{230}\text{Th}^*$ | $^{210}\text{Po}$ | $^{210}\text{Pb}$ |
| 气载流出物 | 南翼回风井      | 7.87E+12          | 7.92E+04         | 7.92E+04         | 8.16E+04          | 7.92E+04            | 8.16E+04          | 8.16E+04          |
|       | 北翼回风井      | 8.64E+12          | 1.02E+05         | 1.02E+05         | 1.05E+05          | 1.02E+05            | 1.05E+05          | 1.05E+05          |
|       | 矿仓         | 1.13E+10          | —                | —                | —                 | —                   | —                 | —                 |
|       | 破碎厂房       | 2.45E+09          | 4.28E+06         | 4.28E+06         | 4.41E+06          | 4.28E+06            | 4.41E+06          | 4.41E+06          |
|       | 堆浸场        | 1.86E+12          | —                | —                | —                 | —                   | —                 | —                 |
|       | 尾矿库        | 1.03E+13          | —                | —                | —                 | —                   | —                 | —                 |
|       | 废石场        | 1.89E+11          |                  |                  |                   |                     |                   |                   |
| 液态流出物 | 矿井水处理设施    | —                 | 1.51E+09         | 1.51E+09         | 2.42E+08          | 3.31E+08            | 6.23E+07          | 4.10E+07          |
|       | 工艺废水处理设施   | —                 | 1.29E+07         | 1.29E+07         | 2.94E+07          | 4.03E+07            | 6.18E+06          | 4.06E+06          |
|       | 尾矿库流出水处理设施 | —                 | 1.02E+09         | 1.02E+09         | 2.14E+08          | 2.93E+08            | 1.13E+07          | 2.46E+07          |

\*注：根据平衡关系， $^{230}\text{Th}$  参照  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$  数据

### 3.1.5.2 非放射性污染物

#### 1) 废气

锦原公司水冶厂采用硫酸作为淋浸剂，在淋浸剂配置、矿石堆浸过程中会产生一定量的硫酸雾。此外，浸出液处理工序也会产生一定量的含硫酸废气。其中，堆浸过程中产生的硫酸雾经大气稀释扩散排放；淋浸剂配置、浸出液处理工序的含硫酸废气经厂房通风系统排除厂房。

根据《中核韶关锦原铀业有限公司职业病危害现状评价报告》，堆浸场、淋浸剂配置池以及水冶厂淋洗塔旁的硫酸浓度均小于  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，硫酸雾的排放量较小，对周边环境的影响不大。

#### 2) 非放射性废水

棉花坑矿井现有工程及水冶厂区非放射性废水主要为职工日常产生的生活污水，产生量为  $30.5\text{m}^3/\text{d}$ 。棉花坑矿井现有埋地式生活污水处理设施一套，用于处理职工生活污水。处理后的生活污水中， $\text{COD}\leq 90\text{mg}/\text{L}$ ， $\text{NH}_3\text{-N}\leq 10\text{mg}/\text{L}$ ，可以满足《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中相关的排放限值要求，排入马牯丘小溪。

#### 3) 固体废物

##### （1）一般固体废物

棉花坑矿井现有工程及水冶厂区非放射性固体废物为工作人员日常生活产生的生活垃圾，产生量为  $55\text{kg}/\text{d}$ ，厂区内各生产设施周边均设有生活垃圾收集点，生活垃圾定点收集后定期由环卫部门外运处置。

##### （2）危险废物

棉花坑矿井现有工程及水冶厂区产生的危险废物主要是废机油以及废弃化工原料包装物，其中废机油的产生量为  $2.8\text{t}/\text{a}$ ，废弃包装产生量为  $0.2\text{t}/\text{a}$ 。锦原公司在水冶厂区内设有专门的危险废物暂存库，用于暂存废机油、废弃包装等；并与具有相关资质和能力的危废处理、处置企业签订了《危险废物处理处置服务合同》，定期转运危险废物至该企业进行处置。

#### 4) 噪声及振动

棉花坑矿井矿石开采为井下作业，经过地层的阻隔，井下凿岩、爆破以及井下设备产生的噪声基本不会对地表产生影响。现有噪声源主要是水冶相

关设备，包括破碎机、各类风机和泵类、吸附塔等，单机噪声 $\leq 90\text{dB}(\text{A})$ 。对以上产噪设备，均采取了加装减震基础、厂房隔声等降噪措施。噪声源强经处理后在厂界可以达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准，即昼间 $\leq 60\text{dB}(\text{A})$ ，夜间 $\leq 50\text{dB}(\text{A})$ 。

此外，棉花坑矿井现有工程经过多年的运行，未发生周边居民点的建筑受到井下爆破振动影响的情况发生。

### 3.1.5.3 现有工程归一化排放量分析

棉花坑矿井现有工程矿山开采及水冶归一化排放量达标情况分析见表3.1-5，相关水冶设施归一化排放量达标情况分析见表3.1-6。由此可以看出，棉花坑矿井现有工程矿山开采及后续水冶相关流出物排放均可以满足归一化排放管理限值要求。

表 3.1-5 棉花坑矿井回风井归一化达标性分析 单位：Bq/100tU

| 核素                | 归一化排放量   | 归一化管理限值 | 达标情况 |
|-------------------|----------|---------|------|
| U <sub>天然</sub>   | 3.02E+05 | 4.0E+07 | 达标   |
| <sup>226</sup> Ra | 1.56E+05 | 6.0E+07 | 达标   |
| <sup>222</sup> Rn | 1.38E+13 | 6.0E+13 | 达标   |
| <sup>210</sup> Pb | 1.56E+05 | 2.5E+07 | 达标   |
| <sup>210</sup> Po | 1.56E+05 | 2.5E+07 | 达标   |

表 3.1-6 本项目相关堆浸水冶设施归一化达标性分析 单位：Bq/100tU

| 项目        |        | U <sub>天然</sub> | <sup>226</sup> Ra | <sup>222</sup> Rn | <sup>210</sup> Pb | <sup>210</sup> Po |
|-----------|--------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 气载<br>流出物 | 锦原水冶设施 | 7.13E+06        | 3.68E+06          | 1.56E+12          | 3.68E+06          | 3.68E+06          |
|           | 管理限值   | 3.5E+08         | 5.0E+06           | 4.0E+12           | 2.5E+07           | 2.5E+07           |
|           | 达标情况   | 达标              | 达标                | 达标                | 达标                | 达标                |
| 液态<br>流出物 | 锦原水冶设施 | 1.95E+07        | 2.22E+07          | —                 | 3.06E+06          | 4.66E+06          |
|           | 管理限值   | 9.5E+08         | 2.5E+08           | —                 | 6.5E+07           | 6.5E+07           |
|           | 达标情况   | 达标              | 达标                | —                 | 达标                | 达标                |

## 3.2 本项目概况

### 3.2.1 项目名称

中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程。

### 3.2.2 建设单位

中核韶关锦原铀业有限公司。

### 3.2.3 建设地点

本项目建设地点位于广东省仁化县长江镇境内；棉花坑矿床地理坐标为东经  $114^{\circ}08' \sim 114^{\circ}18'$ 、北纬  $24^{\circ}30' \sim 24^{\circ}38'$ 。

### 3.2.4 建设内容

本项目在利用现有水冶、堆浸及污染物处置等设施的基础上，对棉花坑矿井南部 17 线~16 线、标高范围为 200m~-150m 以及深部为 61 线~16 线、标高范围为-150m~-440m 的铀矿资源进行开采。具体建设内容包括井下采掘系统、提升运输系统、通风排水系统、供配电及通信系统等。

### 3.2.5 生产规模

年开采矿石\*\*万吨，矿石品位\*%；年产“111”产品\*t。

### 3.2.6 服务年限

服务年限 24a，其中建设期 4a，项目生产年限 20a（正常生产期 19a，减产期 1a）。

## 3.3 本项目工程分析

### 3.3.1 地质勘查及开采技术条件

#### 3.3.1.1 地质勘查概况

1) 棉花坑矿床经过十余年的地质勘查工作，目前矿床勘查程度已经达到勘探。截至 2019 年底，棉花坑矿床累计投入地质勘查钻探工作量约为 204991.77m，坑探工作量 8221.50m。2020 年 11 月，核工业二九〇研究所提交了《广东省仁化县棉花坑（302）铀矿床资源储量核实报告》，该报告于 2020 年 11 月 5 日由放射性矿产资源储量评审中心评审，批准文号为“放审字[2020]16 号”。矿床 3 个主要矿体规模大、矿化均匀—较均匀、厚度较稳定，符合《铀矿地质勘查规范》（DZ/T 0199-2015）对第 II 勘查类型的要求。矿床勘查程度达到勘探阶段要求，可以作为立项依据。



2) 棉花坑矿床的水文地质条件属中等偏复杂类型, 工程地质条件属简单类型, 环境地质条件属简单类型。

3) 根据矿床-100m 中段与-150m 中段 4 个采场的探采对比情况, 各采场生产探矿后矿体产状有所变化, 矿体形态更复杂, 资源量较地质提交资源量有所变化, 但总体变化不大, 回采储量较生产探矿资源量小幅减少, 整体来说, 棉花坑矿床的矿化连续性较好, 资源可靠程度较高。

4) 本次资源利用论证工作的设计范围包括两部分, 南部为 17 线~16 线, 标高范围为 200m~-150m; 深部为 61 线~16 线, 标高范围为-150m~-440m。

### 3.3.1.2 开采技术条件

矿床开采技术条件参数见表 3.3-1。

表 3.3-1 矿床开采技术条件参数

| 序号 | 参数        | 单位                     | 数值        |
|----|-----------|------------------------|-----------|
| 1  | 矿石密度      | t/m <sup>3</sup>       | 2.56      |
| 2  | 矿石硬度系数    | —                      | 8~10      |
| 3  | 铀镭平衡系数    | —                      | 0.96~1.03 |
| 4  | 松散系数      | —                      | 1.465     |
| 5  | 自然安息角     | —                      | 39°20′    |
| 6  | 射气系数      | %                      | 12.4      |
| 7  | 氡气单位当量扩散率 | Bq/(m <sup>2</sup> ·s) | 198       |

### 3.3.2 工程主要内容

本项目主要建设内容包括井下采掘系统、提升运输系统、通风排水系统、供配电及通信系统等。

#### 3.3.2.1 井下采掘系统

##### 1) 矿井开拓

-150m 以上南部(17 线~16 线)巷道在前期工程建设中已开拓完成, 为竖井开拓系统; -150m 以下采用斜坡道延伸方案、折返形式, 布置于 41 线~37 线之间。斜坡道, 井口标高-135m, 井底标高-440m, 斜坡道坡度 12.5%, 断面 3.0×3.0m, 总斜长 4084m。共与 8 个中段连通, 分别是-100m、-150m、-200m、-250m、-300m、-350m、-400m 和-440m; 斜坡道基建期施工至-300m 中段, 总斜长 1676m; 在-300m 中段设置水仓、泵房及变电所, 各中段设专用入风井。

## 2) 采矿方法

根据矿体赋存特征及开采技术条件，结合锦原公司多年探矿采矿的实践经验，考虑到棉花坑矿井深部（-150m 以下）主矿体产装稳定，矿体连续性较好，且品位较高，故采用机械化上向分层充填法（简称无轨干式充填法）进行开采；-150m 以上南部矿体破碎，品位较低，考虑采用深孔爆破以增加产能，故采用分段空场嗣后充填采矿法。

采矿方法示意图见图 3.3-1、图 3.3-2。

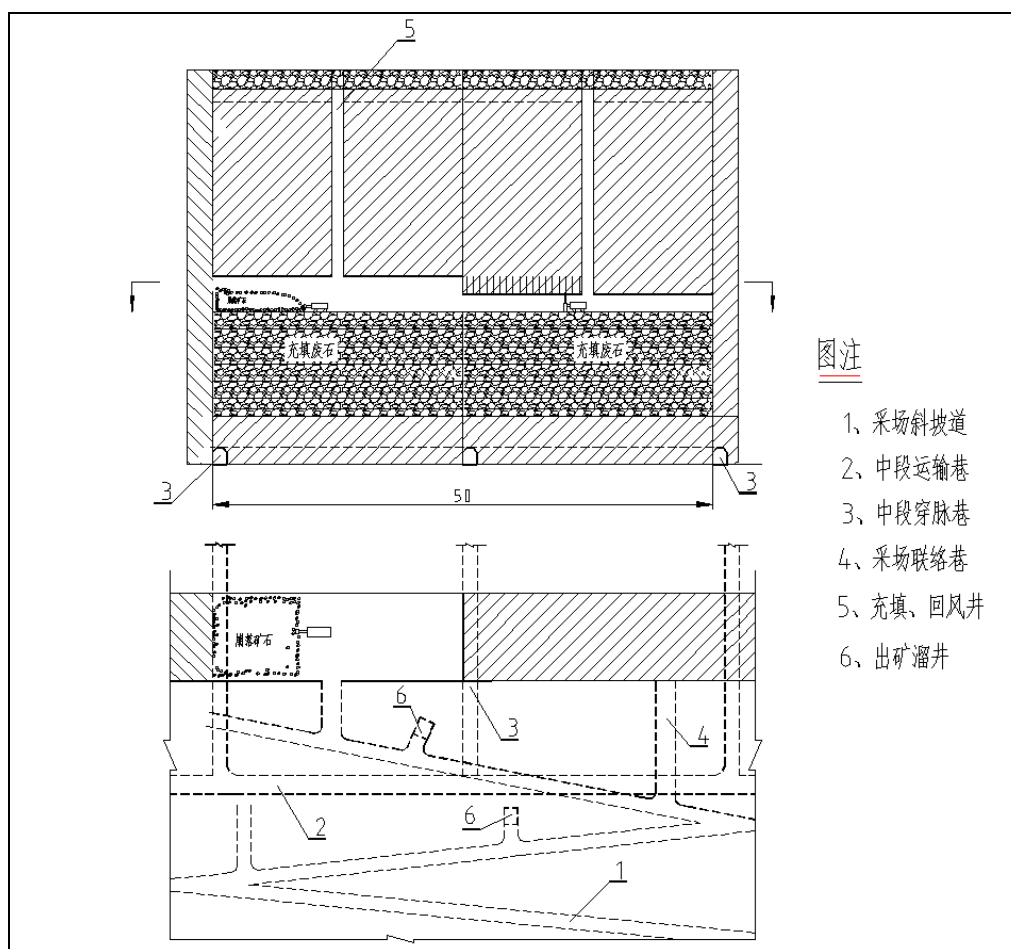


图 3.3-1 无轨干式充填采矿法示意图

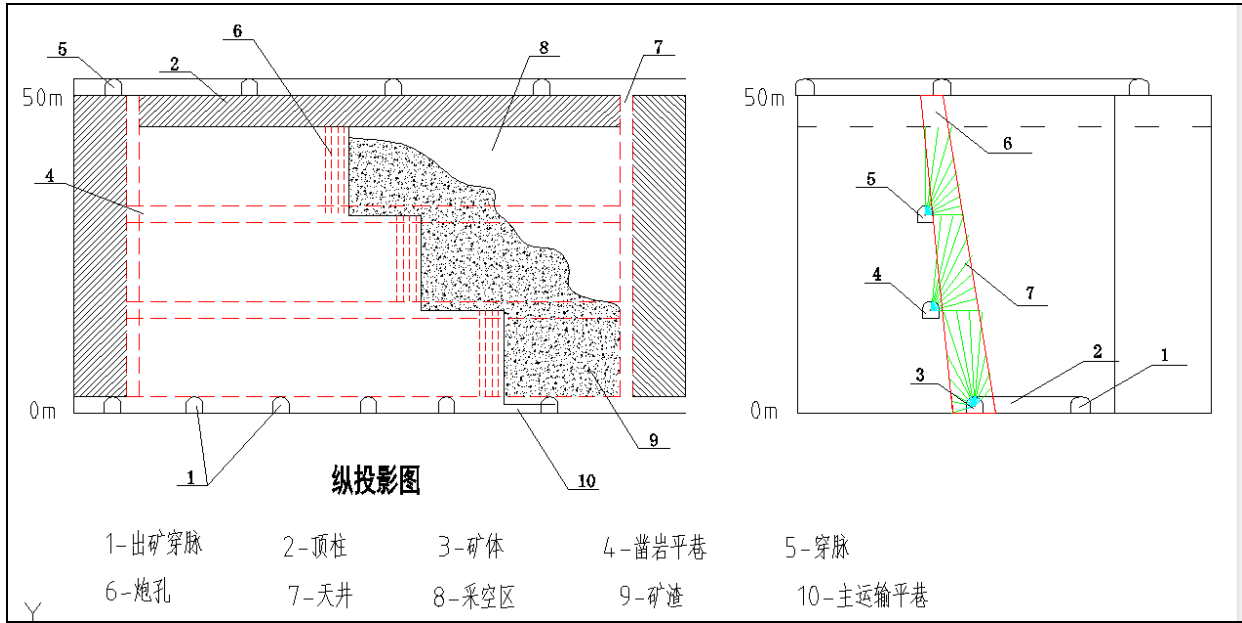


图 3.3-2 分段空场嗣后充填采矿法示意图

3) 井下充填

棉花坑矿井现有工程已建有完善的干式填充系统。本项目-150m 以上充分利用原有充填系统，-150m 以下利用采场溜井作为充填井，为深部采场充填储存废石备用。当采场需要充填时，用卡车在充填料井下口装车，再由运矿卡车或矿车运送至充填采场充填；或经采准斜坡道直接运送至采场内充填。储料井中的废石主要来自井下掘进的废石。

3.3.2.2 提升运输系统

1) 矿石运输系统

-150m 以上各采场用铲运机通过斜坡道联络道运至中段溜井，由中段溜井下放到下中段，通过溜井振动放矿机装入矿车，用电机车牵引至竖井车场，再由主竖井提升至 304m 平硐运出地表。

-150m 以下各中段矿石从采场底部振动放矿机装入卡车，卡车经斜坡道运送至卸矿硐室，矿石卸入-135~-150m 转运矿石仓，经矿石仓底部振动放矿机装入矿车，再由主竖井提升至 304m 平硐运出地表。

2) 废石运输系统

生产中掘进废石用铲运机装入矿车/卡车，根据充填工作的需要由竖井/斜坡道运送至上部中段，或通过采准斜坡道直接运输至充填采场进行充填。

3) 运输、提升系统自动化改造

对现有的矿石和废石运输系统进行改造。改造后，将现有的容量为  $0.75\text{m}^3$  双侧卸式矿车全部更换为容量为  $1.0\text{m}^3$  矿车。卸矿方式调整为曲轨侧卸装置通过式卸矿，改人工卸矿为自动化卸矿。

因地表卸矿系统改造后运矿矿车外形尺寸发生变化，故需对井下提升系统也进行相应的改造。由于矿车重量由  $600\text{kg}$  增加至  $880\text{kg}$ ，对提升所用的罐笼进行更换，故更换后的罐笼质量由  $7545\text{kg}$  降低至  $6200\text{kg}$ 。

### 3.3.2.3 通风、排水系统

#### 1) 通风系统

棉花坑矿井目前采用中央进风两翼回风对角式通风方式，风机安装在井下，为两翼抽出式，中段通风网络为上行阶梯式；新鲜空气由 304 主平硐口入风，经中段运输大巷、穿脉，到达各采场，采场污风经上中段脉内巷道、中段回风井至风机房，由主回风井排出地表。独头巷道掘进局部通风采用抽、压混合式通风，通风设备主要为局扇及联接风筒。

本项目仍采用两翼抽出式通风方式； $-150\text{m}$  以上大部分为已有工程，仍沿用现有的通风系统。 $-150\text{m}$  以下深部开拓入风井，由竖井、入风井入风，南北两翼回风井回风； $-150\text{m}$  以上南部中段开拓已完成，4 号线以南应根据采场布置情况及开采时间，开拓边界中段回风井，通过南部专用边界中段回风井汇入  $200\text{m}$  专用回风巷道。本项目建设完成后，在考虑各采矿断面排氡、排炮烟、排柴油设备尾气的风量需求后，经计算北翼、南翼回风井风量分别为  $43.19\text{m}^3/\text{s}$  和  $42.39\text{m}^3/\text{s}$ 。

此外，由于棉花坑矿井已运行多年，通风系统存在上部中段漏风严重，部分中段断面较小等问题。本项目通风系统建设过程中，对现有部分通风井巷进行改造，主要包括：

(1) 简化通风网络，采取密闭及加装风门措施，减少漏风和短路。

(2) 北部各中段回风井断面较小，采取各中段新掘回风井的措施，形成多支路回风； $200\text{m}$  中段“棉花坑断裂带”处人工假巷断面较小，采取在假巷旁增加 1 条绕道减小阻力的措施。

(3) 增加部分中段专用回风巷以及部分设备设施。

#### 2) 矿井排水

棉花坑三期-150m 以上排水系统，沿用原 150m、50m 中段排水系统。矿井深部延深后采用分段排水方式，分别在井下-300m 中段和-440m 中段新建水泵房。新建水泵房与现有-150m、50m 中段水泵房形成二次接力排水，最终有 304 主平硐排出地表，输送至矿井水处理设施进行处理。本项目建成后，至-440m 中段，矿井涌水量约为  $88\text{m}^3/\text{h}$  ( $2112\text{m}^3/\text{d}$ )；此外，井下开采过程中还会产生一定量的生产废水，约  $36\text{m}^3/\text{d}$ 。由此可见，现有矿井水处理设施可以满足处理需求。

### 3.3.2.4 供配电及通信

#### 1) 供电方案

本工程井下供电电源拟利用由现有的地表 501 工区 10kV 配电室至井下-150m 中段排水泵房的两路 10kV 电缆。将上述两路电缆引至-150m 拟建的 10kV 配电所，作为-150m 中段新建 10kV 配电所电源。在-200m 中段新建两座采区变电所、在-300m 排水泵房毗邻处新建泵房配变电所。-150m 中段新建 10kV 配电所为原有-150m 中段排水泵房、新建各采区变电所、新建-300m 排水泵房配变电所提供电源。原-150m 中段避险硐室移至-300m 中段，其 380V 电源由-300m 排水泵房变电所提供。

501 工区 10kV 配电室除两回路市电电源外，还有一路柴油发电机应急电源，功率为 800kW，作为井下排水泵和矿井通风机的应急电源。井下紧急避险硐室设置有应急电源，应急时间 96h。监测监控设备自带 UPS，应急时间大于 2h。应急照明自带蓄电池，应急时间不小于 30min。

#### 2) 通信

##### (1) 人员定位系统

棉花坑矿井-150m 中段以上已建成完善的人员定位系统。本工程人员定位系统前端设备均利用已有设备，仅在新增生产中段设置井下通信分站及矿用网络交换机等设备；新增设备型号规格与现有系统设备一致。

##### (2) 通信联络及视频监控系统

棉花坑矿井-150m 中段以上已建成完善的有线通信联络及视频监控系统。本工程均利用已有前段设备，仅在新增生产中段设置矿用电话机、矿用摄像头等设备。

### 3.3.3 矿石破碎、堆浸及浸出液处理

本项目建成后年开采矿石约\*\*万 t。开采出矿石采用现有水冶生产线的破碎、堆浸和浸出液处理设施进行处理，处理流程与现有工程相同。现有破碎厂房处理能力为 16 万 t/a，可以满足本工程矿石破碎需求。破碎后的矿石仍采用现有的堆浸设施进行堆浸；浸出液送入现有设施进行处理。

### 3.3.4 原辅材料消耗

本项目矿井开采和矿石水冶原辅材料消耗见表 3.3-2。

表 3.3-2 主要原辅材料消耗表

| 用途   | 序号 | 材料名称     | 单位  | 年消耗量   |
|------|----|----------|-----|--------|
| 矿石开采 | 1  | 炸药       | t/a | 73.15  |
|      | 2  | 塑料导爆管    | m/a | 20900  |
|      | 3  | 塑料导爆管雷管  | 发/a | 27550  |
|      | 4  | 钎杆       | 根/a | 1520   |
|      | 5  | 钎头       | 个/a | 475    |
| 矿井掘进 | 6  | 炸药       | t/a | 119.35 |
|      | 7  | 塑料导爆管    | m/a | 39000  |
|      | 8  | 塑料导爆管雷管  | 发/a | 81900  |
|      | 9  | 钎杆       | 个/a | 2067   |
|      | 10 | 钎头       | 根/a | 975    |
| 水冶工艺 | 11 | 硫酸（98%）  | t   | 6040   |
|      | 12 | 氢氧化钠（固体） | t   | 125    |
|      | 18 | 石灰       | t   | 3861   |
|      | 19 | 离子交换树脂   | t   | 7      |
|      | 20 | 工业盐      | t   | 580    |

### 3.3.5 运行期污染物产生及处理

虽然本项目工程建设只涉及棉花坑矿井开采相关设施，但考虑到采矿设施与矿石的水冶、废物处置等设施距离较近，且在生产工艺流程上具有整体性，故进行一并分析。

#### 3.3.5.1 放射性污染物

##### 1) 废气

##### (1) 矿井废气

本项目建成后，仍采用中央进风两翼回风对角式通风方式。三期工程将对井下通风系统进行改造，通过简化通风网络、封闭废弃巷道、加装风门等



措施，优化井下通风系统，降低了井下风量的损失。项目建成后南翼、北翼回风井风量分别为  $42.39\text{m}^3/\text{s}$  和  $43.19\text{m}^3/\text{s}$ 。回风井排放的废气中氡及铀尘浓度仍按照现有工程考虑。以此计算，南翼回风井氡释放量为  $7.55 \times 10^{12}$ ， $U_{\text{天然}}$  释放量为  $6.18\text{g/a}$ ；北翼回风井氡释放量为  $7.33 \times 10^{12}$ ， $U_{\text{天然}}$  释放量为  $7.07\text{g/a}$ ；南、北翼回风井合计矿井氡释放量为  $1.49 \times 10^{13}\text{Bq/a}$ ， $U_{\text{天然}}$  释放量为  $13.25\text{g/a}$ 。

## （2）矿仓废气

本项目建成后，仍使用现有矿仓，矿仓尺寸不变，矿仓的氡排放量仍为  $1.13 \times 10^{10}\text{Bq/a}$ 。

## （3）破碎废气

本项目建成后，矿石产生有所增加，根据现有数据粉尘产生情况进行推算，粉尘排放量为  $0.24\text{t/a}$ 。破碎生产线工作时间变为  $1700\text{h/a}$ ，粉尘排放浓度排放速率仍为  $23.25\text{mg}/\text{m}^3$  和  $0.14\text{kg/h}$ ，破碎废气满足《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）中表 2 二级排放限值要求。由于处理矿石量增加，粉尘排放量增加为  $0.238\text{t/a}$ ，氡释放量增加为  $3.32 \times 10^9\text{Bq/a}$ 。

## （4）废石场废气

棉花坑矿井三期生产末期，废石最终面积可达  $16000\text{m}^2$ ，表面氡析出率仍按  $0.75\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  考虑，则废石堆存氡析出量为  $3.78 \times 10^{11}\text{Bq/a}$ 。

## （5）堆浸废气

本项目建成后，堆浸废气排放量与现有工程基本相同，为  $1.86 \times 10^{12}\text{Bq/a}$ 。

## （6）尾矿库废气

本项目建成后，堆浸尾渣在现有滩面上加高堆放，滩面面积不发生变化。以此计算，尾矿库废气排放量与现有工程基本相同，为  $1.03 \times 10^{13}\text{Bq/a}$ 。

## （7）水冶厂房废气

浸出液处理厂房也会析出少量的氡，厂房内氡浓度较低，可忽略不计。

# 2）废水

## （1）矿井水

本项目建成后，棉花坑矿井水处理设施排放量约为  $2958\text{m}^3/\text{d}$ ；矿井水中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  等核素浓度与现有工程相比变化不大， $U_{\text{天然}}$  浓度为  $0.138\text{mg/L}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  浓度为  $0.272\text{Bq/L}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $0.046\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Po}$  浓度为  $0.07\text{Bq/L}$ ，可以满足

GB23727-2020 表 3 中规定排放浓度限值要求，排入马牯丘小溪。

三期工程实施后，马牯丘小溪最小流量（ $0.18\text{m}^3/\text{s}$ ）约为矿井水排放量（ $0.034\text{m}^3/\text{s}$ ）的 5.26 倍，可以满足 GB23727-2020 中规定的不低于 5 倍稀释倍数的要求。

### （2）尾矿库流出水

本项目建成后，尾矿库流出水产生量为  $1725\text{m}^3/\text{d}$ ，排入尾矿库流出水处理设施，处理后的废水中  $U_{\text{天然}}$  浓度为  $0.13\text{mg/L}$ ， $^{226}\text{Ra}$  浓度为  $0.34\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $0.038\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Po}$  浓度为  $0.018\text{Bq/L}$ ，排入官田小溪。

### （3）工艺废水

本项目建成后，工艺废水平均产生量变化不大，仍为  $242\text{m}^3/\text{d}$ ，排入工艺废水处理设施处理，处理后的废水中  $U_{\text{天然}}$  浓度为  $0.012\text{mg/L}$ ， $^{226}\text{Ra}$  浓度为  $0.33\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $0.045\text{Bq/L}$ ， $^{210}\text{Po}$  浓度为  $0.07\text{Bq/L}$ ，满足 GB23727-2020 相关限值要求，排入官田小溪。

## 3）固体废物

### （1）废石

棉花坑矿井三期工程废石产生量为 6.7 万  $\text{t/a}$ ，在充填完井下采空区后，每年提出地表废石量约 0.7 万  $\text{t}$ ；本项目生产期 20a 间，废石产生量为 14 万  $\text{t}$ （约 8 万  $\text{m}^3$ ），全部运至书楼丘废石场堆存。书楼丘废石场与棉花坑矿井主竖井口间有运矿轨道相连接，废石由矿车经运输巷道运至书楼丘废石场堆存。

书楼丘废石场位于北翼回风井北侧约 500m 处，该废石场设计有效容积为 16.1 万  $\text{m}^3$ ，目前已堆存书楼丘矿井基建期废石约 7.5 万  $\text{m}^3$ ，剩余库容约 8.6 万  $\text{m}^3$ ，可以满足三期工程废石堆存的需求。

### （2）堆浸尾渣及工艺废水处理废渣

本项目建成后，共产生堆浸尾渣 110 万  $\text{m}^3$ ，年平均产生量为 5.5 万  $\text{m}^3$ ，；工艺废水处理废渣产生量 0.13 万  $\text{m}^3$ ，均运至尾矿库堆存。

根据锦原公司近期对尾矿库剩余库容的测绘结果，尾矿库目前剩余库容为 91.6 万  $\text{m}^3$ 。扣除本项目基建期，二期工程堆浸尾渣产生量，待本项目投产后，剩余库容约为 67 万  $\text{m}^3$ ，可供堆存本项目生产 12a 所产生的堆浸尾渣及工艺废水处理废渣。

综上，本项目及相关设施污染物排放情况见表 3.3-3。

表 3.3-3 棉花坑矿井三期工程相关设施放射性污染物排放情况

| 类别    | 源项名称       | 核素排放量, Bq/a       |                  |                  |                   |                   |                   |                   |
|-------|------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|       |            | $^{222}\text{Rn}$ | $^{238}\text{U}$ | $^{234}\text{U}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{230}\text{Th}$ | $^{210}\text{Po}$ | $^{210}\text{Pb}$ |
| 气载流出物 | 南翼回风井      | 7.55E+12          | 7.60E+04         | 7.60E+04         | 7.83E+04          | 7.60E+04          | 7.83E+04          | 7.83E+04          |
|       | 北翼回风井      | 7.33E+12          | 8.70E+04         | 8.70E+04         | 8.96E+04          | 8.70E+04          | 8.96E+04          | 8.96E+04          |
|       | 矿仓         | 1.13E+10          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |
|       | 破碎厂房       | 3.32E+09          | 4.18E+06         | 4.18E+06         | 4.30E+06          | 4.18E+06          | 4.30E+06          | 4.30E+06          |
|       | 堆浸场        | 1.86E+12          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |
|       | 废石场        | 3.78E+11          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |
|       | 尾矿库        | 1.03E+13          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |
| 液态流出物 | 矿井水处理设施    | —                 | 1.83E+09         | 1.83E+09         | 2.94E+08          | 4.02E+08          | 7.56E+07          | 4.97E+07          |
|       | 工艺废水处理设施   | —                 | 1.29E+07         | 1.29E+07         | 2.94E+07          | 4.03E+07          | 6.18E+06          | 4.06E+06          |
|       | 尾矿库流出水处理设施 | —                 | 1.02E+09         | 1.02E+09         | 2.14E+08          | 2.93E+08          | 1.13E+07          | 2.46E+07          |

### 3.3.5.2 非放射性污染物

棉花坑矿井三期工程及水冶厂、废物处理设施等均不新增劳动定员，不新增水冶及废物处理相关设备、设施，废水、废气、噪声等非放射性污染物产生及处理情况与现有工程相同。

### 3.3.5.3 归一化排放量

棉花坑矿井三期工程矿山开采及水冶归一化排放量达标情况分析见表 3.3-4，锦原公司堆浸水冶设施归一化排放量达标情况分析见表 3.3-5。由此可以看出，棉花坑三期工程矿山开采及后续相关的堆浸水冶厂流出物排放均可以满足归一化排放管理限值要求。

表 3.3-4 棉花坑矿井三期工程矿山开采归一化排放量 单位：Bq/100tU

| 核素                | 本项目归一化排放量 | 管理限值    | 达标情况 |
|-------------------|-----------|---------|------|
| U <sub>天然</sub>   | 2.72E+05  | 4.0E+07 | 达标   |
| <sup>226</sup> Ra | 1.40E+05  | 6.0E+07 | 达标   |
| <sup>222</sup> Rn | 1.24E+13  | 6.0E+13 | 达标   |
| <sup>210</sup> Pb | 1.40E+05  | 2.5E+07 | 达标   |
| <sup>210</sup> Po | 1.40E+05  | 2.5E+07 | 达标   |

表 3.3-5 三期工程相关堆浸水冶设施归一化排放量 单位：Bq/100tU

| 项目        |        | U <sub>天然</sub> | <sup>226</sup> Ra | <sup>222</sup> Rn | <sup>210</sup> Pb | <sup>210</sup> Po |
|-----------|--------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 气载<br>流出物 | 锦原水冶设施 | 6.97E+06        | 3.58E+06          | 1.56E+12          | 3.58E+06          | 3.58E+06          |
|           | 管理限值   | 3.5E+08         | 5.0E+06           | 4.0E+12           | 2.5E+07           | 2.5E+07           |
|           | 达标情况   | 达标              | 达标                | 达标                | 达标                | 达标                |
| 液态<br>流出物 | 锦原水冶设施 | 2.15E+07        | 2.45E+07          | —                 | 3.38E+06          | 5.15E+06          |
|           | 管理限值   | 9.5E+08         | 2.5E+08           | —                 | 6.5E+07           | 6.5E+07           |
|           | 达标情况   | 达标              | 达标                | —                 | 达标                | 达标                |

## 3.4 三本账

本项目主要针对棉花坑矿井深部铀矿资源进行开发，水冶及污染物处理、处置利用现有设施。本项目实施前后，三废排放“三本账”情况见表 3.4-1。

表 3.4-1 本项目“三本账”情况

| 项目   |         | <sup>222</sup> Rn, Bq/a |  | <sup>238</sup> U, Bq/a |  | <sup>234</sup> U, Bq/a |  | <sup>226</sup> Ra, Bq/a |  | <sup>230</sup> Th, Bq/a |  | <sup>210</sup> Po, Bq/a |  | <sup>210</sup> Pb, Bq/a |  |                         |  |
|------|---------|-------------------------|--|------------------------|--|------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|
| 矿井废气 | 现状排放    | 1.65E+13                |  | 1.81E+05               |  | 1.81E+05               |  | 1.87E+05                |  | 1.81E+05                |  | 1.87E+05                |  | 1.87E+05                |  |                         |  |
|      | 三期工程排放量 | 1.49E+13                |  | 1.63E+05               |  | 1.63E+05               |  | 1.68E+05                |  | 1.63E+05                |  | 1.68E+05                |  | 1.68E+05                |  |                         |  |
|      | 变化量     | -1.60E+12               |  | -1.80E+04              |  | -1.80E+04              |  | -1.90E+04               |  | -1.80E+04               |  | -1.90E+04               |  | -1.90E+04               |  |                         |  |
| 项目   |         | <sup>222</sup> Rn, Bq/a |  | 粉尘, t/a                |  | <sup>238</sup> U, Bq/a |  | <sup>234</sup> U, Bq/a  |  | <sup>226</sup> Ra, Bq/a |  | <sup>230</sup> Th, Bq/a |  | <sup>210</sup> Po, Bq/a |  | <sup>210</sup> Pb, Bq/a |  |
| 破碎废气 | 现状排放    | 2.45E+09                |  | 0.175                  |  | 4.28E+06               |  | 4.28E+06                |  | 4.41E+06                |  | 4.28E+06                |  | 4.41E+06                |  | 4.41E+06                |  |
|      | 三期工程排放量 | 3.32E+09                |  | 0.192                  |  | 4.18E+06               |  | 4.18E+06                |  | 4.30E+06                |  | 4.18E+06                |  | 4.30E+06                |  | 4.30E+06                |  |
|      | 变化量     | 8.70E+08                |  | 0.017                  |  | -1.00E+05              |  | -1.00E+05               |  | -1.10E+05               |  | -1.00E+05               |  | -1.10E+05               |  | -1.10E+05               |  |
| 项目   |         | 废水量, m <sup>3</sup> /a  |  | <sup>238</sup> U, Bq/a |  | <sup>234</sup> U, Bq/a |  | <sup>226</sup> Ra, Bq/a |  | <sup>230</sup> Th, Bq/a |  | <sup>210</sup> Po, Bq/a |  | <sup>210</sup> Pb, Bq/a |  |                         |  |
| 矿井水  | 现状排放    | 8.91E+05                |  | 1.51E+09               |  | 1.51E+09               |  | 2.42E+08                |  | 3.31E+08                |  | 6.23E+07                |  | 4.10E+07                |  |                         |  |
|      | 三期工程排放量 | 1.08E+06                |  | 1.83E+09               |  | 1.83E+09               |  | 2.94E+08                |  | 4.02E+08                |  | 7.56E+07                |  | 4.97E+07                |  |                         |  |
|      | 变化量     | 1.89E+05                |  | 3.20E+08               |  | 3.20E+08               |  | 5.20E+07                |  | 7.10E+07                |  | 1.33E+07                |  | 8.70E+06                |  |                         |  |
| 项目   |         | 堆浸尾渣, 万 t/a             |  |                        |  |                        |  |                         |  | 废石, 万 t/a               |  |                         |  |                         |  |                         |  |
| 固体废物 | 现状排放    | 4.1                     |  |                        |  |                        |  |                         |  | 0                       |  |                         |  |                         |  |                         |  |
|      | 三期工程排放量 | 5.5                     |  |                        |  |                        |  |                         |  | 0.7                     |  |                         |  |                         |  |                         |  |
|      | 变化量     | 1.4                     |  |                        |  |                        |  |                         |  | 0.7                     |  |                         |  |                         |  |                         |  |

1) 本项目实施后通过优化井下巷道, 封堵废弃巷道, 减少了矿井排放量风量, 从而使每年矿井氡排放量减少  $1.6 \times 10^{12} \text{Bq}$ , 粉尘中各种核素的排放量也有所降低;

2) 破碎生产线由于处理矿石量有所增加, 破碎粉尘的排放量也有所增加, 破碎过程中氡的释放量增加了  $8.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ; 但由于矿石的品位降低, 随粉尘排放的  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  等核素也有所减少;

3) 随着采矿范围向下、向南延伸, 矿井水产生量每年增加  $1.89 \times 10^5 \text{m}^3$ , 随矿井水排放的  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  等核素也有所增加;

4) 棉花坑三期工程实施后, 堆浸尾渣每年增加 1.4 万 t; 需在地表堆存处置的废石量每年增加 0.7 万 t。

### 3.5 废物最小化

#### 1) 废气

井下采场中凿岩、放矿、掘进等工作面产生的放射性废气, 采用源头控制的湿式作业方式, 凿岩机、挖掘机等主要采掘设备配备喷雾洒水装置, 并利用废石及时回填采空区, 密闭封堵废弃巷道, 可一定程度上抑制铀矿尘、氡及其子体的产生, 减少经强制通风措施排出的废气对周边环境的影响。

在颚式破碎机、圆锥破碎机、振动筛等产尘点设置泡沫喷头和干雾喷头, 抑制破碎过程中产生的粉尘, 抑尘效率可达 95%, 截留了大部分铀矿粉尘, 减小粉尘扩散污染的范围。

#### 2) 废水

棉花坑矿井生产过程中采用矿井水、吸附尾液配置淋洗剂、淋浸剂, 减少了废水的排放量; 本项目建成后, 矿井水、工艺废水、尾矿库流出水均排入现有的处理设施进行处理, 达标后排放。

#### 3) 固体废物

棉花坑矿井三期工程基建期废石全部回填二期工程遗留的采空区; 生产期废石除少量运至书楼丘废石场堆存外, 大部分都在井下填充。废石回填实现废物综合利用的同时, 减少了放射性固体废物在地表的堆存量。



## 4 环境质量状况

### 4.1 建矿前本底水平

根据《中国核工业三十年辐射环境质量评价文集》（潘自强主编，原子能出版社，1989 年）中相关数据，原 745 矿建前矿区放射性本底调查监测结果见表 4.1-1。

表 4.1-1 建矿前矿区放射性本底调查监测结果

| 监测对象    | 监测项目                                | 本底值         |
|---------|-------------------------------------|-------------|
| 空气      | $^{222}\text{Rn}$ Bq/m <sup>3</sup> | 25.9~254.6  |
| 地表水体    | $\text{U}_{\text{天然}}$ μg/L         | 0.18~0.98   |
|         | $^{226}\text{Ra}$ Bq/L              | 0.037~0.107 |
| 土壤      | $\text{U}_{\text{天然}}$ mg/kg        | 1.9~16.8    |
|         | $^{226}\text{Ra}$ Bq/kg             | 169         |
| 贯穿辐射剂量率 | 贯穿辐射剂量率 $10^{-8}\text{Gy/h}$        | 17.6~43.8   |
| 稻谷      | $\text{U}_{\text{天然}}$ μg/kg        | 0.006~0.012 |
| 蔬菜      | $\text{U}_{\text{天然}}$ μg/kg        | 0.005~0.017 |

### 4.2 监测内容

#### 4.2.1 监测数据来源

棉花坑矿井为在役铀矿山。在生产过程中锦原公司根据相关要求，按照监测计划，对棉花坑矿井周边的环境进行持续的监测，并每年编制《铀矿冶流出物与环境监测总结报告》。本评价环境质量现状数据，采用 2020 年~2022 年监测年报中的数据。

年报监测由核工业二九〇研究所、中核（广东）科技有限公司韶关市检验检测分公司承担。

#### 4.2.2 监测方案及监测点位

锦原公司生产期环境监测方案见表 4.2-1。监测布点图见图 4.2-1。

表 4.2-1 生产期环境监测方案

| 监测介质             | 布点位置                           | 监测项目                                                                                                                                                                                                                   | 监测频次   |
|------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 空气               | 矿部生活区                          | $^{222}\text{Rn}$ 及其子体                                                                                                                                                                                                 | 1 次/季度 |
|                  | 驼背岭（对照点）                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
| 气溶胶              | 矿部生活区                          | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、总 $\alpha$                                                                                                                                                                                     | 1 次/半年 |
|                  | 马牯丘                            |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 驼背岭（对照点） <sup>1</sup>          |                                                                                                                                                                                                                        |        |
| 贯穿辐射剂量率          | 矿部生活区                          | $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率                                                                                                                                                                                                     | 1 次/半年 |
|                  | 朱洞村                            |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 马牯丘村                           |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 运矿公路                           |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 驼背岭（对照点）                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
| 地表水 <sup>2</sup> | 矿井水排放口上游、<br>工艺废水（尾矿库流出水）排放口上游 | $\text{pH}$ 、 $\text{COD}$ 、氨氮、 $\text{F}^-$ （1 次/季度）；<br>$\text{Cd}$ 、 $\text{As}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ （1 次/半年） |        |
|                  | 黄溪水黄溪水村段                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 马牯丘小溪大村段                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
| 底泥               | 矿井水排放口上游、<br>工艺废水排放口上游         | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$                                                                                                                                                                             | 1 次/年  |
|                  | 黄溪水黄溪水村段                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 马牯丘小溪大村段                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
| 地下水              | 尾矿库下游                          | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $\text{pH}$                                                                                                                       | 1 次/半年 |
|                  | 驼背岭（对照点）                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
| 土壤               | 马牯丘村农田                         | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{As}$                                                                                                                                                 | 1 次/半年 |
|                  | 黄溪水村农田                         |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 驼背岭（对照点）                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |
| 生物               | 黄溪水村                           | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$                                                                                                                                     | 1 次/年  |
|                  | 大村                             |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 马牯丘                            |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 朱洞                             |                                                                                                                                                                                                                        |        |
|                  | 驼背岭（对照点）                       |                                                                                                                                                                                                                        |        |

\*注：1、2020 年监测对照点为太坪村；2021 年后调整为驼背岭；2、矿井水受纳水体为马牯丘小溪、工艺废水（尾矿库流出水）排口为官田小溪。

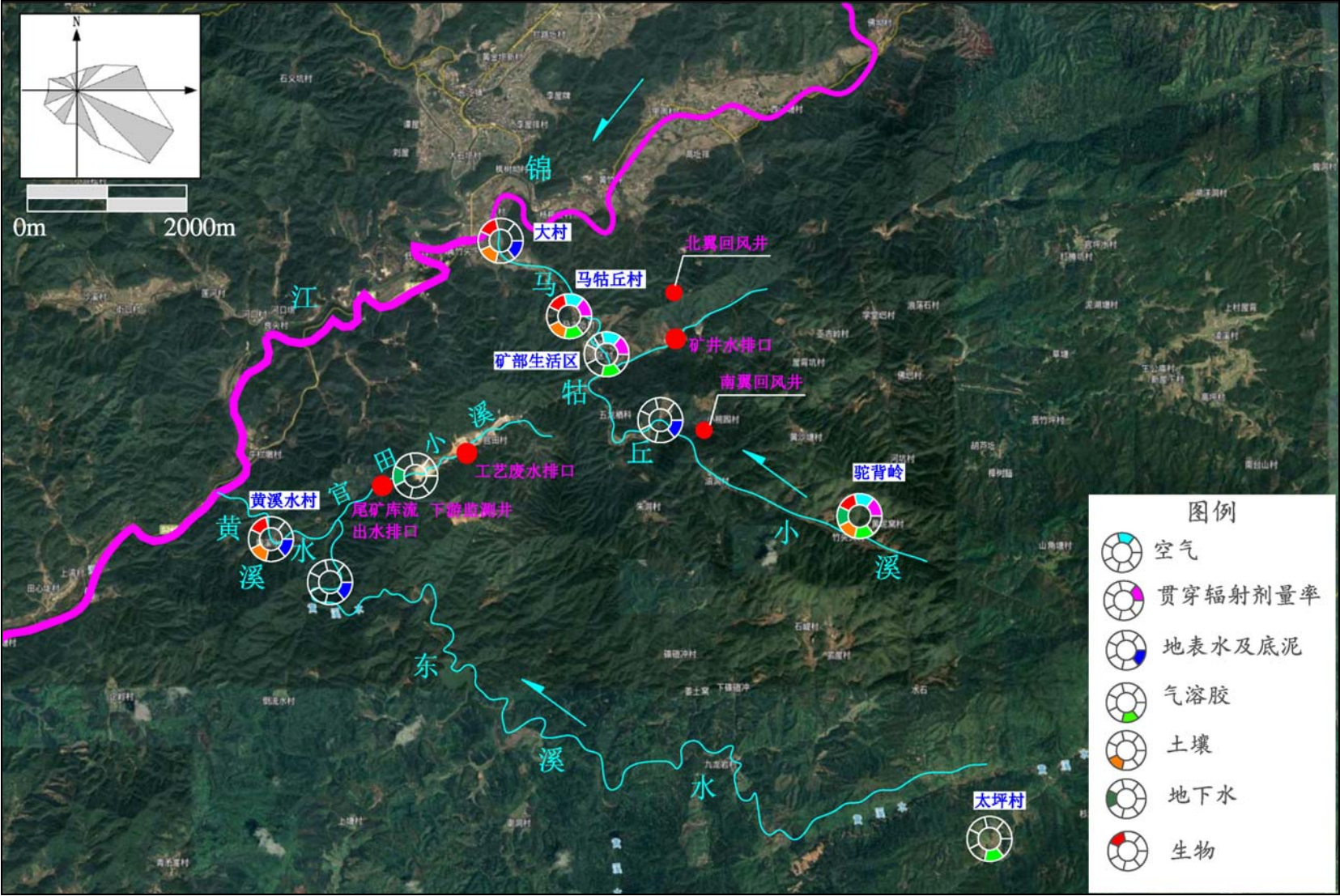


图 4.2-1 环境现状监测布点图

## 4.2.3 监测方法、仪器和检出限

为保证测量数据的准确性，测量方法采用国家和核工业领域颁布或推荐的标准测量方法。本项目监测内容和测量分析方法及监测仪器见表 4.2-2。

表 4.2-2 监测方法、仪器及检出限

| 介质         | 监测项目              | 分析方法              | 仪器                         | 检出限                                           |
|------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|
| 空气         | 氦气                | HJ1212-2021       | RAD7 $\alpha$ 测氦仪          | 3.7Bq/m <sup>3</sup>                          |
|            | 氦子体               | EJ378-1989        | BWLM-PLUS-S-060 测氦仪        | 0.02nJ/m <sup>3</sup>                         |
| 气溶胶        | U <sub>天然</sub>   | HJ657-2013        | 电感耦合等离子质谱仪                 | 2 $\times$ 10 <sup>-8</sup> ng/m <sup>3</sup> |
|            | 总 $\alpha$        | EJ/T 1075-1998    | 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 | 0.001Bq<br>(100min)                           |
| 贯穿辐射剂量率    |                   | HJ1157-2021       | HD-3023 $\gamma$ 剂量率仪      | 1 $\times$ 10 <sup>-9</sup> Gy/h              |
| 地表水<br>地下水 | U <sub>天然</sub>   | HJ840-2017        | MUA 微量铀分析仪                 | 0.01 $\mu$ g/L                                |
|            | <sup>226</sup> Ra | GB/T 11214-1989   | FD-125 室内氡钍分析仪             | 0.002Bq/L                                     |
|            | <sup>210</sup> Po | HJ 813-2016       | 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 | 0.001Bq/L                                     |
|            | <sup>210</sup> Pb | EJ/T 859-1994     | 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 | 0.002Bq/L                                     |
|            | 总 $\alpha$        | GB/T5750.13-2006  | 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 | 0.001Bq<br>(100min)                           |
|            | 总 $\beta$         |                   |                            | 0.004Bq<br>(100min)                           |
|            | pH                | HJ 1147-2020      | PHS-2F 酸度计                 | —                                             |
|            | Cd                | HJ 700-2014       | 电感耦合等离子体质谱仪                | 0.00005mg/L                                   |
|            | As                |                   |                            | 0.00012mg/L                                   |
|            | Mn                | GB11906-1989      | 可见分光光度计                    | 0.025mg/L                                     |
|            | 氟化物               | HJ 84-2016        | 离子色谱仪                      | 0.006mg/L                                     |
|            | 氨氮                | HJ 535-2009       | 可见分光光度计                    | 0.025mg/L                                     |
| 土壤<br>底泥   | U <sub>天然</sub>   | GB/T14506.30-2010 | 电感耦合等离子体质谱仪                | 0.003 $\mu$ g/g                               |
|            | <sup>226</sup> Ra | GB/T 11743-2013   | 低本底多道 $\gamma$ 能谱仪         | 5.5Bq/kg                                      |
|            | Cd                | GB/T17141-1997    | 石墨炉原子吸收光谱仪                 | 0.003mg/kg                                    |
|            | As                | GB/T22105.2-2008  | 原子荧光光度计                    | 0.01mg/kg                                     |
| 生物         | U <sub>天然</sub>   | HJ840-2017        | 微量铀分析仪                     | 0.00003 $\mu$ g/g                             |
|            | <sup>226</sup> Ra | GB/T11214-1989    | 室内测氦仪                      | 0.37Bq/kg                                     |
|            | <sup>210</sup> Po | HJ 813-2016       | 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪 | 0.10Bq/kg                                     |
|            | <sup>210</sup> Pb | EJ/T8859-1994     |                            | 0.28Bq/kg                                     |

#### 4.2.4 监测质量保证

1) 年报监测单位核工业二九〇研究所、中核(广东)科技有限公司韶关市检验检测分公司均为国家认证的单位;所有参加监测的技术人员均参加过专业培训,经过上级部门考核,取得合格证书,并持证上岗操作。

2) 测量、取样和分析工作均执行国家或行业颁布的标准方法,分析过程严格按照标准要求进行。

3) 监测和测量仪器均经过计量行政部门指定的计量检定机构确认合格。

4) 现场测量结果的质量采用重复检查测量进行控制。重复检查测量比例不少于 10%。对异常结果随时发现,随时检查。

5) 样品分析结果的质量采用标样检查、重复检查等方法进行控制。分析所用的标准物质溯源到国家或国际标准。

6) 为保障监测结果的可靠性,实行全过程监测记录,包括采用记录、监测记录、质量控制记录、核查和对比分析记录、记录保管等方面的内容。

#### 4.3 调查结果与分析

##### 4.3.1 空气中氡及其子体浓度

棉花坑矿井周边的锦原公司矿部生活区环境空气中氡及子体浓度监测结果见表 4.3-1。

表 4.3-1 环境空气中氡及子体浓度监测结果

| 监测点位     | 氡浓度 (Bq/m <sup>3</sup> ) |        |        | 氡子体浓度 (nJ/m <sup>3</sup> ) |        |        |
|----------|--------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
|          | 2020 年                   | 2021 年 | 2022 年 | 2020 年                     | 2021 年 | 2022 年 |
| 矿部生活区    | 30.57                    | 24.50  | 89.87  | 138.9                      | 45.10  | 39.75  |
| 驼背岭(对照点) | —                        | —      | 47.35  | —                          | —      | 32.50  |
| 建矿前本底    | 25.9~254.6               |        |        | —                          |        |        |

由该表可知,锦原公司矿部生活区氡浓度与建矿前本底基本处于同一水平。

##### 4.3.2 气溶胶

棉花坑矿井周边居民点空气中  $U_{\text{天然}}$ 、总  $\alpha$  监测结果见表 4.3-2。

由表中数据可以看出,矿部生活区和马牯丘村处空气中的  $U_{\text{天然}}$  浓度、总  $\alpha$

浓度与对照点基本处于同一水平。

表 4.3-2 环境空气中气溶胶浓度监测结果

| 序号 | 监测点位      | U <sub>天然</sub> (ng/m <sup>3</sup> ) |        |        | 总 α (mBq/m <sup>3</sup> ) |        |        |
|----|-----------|--------------------------------------|--------|--------|---------------------------|--------|--------|
|    |           | 2020 年                               | 2021 年 | 2022 年 | 2020 年                    | 2021 年 | 2022 年 |
| 1  | 矿部生活区     | 0.25                                 | 1.24   | 0.17   | 0.22                      | 0.50   | 0.10   |
| 2  | 马牯丘       | 0.375                                | 0.53   | —      | 0.129                     | 0.10   | —      |
| 3  | 驼背岭 (对照点) | —                                    | 0.32   | 0.02   | —                         | 0.35   | 未检出    |
| 4  | 太坪村 (对照点) | 0.29                                 | —      | —      | 0.08                      | —      | —      |

#### 4.3.3 贯穿辐射剂量率

棉花坑矿井周边居民点、矿部生活区及运矿公路沿线贯穿辐射剂量率水平监测结果见表 4.3-3。

表 4.3-3 矿井周边贯穿辐射剂量率监测结果

| 序号      | 监测点位      | 监测结果 (nGy/h) |        |        |
|---------|-----------|--------------|--------|--------|
|         |           | 2020 年       | 2021 年 | 2022 年 |
| 1       | 矿部生活区     | 228          | 186.50 | 220.00 |
| 2       | 朱洞村       | 192.41       | 201.50 | —      |
| 3       | 马牯丘       | 197.40       | 204.50 | —      |
| 4       | 运矿公路      | 350.5        | 313.50 | 308.50 |
| 5       | 驼背岭 (对照点) | —            | —      | 167.50 |
| 建矿前本底水平 |           | 176~438      |        |        |

由该表可知，棉花坑矿井周边居民点、矿部生活区以及运矿公路处贯穿辐射剂量率水平均在建矿前本底水平范围之内。

#### 4.3.4 地表水及底泥

##### 4.3.4.1 地表水

与棉花坑矿井排水相关的地表水中放射性核素及非放射性因子监测结果见表 4.3-4、表 4.3-5。

由该表可知，棉花坑矿井水、工艺废水排放口上游以及受纳水体下游居民点处地表水中 <sup>226</sup>Ra 浓度与建矿前本底基本处于同一水平；马牯丘小溪大村段 U<sub>天然</sub> 浓度较建矿前本底略有升高，其余点位与建矿前本底基本处于同一水平；非放射性因子均满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 标准要求。

表 4.3-4 地表水中放射性核素监测结果

| 时间      | 监测点位      | U <sub>天然</sub> , µg/L | <sup>226</sup> Ra, Bq/L | <sup>210</sup> Pb, Bq/L | <sup>210</sup> Po, Bq/L | 总 α, Bq/L | 总 β, Bq/L |
|---------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 2020 年  | 工艺废水排放口上游 | 0.92                   | 0.019                   | 0.015                   | 0.012                   | 0.047     | 0.062     |
|         | 黄溪水黄溪水村段  | 0.63                   | 0.034                   | 0.06                    | 0.013                   | 0.039     | 0.057     |
|         | 马牯丘小溪大村段  | 2.74                   | 0.035                   | 0.045                   | 0.036                   | 0.158     | 0.136     |
| 2021 年  | 矿井水排放口上游  | 0.805                  | 0.313                   | 0.01                    | 0.006                   | 0.356     | 0.168     |
|         | 尾矿库排放口上游  | 0.975                  | 0.0205                  | 0.01                    | 0.0055                  | 0.130     | 0.096     |
|         | 黄溪水黄溪水村段  | 0.495                  | 0.023                   | 0.01                    | 0.003                   | 0.122     | 0.088     |
|         | 马牯丘小溪大村段  | 13                     | 0.0295                  | 0.02                    | 0.028                   | 0.415     | 0.190     |
| 2022 年  | 矿井水排放口上游  | 0.240                  | 0.126                   | 0.04                    | 0.024                   | 0.136     | 0.097     |
|         | 工艺废水排放口上游 | 4                      | 0.093                   | 0.02                    | 0.014                   | 0.374     | 0.240     |
|         | 黄溪水黄溪水村段  | 2                      | 0.505                   | 0.025                   | 0.0095                  | 0.159     | 0.219     |
|         | 马牯丘小溪大村段  | 23                     | 0.045                   | 0.01                    | 0.011                   | 0.272     | 0.111     |
| 建矿前本底水平 |           | 0.18~0.98              | 0.037~0.107             | —                       | —                       | —         | —         |



表 4.3-5 地表水中非放射性因子监测结果

| 时间                  | 监测点位      | pH   | NH <sub>3</sub> -N | F <sup>-</sup> | Cd  | As    | Mn    |
|---------------------|-----------|------|--------------------|----------------|-----|-------|-------|
| 2020 年              | 工艺废水排放口上游 | 7.36 | 未检出                | 0.18           | 未检出 | 0.65  | 7.79  |
|                     | 黄溪水黄溪水村段  | 7.21 | 0.242              | 0.185          | 未检出 | 0.52  | 3.91  |
|                     | 马牯丘小溪大村段  | 7.43 | 未检出                | 0.33           | 未检出 | 0.66  | 6.96  |
| 2021 年              | 矿井水排放口上游  | 7.25 | 0.059              | 0.22           | 未检出 | 0.64  | 1.69  |
|                     | 工艺废水排放口上游 | 7.43 | 0.082              | 0.074          | 未检出 | 0.29  | 3.94  |
|                     | 黄溪水黄溪水村段  | 7.44 | 0.238              | 0.15           | 未检出 | 1.39  | 5.02  |
|                     | 马牯丘小溪大村段  | 7.51 | 未检出                | 0.3            | 未检出 | 0.76  | 0.86  |
| 2022 年              | 矿井水排放口上游  | 7.1  | 0.331              | 0.077          | 未检出 | 0.395 | 0.075 |
|                     | 工艺废水排放口上游 | 7.4  | 0.321              | 0.225          | 未检出 | 0.38  | 0.046 |
|                     | 黄溪水黄溪水村段  | 7.1  | 0.640              | 0.466          | 未检出 | 0.405 | 0.048 |
|                     | 马牯丘小溪大村段  | 7.6  | 0.369              | 0.76           | 未检出 | 0.755 | 0.062 |
| GB3838-2002 中Ⅲ类标准限值 |           | 6~9  | 1.0                | 1.0            | 5   | 50    | 100   |

注：pH 无单位，氨氮和 F<sup>-</sup>单位为 mg/L，其余指标单位为 μg/L。

## 4.3.4.2 底泥

地表水体取样点处底泥中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  含量监测结果见表 4.3-6。

表 4.3-6 地表水底泥监测结果

| 时间      | 监测点位      | $U_{\text{天然}}$ , mg/kg | $^{226}\text{Ra}$ , Bq/kg |
|---------|-----------|-------------------------|---------------------------|
| 2020 年  | 工艺废水排放口上游 | 22.3                    | 141                       |
|         | 黄溪水黄溪水村段  | 16.1                    | 138                       |
|         | 马牯丘小溪大村段  | 31.8                    | 282                       |
| 2021 年  | 矿井水排放口上游  | 11.6                    | 129                       |
|         | 工艺废水排放口上游 | 4.92                    | 91.0                      |
|         | 黄溪水黄溪水村段  | 14.6                    | 215                       |
|         | 马牯丘小溪大村段  | 13.3                    | 150                       |
| 2022 年  | 矿井水排放口上游  | 12.2                    | 112                       |
|         | 工艺废水排放口上游 | 28.3                    | 183                       |
|         | 黄溪水黄溪水村段  | 15.7                    | 114                       |
|         | 马牯丘小溪大村段  | 40.3                    | 165                       |
| 建矿前本底水平 |           | 1.9~16.8                | 169                       |

由表中数据可知项目周边地表水体底泥中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  浓度与建矿前本底基本处于同一水平。

## 4.3.5 地下水

尾矿库下游地下水中放射性核素监测结果见表 4.3-7。由表中数据可知尾矿库下游监测井中,  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  浓度与对照点基本处于同一水平,  $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  略高于对照点。

表 4.3-7 地下水监测结果

| 时间     | 监测点位      | $U_{\text{天然}}$ , mg/L | $^{226}\text{Ra}$ , Bq/L | $^{210}\text{Pb}$ , Bq/L | $^{210}\text{Po}$ , Bq/L | pH   |
|--------|-----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|
| 2020 年 | 尾矿库下游     | 0.0029                 | 0.022                    | 0.095                    | 0.051                    | 7.57 |
|        | 驼背岭 (对照点) | 0.0016                 | 0.042                    | 0.04                     | 0.020                    | 7.32 |
| 2021 年 | 尾矿库下游     | 0.0017                 | 0.032                    | 0.10                     | 0.014                    | 7.27 |
|        | 驼背岭 (对照点) | 0.041                  | 0.032                    | 0.01                     | 0.006                    | 7.30 |
| 2022 年 | 尾矿库下游     | 0.033                  | 0.057                    | 0.17                     | 0.059                    | 6.75 |
|        | 驼背岭 (对照点) | 0.001                  | 0.036                    | 未检出                      | 0.002                    | 6.8  |

### 4.3.6 土壤

棉花坑矿井及水冶厂周边居民点农田（旱地）土壤中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  含量以及土壤中 Cd、As 含量监测结果见表 4.3-8。

由表中数据可以看出，马牯丘村农田土壤中  $U_{\text{天然}}$  含量较建矿前本底有所升高；除此之外，其他居民点附近农田土壤中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  含量与建矿前本底基本处于同一水平；周边居民点土壤中 Cd、As 监测结果均满足《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中的土壤污染风险筛选值的标准要求。

表 4.4-8 土壤中各核素浓度监测结果\*

| 时间                                   | 监测点位     | $U_{\text{天然}}$ , mg/kg | $^{226}\text{Ra}$ , Bq/kg | Cd, mg/kg | As, mg/kg |
|--------------------------------------|----------|-------------------------|---------------------------|-----------|-----------|
| 2020 年                               | 马牯丘村农田   | 23.6                    | 206.5                     | 0.26      | 4.46      |
|                                      | 黄溪水村农田   | 20.0                    | 149.5                     | 0.23      | 5.25      |
| 2021 年                               | 马牯丘村农田   | 27.30                   | 172.50                    | 0.26      | 2.70      |
|                                      | 黄溪水村农田   | 9.91                    | 136.50                    | 0.14      | 5.0       |
| 2022 年                               | 马牯丘村农田   | 35.35                   | 67.50                     | 0.29      | 12.45     |
|                                      | 黄溪水村农田   | 12.55                   | 107                       | 0.14      | 3.15      |
|                                      | 驼背岭（对照点） | 13.15                   | 118                       | 0.22      | 3.96      |
| 建矿前本底水平                              |          | 1.9~16.8                | 169                       | —         |           |
| GB15618-2018<br>污染风险筛选值 <sup>2</sup> |          | —                       | —                         | 0.3       | 40        |

\*1、矿区周边土壤呈弱酸性，pH 小于 5.5。

### 4.3.7 生物

棉花坑矿井周边居民点处采取的青菜及鱼类中放射性核素浓度监测结果见表 4.4-9。

表 4.4-9 生物样品中放射性核素浓度监测结果\*

| 时间         | 监测点位     | 样品类型  | U <sub>天然</sub> | <sup>226</sup> Ra | <sup>210</sup> Pb | <sup>210</sup> Po |
|------------|----------|-------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2020 年     | 黄溪水村     | 青菜    | 0.093           | 未检出               | 未检出               | 未检出               |
|            |          | 鱼类    | 0.014           | 0.9               | 未检出               | 未检出               |
|            | 大村       | 青菜    | 0.050           | 未检出               | 未检出               | 未检出               |
|            |          | 鱼类    | 0.015           | 0.9               | 未检出               | 未检出               |
|            | 马牯丘      | 青菜    | 0.00037         | 0.37              | —                 | —                 |
|            | 朱洞       |       | 0.00036         | 0.32              | —                 | —                 |
| 2021 年     | 黄溪水村     | 青菜    | 0.043           | 0.51              | 0.42              | 0.54              |
|            |          | 鱼类    | 未检出             | 2.16              | 0.41              | 1.42              |
|            | 大村       | 青菜    | 未检出             | 0.55              | 2.15              | 0.46              |
|            |          | 鱼类    | 未检出             | 1.58              | 1.13              | 1.07              |
|            | 马牯丘      | 青菜    | 0.0015          | 0.62              | —                 | —                 |
|            | 朱洞       |       | 0.00074         | 0.41              | —                 | —                 |
|            | 驼背岭(对照点) | 青菜    | —               | —                 | —                 | —                 |
|            |          | 鱼类    | —               | —                 | —                 | —                 |
| 2022 年     | 黄溪水村     | 青菜    | 0.08            | 0.00026           | 0.86              | 0.15              |
|            |          | 鱼类    | 0.01            | 0.00026           | 0.07              | 0.06              |
|            | 大村       | 青菜    | 0.05            | 0.00024           | 0.24              | 0.20              |
|            |          | 鱼类    | 0.02            | 0.00054           | 0.12              | 0.11              |
|            | 马牯丘      | 青菜    | 0.0043          | 0.40              | —                 | —                 |
|            | 朱洞       |       | 0.0040          | 2.7               | —                 | —                 |
|            | 驼背岭(对照点) | 青菜    | 0.05            | 0.012             | 0.37              | 0.16              |
|            |          | 鱼类    | 0.01            | 0.00056           | 0.07              | 0.07              |
| GB14882-94 |          | 蔬菜及水果 | 1.5             | 11                | —                 | 5.3               |
|            |          | 肉鱼虾类  | 5.4             | 38                | —                 | 15                |

\*注：U<sub>天然</sub>单位为 mg/kg，其余单位为 Bq/kg。

由表中数据可以看出，棉花坑矿井周边居民点处蔬菜及鱼类样品中 U<sub>天然</sub>、<sup>226</sup>Ra、<sup>210</sup>Po 含量均满足《食品中放射性物质限制浓度标准》(GB14882-94) 中限值要求。

## 5 施工期环境影响

### 5.1 环境影响因素

#### 5.1.1 大气环境影响因素

施工期大气污染物主要为施工扬尘和机械废气。

矿仓顶部和窄轨线路改造施工过程中拆除、废材料运输等均会导致施工场地及附近地面扬尘增加；机械设备在施工过程中会排放烟气，施工车辆在运输过程中会产生汽车尾气，其中主要污染物为  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和颗粒物。

#### 5.1.2 地表水环境影响因素

施工期废水主要包括生产废水和作业人员生活废水。

施工期生产废水主要为设备清洗和水泥养护排水，水中污染物主要为悬浮物、泥沙等，产生量较少。施工期生活废水主要来自于施工人员产生的生活杂用水及盥洗用水，废水中主要污染物为 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，污染物浓度分别约为 250mg/L、40mg/L。

#### 5.1.3 固体废物

##### 1) 废石

本项目井下巷道开拓过程中会产生废石，基建期废石产生量为 22 万 t，约 13 万  $\text{m}^3$ 。

##### 2) 废旧金属

本项目地表卸矿系统自动化改造、提升系统改造过程中将部分拆除现有的窄轨铁路，并更换矿车和罐笼。其中，拆除的窄轨铁路共 50m，重量约 2t；更换单车重量为 600kg 的矿车 65 个，总重量 39t；罐笼 1 个，重 7.54t。施工期废旧金属产生量为 48.54t。

##### 3) 生活垃圾

施工人员会产生一定量的生活垃圾；本项目参与施工的人员共计 50 人，人均生活垃圾产生量为 0.5kg/d，以此计算施工期生活垃圾产生量为 8.25t/a。

### 5.1.4 声环境影响因素

本项目施工期噪声源主要是施工机械和运输车辆，包括推土机、挖掘机等。本项目施工期噪声源项详见表 5.1-1。

表 5.1-1 施工期主要噪声源强

单位：dB（A）

| 序号 | 噪声源名称  | 最高噪声级 | 测量距离（m） |
|----|--------|-------|---------|
| 1  | 挖掘机    | 84.0  | 5       |
| 2  | 起重机    | 95.0  | 1       |
| 3  | 装载机    | 85.0  | 5       |
| 4  | 混凝土搅拌机 | 80.0  | 5       |
| 5  | 破拆设备   | 100.0 | 1       |

## 5.2 环境影响分析

### 5.2.1 大气环境影响分析

#### 1) 施工扬尘

本项目施工期采取如下方式抑制扬尘产生：

（1）在施工过程中，要合理安排施工计划，避免在大风天气下进行大面积的开挖作业；

（2）在施工场地采用洒水、围挡等抑尘措施；

（3）施工车辆运行过程中，保持合理车速，减少道路扬尘；

（4）对运输车辆进行遮盖，减少施工车辆飘洒扬尘对周围环境空气质量的影响。

#### 2) 机械烟气

为减少由于燃油机械运行产生的烟气，在施工过程中选择使用工况良好的机械，并加强日常维护及检修，尽量避免由于机械老化而导致的燃料燃烧不完全现象的发生，以减少烟气的产生；选择高品质的燃料，以降低机械排放烟气中有害成分的含量。

采取以上措施后，可有效的降低大气污染物的排放量，施工期产生的扬尘和机械废气不会对项目周边环境产生明显的影响。

### 5.2.2 地表水影响分析

施工期间，使用简易废水收集系统，对于含污染物种类较为简单的生产废水，如设备冲洗、水泥养护排水，在收集沉淀后，回用于场地喷洒降尘；施工期生活废水排入现有的处理设施，处理达标后排放。

综上所述，本项目施工废水基本不会外排，不会对周边水环境造成影响。

### 5.2.3 固体废物影响分析

#### 1) 废石

本项目基建期产生的废石大部分直接回填井下；少量废石由于井下开拓的部分时段出现采充不均衡，需运出地表在 301 坑口废石场暂存，最终全部回填二期工程的井下采空区。

#### 2) 废旧金属

施工期产生的废旧金属运至书楼丘矿井巷道内暂存，并排专人进行巡查、看管，待矿山退役时统一处理。

#### 3) 生活垃圾

施工期产生的生活垃圾收集后在矿区现有的生活垃圾暂存点暂存，定期由环卫部门外运处理。

采取上述的处理措施后，施工期产生的固体废物均得到了有效处置，不会对周围环境产生明显不利影响。

### 5.2.4 声环境影响分析

本项目施工均在棉花坑矿井现有厂区内进行，施工区域周边 500m 范围内没有居民点分布。

表 5.2-1 给出了施工期间各设备不同距离的噪声级（几何发散衰减模型），由此可知施工噪声因施工机械不同，影响的范围不同，在距离 50m 处可满足 GB12523-2011 中昼间 $\leq 70\text{dB}(\text{A})$ 的要求，在距离 180m 处可满足 GB12523-2011 中夜间 $\leq 55\text{dB}(\text{A})$ 的要求。



表 5.2-1 距主要噪声源不同距离噪声衰减情况 单位: dB (A)

| 距离<br>施工设备 | 10m | 20m | 50m | 100m | 150m | 180m | 200m | 昼间<br>标准 | 夜间<br>标准 |
|------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|----------|----------|
| 挖掘机        | 78  | 72  | 64  | 58   | 54   | 53   | 52   | 70       | 55       |
| 起重机        | 75  | 69  | 61  | 55   | 52   | 50   | 49   |          |          |
| 装载机        | 79  | 73  | 65  | 59   | 55   | 54   | 53   |          |          |
| 混凝土搅拌机     | 74  | 68  | 60  | 54   | 50   | 49   | 48   |          |          |
| 破拆设备       | 80  | 74  | 66  | 60   | 56   | 55   | 54   |          |          |

施工期采用以下方法降低施工噪声的产生:

- 1) 选择低噪设备, 并及时对其进行保养, 从源头上降低声源;
- 2) 对于噪声较高的设备, 如搅拌机等, 采取加装减震设备或隔音罩的方法对噪声进行阻隔;
- 3) 加强对设备的检查和维护, 减小由于设备部件之间的不正常碰撞产生的噪声;
- 4) 加强管理, 禁止夜间施工。

在采取以上措施后, 经过空气的吸收作用及地面效应引起声能衰减, 噪声大大降低。同时, 由于本项目大部分为井下施工, 涉及到地表施工的时间不长, 在施工期结束后, 相应的噪声影响将会消失, 因此施工期噪声不会对项目周边居民点声环境造成明显影响。

### 5.3 生态影响分析

棉花坑矿井三期工程不在地表新建生产设施, 不新增占地, 不会对周边植被、土壤等生态要素产生影响, 对生态环境的影响主要是施工期产生的噪声以及施工人员活动可能会对施工场地周边常出没的动物造成惊吓, 使其离开场地周围区域, 另辟觅食、繁殖地。区域内没有珍稀濒危野生动物栖息, 不涉及对珍稀濒危野生动物的影响问题。此外, 项目影响范围相对于区域内可供野生动物栖息的范围来说, 所占比例很小, 对于野生动物的栖息和生存影响不大。通过对工作人员加强管理、进行生态环境保护教育, 对机械设备采取降噪措施, 可以把项目对野生动物的影响降到最小。

## 6 辐射环境影响预测与评价

### 6.1 排放源项

本项目建设内容仅为棉花坑矿井开采部分，涉及的气载源项包括矿井废气、破碎厂房废气、废石场废气，涉及的液态源项包括矿井废水。但是，为了明确本项目投入运行后，锦原公司在产设施放射性源项对周边环境影响的贡献情况，本次预测还将对堆浸水冶生产线涉及的堆浸池废气、尾矿库废气等气态源项以及工艺废水、尾矿库流出水等液态源项在内的所有流出物一并进行考虑，对所有在产设施源项所致的公众剂量进行预测与评价。

#### 6.1.1 气态源项

本项目向环境释放的气态放射性流出物主要为  $^{222}\text{Rn}$  和含放射性粉尘 ( $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ )，气态源项包括回风井、堆浸场、破碎生产线、尾矿库等。北翼回风井为影响最大的源项，确定为本次预测评价的中心。本项目气载放射性源项参数和源强参数分别见表 6.1-1 和表 6.1-2。

表 6.1-1 气态放射性源项参数

| 序号 | 排放点名称 | 坐标      |         | 出口流速<br>(m/s) | 出口内径<br>(m) | 排放高度<br>(m) | 等效半径<br>(m) | 类型 |
|----|-------|---------|---------|---------------|-------------|-------------|-------------|----|
|    |       | x (m)   | y (m)   |               |             |             |             |    |
| 1  | 北翼回风井 | 0       | 0       | 6.92          | 2.82        | 0           | —           | 点源 |
| 2  | 南翼回风井 | 419.4   | -1707.6 | 6.79          | 2.82        | 0           | —           | 点源 |
| 3  | 破碎厂房  | 316.0   | -386.5  | 2.12          | 0.8         | 15          | —           | 点源 |
| 4  | 矿仓    | 330.9   | -405.0  | —             | —           | 0           | 5.64        | 面源 |
| 5  | 堆浸池   | -2217.9 | -1623.6 | —             | —           | 0           | 72.5        | 面源 |
| 6  | 废石场   | 116.9   | 539.6   | —             | —           | 0           | 71.3        | 面源 |
| 7  | 尾矿库   | -2700.5 | -1936.3 | —             | —           | 0           | 236         | 面源 |

表 6.1-2 气态放射性源项源强参数

| 序号 | 排放点名称 | $^{222}\text{Rn}$ | $^{238}\text{U}$ | $^{234}\text{U}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{230}\text{Th}$ | $^{210}\text{Po}$ | $^{210}\text{Pb}$ |
|----|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1  | 南翼回风井 | 7.55E+12          | 7.60E+04         | 7.60E+04         | 7.83E+04          | 7.60E+04          | 7.83E+04          | 7.83E+04          |
| 2  | 北翼回风井 | 7.33E+12          | 8.70E+04         | 8.70E+04         | 8.96E+04          | 8.70E+04          | 8.96E+04          | 8.96E+04          |
| 3  | 破碎厂房  | 3.32E+09          | 4.18E+06         | 4.18E+06         | 4.30E+06          | 4.18E+06          | 4.30E+06          | 4.30E+06          |
| 4  | 矿仓    | 1.13E+10          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |

| 序号 | 排放点名称 | $^{222}\text{Rn}$ | $^{238}\text{U}$ | $^{234}\text{U}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{230}\text{Th}$ | $^{210}\text{Po}$ | $^{210}\text{Pb}$ |
|----|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 5  | 堆浸池   | 1.86E+12          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |
| 6  | 废石场   | 3.78E+11          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |
| 7  | 尾矿库   | 1.03E+13          | —                | —                | —                 | —                 | —                 | —                 |

### 6.1.2 液态源项

本项目液态源项主要为矿井水排口、工艺废水排口及尾矿库流出水排口，主要考虑的核素为  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 。液态放射性源项分布见表 6.1-3。

表 6.1-3 液态源项排放参数

| 序号 | 排放点名称  | 排放量<br>( $\text{m}^3/\text{d}$ ) | 核素浓度 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) |                  |                   |                   |                   |                   |
|----|--------|----------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |        |                                  | $^{238}\text{U}$                | $^{234}\text{U}$ | $^{226}\text{Ra}$ | $^{230}\text{Th}$ | $^{210}\text{Po}$ | $^{210}\text{Pb}$ |
| 1  | 矿井废水   | 2958                             | 1693                            | 1693             | 272               | 372               | 70                | 46                |
| 2  | 工艺废水   | 242                              | 146                             | 146              | 333               | 456               | 70                | 46                |
| 3  | 尾矿库流出水 | 1725                             | 1617                            | 1617             | 340               | 465               | 18                | 39                |

### 6.1.3 源项分布

本项目气态、液态放射性源项分布见图 6.1-1。

## 6.2 辐射评价参数设置

### 6.2.1 评价方法

本次辐射环境影响评价的基本评价指标，是棉花坑矿井周围居民的最大个人有效剂量当量和半径 20km 范围内的集体有效剂量。评价方法是以模式计算为主，利用模式矿山结合本项目和项目周围铀矿冶设施，选择放射性核素在环境中迁移和剂量估算模式以及相应计算参数，利用预测软件完成个人有效剂量及集体有效剂量的估算，并对设施所致最大个人剂量进行分析。

### 6.2.2 照射途径

本次辐射环境影响预测与评价考虑气态、液态两个途径，包括空气浸没外照射、地表沉积外照射、吸入与食入内照射、水中浸没外照射、岸边沉积外照射。计算的主要放射性核素见表 6.2-1。照射途径示意图 6.2-1、图 6.2-2。

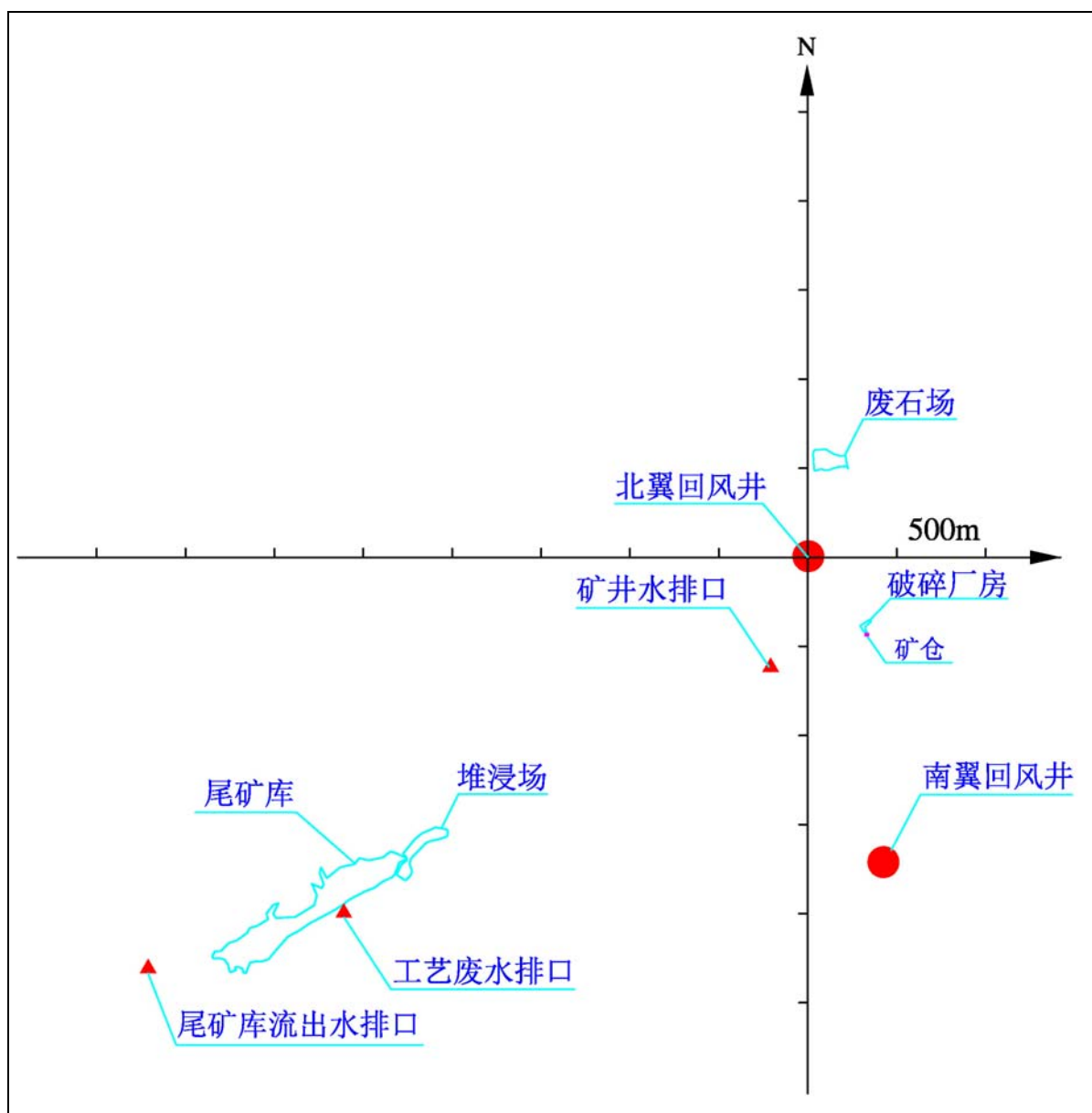


图 6.1-1 源项分布示意图

表 6.2-1 剂量估算中考虑的途径及主要放射性核素

|         |                                                                                                                                         |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 空气浸没照射  | $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$                     |
| 地表沉积外照射 | $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$                     |
| 吸入内照射   | $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{222}\text{Rn}$ |
| 食入内照射   | $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$                     |
| 水中浸没照射  | $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$                     |
| 岸边沉积外照射 | $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$                     |

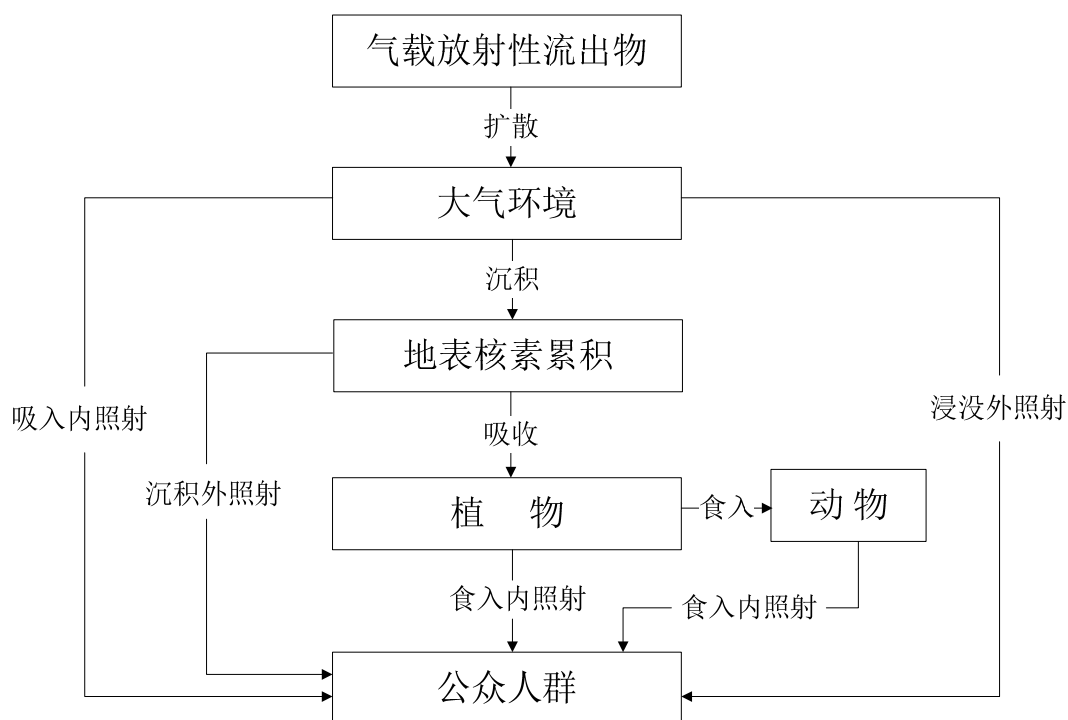


图 6.2-1 气态流出物照射途径

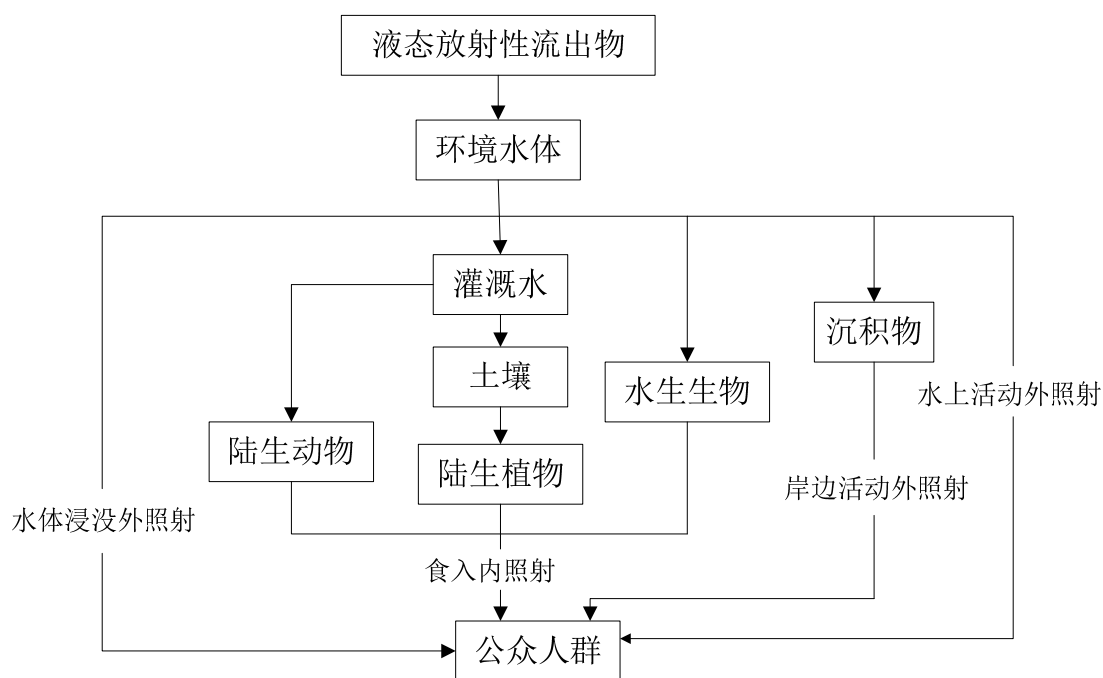


图 6.2-2 液态流出物照射途径

## 6.2.3 参数设置

### 1) 评价中心

选取本项目放射性污染物排放影响最大的北翼回风井为评价中心。

## 2) 评价子区及年龄组划分

本次评价以评价中心 20km 为半径, 按照 1km、2km、3km、5km、10km、20km 划分同心圆, 再将这些同心圆划分成 22.5°扇形段, 以正北 N 向左右各划分 11.25°为起始段, 共 96 个评价子区。各评价子区的人口数按年龄划分为四个组: 婴儿组 $\leq 1$  岁, 幼儿组 1~7 岁, 少年组 7~17 岁, 成人组 $>17$  岁。

## 3) 评价年份

本项目辐射环境影响评价年份设定为生产期最后一年, 即 2048 年。

## 4) 评价参数及模式

气载辐射环境影响预测采用中核第四研究设计工程有限公司开发的 UAIR-FINE 软件, 该软件基于最新大气边界层理论和剂量估算方法创建, 内置的大气扩散模型为导则推荐的大气预测模式之一、美国 EPA 开发的法规扩散模式 AERMOD, 剂量计算模式根据 IAEA 和 ICRP 最新剂量模式和参数创建。具体模式与参数详见附录一。

液态辐射环境影响预测采用中核第四研究设计工程有限公司开发的 ULID-FINE 软件, 该软件是在原 Y30LID 原理基础上界面化的程序, 同时更新了最新的剂量参数。具体模式与参数详见报告书附录二。

# 6.3 估算结果与分析

## 6.3.1 气态途径剂量估算

### 6.3.1.1 环境敏感目标辐射环境影响

#### 1) 对周边主要敏感目标的环境影响

棉花坑三期工程投产后, 棉花坑三期工程及堆浸场、尾矿库等气态源项所致 5km 内敏感目标核素浓度及公众剂量见表 6.3-1。

由表 6.3-1 可以看出, 气态源项对评价中心 5km 范围内各居民点中影响最大的是评价中心的 WSW 方位、1.11km 处的马牯丘村, 所致该居民点的最大个人剂量为 0.0176mSv/a, 出现在该居民点的幼儿和少年组。项目源项所致该居民点空气中  $^{222}\text{Rn}$  浓度贡献值至为 0.808Bq/m<sup>3</sup>,  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$  贡献值为  $3.04 \times 10^{-7}\text{Bq/m}^3$ ,  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$  贡献值为  $3.11 \times 10^{-7}\text{Bq/m}^3$ ;  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$  地表沉积浓度为 0.00723Bq/m<sup>2</sup>,  $^{226}\text{Ra}$  为 0.0074Bq/m<sup>2</sup>,  $^{210}\text{Po}$  为 0.00485Bq/m<sup>2</sup>,  $^{210}\text{Pb}$  为 0.00734Bq/m<sup>2</sup>。

表 6.3-1 气态源项对环境敏感目标环境影响

| 敏感点           |                   | 书楼丘（NNW，1.38km） |                 | 马牯丘（WSW，1.11km） |          | 杨梅坝（NW，1.77km）  |          | 黄竹坪（NW，1.69km） |          |
|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|----------|----------------|----------|
| 浓度            |                   | 空气 <sup>1</sup> | 沉积 <sup>2</sup> | 空气              | 沉积       | 空气              | 沉积       | 空气             | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 9.88E-08        | 3.66E-03        | 3.04E-07        | 7.23E-03 | 1.65E-07        | 4.93E-03 | 1.34E-07       | 4.25E-03 |
|               | <sup>234</sup> U  | 9.88E-08        | 3.66E-03        | 3.04E-07        | 7.23E-03 | 1.65E-07        | 4.93E-03 | 1.34E-07       | 4.25E-03 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 1.01E-07        | 3.74E-03        | 3.11E-07        | 7.40E-03 | 1.68E-07        | 5.04E-03 | 1.37E-07       | 4.35E-03 |
|               | <sup>230</sup> Th | 9.88E-08        | 3.66E-03        | 3.04E-07        | 7.23E-03 | 1.65E-07        | 4.93E-03 | 1.34E-07       | 4.25E-03 |
|               | <sup>210</sup> Po | 1.01E-07        | 2.45E-03        | 3.11E-07        | 4.85E-03 | 1.68E-07        | 3.30E-03 | 1.37E-07       | 2.85E-03 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 1.01E-07        | 3.71E-03        | 3.11E-07        | 7.34E-03 | 1.68E-07        | 5.00E-03 | 1.37E-07       | 4.32E-03 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 2.84E-01        | -               | 8.08E-01        | -        | 4.33E-01        | -        | 3.31E-01       | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 6.08E-03        |                 | 1.73E-02        |          | 9.29E-03        |          | 7.09E-03       |          |
|               | 幼儿                | 6.23E-03        |                 | <b>1.76E-02</b> |          | 9.49E-03        |          | 7.27E-03       |          |
|               | 少年                | 6.19E-03        |                 | <b>1.76E-02</b> |          | 9.45E-03        |          | 7.24E-03       |          |
|               | 成人                | 6.17E-03        |                 | 1.75E-02        |          | 9.42E-03        |          | 7.21E-03       |          |
| 敏感点           |                   | 里周村（N，2.29km）   |                 | 寨脚下（NNE，2.65km） |          | 亚吉岭（ESE，2.04km） |          | 学堂垌（E，2.51km）  |          |
| 浓度            |                   | 空气              | 沉积              | 空气              | 沉积       | 空气              | 沉积       | 空气             | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 3.76E-08        | 1.58E-03        | 3.19E-08        | 1.34E-03 | 2.90E-08        | 1.85E-03 | 2.18E-08       | 1.33E-03 |
|               | <sup>234</sup> U  | 3.76E-08        | 1.58E-03        | 3.19E-08        | 1.34E-03 | 2.90E-08        | 1.85E-03 | 2.18E-08       | 1.33E-03 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 3.85E-08        | 1.62E-03        | 3.26E-08        | 1.37E-03 | 2.97E-08        | 1.89E-03 | 2.23E-08       | 1.36E-03 |
|               | <sup>230</sup> Th | 3.76E-08        | 1.58E-03        | 3.19E-08        | 1.34E-03 | 2.90E-08        | 1.85E-03 | 2.18E-08       | 1.33E-03 |
|               | <sup>210</sup> Po | 3.85E-08        | 1.06E-03        | 3.26E-08        | 8.99E-04 | 2.97E-08        | 1.24E-03 | 2.23E-08       | 8.89E-04 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 3.85E-08        | 1.60E-03        | 3.26E-08        | 1.36E-03 | 2.97E-08        | 1.87E-03 | 2.23E-08       | 1.35E-03 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 1.23E-01        | -               | 1.04E-01        | -        | 1.21E-01        | -        | 1.35E-01       | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 2.64E-03        |                 | 2.22E-03        |          | 2.60E-03        |          | 2.88E-03       |          |
|               | 幼儿                | 2.70E-03        |                 | 2.28E-03        |          | 2.67E-03        |          | 2.94E-03       |          |
|               | 少年                | 2.69E-03        |                 | 2.26E-03        |          | 2.65E-03        |          | 2.92E-03       |          |
|               | 成人                | 2.67E-03        |                 | 2.25E-03        |          | 2.64E-03        |          | 2.91E-03       |          |



| 敏感点           |                   | 黄沙塘 (SE, 2.40km)   |          | 油洞 (SSE, 2.35km) |          | 朱洞 (S, 2.66km)   |          | 黄土寨 (NNE, 2.47km) |          |
|---------------|-------------------|--------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|-------------------|----------|
| 浓度            |                   | 空气                 | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气                | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 1.80E-08           | 9.83E-04 | 2.42E-08         | 1.08E-03 | 2.07E-08         | 9.13E-04 | 3.58E-08          | 1.48E-03 |
|               | <sup>234</sup> U  | 1.80E-08           | 9.83E-04 | 2.42E-08         | 1.08E-03 | 2.07E-08         | 9.13E-04 | 3.58E-08          | 1.48E-03 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 1.84E-08           | 1.00E-03 | 2.48E-08         | 1.10E-03 | 2.12E-08         | 9.38E-04 | 3.66E-08          | 1.52E-03 |
|               | <sup>230</sup> Th | 1.80E-08           | 9.83E-04 | 2.42E-08         | 1.08E-03 | 2.07E-08         | 9.13E-04 | 3.58E-08          | 1.48E-03 |
|               | <sup>210</sup> Po | 1.84E-08           | 6.57E-04 | 2.48E-08         | 7.22E-04 | 2.12E-08         | 6.14E-04 | 3.66E-08          | 9.93E-04 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 1.84E-08           | 9.95E-04 | 2.48E-08         | 1.09E-03 | 2.12E-08         | 9.30E-04 | 3.66E-08          | 1.50E-03 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 9.27E-02           | -        | 5.12E-01         | -        | 3.81E-01         | -        | 1.12E-01          | -        |
| 个人剂量          | 婴儿                | 1.99E-03           |          | 1.09E-02         |          | 8.14E-03         |          | 2.40E-03          |          |
|               | 幼儿                | 2.02E-03           |          | 1.10E-02         |          | 8.18E-03         |          | 2.46E-03          |          |
|               | 少年                | 2.01E-03           |          | 1.10E-02         |          | 8.17E-03         |          | 2.44E-03          |          |
|               | 成人                | 2.01E-03           |          | 1.10E-02         |          | 8.16E-03         |          | 2.43E-03          |          |
| 敏感点           |                   | 黄竹头下 (WNW, 2.67km) |          | 大村 (WNW, 2.47km) |          | 水尾垅 (NW, 2.95km) |          | 桐子坪 (NW, 2.69km)  |          |
| 浓度            |                   | 空气                 | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气                | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 1.37E-07           | 3.71E-03 | 1.45E-07         | 4.25E-03 | 8.55E-08         | 2.77E-03 | 8.32E-08          | 2.69E-03 |
|               | <sup>234</sup> U  | 1.37E-07           | 3.71E-03 | 1.45E-07         | 4.25E-03 | 8.55E-08         | 2.77E-03 | 8.32E-08          | 2.69E-03 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 1.40E-07           | 3.80E-03 | 1.48E-07         | 4.35E-03 | 8.74E-08         | 2.83E-03 | 8.51E-08          | 2.75E-03 |
|               | <sup>230</sup> Th | 1.37E-07           | 3.71E-03 | 1.45E-07         | 4.25E-03 | 8.55E-08         | 2.77E-03 | 8.32E-08          | 2.69E-03 |
|               | <sup>210</sup> Po | 1.40E-07           | 2.49E-03 | 1.48E-07         | 2.85E-03 | 8.74E-08         | 1.86E-03 | 8.51E-08          | 1.80E-03 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 1.40E-07           | 3.77E-03 | 1.48E-07         | 4.32E-03 | 8.74E-08         | 2.81E-03 | 8.51E-08          | 2.73E-03 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 3.81E-01           | -        | 3.79E-01         | -        | 2.50E-01         | -        | 2.26E-01          | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 8.17E-03           |          | 8.13E-03         |          | 5.36E-03         |          | 4.85E-03          |          |
|               | 幼儿                | 8.32E-03           |          | 8.31E-03         |          | 5.47E-03         |          | 4.96E-03          |          |
|               | 少年                | 8.29E-03           |          | 8.28E-03         |          | 5.45E-03         |          | 4.94E-03          |          |
|               | 成人                | 8.27E-03           |          | 8.25E-03         |          | 5.43E-03         |          | 4.92E-03          |          |

| 敏感点           |                   | 李屋排 (NW, 2.75km)  |          | 功富村 (NNW, 3.85km) |          | 阔田坝 (NNW, 3.63km) |          | 周屋水 (NNW, 3.93) |          |
|---------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|----------|
| 浓度            |                   | 空气                | 沉积       | 空气                | 沉积       | 空气                | 沉积       | 空气              | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 7.81E-08          | 2.59E-03 | 2.87E-08          | 1.26E-03 | 2.66E-08          | 1.18E-03 | 2.15E-08        | 9.68E-04 |
|               | <sup>234</sup> U  | 7.81E-08          | 2.59E-03 | 2.87E-08          | 1.26E-03 | 2.66E-08          | 1.18E-03 | 2.15E-08        | 9.68E-04 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 7.99E-08          | 2.65E-03 | 2.94E-08          | 1.29E-03 | 2.72E-08          | 1.21E-03 | 2.20E-08        | 9.87E-04 |
|               | <sup>230</sup> Th | 7.81E-08          | 2.59E-03 | 2.87E-08          | 1.26E-03 | 2.66E-08          | 1.18E-03 | 2.15E-08        | 9.68E-04 |
|               | <sup>210</sup> Po | 7.99E-08          | 1.74E-03 | 2.94E-08          | 8.46E-04 | 2.72E-08          | 7.91E-04 | 2.20E-08        | 6.47E-04 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 7.99E-08          | 2.63E-03 | 2.94E-08          | 1.28E-03 | 2.72E-08          | 1.20E-03 | 2.20E-08        | 9.80E-04 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 2.12E-01          | -        | 1.01E-01          | -        | 1.05E-01          | -        | 8.97E-02        | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 4.54E-03          |          | 2.17E-03          |          | 2.24E-03          |          | 1.92E-03        |          |
|               | 幼儿                | 4.64E-03          |          | 2.22E-03          |          | 2.29E-03          |          | 1.96E-03        |          |
|               | 少年                | 4.62E-03          |          | 2.20E-03          |          | 2.28E-03          |          | 1.95E-03        |          |
|               | 成人                | 4.60E-03          |          | 2.19E-03          |          | 2.27E-03          |          | 1.94E-03        |          |
| 敏感点           |                   | 竹山下 (NNW, 4.36km) |          | 白沙坡 (NNW, 4.90km) |          | 海螺寨 (N, 3.81km)   |          | 木溪村 (N, 4.07km) |          |
| 浓度            |                   | 空气                | 沉积       | 空气                | 沉积       | 空气                | 沉积       | 空气              | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 2.06E-08          | 9.43E-04 | 1.63E-08          | 7.53E-04 | 2.00E-08          | 8.93E-04 | 1.79E-08        | 8.08E-04 |
|               | <sup>234</sup> U  | 2.06E-08          | 9.43E-04 | 1.63E-08          | 7.53E-04 | 2.00E-08          | 8.93E-04 | 1.79E-08        | 8.08E-04 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 2.10E-08          | 9.68E-04 | 1.66E-08          | 7.73E-04 | 2.04E-08          | 9.13E-04 | 1.83E-08        | 8.28E-04 |
|               | <sup>230</sup> Th | 2.06E-08          | 9.43E-04 | 1.63E-08          | 7.53E-04 | 2.00E-08          | 8.93E-04 | 1.79E-08        | 8.08E-04 |
|               | <sup>210</sup> Po | 2.10E-08          | 6.31E-04 | 1.66E-08          | 5.06E-04 | 2.04E-08          | 5.98E-04 | 1.83E-08        | 5.42E-04 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 2.10E-08          | 9.60E-04 | 1.66E-08          | 7.67E-04 | 2.04E-08          | 9.06E-04 | 1.83E-08        | 8.22E-04 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 8.10E-02          | -        | 6.63E-02          | -        | 7.60E-02          | -        | 7.06E-02        | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 1.73E-03          |          | 1.42E-03          |          | 1.63E-03          |          | 1.51E-03        |          |
|               | 幼儿                | 1.77E-03          |          | 1.45E-03          |          | 1.66E-03          |          | 1.54E-03        |          |
|               | 少年                | 1.76E-03          |          | 1.44E-03          |          | 1.66E-03          |          | 1.54E-03        |          |
|               | 成人                | 1.76E-03          |          | 1.44E-03          |          | 1.65E-03          |          | 1.53E-03        |          |

| 敏感点           |                   | 王屋村 (N, 4.33km) |          | 兰头坑 (N, 4.56km)  |          | 枫树下 (N, 4.76km)  |          | 四方丘 (N, 4.66km)  |          |
|---------------|-------------------|-----------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|
| 浓度            |                   | 空气              | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 1.67E-08        | 7.58E-04 | 1.54E-08         | 7.03E-04 | 1.43E-08         | 6.73E-04 | 1.46E-08         | 6.93E-04 |
|               | <sup>234</sup> U  | 1.67E-08        | 7.58E-04 | 1.54E-08         | 7.03E-04 | 1.43E-08         | 6.73E-04 | 1.46E-08         | 6.93E-04 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 1.71E-08        | 7.73E-04 | 1.58E-08         | 7.23E-04 | 1.46E-08         | 6.88E-04 | 1.49E-08         | 7.08E-04 |
|               | <sup>230</sup> Th | 1.67E-08        | 7.58E-04 | 1.54E-08         | 7.03E-04 | 1.43E-08         | 6.73E-04 | 1.46E-08         | 6.93E-04 |
|               | <sup>210</sup> Po | 1.71E-08        | 5.06E-04 | 1.58E-08         | 4.74E-04 | 1.46E-08         | 4.51E-04 | 1.49E-08         | 4.64E-04 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 1.71E-08        | 7.67E-04 | 1.58E-08         | 7.18E-04 | 1.46E-08         | 6.83E-04 | 1.49E-08         | 7.03E-04 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 6.89E-02        | -        | 6.50E-02         | -        | 5.96E-02         | -        | 5.95E-02         | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 1.48E-03        |          | 1.39E-03         |          | 1.28E-03         |          | 1.27E-03         |          |
|               | 幼儿                | 1.51E-03        |          | 1.42E-03         |          | 1.30E-03         |          | 1.30E-03         |          |
|               | 少年                | 1.50E-03        |          | 1.41E-03         |          | 1.30E-03         |          | 1.30E-03         |          |
|               | 成人                | 1.49E-03        |          | 1.41E-03         |          | 1.29E-03         |          | 1.29E-03         |          |
| 敏感点           |                   | 佛坳 (NE, 4.28km) |          | 佛垌 (ESE, 3.14km) |          | 桥顶坑 (SE, 3.46km) |          | 驼背岭 (SE, 3.75km) |          |
| 浓度            |                   | 空气              | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 1.66E-08        | 8.18E-04 | 1.43E-08         | 9.08E-04 | 9.65E-09         | 5.14E-04 | 8.29E-09         | 4.44E-04 |
|               | <sup>234</sup> U  | 1.66E-08        | 8.18E-04 | 1.43E-08         | 9.08E-04 | 9.65E-09         | 5.14E-04 | 8.29E-09         | 4.44E-04 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 1.70E-08        | 8.33E-04 | 1.46E-08         | 9.28E-04 | 9.87E-09         | 5.29E-04 | 8.48E-09         | 4.54E-04 |
|               | <sup>230</sup> Th | 1.66E-08        | 8.18E-04 | 1.43E-08         | 9.08E-04 | 9.65E-09         | 5.14E-04 | 8.29E-09         | 4.44E-04 |
|               | <sup>210</sup> Po | 1.70E-08        | 5.46E-04 | 1.46E-08         | 6.08E-04 | 9.87E-09         | 3.46E-04 | 8.48E-09         | 2.97E-04 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 1.70E-08        | 8.27E-04 | 1.46E-08         | 9.21E-04 | 9.87E-09         | 5.25E-04 | 8.48E-09         | 4.50E-04 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 6.36E-02        | -        | 6.69E-02         | -        | 6.76E-02         | -        | 5.54E-02         | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 1.36E-03        |          | 1.43E-03         |          | 1.45E-03         |          | 1.18E-03         |          |
|               | 幼儿                | 1.40E-03        |          | 1.47E-03         |          | 1.47E-03         |          | 1.20E-03         |          |
|               | 少年                | 1.39E-03        |          | 1.46E-03         |          | 1.46E-03         |          | 1.20E-03         |          |
|               | 成人                | 1.38E-03        |          | 1.45E-03         |          | 1.46E-03         |          | 1.19E-03         |          |

| 敏感点           |                   | 沈洞 (SSE, 4.51km) |          | 邓屋 (SSE, 4.61km) |          | 罗屋 (SSE, 4.93km) |          | 晒茂 (W, 3.67km)   |          | 低坪 (W, 3.30km)   |          |
|---------------|-------------------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|
| 浓度            |                   | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 6.66E-09         | 3.64E-04 | 6.49E-09         | 3.34E-04 | 5.89E-09         | 3.14E-04 | 7.27E-08         | 1.91E-03 | 9.76E-08         | 2.70E-03 |
|               | <sup>234</sup> U  | 6.66E-09         | 3.64E-04 | 6.49E-09         | 3.34E-04 | 5.89E-09         | 3.14E-04 | 7.27E-08         | 1.91E-03 | 9.76E-08         | 2.70E-03 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 6.82E-09         | 3.74E-04 | 6.64E-09         | 3.44E-04 | 6.03E-09         | 3.19E-04 | 7.43E-08         | 1.95E-03 | 9.99E-08         | 2.76E-03 |
|               | <sup>230</sup> Th | 6.66E-09         | 3.64E-04 | 6.49E-09         | 3.34E-04 | 5.89E-09         | 3.14E-04 | 7.27E-08         | 1.91E-03 | 9.76E-08         | 2.70E-03 |
|               | <sup>210</sup> Po | 6.81E-09         | 2.45E-04 | 6.63E-09         | 2.25E-04 | 6.03E-09         | 2.09E-04 | 7.43E-08         | 1.28E-03 | 9.98E-08         | 1.81E-03 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 6.82E-09         | 3.71E-04 | 6.64E-09         | 3.41E-04 | 6.03E-09         | 3.17E-04 | 7.43E-08         | 1.94E-03 | 9.99E-08         | 2.74E-03 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 4.65E-02         | -        | 4.20E-02         | -        | 3.84E-02         | -        | 5.05E-01         | -        | 3.62E-01         | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 9.95E-04         |          | 9.00E-04         |          | 8.22E-04         |          | 1.08E-02         |          | 7.76E-03         |          |
|               | 幼儿                | 1.01E-03         |          | 9.13E-04         |          | 8.34E-04         |          | 1.09E-02         |          | 7.87E-03         |          |
|               | 少年                | 1.01E-03         |          | 9.10E-04         |          | 8.31E-04         |          | 1.09E-02         |          | 7.85E-03         |          |
|               | 成人                | 1.00E-03         |          | 9.07E-04         |          | 8.28E-04         |          | 1.09E-02         |          | 7.83E-03         |          |
| 敏感点           |                   | 沙坪 (WNW, 3.70km) |          | 黄屋 (WNW, 3.52km) |          | 大石坝 (NW, 3.11km) |          | 下竹田 (NW, 4.66km) |          | 长江镇 (NW, 3.31km) |          |
| 浓度            |                   | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       | 空气               | 沉积       |
| 核素            | <sup>238</sup> U  | 7.12E-08         | 2.37E-03 | 7.38E-08         | 2.45E-03 | 8.42E-08         | 2.75E-03 | 3.58E-08         | 1.35E-03 | 6.57E-08         | 2.16E-03 |
|               | <sup>234</sup> U  | 7.12E-08         | 2.37E-03 | 7.38E-08         | 2.45E-03 | 8.42E-08         | 2.75E-03 | 3.58E-08         | 1.35E-03 | 6.57E-08         | 2.16E-03 |
|               | <sup>226</sup> Ra | 7.28E-08         | 2.42E-03 | 7.55E-08         | 2.50E-03 | 8.61E-08         | 2.81E-03 | 3.66E-08         | 1.38E-03 | 6.72E-08         | 2.21E-03 |
|               | <sup>230</sup> Th | 7.12E-08         | 2.37E-03 | 7.38E-08         | 2.45E-03 | 8.42E-08         | 2.75E-03 | 3.58E-08         | 1.35E-03 | 6.57E-08         | 2.16E-03 |
|               | <sup>210</sup> Po | 7.28E-08         | 1.59E-03 | 7.55E-08         | 1.64E-03 | 8.60E-08         | 1.84E-03 | 3.66E-08         | 9.02E-04 | 6.72E-08         | 1.45E-03 |
|               | <sup>210</sup> Pb | 7.28E-08         | 2.41E-03 | 7.55E-08         | 2.48E-03 | 8.61E-08         | 2.79E-03 | 3.66E-08         | 1.37E-03 | 6.72E-08         | 2.20E-03 |
|               | <sup>222</sup> Rn | 2.22E-01         | -        | 2.29E-01         | -        | 2.53E-01         | -        | 1.16E-01         | -        | 1.93E-01         | -        |
| 个人剂量<br>mSv/a | 婴儿                | 4.75E-03         |          | 4.91E-03         |          | 5.43E-03         |          | 2.48E-03         |          | 4.14E-03         |          |
|               | 幼儿                | 4.85E-03         |          | 5.01E-03         |          | 5.54E-03         |          | 2.54E-03         |          | 4.22E-03         |          |
|               | 少年                | 4.83E-03         |          | 4.99E-03         |          | 5.52E-03         |          | 2.53E-03         |          | 4.21E-03         |          |
|               | 成人                | 4.81E-03         |          | 4.97E-03         |          | 5.50E-03         |          | 2.52E-03         |          | 4.19E-03         |          |

\*注：1、单位为 Bq/m<sup>3</sup>，2、单位为 Bq/m<sup>2</sup>

## 2) 各源项对马牯丘村最大个人剂量贡献情况

各源项对马牯丘村少年组的剂量贡献情况见表 6.3-2，各照射途径对其贡献情况见表 6.3-3。

由表 6.3-2 中数据可以看出，对马牯丘村幼儿组、少年组个人剂量贡献最大的源项为北翼回风井，其贡献值为 0.00755mSv/a，贡献份额为 42.91%。由表 6.3-3 可以看出，对马牯丘村幼儿组、少年组个人剂量贡献最大的核素为  $^{222}\text{Rn}$ ，贡献份额为 98.4%；贡献最大的照射途径为吸入内照射，贡献份额为 98.6%。

表 6.3-2 各源项对马牯丘村少年组的剂量贡献情况

| 序号 | 源项    | 贡献值 (mSv/a) | 份额 (%) |
|----|-------|-------------|--------|
| 1  | 北翼回风井 | 7.55E-03    | 42.91  |
| 2  | 南翼回风井 | 4.86E-03    | 27.64  |
| 3  | 破碎厂房  | 3.05E-04    | 1.73   |
| 4  | 矿仓    | 2.11E-05    | 0.12   |
| 5  | 堆浸场   | 1.27E-03    | 7.21   |
| 6  | 尾矿库   | 3.18E-03    | 18.06  |
| 7  | 废石场   | 3.75E-04    | 2.13   |
| 合计 |       | 1.76E-02    | 100    |

表 6.3-3 各照射途径、各核素对马牯丘村少年组贡献情况

| 核素\途径             | 浸没外照射                 | 沉积外照射                 | 吸入内照射       | 食入内照射    | 合计 (mSv/a) | 份额 (%)       |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|----------|------------|--------------|
| $^{238}\text{U}$  | 1.98E-14              | 6.24E-11              | 9.51E-06    | 2.05E-06 | 1.16E-05   | 0.07         |
| $^{234}\text{U}$  | 4.44E-14              | 8.46E-11              | 1.10E-05    | 2.22E-06 | 1.32E-05   | 0.08         |
| $^{226}\text{Ra}$ | 1.88E-12              | 7.46E-10              | 1.14E-05    | 1.15E-05 | 2.28E-05   | 0.13         |
| $^{230}\text{Th}$ | 1.02E-13              | 8.48E-11              | 2.83E-05    | 4.90E-06 | 3.32E-05   | 0.19         |
| $^{210}\text{Po}$ | 2.47E-15              | 6.26E-13              | 1.87E-06    | 1.84E-04 | 1.86E-04   | 1.06         |
| $^{210}\text{Pb}$ | 3.37E-13              | 2.85E-10              | 1.45E-06    | 4.26E-05 | 4.41E-05   | 0.25         |
| $^{222}\text{Rn}$ | 0.00E+00              | 0.00E+00              | 1.73E-02    | 0.00E+00 | 1.73E-02   | <b>98.40</b> |
| 合计                | 2.39E-12              | 1.26E-09              | 1.74E-02    | 2.48E-04 | 1.76E-02   | —            |
| 份额 (%)            | $1.35 \times 10^{-8}$ | $7.17 \times 10^{-6}$ | <b>98.6</b> | 1.41     | —          | 100          |

## 6.3.1.2 各子区空气中及地表沉积核素浓度

棉花坑三期工程及堆浸场、尾矿库等放射性气载流出物所致各子区空气

中及地表沉积核素浓度见表 6.3-4 及表 6.3-5。

表 6.3-4 气载流出物所致各子区空气中核素浓度 单位: Bq/m<sup>3</sup>

| 核素                                                          | 方位  | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-------------------------------------------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                             |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| <sup>238</sup> U<br><sup>234</sup> U<br><sup>230</sup> Th   | N   | 2.39E-07 | 7.83E-08 | 3.70E-08 | 1.92E-08 | 4.28E-09 | 4.34E-10 |
|                                                             | NNE | 1.11E-07 | 8.13E-08 | 3.71E-08 | 1.38E-08 | 1.63E-09 | 6.56E-10 |
|                                                             | NE  | 3.44E-08 | 3.68E-08 | 2.61E-08 | 9.99E-09 | 4.45E-09 | 7.14E-10 |
|                                                             | ENE | 3.64E-08 | 2.51E-08 | 2.24E-08 | 4.82E-09 | 1.87E-09 | 1.14E-09 |
|                                                             | E   | 9.54E-08 | 2.44E-08 | 9.44E-09 | 3.48E-09 | 1.12E-09 | 6.36E-10 |
|                                                             | ESE | 7.26E-07 | 1.91E-08 | 6.41E-09 | 2.67E-09 | 8.84E-10 | 6.00E-10 |
|                                                             | SE  | 7.52E-07 | 1.66E-08 | 4.17E-09 | 1.77E-09 | 8.16E-10 | 4.56E-10 |
|                                                             | SSE | 1.08E-06 | 1.75E-08 | 4.56E-09 | 1.70E-09 | 8.82E-10 | 3.56E-10 |
|                                                             | S   | 8.96E-07 | 2.51E-08 | 8.76E-09 | 2.05E-09 | 1.18E-09 | 8.08E-10 |
|                                                             | SSW | 6.99E-07 | 2.01E-07 | 3.13E-08 | 4.90E-09 | 3.53E-09 | 2.17E-09 |
|                                                             | SW  | 1.79E-07 | 2.67E-07 | 1.02E-07 | 3.24E-08 | 1.04E-08 | 5.47E-09 |
|                                                             | WSW | 3.08E-07 | 3.04E-07 | 1.13E-07 | 6.11E-08 | 2.56E-08 | 7.64E-09 |
|                                                             | W   | 6.09E-07 | 2.54E-07 | 1.33E-07 | 7.08E-08 | 2.69E-08 | 2.74E-09 |
|                                                             | WNW | 4.96E-07 | 2.55E-07 | 1.43E-07 | 7.38E-08 | 1.70E-08 | 2.85E-09 |
|                                                             | NW  | 4.21E-07 | 1.80E-07 | 9.83E-08 | 5.41E-08 | 1.78E-08 | 1.38E-09 |
|                                                             | NNW | 3.40E-07 | 1.12E-07 | 5.81E-08 | 3.04E-08 | 1.11E-08 | 1.78E-09 |
| <sup>226</sup> Ra<br><sup>210</sup> Po<br><sup>210</sup> Pb | N   | 2.44E-07 | 8.01E-08 | 3.79E-08 | 1.96E-08 | 4.38E-09 | 4.42E-10 |
|                                                             | NNE | 1.14E-07 | 8.32E-08 | 3.80E-08 | 1.41E-08 | 1.66E-09 | 6.68E-10 |
|                                                             | NE  | 3.52E-08 | 3.77E-08 | 2.67E-08 | 1.02E-08 | 4.55E-09 | 7.32E-10 |
|                                                             | ENE | 3.72E-08 | 2.57E-08 | 2.29E-08 | 4.93E-09 | 1.91E-09 | 1.17E-09 |
|                                                             | E   | 9.76E-08 | 2.50E-08 | 9.66E-09 | 3.56E-09 | 1.14E-09 | 6.52E-10 |
|                                                             | ESE | 7.42E-07 | 1.95E-08 | 6.55E-09 | 2.73E-09 | 9.04E-10 | 6.14E-10 |
|                                                             | SE  | 7.69E-07 | 1.70E-08 | 4.27E-09 | 1.81E-09 | 8.32E-10 | 4.66E-10 |
|                                                             | SSE | 1.11E-06 | 1.79E-08 | 4.67E-09 | 1.74E-09 | 9.02E-10 | 3.66E-10 |
|                                                             | S   | 9.16E-07 | 2.58E-08 | 8.98E-09 | 2.10E-09 | 1.21E-09 | 8.30E-10 |
|                                                             | SSW | 7.15E-07 | 2.05E-07 | 3.20E-08 | 5.02E-09 | 3.61E-09 | 2.22E-09 |
|                                                             | SW  | 1.83E-07 | 2.73E-07 | 1.04E-07 | 3.31E-08 | 1.06E-08 | 5.59E-09 |
|                                                             | WSW | 3.15E-07 | 3.11E-07 | 1.15E-07 | 6.25E-08 | 2.62E-08 | 7.81E-09 |
|                                                             | W   | 6.23E-07 | 2.60E-07 | 1.36E-07 | 7.24E-08 | 2.75E-08 | 2.81E-09 |
|                                                             | WNW | 5.07E-07 | 2.61E-07 | 1.46E-07 | 7.55E-08 | 1.74E-08 | 2.92E-09 |
|                                                             | NW  | 4.30E-07 | 1.84E-07 | 1.01E-07 | 5.53E-08 | 1.82E-08 | 1.41E-09 |
|                                                             | NNW | 3.48E-07 | 1.15E-07 | 5.94E-08 | 3.11E-08 | 1.14E-08 | 1.82E-09 |

| 核素                | 方位  | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                   |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| $^{222}\text{Rn}$ | N   | 2.00E+00 | 2.26E-01 | 1.24E-01 | 7.90E-02 | 2.54E-02 | 3.28E-03 |
|                   | NNE | 1.14E+00 | 2.17E-01 | 1.15E-01 | 6.54E-02 | 1.99E-02 | 7.08E-03 |
|                   | NE  | 4.99E-01 | 1.93E-01 | 1.11E-01 | 5.49E-02 | 2.89E-02 | 8.09E-03 |
|                   | ENE | 2.73E-01 | 1.73E-01 | 1.19E-01 | 5.02E-02 | 1.81E-02 | 1.24E-02 |
|                   | E   | 4.60E-01 | 1.75E-01 | 1.03E-01 | 3.85E-02 | 7.64E-03 | 7.61E-03 |
|                   | ESE | 5.82E-01 | 1.44E-01 | 7.32E-02 | 2.60E-02 | 5.89E-03 | 7.18E-03 |
|                   | SE  | 7.56E-01 | 1.31E-01 | 3.35E-02 | 1.26E-02 | 6.30E-03 | 5.70E-03 |
|                   | SSE | 7.74E-01 | 5.36E-01 | 1.03E-01 | 1.51E-02 | 1.05E-02 | 3.62E-03 |
|                   | S   | 7.02E-01 | 1.30E+00 | 3.25E-01 | 3.25E-02 | 2.20E-02 | 7.91E-03 |
|                   | SSW | 7.95E-01 | 8.41E-01 | 3.84E-01 | 1.01E-01 | 4.62E-02 | 1.93E-02 |
|                   | SW  | 1.16E+00 | 7.57E-01 | 7.87E-01 | 9.33E-01 | 9.49E-02 | 3.92E-02 |
|                   | WSW | 1.57E+00 | 8.08E-01 | 7.91E-01 | 1.79E+00 | 3.26E-01 | 7.24E-02 |
|                   | W   | 1.74E+00 | 6.76E-01 | 5.04E-01 | 5.55E-01 | 2.55E-01 | 3.84E-02 |
|                   | WNW | 1.76E+00 | 6.32E-01 | 3.69E-01 | 2.64E-01 | 1.31E-01 | 3.92E-02 |
|                   | NW  | 1.30E+00 | 4.59E-01 | 2.68E-01 | 1.69E-01 | 8.82E-02 | 2.06E-02 |
|                   | NNW | 1.22E+00 | 3.07E-01 | 1.74E-01 | 1.06E-01 | 5.26E-02 | 1.08E-02 |

注：阴影部分为无人子区

表 6.3-5 气载流出物所致各子区地表沉积核素浓度 单位: Bq/m<sup>2</sup>

| 核素                                                        | 方位  | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                           |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| $^{238}\text{U}$<br>$^{234}\text{U}$<br>$^{230}\text{Th}$ | N   | 7.69E-03 | 2.93E-03 | 1.53E-03 | 8.55E-04 | 3.01E-04 | 8.48E-05 |
|                                                           | NNE | 5.32E-03 | 2.84E-03 | 1.52E-03 | 7.34E-04 | 2.41E-04 | 8.78E-05 |
|                                                           | NE  | 4.39E-03 | 2.27E-03 | 1.34E-03 | 6.87E-04 | 3.06E-04 | 9.38E-05 |
|                                                           | ENE | 5.35E-03 | 2.37E-03 | 1.44E-03 | 6.67E-04 | 2.87E-04 | 1.17E-04 |
|                                                           | E   | 1.07E-02 | 2.89E-03 | 1.23E-03 | 5.87E-04 | 2.28E-04 | 8.88E-05 |
|                                                           | ESE | 5.43E-02 | 3.10E-03 | 1.21E-03 | 6.10E-04 | 2.47E-04 | 9.58E-05 |
|                                                           | SE  | 1.11E-01 | 2.67E-03 | 8.90E-04 | 4.25E-04 | 1.82E-04 | 6.98E-05 |
|                                                           | SSE | 7.12E-02 | 2.24E-03 | 7.77E-04 | 3.56E-04 | 1.58E-04 | 5.59E-05 |
|                                                           | S   | 2.81E-02 | 2.39E-03 | 8.67E-04 | 3.88E-04 | 1.78E-04 | 7.08E-05 |
|                                                           | SSW | 1.80E-02 | 4.92E-03 | 1.38E-03 | 5.03E-04 | 2.42E-04 | 1.07E-04 |
|                                                           | SW  | 9.03E-03 | 6.17E-03 | 2.48E-03 | 9.88E-04 | 3.65E-04 | 1.75E-04 |
|                                                           | WSW | 1.07E-02 | 7.23E-03 | 2.76E-03 | 1.60E-03 | 7.13E-04 | 2.39E-04 |
|                                                           | W   | 1.51E-02 | 6.62E-03 | 3.48E-03 | 1.91E-03 | 7.85E-04 | 1.66E-04 |
|                                                           | WNW | 1.32E-02 | 7.11E-03 | 4.12E-03 | 2.33E-03 | 7.87E-04 | 2.34E-04 |



| 核素                | 方位  | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                   |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
|                   | NW  | 1.15E-02 | 5.41E-03 | 3.13E-03 | 1.85E-03 | 7.44E-04 | 1.90E-04 |
|                   | NNW | 9.96E-03 | 3.93E-03 | 2.20E-03 | 1.26E-03 | 5.26E-04 | 1.42E-04 |
|                   |     |          |          |          |          |          |          |
| $^{226}\text{Ra}$ | N   | 7.87E-03 | 3.00E-03 | 1.57E-03 | 8.74E-04 | 3.09E-04 | 8.58E-05 |
|                   | NNE | 5.45E-03 | 2.90E-03 | 1.55E-03 | 7.50E-04 | 2.47E-04 | 8.88E-05 |
|                   | NE  | 4.49E-03 | 2.32E-03 | 1.38E-03 | 7.02E-04 | 3.14E-04 | 9.58E-05 |
|                   | ENE | 5.47E-03 | 2.42E-03 | 1.47E-03 | 6.83E-04 | 2.94E-04 | 1.21E-04 |
|                   | E   | 1.09E-02 | 2.95E-03 | 1.26E-03 | 6.00E-04 | 2.33E-04 | 9.18E-05 |
|                   | ESE | 5.56E-02 | 3.17E-03 | 1.24E-03 | 6.26E-04 | 2.53E-04 | 9.97E-05 |
|                   | SE  | 1.14E-01 | 2.74E-03 | 9.11E-04 | 4.37E-04 | 1.87E-04 | 7.18E-05 |
|                   | SSE | 7.28E-02 | 2.29E-03 | 7.95E-04 | 3.64E-04 | 1.60E-04 | 5.69E-05 |
|                   | S   | 2.88E-02 | 2.45E-03 | 8.86E-04 | 3.97E-04 | 1.82E-04 | 7.18E-05 |
|                   | SSW | 1.84E-02 | 5.03E-03 | 1.41E-03 | 5.15E-04 | 2.48E-04 | 1.10E-04 |
|                   | SW  | 9.24E-03 | 6.31E-03 | 2.53E-03 | 1.01E-03 | 3.73E-04 | 1.80E-04 |
|                   | WSW | 1.10E-02 | 7.40E-03 | 2.82E-03 | 1.63E-03 | 7.30E-04 | 2.44E-04 |
|                   | W   | 1.54E-02 | 6.77E-03 | 3.56E-03 | 1.95E-03 | 8.04E-04 | 1.68E-04 |
|                   | WNW | 1.35E-02 | 7.27E-03 | 4.21E-03 | 2.38E-03 | 8.06E-04 | 2.40E-04 |
|                   | NW  | 1.18E-02 | 5.53E-03 | 3.20E-03 | 1.89E-03 | 7.61E-04 | 1.94E-04 |
|                   | NNW | 1.02E-02 | 4.02E-03 | 2.25E-03 | 1.29E-03 | 5.38E-04 | 1.46E-04 |
|                   |     |          |          |          |          |          |          |
| $^{210}\text{Pb}$ | N   | 7.81E-03 | 2.98E-03 | 1.56E-03 | 8.67E-04 | 3.07E-04 | 8.51E-05 |
|                   | NNE | 5.40E-03 | 2.88E-03 | 1.54E-03 | 7.44E-04 | 2.45E-04 | 8.81E-05 |
|                   | NE  | 4.46E-03 | 2.30E-03 | 1.36E-03 | 6.97E-04 | 3.12E-04 | 9.50E-05 |
|                   | ENE | 5.43E-03 | 2.40E-03 | 1.46E-03 | 6.78E-04 | 2.92E-04 | 1.20E-04 |
|                   | E   | 1.09E-02 | 2.93E-03 | 1.25E-03 | 5.96E-04 | 2.32E-04 | 9.11E-05 |
|                   | ESE | 5.51E-02 | 3.14E-03 | 1.23E-03 | 6.22E-04 | 2.51E-04 | 9.90E-05 |
|                   | SE  | 1.13E-01 | 2.72E-03 | 9.04E-04 | 4.34E-04 | 1.85E-04 | 7.13E-05 |
|                   | SSE | 7.23E-02 | 2.27E-03 | 7.89E-04 | 3.61E-04 | 1.58E-04 | 5.64E-05 |
|                   | S   | 2.86E-02 | 2.43E-03 | 8.79E-04 | 3.94E-04 | 1.80E-04 | 7.13E-05 |
|                   | SSW | 1.82E-02 | 4.99E-03 | 1.40E-03 | 5.11E-04 | 2.46E-04 | 1.09E-04 |
|                   | SW  | 9.17E-03 | 6.26E-03 | 2.51E-03 | 1.00E-03 | 3.70E-04 | 1.78E-04 |
|                   | WSW | 1.09E-02 | 7.34E-03 | 2.80E-03 | 1.62E-03 | 7.25E-04 | 2.43E-04 |
|                   | W   | 1.53E-02 | 6.71E-03 | 3.53E-03 | 1.94E-03 | 7.98E-04 | 1.66E-04 |
|                   | WNW | 1.34E-02 | 7.22E-03 | 4.18E-03 | 2.36E-03 | 8.00E-04 | 2.39E-04 |
|                   | NW  | 1.17E-02 | 5.49E-03 | 3.18E-03 | 1.88E-03 | 7.55E-04 | 1.93E-04 |
|                   | NNW | 1.01E-02 | 3.99E-03 | 2.23E-03 | 1.28E-03 | 5.34E-04 | 1.45E-04 |
|                   |     |          |          |          |          |          |          |

| 核素                | 方位  | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                   |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| $^{210}\text{Po}$ | N   | 5.16E-03 | 1.96E-03 | 1.03E-03 | 5.72E-04 | 2.03E-04 | 5.62E-05 |
|                   | NNE | 3.57E-03 | 1.90E-03 | 1.02E-03 | 4.91E-04 | 1.62E-04 | 5.82E-05 |
|                   | NE  | 2.94E-03 | 1.52E-03 | 9.01E-04 | 4.60E-04 | 2.06E-04 | 6.27E-05 |
|                   | ENE | 3.59E-03 | 1.59E-03 | 9.62E-04 | 4.48E-04 | 1.93E-04 | 7.91E-05 |
|                   | E   | 7.17E-03 | 1.93E-03 | 8.24E-04 | 3.93E-04 | 1.53E-04 | 6.01E-05 |
|                   | ESE | 3.64E-02 | 2.08E-03 | 8.11E-04 | 4.10E-04 | 1.66E-04 | 6.53E-05 |
|                   | SE  | 7.47E-02 | 1.79E-03 | 5.97E-04 | 2.86E-04 | 1.22E-04 | 4.71E-05 |
|                   | SSE | 4.77E-02 | 1.50E-03 | 5.21E-04 | 2.38E-04 | 1.05E-04 | 3.72E-05 |
|                   | S   | 1.88E-02 | 1.60E-03 | 5.80E-04 | 2.60E-04 | 1.19E-04 | 4.71E-05 |
|                   | SSW | 1.20E-02 | 3.30E-03 | 9.23E-04 | 3.37E-04 | 1.63E-04 | 7.19E-05 |
|                   | SW  | 6.05E-03 | 4.13E-03 | 1.66E-03 | 6.61E-04 | 2.44E-04 | 1.18E-04 |
|                   | WSW | 7.18E-03 | 4.85E-03 | 1.85E-03 | 1.07E-03 | 4.78E-04 | 1.60E-04 |
|                   | W   | 1.01E-02 | 4.43E-03 | 2.33E-03 | 1.28E-03 | 5.27E-04 | 1.10E-04 |
|                   | WNW | 8.83E-03 | 4.76E-03 | 2.76E-03 | 1.56E-03 | 5.28E-04 | 1.57E-04 |
|                   | NW  | 7.73E-03 | 3.62E-03 | 2.10E-03 | 1.24E-03 | 4.99E-04 | 1.27E-04 |
|                   | NNW | 6.67E-03 | 2.63E-03 | 1.47E-03 | 8.46E-04 | 3.52E-04 | 9.54E-05 |

由表 6.3-4 可以看出,气载放射性流出物所致有人子区空气中核素最大贡献浓度出现在 WSW 方位 1~2km 子区处,该子区内居民点为马牯丘村;所致该子区空气中  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$  和  $^{230}\text{Th}$  的贡献浓度为  $3.04\times 10^{-7}\text{Bq/m}^3$ ,  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$  和  $^{210}\text{Pb}$  的贡献浓度为  $3.11\times 10^{-7}\text{Bq/m}^3$ ,  $^{222}\text{Rn}$  贡献浓度为  $0.808\text{Bq/m}^3$ 。无人子区空气中,  $^{222}\text{Rn}$  最大贡献浓度出现在 N 方位 0~1km 子区,贡献值为  $2.00\text{Bq/m}^3$ ;其他核素最大贡献浓度出现在 SSE 方位 0~1km 处,该子区空气中  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$  和  $^{230}\text{Th}$  的贡献浓度为  $1.08\times 10^{-6}\text{Bq/m}^3$ ,  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$  和  $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $1.11\times 10^{-6}\text{Bq/m}^3$ 。

由表 6.3-5 可以看出,气载放射性流出物所致有人子区地表沉积核素最大贡献浓度出现在 WSW 方位 1~2km 处子区,该子区内居民点为马牯丘村;所致该子区空气中  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$  和  $^{230}\text{Th}$  的浓度贡献值为  $0.00723\text{Bq/m}^2$ ,  $^{226}\text{Ra}$  浓度贡献值为  $0.0074\text{Bq/m}^2$ ,  $^{210}\text{Po}$  浓度为  $0.00485\text{Bq/m}^2$ ,  $^{210}\text{Pb}$  浓度为  $0.00734\text{Bq/m}^2$ 。无人子区地表沉积核素最大贡献浓度出现在 SE 方位 0~1km 处子区,该子区

地表  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$  和  $^{230}\text{Th}$  浓度为  $0.111\text{Bq/m}^2$ ， $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$  和  $^{210}\text{Pb}$  浓度分别为  $0.114\text{Bq/m}^2$ 、 $0.0747\text{Bq/m}^2$  和  $0.113\text{Bq/m}^2$ 。

### 6.3.1.3 各子区最大个人剂量

气态流出造成的各子区最大个人剂量见表 6.3-6。由表中数据可以看出，有人子区中最大个人剂量贡献值出现在 WSW 方位、1~2km 子区的幼儿组及少年组，均为  $0.0176\text{mSv/a}$ ；该子区婴儿组、成人组个人剂量贡献值分别为  $0.0173\text{mSv/a}$  和  $0.0175\text{mSv/a}$ ；无人子区中潜在最大个人剂量贡献值出现在 N 方位、0~1km 子区的幼儿组，为  $0.0431\text{mSv/a}$ ；对该子区婴儿组、少年组及成人组的潜在个人剂量贡献值分别为  $0.0428\text{mSv/a}$ 、 $0.043\text{mSv/a}$  和  $0.043\text{mSv/a}$ 。项目周边剂量等值线分布情况见图 6.3-1。

表 6.3-6 气载流出物所致各子区最大个人剂量 单位：mSv/a

| 方位  | 年龄组 | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-----|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| N   | 婴儿  | 4.28E-02 | 4.85E-03 | 2.65E-03 | 1.69E-03 | 5.43E-04 | 7.01E-05 |
|     | 幼儿  | 4.31E-02 | 4.97E-03 | 2.72E-03 | 1.73E-03 | 5.55E-04 | 7.35E-05 |
|     | 少年  | 4.30E-02 | 4.94E-03 | 2.70E-03 | 1.72E-03 | 5.52E-04 | 7.24E-05 |
|     | 成人  | 4.30E-02 | 4.92E-03 | 2.69E-03 | 1.71E-03 | 5.49E-04 | 7.15E-05 |
| NNE | 婴儿  | 2.45E-02 | 4.65E-03 | 2.47E-03 | 1.40E-03 | 4.25E-04 | 1.51E-04 |
|     | 幼儿  | 2.47E-02 | 4.76E-03 | 2.53E-03 | 1.43E-03 | 4.35E-04 | 1.55E-04 |
|     | 少年  | 2.47E-02 | 4.74E-03 | 2.51E-03 | 1.42E-03 | 4.32E-04 | 1.54E-04 |
|     | 成人  | 2.46E-02 | 4.72E-03 | 2.50E-03 | 1.42E-03 | 4.29E-04 | 1.53E-04 |
| NE  | 婴儿  | 1.07E-02 | 4.14E-03 | 2.37E-03 | 1.18E-03 | 6.18E-04 | 1.73E-04 |
|     | 幼儿  | 1.08E-02 | 4.23E-03 | 2.42E-03 | 1.20E-03 | 6.30E-04 | 1.77E-04 |
|     | 少年  | 1.08E-02 | 4.20E-03 | 2.41E-03 | 1.20E-03 | 6.26E-04 | 1.76E-04 |
|     | 成人  | 1.07E-02 | 4.18E-03 | 2.40E-03 | 1.19E-03 | 6.24E-04 | 1.75E-04 |
| ENE | 婴儿  | 5.84E-03 | 3.71E-03 | 2.55E-03 | 1.07E-03 | 3.87E-04 | 2.65E-04 |
|     | 幼儿  | 6.05E-03 | 3.80E-03 | 2.61E-03 | 1.10E-03 | 3.98E-04 | 2.70E-04 |
|     | 少年  | 5.98E-03 | 3.78E-03 | 2.59E-03 | 1.09E-03 | 3.95E-04 | 2.68E-04 |
|     | 成人  | 5.93E-03 | 3.75E-03 | 2.58E-03 | 1.08E-03 | 3.92E-04 | 2.67E-04 |
| E   | 婴儿  | 9.86E-03 | 3.75E-03 | 2.20E-03 | 8.23E-04 | 1.64E-04 | 1.63E-04 |
|     | 幼儿  | 1.03E-02 | 3.87E-03 | 2.25E-03 | 8.46E-04 | 1.73E-04 | 1.66E-04 |
|     | 少年  | 1.01E-02 | 3.83E-03 | 2.23E-03 | 8.39E-04 | 1.70E-04 | 1.65E-04 |
|     | 成人  | 1.00E-02 | 3.80E-03 | 2.22E-03 | 8.33E-04 | 1.67E-04 | 1.64E-04 |

| 方位  | 年龄组 | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-----|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| ESE | 婴儿  | 1.26E-02 | 3.08E-03 | 1.57E-03 | 5.56E-04 | 1.26E-04 | 1.54E-04 |
|     | 幼儿  | 1.48E-02 | 3.20E-03 | 1.61E-03 | 5.80E-04 | 1.36E-04 | 1.57E-04 |
|     | 少年  | 1.41E-02 | 3.16E-03 | 1.60E-03 | 5.72E-04 | 1.33E-04 | 1.56E-04 |
|     | 成人  | 1.37E-02 | 3.13E-03 | 1.59E-03 | 5.66E-04 | 1.30E-04 | 1.55E-04 |
| SE  | 婴儿  | 1.63E-02 | 2.80E-03 | 7.16E-04 | 2.70E-04 | 1.35E-04 | 1.22E-04 |
|     | 幼儿  | 2.07E-02 | 2.91E-03 | 7.51E-04 | 2.87E-04 | 1.42E-04 | 1.25E-04 |
|     | 少年  | 1.93E-02 | 2.87E-03 | 7.39E-04 | 2.81E-04 | 1.40E-04 | 1.24E-04 |
|     | 成人  | 1.82E-02 | 2.85E-03 | 7.30E-04 | 2.77E-04 | 1.38E-04 | 1.23E-04 |
| SSE | 婴儿  | 1.68E-02 | 1.15E-02 | 2.21E-03 | 3.24E-04 | 2.24E-04 | 7.74E-05 |
|     | 幼儿  | 1.96E-02 | 1.15E-02 | 2.24E-03 | 3.38E-04 | 2.30E-04 | 7.96E-05 |
|     | 少年  | 1.88E-02 | 1.15E-02 | 2.23E-03 | 3.33E-04 | 2.28E-04 | 7.88E-05 |
|     | 成人  | 1.82E-02 | 1.15E-02 | 2.22E-03 | 3.30E-04 | 2.27E-04 | 7.83E-05 |
| S   | 婴儿  | 1.52E-02 | 2.78E-02 | 6.94E-03 | 6.95E-04 | 4.71E-04 | 1.69E-04 |
|     | 幼儿  | 1.63E-02 | 2.79E-02 | 6.98E-03 | 7.10E-04 | 4.79E-04 | 1.72E-04 |
|     | 少年  | 1.61E-02 | 2.79E-02 | 6.97E-03 | 7.05E-04 | 4.76E-04 | 1.71E-04 |
|     | 成人  | 1.59E-02 | 2.79E-02 | 6.96E-03 | 7.01E-04 | 4.75E-04 | 1.71E-04 |
| SSW | 婴儿  | 1.71E-02 | 1.80E-02 | 8.21E-03 | 2.15E-03 | 9.89E-04 | 4.13E-04 |
|     | 幼儿  | 1.79E-02 | 1.82E-02 | 8.27E-03 | 2.17E-03 | 9.99E-04 | 4.17E-04 |
|     | 少年  | 1.78E-02 | 1.82E-02 | 8.25E-03 | 2.16E-03 | 9.96E-04 | 4.16E-04 |
|     | 成人  | 1.77E-02 | 1.82E-02 | 8.24E-03 | 2.16E-03 | 9.94E-04 | 4.15E-04 |
| SW  | 婴儿  | 2.48E-02 | 1.62E-02 | 1.68E-02 | 1.99E-02 | 2.03E-03 | 8.38E-04 |
|     | 幼儿  | 2.52E-02 | 1.65E-02 | 1.69E-02 | 2.00E-02 | 2.05E-03 | 8.45E-04 |
|     | 少年  | 2.51E-02 | 1.65E-02 | 1.69E-02 | 2.00E-02 | 2.04E-03 | 8.44E-04 |
|     | 成人  | 2.50E-02 | 1.64E-02 | 1.69E-02 | 2.00E-02 | 2.04E-03 | 8.43E-04 |
| WSW | 婴儿  | 3.36E-02 | 1.73E-02 | 1.69E-02 | 3.83E-02 | 6.96E-03 | 1.55E-03 |
|     | 幼儿  | 3.40E-02 | 1.76E-02 | 1.70E-02 | 3.84E-02 | 6.99E-03 | 1.56E-03 |
|     | 少年  | 3.40E-02 | 1.76E-02 | 1.70E-02 | 3.84E-02 | 6.99E-03 | 1.56E-03 |
|     | 成人  | 3.39E-02 | 1.75E-02 | 1.70E-02 | 3.84E-02 | 6.98E-03 | 1.55E-03 |
| W   | 婴儿  | 3.74E-02 | 1.45E-02 | 1.08E-02 | 1.19E-02 | 5.45E-03 | 8.21E-04 |
|     | 幼儿  | 3.80E-02 | 1.48E-02 | 1.09E-02 | 1.20E-02 | 5.48E-03 | 8.28E-04 |
|     | 少年  | 3.79E-02 | 1.47E-02 | 1.09E-02 | 1.19E-02 | 5.48E-03 | 8.26E-04 |
|     | 成人  | 3.78E-02 | 1.47E-02 | 1.09E-02 | 1.19E-02 | 5.47E-03 | 8.25E-04 |

| 方位  | 年龄组 | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-----|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| WNW | 婴儿  | 3.77E-02 | 1.36E-02 | 7.91E-03 | 5.67E-03 | 2.80E-03 | 8.38E-04 |
|     | 幼儿  | 3.82E-02 | 1.38E-02 | 8.08E-03 | 5.76E-03 | 2.83E-03 | 8.47E-04 |
|     | 少年  | 3.82E-02 | 1.38E-02 | 8.05E-03 | 5.74E-03 | 2.83E-03 | 8.44E-04 |
|     | 成人  | 3.81E-02 | 1.38E-02 | 8.03E-03 | 5.73E-03 | 2.82E-03 | 8.42E-04 |
| NW  | 婴儿  | 2.80E-02 | 9.85E-03 | 5.75E-03 | 3.62E-03 | 1.89E-03 | 4.40E-04 |
|     | 幼儿  | 2.84E-02 | 1.01E-02 | 5.87E-03 | 3.69E-03 | 1.92E-03 | 4.47E-04 |
|     | 少年  | 2.84E-02 | 1.00E-02 | 5.85E-03 | 3.68E-03 | 1.91E-03 | 4.45E-04 |
|     | 成人  | 2.83E-02 | 9.99E-03 | 5.83E-03 | 3.67E-03 | 1.91E-03 | 4.43E-04 |
| NNW | 婴儿  | 2.61E-02 | 6.59E-03 | 3.73E-03 | 2.26E-03 | 1.13E-03 | 2.32E-04 |
|     | 幼儿  | 2.65E-02 | 6.75E-03 | 3.82E-03 | 2.31E-03 | 1.15E-03 | 2.37E-04 |
|     | 少年  | 2.64E-02 | 6.72E-03 | 3.80E-03 | 2.30E-03 | 1.14E-03 | 2.36E-04 |
|     | 成人  | 2.63E-02 | 6.69E-03 | 3.78E-03 | 2.29E-03 | 1.14E-03 | 2.35E-04 |

注：表中阴影部分为无人子区

#### 6.3.1.4 集体剂量

本项目建成投产后，棉花坑矿井及堆浸场、尾矿库等设施造成的评价范围 20km 范围内集体剂量见表 6.3-7。不同照射途径、不同核素对集体剂量的贡献见表 6.3-8、表 6.3-9。

由表中数据可以看出，棉花坑三期工程建成投产后，相关设施气态流出物对评价区域 20km 范围内居民产生的集体剂量为 0.0599 人·Sv/a；对集体剂量贡献最大的途径为吸入内照射，贡献值为 0.0598 人·Sv/a，贡献份额为 99.8%；对集体剂量贡献最大的核素为  $^{222}\text{Rn}$ ，贡献值为 0.0594 人·Sv/a，贡献率为 99.2%。

表 6.3-7 气载放射性流出物所致集体有效剂量 单位：人·Sv/a

| 距离        | 0~1km    | 0~2km    | 0~3km    | 0~5km    | 0~10km   | 0~20km   |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 20km 集体剂量 | 0.00E+00 | 1.09E-02 | 2.77E-02 | 5.86E-02 | 7.98E-02 | 1.03E-01 |
| 份额%       | 0        | 10.6     | 26.9     | 57.0     | 77.6     | 100      |

表 6.3-8 气载放射性流出物各途径所致集体剂量 单位：人·Sv/a

| 照射途径      | 空气浸没<br>外照射 | 地表沉积<br>外照射 | 吸入内照<br>射 | 农产品食<br>入内照射 | 动植物产品<br>食入内照射 | 合计       |
|-----------|-------------|-------------|-----------|--------------|----------------|----------|
| 20km 集体剂量 | 9.07E-12    | 8.29E-09    | 1.02E-01  | 4.38E-04     | 2.51E-04       | 5.99E-02 |
| 份额 (%)    | 8.82E-09    | 8.06E-06    | 99.3      | 0.426        | 0.244          | 100      |

表 6.3-9 气载放射性流出物各核素所致集体剂量

单位: 人·Sv/a

| 核素               | <sup>238</sup> U | <sup>234</sup> U | <sup>226</sup> Ra | <sup>230</sup> Th | <sup>210</sup> Po | <sup>210</sup> Pb | <sup>222</sup> Rn | 合计       |
|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 20km<br>集体<br>剂量 | 7.29E-05         | 8.48E-05         | 1.37E-04          | 3.43E-04          | 4.10E-04          | 1.70E-04          | 1.02E-01          | 1.03E-01 |
| 份额<br>(%)        | 0.071            | 0.082            | 0.11              | 0.33              | 0.40              | 0.16              | 98.8              | 100.0    |

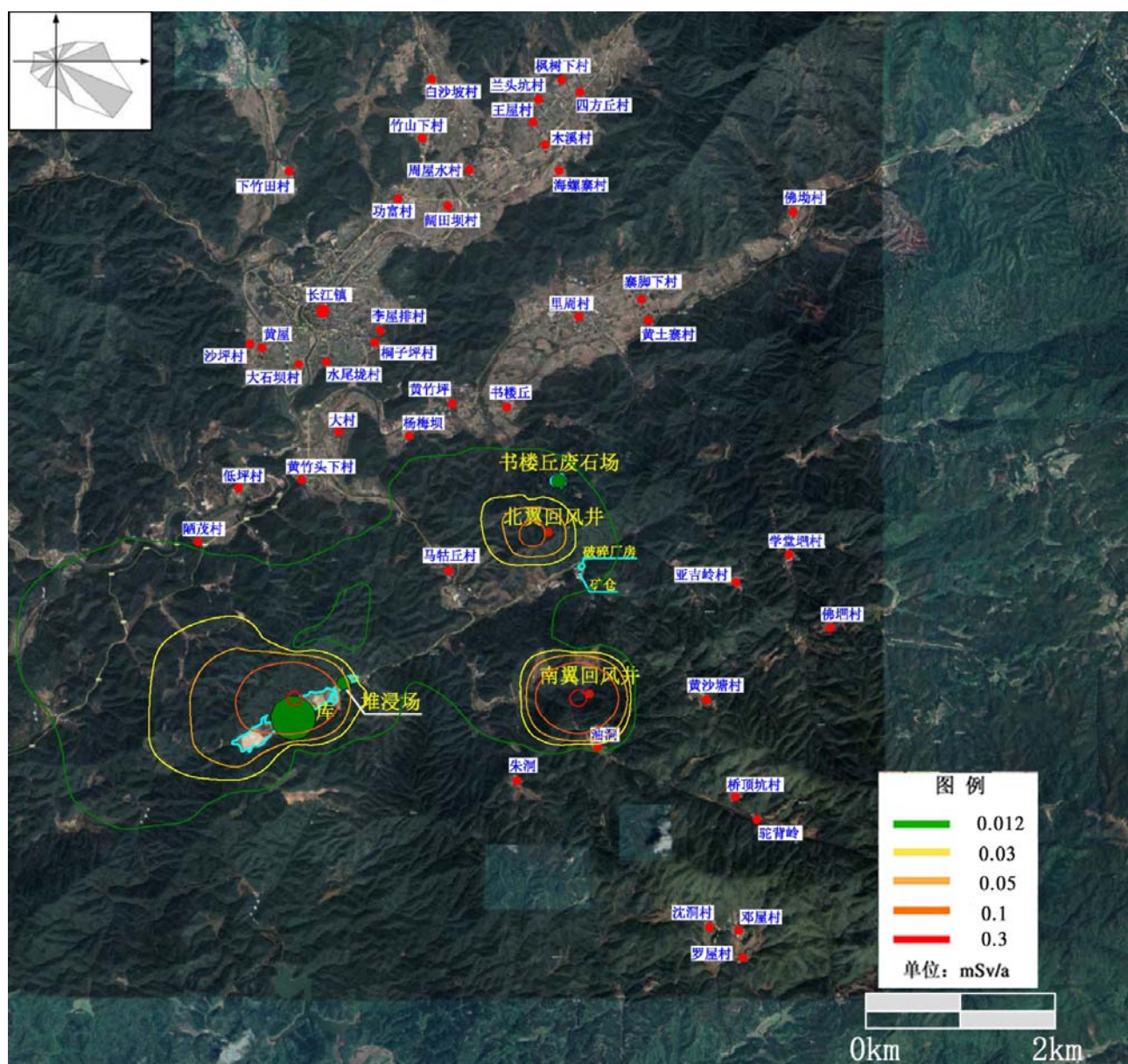


图 6.3-1 周边剂量等值线分布情况

### 6.3.2 液态途径剂量估算

#### 6.3.2.1 受纳水体中核素浓度

矿井水、尾矿库流出水以及工艺废水处理设施等液态源项所致受纳水体各河段核素浓度见表 6.3-10。

表 6.3-10 各河段核素浓度 单位: Bq/m<sup>3</sup>

| 河段, km<br>核素      | 0~3      | 3~9      | 9~12     | 12~19    | 19~27    | 27~29    |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <sup>238</sup> U  | 1.88E+02 | 4.49E+00 | 4.40E+00 | 3.95E+00 | 3.58E+00 | 3.18E+00 |
| <sup>234</sup> U  | 1.88E+02 | 4.49E+00 | 4.40E+00 | 3.95E+00 | 3.58E+00 | 3.18E+00 |
| <sup>226</sup> Ra | 2.11E+01 | 5.05E-01 | 4.95E-01 | 4.45E-01 | 4.03E-01 | 3.57E-01 |
| <sup>230</sup> Th | 3.94E+00 | 9.42E-02 | 9.23E-02 | 8.29E-02 | 7.51E-02 | 6.66E-02 |
| <sup>210</sup> Po | 4.07E-03 | 9.75E-05 | 9.54E-05 | 8.57E-05 | 7.76E-05 | 6.88E-05 |
| <sup>210</sup> Pb | 2.55E-01 | 6.10E-03 | 5.98E-03 | 5.37E-03 | 4.86E-03 | 4.31E-03 |

#### 6.3.2.2 液态途径所致个人剂量

##### 1) 各子区个人剂量

液态流出物所致各子区个人剂量见表 6.3-11。

表 6.3-11 本项目液态流出物所致各子区个人剂量 单位: mSv/a

| 方位  | 年龄组 | 距离 (km) |          |          |          |          |          |
|-----|-----|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     |     | 0~1     | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| WSW | 婴儿  | —       | —        | —        | —        | —        | —        |
| WSW | 幼儿  | —       | 9.40E-05 | —        | —        | 3.17E-04 | 2.79E-04 |
| WSW | 少年  | —       | 1.18E-04 | —        | —        | 3.23E-04 | 2.84E-04 |
| WSW | 成年  | —       | 8.04E-05 | —        | —        | 3.77E-04 | 3.32E-04 |
| W   | 婴儿  | —       | —        | —        | —        | —        | —        |
| W   | 幼儿  | —       | —        | —        | 3.17E-04 | 3.17E-04 | —        |
| W   | 少年  | —       | —        | —        | 3.23E-04 | 3.23E-04 | —        |
| W   | 成年  | —       | —        | —        | 3.77E-04 | 3.77E-04 | —        |
| WNW | 婴儿  | —       | —        | —        | —        | —        | —        |
| WNW | 幼儿  | —       | —        | 1.08E-04 | 3.17E-04 | —        | —        |
| WNW | 少年  | —       | —        | 1.22E-04 | 3.23E-04 | —        | —        |
| WNW | 成年  | —       | —        | 8.73E-05 | 3.77E-04 | —        | —        |

由上表中可知, 液态流出物所致有人子区个人有效剂量最大值出现在 WNW 方位、3~5km 子区的成年组, 其值为  $3.77 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ , 该子区其它年



龄组剂量分别为婴儿组  $0\text{mSv/a}$ 、幼儿组  $3.17\times 10^{-4}\text{mSv/a}$ 、少年组  $3.23\times 10^{-4}\text{mSv/a}$ 。

## 2) 核素、途径对最大个人剂量贡献

本项目液态流出物各照射途径、各核素对最大个人有效剂量的贡献值见表 6.3-12。

表 6.3-12 各照射途径、各核素对最大个人有效剂量的贡献 单位： $\text{mSv/a}$

| 途径<br>核素          | 岸边活动     | 水生生物食入   | 农产品食入    | 动物产品食入   | 贡献值<br>( $\text{mSv/a}$ ) | 份额(%) |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------|-------|
| $^{238}\text{U}$  | 6.98E-09 | 1.06E-05 | 7.56E-08 | 1.84E-07 | 1.09E-05                  | 2.9   |
| $^{234}\text{U}$  | 9.48E-09 | 1.16E-05 | 8.24E-08 | 2.01E-07 | 1.19E-05                  | 3.1   |
| $^{226}\text{Ra}$ | 9.18E-08 | 5.31E-05 | 3.37E-07 | 7.75E-09 | 5.35E-05                  | 14.2  |
| $^{230}\text{Th}$ | 3.99E-08 | 1.09E-04 | 1.08E-08 | 1.76E-08 | 1.09E-04                  | 28.9  |
| $^{210}\text{Po}$ | 4.19E-11 | 5.82E-05 | 2.43E-07 | 5.13E-07 | 5.90E-05                  | 15.6  |
| $^{210}\text{Pb}$ | 1.68E-08 | 1.33E-04 | 2.52E-07 | 9.54E-10 | 1.33E-04                  | 35.3  |
| 合计                | 1.65E-07 | 3.75E-04 | 1.00E-06 | 9.24E-07 | 3.77E-04                  | 100   |
| 份额(%)             | 0.043    | 99.4     | 0.3      | 0.2      | 100                       | 100   |

由上表可知，从照射途径来看，水生生物食入途径对最大个人剂量贡献最大，为  $3.75\times 10^{-4}\text{mSv/a}$ ，贡献份额 99.4%。从产生照射的核素来看， $^{210}\text{Pb}$  为主要照射剂量核素，所占比例为 35.3%。

## 3) 集体剂量

本项目液态流出物所致 20km 范围内的集体剂量见表 6.3-13。由表中数据可知本项目液态流出物所致 20km 范围内集体剂量为  $2.03\times 10^{-4}$  人· $\text{Sv/a}$ 。

表 6.3-13 液态流出物所致 20km 范围集体有效剂量 单位：人· $\text{Sv/a}$

| 距离    | 0~1km    | 0~2km    | 0~3km    | 0~5km    | 0~10km   | 0~20km   |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 集体剂量  | 0.00E+00 | 1.54E-05 | 4.71E-05 | 8.65E-05 | 1.54E-04 | 2.03E-04 |
| 份额(%) | 0.00     | 0.00     | 8.4      | 70.6     | 88.2     | 100      |

## 6.3.3 气液综合途径剂量辐射影响评价

### 6.3.3.1 各子区个人剂量

棉花坑三期工程投产后运行期气、液流出物综合所致各子区、各年龄组最大个人剂量见表 6.3-14。

表 6.3-14 本项目气、液流出物所致各子区各年龄组个人剂量 单位: mSv/a

| 方位  | 年龄组 | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-----|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| N   | 婴儿  | 4.15E-02 | 4.94E-03 | 2.69E-03 | 1.71E-03 | 5.47E-04 | 7.07E-05 |
|     | 幼儿  | 4.16E-02 | 4.98E-03 | 2.72E-03 | 1.73E-03 | 5.51E-04 | 7.16E-05 |
|     | 少年  | 4.17E-02 | 5.00E-03 | 2.73E-03 | 1.73E-03 | 5.52E-04 | 7.17E-05 |
|     | 成人  | 4.17E-02 | 5.00E-03 | 2.72E-03 | 1.73E-03 | 5.51E-04 | 7.14E-05 |
| NNE | 婴儿  | 2.42E-02 | 4.72E-03 | 2.50E-03 | 1.41E-03 | 4.27E-04 | 1.52E-04 |
|     | 幼儿  | 2.43E-02 | 4.78E-03 | 2.53E-03 | 1.43E-03 | 4.31E-04 | 1.53E-04 |
|     | 少年  | 2.44E-02 | 4.80E-03 | 2.54E-03 | 1.43E-03 | 4.31E-04 | 1.53E-04 |
|     | 成人  | 2.43E-02 | 4.79E-03 | 2.54E-03 | 1.43E-03 | 4.30E-04 | 1.53E-04 |
| NE  | 婴儿  | 1.08E-02 | 4.19E-03 | 2.39E-03 | 1.18E-03 | 6.20E-04 | 1.74E-04 |
|     | 幼儿  | 1.08E-02 | 4.21E-03 | 2.41E-03 | 1.19E-03 | 6.24E-04 | 1.75E-04 |
|     | 少年  | 1.08E-02 | 4.22E-03 | 2.42E-03 | 1.20E-03 | 6.25E-04 | 1.75E-04 |
|     | 成人  | 1.08E-02 | 4.21E-03 | 2.42E-03 | 1.19E-03 | 6.24E-04 | 1.75E-04 |
| ENE | 婴儿  | 5.90E-03 | 3.74E-03 | 2.56E-03 | 1.07E-03 | 3.87E-04 | 2.65E-04 |
|     | 幼儿  | 5.97E-03 | 3.78E-03 | 2.59E-03 | 1.08E-03 | 3.90E-04 | 2.67E-04 |
|     | 少年  | 5.98E-03 | 3.78E-03 | 2.59E-03 | 1.08E-03 | 3.90E-04 | 2.68E-04 |
|     | 成人  | 5.96E-03 | 3.78E-03 | 2.59E-03 | 1.08E-03 | 3.89E-04 | 2.67E-04 |
| E   | 婴儿  | 1.01E-02 | 3.78E-03 | 2.20E-03 | 8.27E-04 | 1.64E-04 | 1.64E-04 |
|     | 幼儿  | 1.02E-02 | 3.81E-03 | 2.22E-03 | 8.34E-04 | 1.67E-04 | 1.65E-04 |
|     | 少年  | 1.03E-02 | 3.82E-03 | 2.22E-03 | 8.35E-04 | 1.67E-04 | 1.65E-04 |
|     | 成人  | 1.02E-02 | 3.81E-03 | 2.22E-03 | 8.33E-04 | 1.66E-04 | 1.64E-04 |
| ESE | 婴儿  | 1.35E-02 | 3.08E-03 | 1.57E-03 | 5.58E-04 | 1.27E-04 | 1.54E-04 |
|     | 幼儿  | 1.45E-02 | 3.12E-03 | 1.58E-03 | 5.64E-04 | 1.30E-04 | 1.55E-04 |
|     | 少年  | 1.47E-02 | 3.13E-03 | 1.59E-03 | 5.64E-04 | 1.30E-04 | 1.56E-04 |
|     | 成人  | 1.46E-02 | 3.12E-03 | 1.58E-03 | 5.62E-04 | 1.29E-04 | 1.55E-04 |
| SE  | 婴儿  | 1.71E-02 | 2.82E-03 | 7.20E-04 | 2.71E-04 | 1.35E-04 | 1.22E-04 |
|     | 幼儿  | 1.92E-02 | 2.85E-03 | 7.29E-04 | 2.75E-04 | 1.37E-04 | 1.23E-04 |
|     | 少年  | 1.97E-02 | 2.85E-03 | 7.30E-04 | 2.76E-04 | 1.37E-04 | 1.23E-04 |
|     | 成人  | 1.94E-02 | 2.84E-03 | 7.27E-04 | 2.74E-04 | 1.36E-04 | 1.23E-04 |
| SSE | 婴儿  | 1.80E-02 | 1.16E-02 | 2.22E-03 | 3.23E-04 | 2.22E-04 | 7.74E-05 |
|     | 幼儿  | 2.00E-02 | 1.17E-02 | 2.22E-03 | 3.26E-04 | 2.24E-04 | 7.81E-05 |
|     | 少年  | 2.07E-02 | 1.17E-02 | 2.22E-03 | 3.27E-04 | 2.24E-04 | 7.82E-05 |
|     | 成人  | 2.06E-02 | 1.17E-02 | 2.22E-03 | 3.25E-04 | 2.24E-04 | 7.80E-05 |

| 方位  | 年龄组 | 距离 (km)  |          |          |          |          |          |
|-----|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     |     | 0~1      | 1~2      | 2~3      | 3~5      | 5~10     | 10~20    |
| S   | 婴儿  | 1.63E-02 | 2.80E-02 | 6.90E-03 | 6.97E-04 | 4.72E-04 | 1.70E-04 |
|     | 幼儿  | 1.70E-02 | 2.80E-02 | 6.91E-03 | 7.02E-04 | 4.74E-04 | 1.71E-04 |
|     | 少年  | 1.73E-02 | 2.80E-02 | 6.91E-03 | 7.02E-04 | 4.74E-04 | 1.71E-04 |
|     | 成人  | 1.74E-02 | 2.80E-02 | 6.91E-03 | 7.01E-04 | 4.74E-04 | 1.71E-04 |
| SSW | 婴儿  | 1.77E-02 | 1.81E-02 | 8.25E-03 | 2.16E-03 | 9.90E-04 | 4.13E-04 |
|     | 幼儿  | 1.81E-02 | 1.83E-02 | 8.27E-03 | 2.16E-03 | 9.92E-04 | 4.15E-04 |
|     | 少年  | 1.83E-02 | 1.83E-02 | 8.28E-03 | 2.16E-03 | 9.93E-04 | 4.15E-04 |
|     | 成人  | 1.84E-02 | 1.83E-02 | 8.28E-03 | 2.16E-03 | 9.92E-04 | 4.15E-04 |
| SW  | 婴儿  | 2.46E-02 | 1.65E-02 | 1.70E-02 | 1.80E-02 | 2.02E-03 | 8.38E-04 |
|     | 幼儿  | 2.48E-02 | 1.66E-02 | 1.71E-02 | 1.80E-02 | 2.03E-03 | 8.40E-04 |
|     | 少年  | 2.48E-02 | 1.67E-02 | 1.71E-02 | 1.80E-02 | 2.03E-03 | 8.41E-04 |
|     | 成人  | 2.48E-02 | 1.67E-02 | 1.71E-02 | 1.80E-02 | 2.03E-03 | 8.41E-04 |
| WSW | 婴儿  | 3.36E-02 | 1.78E-02 | 1.73E-02 | 3.68E-02 | 6.86E-03 | 1.55E-03 |
|     | 幼儿  | 3.38E-02 | 1.80E-02 | 1.74E-02 | 3.69E-02 | 7.19E-03 | 1.83E-03 |
|     | 少年  | 3.38E-02 | 1.81E-02 | 1.74E-02 | 3.69E-02 | 7.19E-03 | 1.83E-03 |
|     | 成人  | 3.38E-02 | 1.81E-02 | 1.74E-02 | 3.69E-02 | 7.25E-03 | 1.88E-03 |
| W   | 婴儿  | 3.76E-02 | 1.48E-02 | 1.11E-02 | 1.23E-02 | 5.51E-03 | 8.25E-04 |
|     | 幼儿  | 3.79E-02 | 1.49E-02 | 1.11E-02 | 1.26E-02 | 5.86E-03 | 8.28E-04 |
|     | 少年  | 3.81E-02 | 1.50E-02 | 1.12E-02 | 1.27E-02 | 5.86E-03 | 8.29E-04 |
|     | 成人  | 3.81E-02 | 1.50E-02 | 1.12E-02 | 1.28E-02 | 5.92E-03 | 8.29E-04 |
| WNW | 婴儿  | 3.80E-02 | 1.38E-02 | 8.06E-03 | 5.77E-03 | 2.84E-03 | 8.40E-04 |
|     | 幼儿  | 3.84E-02 | 1.39E-02 | 8.25E-03 | 6.13E-03 | 2.85E-03 | 8.44E-04 |
|     | 少年  | 3.85E-02 | 1.40E-02 | 8.29E-03 | 6.15E-03 | 2.85E-03 | 8.45E-04 |
|     | 成人  | 3.85E-02 | 1.40E-02 | 8.26E-03 | 6.21E-03 | 2.85E-03 | 8.44E-04 |
| NW  | 婴儿  | 2.86E-02 | 1.00E-02 | 5.86E-03 | 3.68E-03 | 1.91E-03 | 4.42E-04 |
|     | 幼儿  | 2.88E-02 | 1.01E-02 | 5.90E-03 | 3.71E-03 | 1.92E-03 | 4.44E-04 |
|     | 少年  | 2.89E-02 | 1.02E-02 | 5.92E-03 | 3.72E-03 | 1.93E-03 | 4.45E-04 |
|     | 成人  | 2.90E-02 | 1.02E-02 | 5.92E-03 | 3.72E-03 | 1.92E-03 | 4.44E-04 |
| NNW | 婴儿  | 2.65E-02 | 6.71E-03 | 3.78E-03 | 2.29E-03 | 1.14E-03 | 2.33E-04 |
|     | 幼儿  | 2.67E-02 | 6.78E-03 | 3.83E-03 | 2.32E-03 | 1.14E-03 | 2.35E-04 |
|     | 少年  | 2.68E-02 | 6.81E-03 | 3.84E-03 | 2.32E-03 | 1.15E-03 | 2.36E-04 |
|     | 成人  | 2.68E-02 | 6.81E-03 | 3.84E-03 | 2.32E-03 | 1.15E-03 | 2.36E-04 |

由表 6.3-14 可以看出，有人子区中，本项目气、液态流出物综合所致各子区、各年龄组最大个人剂量值出现在 WSW 方位、1~2km 处的马牯丘少年组及成人组，最大个人剂量为 0.0181mSv/a；无人子区中，潜在最大个人剂量出现在 N 方位、0~1km 子区。

### 6.3.3.2 20km 范围内集体剂量

棉花坑矿井三期工程相关设施排放的气、液态流出物所致 20km 范围内集体剂量见表 6.3-15。由表中数据可以看出，项目运行后气、液态流出物所致 20km 范围内集体剂量为  $6.01 \times 10^{-2}$  人·Sv/a。

表 6.3-15 气、液态流出物所致 20km 范围内集体剂量 单位：人·Sv/a

| 距离 | 0~1km    | 0~2km    | 0~3km    | 0~5km    | 0~10km   | 0~20km   |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 气态 | 0.00E+00 | 5.19E-03 | 1.52E-02 | 3.38E-02 | 4.63E-02 | 5.99E-02 |
| 液态 | 0.00E+00 | 1.54E-05 | 4.71E-05 | 8.65E-05 | 1.54E-04 | 2.03E-04 |
| 合计 | 0.00E+00 | 5.21E-03 | 1.52E-02 | 3.39E-02 | 4.65E-02 | 6.01E-02 |

## 6.4 对粤北华南虎省级自然保护区影响分析

本项目液态流出物排入受纳水体汇入锦江后向西南方向流去，不会流入粤北华南虎省级自然保护区内，故液态途径不会对其产生影响。保护区试验区边界距离本项目评价中心约 2.7km，位于 NNW 方位 2~3km 子区，为无人子区。由预测结果可知，三期工程运行后，气态流出物对该子区空气中核素贡献浓度为  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$  为  $3.71 \times 10^{-8} \text{Bq/m}^3$ ， $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  为  $3.80 \times 10^{-8} \text{Bq/m}^3$ ， $^{222}\text{Rn}$  为  $0.115 \text{Bq/m}^3$ ；对该子区地表沉积核素贡献  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$  为  $1.52 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^2$ ， $^{226}\text{Ra}$  为  $1.55 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^2$ ， $^{210}\text{Pb}$  为  $1.54 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^2$ ， $^{210}\text{Po}$  为  $1.02 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^2$ ，贡献值均很小，因此不会对保护区产生明显的影响。

## 6.5 公众辐射环境影响评价

棉花坑矿井三期工程相关设施排放的气、液态流出物所致的 20km 范围内最大个人剂量为 0.0181mSv/a，关键居民组为 WSW 方位的马牯丘村少年组和成人组，主要由气载放射性流出物排放所致，关键途径为吸入内照射，关键核素为  $^{222}\text{Rn}$ 。

## 6.6 地下水影响分析

### 6.6.1 正常工况

本项目可能对地下水环境造成影响的污染源为矿井水处理设施，其包括矿井水高位收集池、斜管澄清池、合格液贮槽等池体，材质为抗渗混凝土，且有防水涂层，可有效防止矿井水进入地下水含水层。因此，正常工况下本项目不会对地下水环境产生影响。

### 6.6.2 非正常工况

非正常工况下，假设矿井水处理设施中池体发生泄漏，预测并评价其对地下水环境造成的影响。

#### 1) 预测情形

由于矿井水处理设施中高位收集池的矿井水各污染物浓度最高，因此假设高位收集池发生泄漏，且忽略包气带对污染物迁移的阻滞作用，池中矿井水直接泄漏至潜水含水层造成污染，预测评价其对地下水环境造成的影响。建设单位每半月对高位收集池进行检修，发现泄漏后立即采取应急措施，污染源随之消失，已泄漏的放射性核素仍继续向下游运移。本项目预测时长为7300d（服务年限），泄漏时长为15d。

#### 2) 预测源强

##### (1) 渗水量

矿井水泄漏量参考达西定律计算，如下式所示：

$$Q = K \times I \times A \dots\dots\dots \text{(式 6.5-1)}$$

式中：

Q——矿井水泄漏量， $\text{m}^3/\text{d}$ ；

K——包气带垂向渗透系数，取0.066 $\text{m}/\text{d}$ ；

I——垂向水力坡度，渗透地下水垂直于防渗层，此处取值为1；

A——防渗结构失效面积，一般情况下，取总防渗面积的1‰~1%。矿井水高位收集池底面积为134 $\text{m}^2$ ，则防渗失效面积保守取1%，即13.4 $\text{m}^2$ 。

综上，通过计算得出矿井水高位收集池非正常状况下泄漏量为0.88 $\text{m}^3/\text{d}$ 。

##### (2) 渗水中污染物浓度

本次预测评价选择矿井水中代表性的  $U_{\text{天然}}$  和  $^{226}\text{Ra}$  作为评价因子, 根据矿井水监测数据, 矿井水中  $U_{\text{天然}}$  浓度最大值为  $1.419\text{mg/L}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  浓度最大值为  $0.598\text{Bq/L}$ 。

### 3) 预测模型

根据预测情景, 将污染源的泄漏概化为平面连续点源, 适用《环境影响评价技术导则地下水环境》(HJ610-2016) 中一维稳定流动二维水动力弥散问题—连续注入示踪剂—平面连续点源; 泄露被发现并检修后, 运用叠加原理, 将泄露末刻地下水污染浓度场作为初始浓度场继续运移, 但叠加一个负源强, 以刻画泄露停止的情景, 即  $C=C(x,y,t)-C(x,y,t)$ ,  $t$  为泄漏持续时间。

(1) 连续注入示踪剂——平面连续点源公式如下:

$$C(x, y, t) = \frac{m_t}{4\pi M n_e \sqrt{D_L D_T}} e^{\frac{xu}{2D_L}} \left[ 2K_0(\beta) - W\left(\frac{u^2 t}{4D_L}, \beta\right) \right] \dots\dots\dots (\text{式 } 6.5-2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{u^2 x^2}{4D_L^2} + \frac{u^2 y^2}{4D_L D_T}}$$

(2) 瞬时注入示踪剂——平面瞬时点源:

$$C(x, y, t) = \frac{m_M / M}{4\pi n_e t \sqrt{D_L D_T}} e^{-\left[\frac{(x-ut)^2}{4D_L t} + \frac{y^2}{4D_T t}\right]} \dots\dots\dots (\text{式 } 6.5-33)$$

式中:

$x, y$ ——计算点处的位置坐标;

$t$ ——时间, d;

$C(x, y, t)$ —— $t$ 时刻点  $x, y$  处的示踪剂质量浓度,  $\text{mg/L}$ ;

$M$ ——含水层的厚度, m;

$m_t$ ——单位时间注入示踪剂的质量,  $\text{kg/d}$ ;

$u$ ——水流速度,  $\text{m/d}$ ;

$n_e$ ——有效孔隙度, 量纲为 1;

$D_L$ ——纵向弥散系数,  $\text{m}^2/\text{d}$ ;

$D_T$ ——横向  $y$  方向的弥散系数,  $\text{m}^2/\text{d}$ ;

$\pi$ ——圆周率；

$K_0(\beta)$ ——第二类零阶修正贝塞尔函数；

$W(\frac{u^2 t}{4D_L}, \beta)$ ——第一类越流系统井函数。

#### 4) 模型参数选取

本次模拟预测的水文地质参数参照《中核韶关锦原铀业有限公司 745 矿退役治理 II 期工程环境影响报告书》（中核韶关锦原铀业有限公司，2020.04）及经验值，各参数取值见表 6.5-1。



6.5-1 模型参数一览表

| m                         |                             | K<br>(m/d) | U<br>(m/d) | M<br>(m) | D <sub>L</sub><br>(m <sup>2</sup> /d) | D <sub>T</sub><br>(m <sup>2</sup> /d) | n <sub>e</sub> | I    |
|---------------------------|-----------------------------|------------|------------|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------|------|
| U <sub>天然</sub><br>(mg/d) | <sup>226</sup> Ra<br>(Bq/d) |            |            |          |                                       |                                       |                |      |
| 1249                      | 526.24                      | 0.66       | 0.05       | 17.4     | 0.5                                   | 0.05                                  | 0.25           | 0.02 |

5) 预测结果及评价

(1) U<sub>天然</sub>

将上述参数代入预测公式进行计算，以 0μg/L 为边界浓度，绘制了泄漏 100d、1000d 和 7300d（服务年限）后地下水中 U<sub>天然</sub> 浓度分布图（图 6.5-1）。从浓度分布图中可知：①第 100d 时，U<sub>天然</sub> 下游最大运移距离为 20m，最大贡献浓度值为 0.10μg/L，位于下游 5m 处；②第 1000d 时，下游最大运移距离为 135m，最大贡献浓度值为 1.57μg/L，位于下游 49m 处；③第 7300d 时，下游最大运移距离为 525m，最大贡献浓度值为 0.29μg/L，位于下游 364m 处。此外，在核素泄漏影响范围内无居民点、学校和医院等地下水环境保护目标。

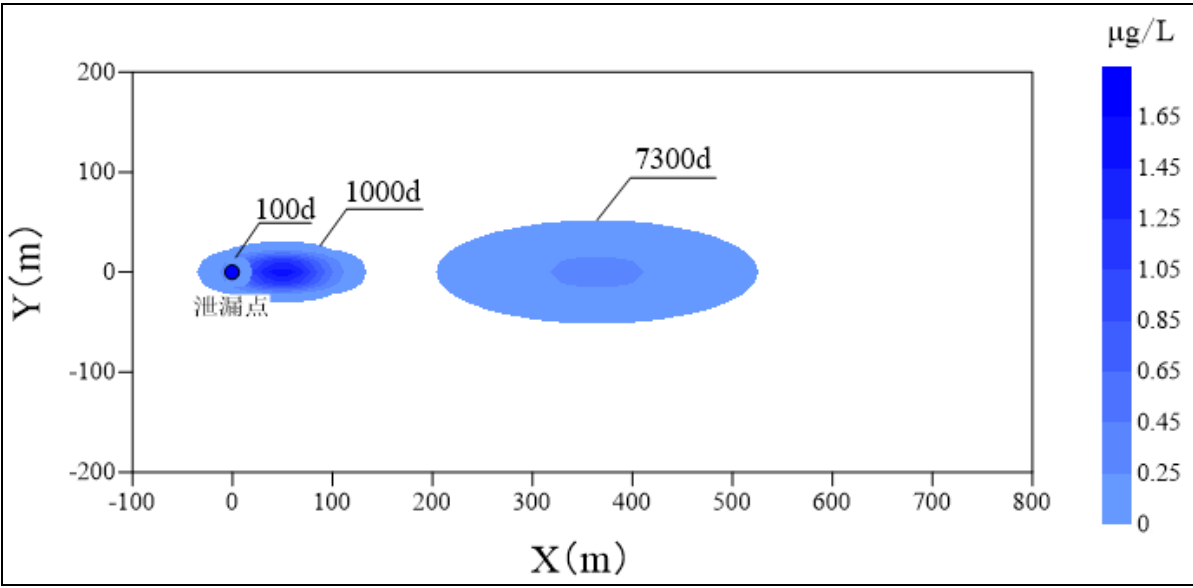


图 6.5-1 U<sub>天然</sub>污染羽分布图

(2) <sup>226</sup>Ra

将上述参数代入预测公式进行计算，以 0μg/L 为边界浓度，绘制了泄漏 100d、1000d 和 7300d（服务年限）后地下水中 <sup>226</sup>Ra 浓度分布图（图 6.5-2）。从浓度分布图中可知：①第 100d 时，<sup>226</sup>Ra 下游最大运移距离为 20m，最大贡献浓度值为 0.10μg/L，位于下游 5m 处；②第 1000d 时，下游最大运移距离为

135m，最大贡献浓度值为  $1.57\mu\text{g/L}$ ，位于下游 49m 处；③第 7300d 时，下游最大运移距离为 525m，最大贡献浓度值为  $0.29\mu\text{g/L}$ ，位于下游 364m 处。此外，在核素泄漏影响范围内无居民点等地下水环境保护目标。

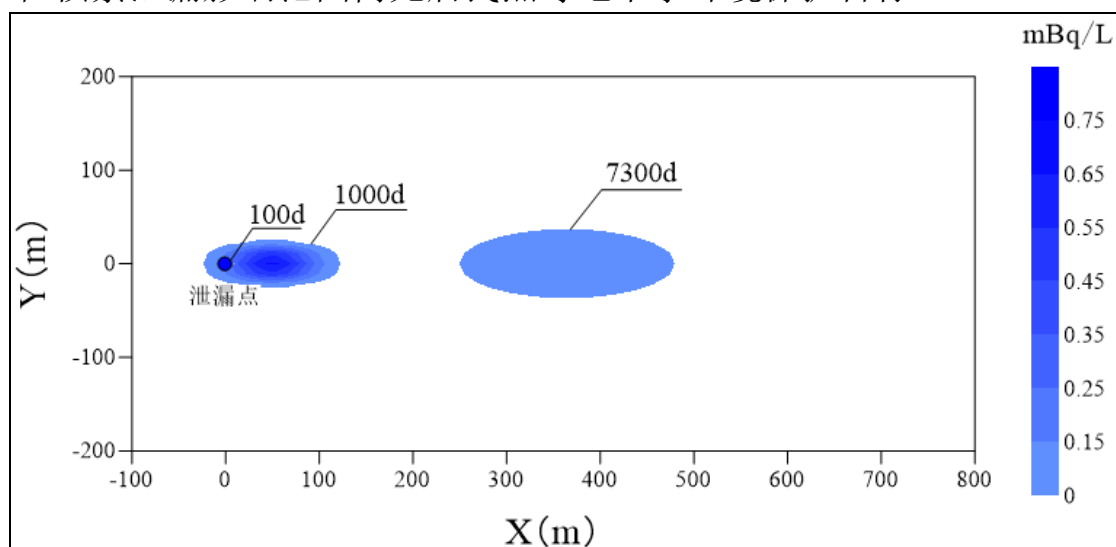


图 6.5-2  $^{226}\text{Ra}$  污染羽分布图

综上所述，高位收集池发生泄漏后，造成地下水中放射性核素贡献浓度值较小，影响范围和程度均十分有限，对地下水环境所产生的影响可以接受。

## 7 运行期非放射性环境影响分析

### 7.1 大气环境影响分析

锦原公司水冶厂采用硫酸作为淋浸剂，在淋浸剂配置、矿石堆浸过程中会产生一定量的硫酸雾。此外，浸出液处理工序也会产生一定量的含硫酸废气。其中，堆浸过程中产生的硫酸雾经大气稀释扩散排放；淋浸剂配置、浸出液处理工序的含硫酸废气经厂房通风系统排除厂房。

根据《中核韶关锦原铀业有限公司职业病危害现状评价报告》，堆浸场、淋浸剂配置池以及水冶厂淋洗塔旁的硫酸浓度均小于  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，由此可见硫酸雾的排放量较小，经大气稀释扩散后不会对周边环境产生明显的影响。

### 7.2 水环境影响分析

本项目运行期废水包括生产废水和生活污水，其中，生产废水主要为矿井水、工艺废水和尾矿库流出水。

#### 7.2.1 达标排放分析

##### 7.2.1.1 生产废水

生产废水中的非放射性成分主要来源于矿石中与铀矿伴生的其他的矿物组分，如氟；以及堆浸添加剂，如锰。此外，根据环保要求锦原公司每年对废水中的主要重金属污染物进行监测。

2021 年、2022 年外排废水中主要非放射性污染物的监测结果见表 3.1-3。由表中数据可以看出，外排废水中非放射性污染物浓度均可以满足《广东省水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中相关限值的要求。

棉花坑三期工程投产后，矿井水排放量有所增加（ $2440\text{m}^3$  增加至  $2958\text{m}^3$ ），工艺废水、尾矿库流出水的产生量与现有工程基本相当，变化不大。由于矿石组分、生产工艺不发生明显的变化，故废水水质也不会出现明显变化，在采用现有的处理工艺处理后，矿井水、尾矿库流出水、工艺废水也可以实现达标排放。

### 7.2.1.2 生活污水

本项目生活污水产生量约为  $30.5\text{m}^3/\text{d}$ ，主要污染物为 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。棉花坑矿井现有地埋式生活污水处理设施一套，用于处理职工生活污水。处理后的生活污水中， $\text{COD}\leq 90\text{mg/L}$ ， $\text{NH}_3\text{-N}\leq 10\text{mg/L}$ ，可以满足《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中相关的排放限值要求，排入马牯丘小溪。本项目不新增劳动定员，生活污水产生量与现有工程一致，在采取现有的处理措施处理后仍可以满足排放要求。

### 7.2.2 水环境影响评价

#### 7.2.2.1 生产废水

##### 1) 工艺废水、尾矿库流出水

锦原公司对工艺废水、尾矿库流出水排口上游河段以及下游的黄溪水（黄溪水村段）的水质进行定期取样监测，监测结果见表 4.3-5。由表中数据可以看出，工艺废水排放口下游河段中氟化物、Mn、Cd、As 等污染物的浓度均可以满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III标准要求，且工艺废水、矿井水排口上游与下游河段中氟化物、Mn、Cd、As 等污染物的浓度基本处于同一水平。由此可以看出，处理后工艺废水、尾矿库流出水的排放不会对官田小溪及其下游的黄溪水水质造成明显的影响。

本项目实施后，工艺废水、尾矿库流出水的排放量、水中污染物种类均不会发生明显的变化，在采用现有的处理设施进行处理、达标排放后不会对下游河段的水质产生明显的影响。

##### 2) 矿井水

##### (1) 评价源项及等级

本项目废水主要为矿井水，排放量为  $2958\text{m}^3/\text{d}$ 。主要非放射性污染物为  $\text{F}^-$ ，经矿井水处理设施处理后排放至马牯丘小溪，经计算当量数  $6000 < W < 600000$ ，污染物排放量详见表 7.2-1， $200 < Q < 20000\text{m}^3/\text{d}$  矿井水排放口河段的水功能为农业灌溉用水，水质目标为 III 类。根据 HJ2.3-2018 判定标准，评价等级为二级，评价范围为受纳水体排放口断面至下游最近河段汇入口（即排放口下游 2900m，汇入锦江）处，关心断面为排放口下游 750m 马牯

丘村断面，评价时期为丰水期和枯水期。

表 7.2-1 矿井水非放污染物排放量及当量数

| 污染物 \ 类型 | 浓度   | 排放量               | 工作时间 | 年排放量   | 当量值  | 当量数      |
|----------|------|-------------------|------|--------|------|----------|
|          | mg/L | m <sup>3</sup> /d | d/a  | kg/a   | (kg) | <i>W</i> |
| 氟化物      | 5.09 | 2958              | 365  | 5495.5 | 0.5  | 10991    |

## (2) 预测模型

### ①预测水文参数

本次预测选取枯水期 1 月份，丰水期 7 月份，其水文参数详见表 2.5-1。

### ②预测模型

#### a、混合过程段长度估算

$$L_m = \left\{ 0.11 + 0.7 \left[ 0.5 - \frac{a}{B} - 1.1 \left( 0.5 - \frac{a}{B} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \frac{uB^2}{E_y} \quad (\text{式 7.2-1})$$

式中：

$L_m$ —混合段长度，m；

$B$ —水面宽度，m，枯水期取 1.02m，丰水期取 3.81m；

$a$ —排放口至岸边的距离，m，本项目取 0m；

$u$ —断面流速，m/s，枯水期取 0.53m/s，丰水期取 0.12m/s；

$E_y$ —污染物横向扩散系数，m<sup>2</sup>/s，根据《水域纳污能力计算规程》（GB/T25173-2010）中泰勒公式，计算可知枯水期为 0.002m<sup>2</sup>/s，丰水期为 0.023m<sup>2</sup>/s。

经计算可知，枯水期完全混合段长度约 118.7m，丰水期为 32.7m。本次预测选取的关心断面为排放口下游 750m 处，位于完全混合段。

#### b、地表水环境影响预测

本项目关心断面处于完全混合段，地表水水非放射性污染物环境影响评价采用零维模型，即河流均匀混合模型：

$$C = (C_p Q_p + C_h Q_h) / (Q_p + Q_h) \quad (\text{式 7.2-2})$$

式中：

$C$ —污染物浓度，mg/L；

$C_p$ —污染物排放浓度，mg/L，保守取现状监测最大值 5.09mg/L；

$Q_p$ —污水排放量,  $\text{m}^3/\text{s}$ , 取  $0.0342\text{m}^3/\text{s}$ ;

$C_h$ —受纳水体上游污染物浓度,  $\text{mg/L}$ , 取现状监测值  $0.132\text{mg/L}$ ;

$Q_p$ —受纳水体流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ , 为枯水期  $0.18\text{m}^3/\text{s}$ , 丰水期  $0.45\text{m}^3/\text{s}$ 。

### c、水环境影响分析

由式 7.2-2 计算可知, 三期工程实施后运行后, 枯水期和丰水期受纳水体 (马牯丘小溪) 排放口下游 750m 马牯丘村处, 以及马牯丘小溪汇入锦江断面处 F 浓度分别为  $0.92\text{mg/L}$  和  $0.48\text{mg/L}$ , 均满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准不高于  $1.0\text{mg/L}$  要求, 项目矿井水排放对周边地表水环境影响较小。

#### 7.2.2.2 生活污水

根据锦原公司年报中对生活污水排口下游的马牯丘小溪大村段的监测, 河水中 COD 浓度为  $14.6\text{mg/L}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度为  $0.42\text{mg/L}$ , 满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中 III 类水体中  $\text{COD} \leq 20\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N} \leq 1.0\text{mg/L}$  的标准要求。本项目运行后劳动定员不变, 不新增生活污水排放量, 在采用现有设施处理达标排放后, 不会对下游河段产生明显的影响。

### 7.3 固体废物环境影响分析

#### 1) 一般固体废物

本项目非放射性固体废物主要为职工日常生活产生的生活垃圾。本项目不新增劳动定员, 生活垃圾产生量与现有工程相同, 约为  $55\text{kg/d}$ 。厂区内各生产设施周边均设有生活垃圾收集点, 生活垃圾定点收集后定期由环卫部门外运处置。生活垃圾不在环境中丢弃, 不会对周边环境产生明显的影响。

#### 2) 危险废物

三期工程实施后, 危险废物产生情况与现有工程相同; 废机油的产生量为  $2.8\text{t/a}$ , 废弃包装产生量为  $0.2\text{t/a}$ 。以上废物在危废暂存库暂存, 定期转运危险废物至有资质的单位进行处置。

## 7.4 声环境影响分析

### 7.4.1 噪声源分析

本项目矿石开采距离地表较远，经过地层的阻隔，井下凿岩、爆破以及井下设备产生的噪声基本不会对地表产生影响。棉花坑矿井及水冶生产线主要产噪设备 7.4-1。本项目不涉及地表的破碎及浸出液处理设施的改造，不新增产噪设备。

表 7.4-1 棉花坑矿井主要产噪设备

| 序号 | 地点       | 设备名称  | 台（套）数 | 单机噪声，dB（A） |
|----|----------|-------|-------|------------|
| 1  | 破碎生产线    | 颚式破碎机 | 1     | 90         |
| 2  |          | 圆锥破碎机 | 2     | 90         |
| 3  |          | 振动筛   | 1     | 85         |
| 4  |          | 斜流风机  | 3     | 80         |
| 5  | 浸出液处理生产线 | 泵类    | 7     | 80         |
| 6  |          | 吸附塔   | 7     | 85         |
| 7  |          | 空调、风机 | 10    | 80         |

### 7.4.2 声环境影响分析

本次评价期间，对生产期间破碎生产线、浸出液处理生产线（水冶厂房）厂界噪声情况进行了监测，监测结果见表 7.4-2。由表中数据可以看出，破碎生产线、浸出液处理生产线厂界噪声均可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类区排放限值要求。

表 7.4-2 破碎生产线、浸出液处理生产线厂界噪声情况 单位：dB（A）

| 方位<br>产噪单位 | 东厂界                   |      | 西厂界  |      | 南厂界  |      | 北厂界  |      |
|------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | 昼间                    | 夜间   | 昼间   | 夜间   | 昼间   | 夜间   | 昼间   | 夜间   |
| 破碎         | 53.2                  | 41.9 | 54.1 | 41.6 | 52.8 | 41.3 | 58.3 | 42.3 |
| 浸出液处理      | 51.0                  | 40.4 | 53.7 | 43.2 | 51.1 | 46.4 | 52.4 | 44.4 |
| 标准限值       | 昼间≤60dB（A），夜间≤50dB（A） |      |      |      |      |      |      |      |

此外，还对距离浸出液处理生产、破碎生产线最近的马牯丘村（距离分别为 1295m、1250m）进了监测，监测数据显示，马牯丘村昼间噪声值为 50.2dB（A），夜间为 43.1dB（A），可以满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类区昼间≤60dB（A），夜间≤50dB（A）的限值要求。本项目不增加产噪设备，项目运行前后对周边声环境的影响变化不大。

### 7.4.3 爆破振动环境影响分析

井下掘进、采场爆破采用多排微差爆破法进行深孔爆破，根据《爆破安全规程》（GB6722-2014）中规定的爆破安全距离计算方法，其爆破安全距离与单次爆破的炸药量成正比，计算公式如下：

$$R = (K/V)^{1/a} \cdot Q^{1/3} \dots\dots\dots \text{（式 7.4-1）}$$

式中：R——爆破地震安全距离，m；

Q——炸药量，kg；本项目采用微差爆破，最大单段药量不超过 250kg；

V——地震安全速度，cm/s；本项目周边居民点住房一般为砖房建筑，一般取 1.5~3cm/s，本评价取 2.0；

K、a——K 与爆破点至保护对象间的地形、地质条件有关的系数，本项目地质条件为坚硬岩石，K 取 150；a 为衰减指数，一般取 1.3~1.5，本评价取 1.3。

经计算，本项目的爆破安全距离为 175m。本项目采场距离地表的最近距离为 215m，由此可见井下爆破振动不会对矿区周边地表的建构筑物产生明显的影响。



## 8 事故环境影响分析

### 8.1 事故的环境影响

#### 8.1.1 事故识别

本项目采用地下开采方式，放射性流出物主要包括矿井废气、矿井排水以及矿石破碎过程产生的粉尘。根据项目特点，确定本项目相关的事故主要包括以下

##### 1) 破碎厂房除尘设备失效事故

在生产过程中，破碎厂房产生的粉尘经泡沫干雾抑尘后排放，由于除尘系统故障、人为操作失误等原因，可能会造成除尘设备故障，造成周边大气环境中核素浓度升高，从而可能对公众造成一定的辐射影响；

##### 2) 废水处理设施失效事故

棉花坑矿井的矿井废水设置专门处理设施，在车间停电、设备故障、人为操作失误、暴雨洪水等情况下，放射性废水处理站可能发生处理设施失效事故，使废水外溢或超标排放，对受纳水体和周围场地造成放射性污染；

##### 3) 矿石运输车辆事故

本项目矿石运输采用公路汽车运输方式，可能发生车速过快、超载运输、驾驶员疲劳驾驶引起的交通事故，使得矿石洒落、泄露。

#### 8.1.2 事故环境影响分析

##### 8.1.2.1 破碎厂房除尘设施失效事故

破碎厂房除尘系统由于人为操作失误或设备损坏，造成部分除尘设备喷雾量达不到除尘要求，或除尘设备完全停止工作，未经处理的破碎粉尘直接排放，外排铀尘浓度和单位时间内排放总量增加，从而对环境及公众造成事故性影响。考虑事故发生后，一个工作日粉尘均未经处理排放，至第二个工作日发现问题并排除，即假设事故导致粉尘未经净化处理而排放的持续时间为 5h；通过类比破碎车间粉尘中放射性核素年排放量可知，在 5h 内铀尘中  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}$  排放量为  $3.34 \times 10^5 \text{Bq}$ ， $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  排放量为  $3.44 \times 10^5 \text{Bq}$  次，单次事故粉尘核素排放量为正常运行时年核素排放量的 8%。类比正常运

行时量破碎厂房粉尘中核素剂量贡献预测结果 ( $3.01 \times 10^4 \text{mSv/a}$ )，此事故状态下所致公众最大个人剂量为  $2.41 \times 10^{-5} \text{mSv/次}$ ，事故影响很小。生产运行中加强对破碎厂房通风除尘设施的维护，按流出物监测规范定期监测，在事故状态下采取停止生产等防范措施，可避免事故的发生，降低事故影响。

#### 8.1.2.2 矿井水处理设施失效事故

矿井水处理设施发生故障导致矿井水未经处理直接排入马牯丘小溪。棉花坑矿井水排放量为  $2958 \text{m}^3/\text{d}$ ，未经处理的矿井水中  $U_{\text{天然}}$  浓度为  $0.72 \text{mg/L} \sim 1.419 \text{mg/L}$ ， $^{226}\text{Ra}$  浓度  $0.297 \sim 0.598 \text{Bq/L}$ ；排入的马牯丘小溪对矿井水的稀释倍数可以满足 5 倍稀释的要求，即使发生故障，相应接纳水体均能够对本项目放射性废水进行有效稀释，水体中的铀、镭浓度会大大降低。

正常工况下，处理后的矿井水中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  的浓度分别为  $0.04 \text{mg/L}$  和  $0.298 \text{Bq/L}$ ，根据剂量预测结果，矿井水排放对下游马牯丘小溪沿岸的马牯丘村造成的个人剂量为  $1.18 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。考虑矿井水处理设施发生事故后，未经处理的矿井水持续排放 48h。通过类比，发生单次事故的情况，液态途径造成的个人剂量约  $6.46 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$ ，影响较小。因此，通过加强设备巡视和流出物监测，及时发现设备故障后及时采取措施，发生此类事故后的环境影响是可以接受的。

#### 8.1.2.3 运输车辆事故

本项目矿石由破碎厂房运至水冶设施运距为 2.7km，矿石运输车辆单车单次运输量 18t。以此计算矿石运输约 \*\* 车次/年。根据核工业 30 年放射性物质运输统计数据，公路运输发生的事故概率为  $4.3 \times 10^{-7} / \text{km} \cdot \text{车次}$ 。以此计算，矿石运输事故发生的几率为  $6.13 \times 10^{-3} \text{次/a}$ ，发生事故的几率较小。项目运行过程中一旦发生该事故，应立即组织人员，及时将洒落的矿石进行清理，对矿石掉落地块进行监测，如发现超标立即进行去污处理，减少对环境的污染。

### 8.1.3 事故防范及应急控制措施

#### 8.1.3.1 防范措施

##### 1) 破碎厂房除尘设备失效事故

(1) 加强对除尘系统的检查和维护，有效避免除尘系统故障的发生；

(2) 强化工作人员的防范意识, 严格执行操作规程, 杜绝违章操作。

## 2) 废水处理设施失效事故

(1) 加强对废水处理设备的检查和维护, 有效避免设备故障的发生;

(2) 加强操作人员的培训, 严格执行操作规程, 杜绝违章操作;

(3) 加强对各种液态流出物及受纳水体的监测, 一旦发现流出物中核素浓度超标, 或环境中核素浓度异常升高, 及时排查原因解决问题, 确保达标排放。

## 3) 运输车辆事故

(1) 本项目不定期对运输道路进行维修、维护, 发现有不平、坑洼及时修补, 保证运输道路路面质量;

(2) 在运输道路设置方向、车速等指示或警示标志;

(3) 对运输车辆加装拦挡装置, 并在装满后采取苫盖措施, 防止废石、矿石运输过程中发生洒落;

(4) 定期对运输车辆进行维护和保养, 降低发生事故的风险, 若发现运输车辆有安全隐患, 应立即停止使用;

(5) 加强运输人员安全意识, 减少事故发生。

### 8.1.3.2 管理措施

1) 认真贯彻落实有关法规, 不断完善项目单位环境风险管理制度。

认真贯彻落实《中华人民共和国安全生产法》、《中华人民共和国消防法》等法律、法规。建立健全安全环保责任制, 把安全环保责任落实到岗位和人头。定期组织安全检查, 及时消除事故隐患, 强化对事故源的监控。

2) 切实加强安全管理宣传、教育和培训工作。

加强对管理人员开展安全宣传、教育和培训, 促使其提高安全防范意识, 掌握预防和处置事故的技能。

3) 制定应急预案、事故应急求援关闭程序与恢复措施

制定可行的应急预案, 规定应急状态终止程序, 提出事故现场善后处理和恢复措施及邻近区域解除事故警戒及善后恢复措施。

### 8.1.3.3 事故应急响应

1) 事故报警

事故发生后，第一发现人应立即就近发出警报，联络事故应急有关部门，说明事故情况及救援处理所需物资和帮助等；

## 2) 处理措施

(1) 事故救援队派专人到达事故发生地和周围调查是否有人员伤亡或被困人员，并积极组织救援工作；

(2) 对事故地点周围居民点所在地进行环境氡、地表水、饮用水的环境监测工作，确保居民点的辐射安全；

(3) 如涉及污染水体，对地表水和底泥进行监测，如监测不合格，应将超标范围内的水体底泥进行清挖，并将清挖固体废物运至尾矿库堆存；

(4) 如涉及污染土壤和农田，在监测的基础上划定污染范围，对下泄的放射性污染物进行清理，并对污染的土壤进行清挖。

## 3) 应急结束

事故得到控制，消除危害后果，作好现场恢复。事故再次发生的隐患消除后，应急结束。应急指挥部和救援人员进行总结，并按照规定进行上报。

# 8.2 环境风险评价

## 8.2.1 环境风险识别风险

棉花坑三期工程涉及的主要危险物质为矿石堆浸使用的硫酸。硫酸具有强氧化性、脱水性、强腐蚀性。硫酸对皮肤、粘膜等组织有强烈的刺激和腐蚀作用，蒸汽或硫酸雾可引起结膜炎、结膜水肿、角膜浑浊，以致失明；吸入硫酸雾后引起呼吸道刺激反应、重者发生呼吸困难和肺水肿。硫酸助燃，遇水放热，可发生沸溅，与易燃物和可燃物接触会发生剧烈反应，甚至引起燃烧；有强烈的腐蚀性和吸水性。

本项目硫酸储存于现有硫酸储罐区内，硫酸罐区于堆浸池北侧约 80m 的山坡上。硫酸储罐长 43.5m，宽 13.5m，四周设 0.4m 高围堰，围堰底部铺设耐酸砖，围堰侧面涂刷耐腐蚀材料，库内设 4 台容积为 150m<sup>3</sup> 的圆柱形立式硫酸罐，3 用 1 备；另外罐区内配备事故泵两台（1 用 1 备）储罐基础直径约 7m。硫酸罐中最大硫酸储量不超过储罐容积的 80%。

## 8.2.2 环境风险分析

考虑到多个硫酸储罐同时发生泄漏的可能性很小，故本次评价按一个罐发生泄漏考虑。现有硫酸罐区围堰有效面积为围堰总面积与储罐基础所占面积之差即： $S_{有}=S_{围堰}-S_{基础}=43.5\times 13.5-3.14\times 3.5^2\times 4\approx 433m^2$ ；以此计算围堰总有效容积为  $173m^3$ ，完全可以容纳一个储罐发生泄漏后的全部硫酸。因此，即使储罐发生泄漏，也不会出现硫酸外流，污染周边土壤及地表水的情况。此外，硫酸围堰底部铺设耐酸砖，侧壁涂刷耐腐蚀材料，可以有效防止硫酸下渗对地下水造成影响。

硫酸在常压下是液体，常温储存，在发生泄漏事故时不会发生闪蒸及热量蒸发，因此，重点考虑事故泄漏后的质量蒸发。如果发生泄漏事故，通过厂内巡视及监控系统可以在短时间对泄漏的硫酸进行处理，不会出现硫酸雾长时间在空气中扩散的情况。此外，距离硫酸罐区最近的马牯丘村，与硫酸罐区间距离为 1.4km，扩散的少量硫酸雾经大气稀释不会对马牯丘村的空气质量造成影响。

## 8.2.3 环境风险防范措施

### 8.2.3.1 防范措施

1) 硫酸罐区周围设置整体围堰，围堰有效容积可满足单台储罐的泄漏量，且围堰内侧壁及地面均按照规范作防渗、防腐处理，防止污染地下水；同时厂区内配备必要的应急救援器材，以防泄漏时的应急处理之需；

2) 硫酸罐区围堰内设置有备用罐及泵、管道等收集设施，一旦发生泄漏事故，即刻启动液体回收系统，将泄漏的硫酸及时回收至备用罐内；

3) 硫酸储罐设置液位报警，通过巡视及监控系统可及时发现泄漏，并进行处理；

4) 硫酸罐区内设置洗眼器、冲洗水管等设施，并配备面具、防护服、防护手套、安全眼镜等个人防护装备；

5) 硫酸罐区周边设置醒目的安全警示标志、职业危害告知牌、危险源告知牌等。

### 8.2.3.2 管理措施

1) 建立健全安全生产责任制，把安全生产责任落实到岗位和人头；定期组织安全检查，及时消除事故隐患，强化对事故源的监控；

2) 定期检查储罐、阀门和管道，防止储罐破裂或阀门泄漏产生有毒有害气体无组织排放；

3) 危险品储运采用槽车或桶装运输，经常检查阀门，防止泄漏；

4) 锦原公司制定有《突发环境事件应急预案》，建立了应急组织体系、应急响应程序、硫酸罐区突发环境事件现场处置措施，配备相应的应急物资，并定期进行演练；

5) 发生泄漏后，公司将立即采取应急措施，如停止供料，关闭相应的阀门，严格控制电源、火源，及时报警等，特别要配合消防部门，做好提供相关物料的理化性质等协助工作；

6) 加强对从业人员的安全宣传、教育和培训，严格实行从业人员资格和持证上岗制度，促使其提高安全防范意识，掌握预防和处置事故的技能，杜绝违规操作。

## 9 环境保护措施及其可行性论证

### 9.1 施工期环境保护措施及其可行性论证

#### 9.1.1 施工期环境保护措施

##### 9.1.1.1 施工期大气污染防治措施

施工期大气污染包括施工扬尘和少量的机械烟气。施工扬尘防治措施包括洒水抑尘、围挡、施工场地保持清洁并进行覆盖、避免大风作业、及时清运垃圾等措施，同时提高管理水平，加强现场施工管理等。机械烟气环境保护措施主要包括在施工过程中选择使用工况良好、使用年限较短的机械，并加强日常维护及检修，尽量避免由于机械老化而导致的燃料燃烧不完全现象的发生，以减少烟气的产生。尽量使用杂质含量少、品质高的燃料，以降低排放烟气中有害成分的含量。

##### 9.1.1.2 施工期水污染防治措施

施工期矿井废水的排放量与目前生产时期变化不大，继续使用现有矿井水处理设施进行处理达标后排放至马牯丘小溪。

施工废水主要为设备清洗和水泥养护排水，收集沉淀后全部用于施工区域洒水降尘。

施工期生活废水利用福利区现有地埋式污水处理设施处理后出水排入马牯丘小溪。

##### 9.1.1.3 施工期噪声污染防治措施

施工期降噪措施包括：选择低噪设备，并及时对其进行保养，从源头上降低声源；对于噪声较高的设备，采取加装减震设备或隔音罩的方法降噪，并加强管理，尽量避免夜间施工。

##### 9.1.1.4 施工期固体废物污染防治措施

施工期固体废物包括井下废石、更换的废旧设备管线、建筑垃圾以及施工人员生活垃圾等。

施工期产生的废石全部回填井下采空区。更换的废旧设备管线应进行表面污染检测，受到污染的应去污合格后，妥善安排回收利用去向；不合格的

运至书楼丘矿井巷道内妥善暂存，待退役时一并处理。建设过程中产生的废石子、废水泥、石材下角料等建筑垃圾，在指定的建筑垃圾堆放处堆存，最终送至指定的建筑垃圾处理场；生活垃圾集中堆放后，由环卫部门收集后处理。

## 9.1.2 施工期环境保护措施可行性论证

### 9.1.2.1 施工期大气污染防治措施可行性分析

施工扬尘的多少及影响程度的大小与施工场地条件、管理水平、机械化程度和天气条件等诸多因素有关；据有关调查显示，施工工地的扬尘主要由运输车辆的行驶产生，约占扬尘总量的 60%。一般情况下，施工场地、施工道路在自然风作用下产生的扬尘所影响范围在 100m 以内，如果在施工期间对车辆行驶路面实施洒水抑尘，可使扬尘减少 70%左右，如表 9.1-1 为施工场地洒水抑尘的试验结果所示。

表 9.1-1 施工场地洒水扬尘试验结果 单位：mg/m<sup>3</sup>

| 距工地距离 (m) | 5     | 20   | 50   | 100  |
|-----------|-------|------|------|------|
| 场地未洒水     | 10.14 | 2.89 | 1.15 | 0.86 |
| 场地洒水      | 2.01  | 1.40 | 0.67 | 0.60 |

由上表可知，表明实施洒水抑尘 4~5 次/天，可以有效地控制施工扬尘，可将 TSP 影响范围缩小至 20~50m。本项目施工现场采取场地洒水措施，可以明显地降低施工场地周围环境空气的粉尘浓度，通过洒水降尘，散料覆盖、围挡、加强管理，场界可以满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 无组织排放监控浓度限值 1mg/m<sup>3</sup> 的要求。以上施工期工程措施已在多个施工场地中得到广泛应用，其措施是可行的。

### 9.1.2.2 施工期水污染防治措施可行性分析

施工期矿井废水经高位水池后进澄清池澄清，然后采用树脂吸附除铀工艺处理后可以满足《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020) 表 3 中规定排放浓度限值要求，排入马牯丘小溪。施工废水污染物种类简单，含量较低，设备清洗和水泥养护水可全部用于洒水降尘。施工期生活废水采用水解酸化+三级接触氧化+化学除磷的工艺，处理后出水水质 COD≤90mg/L、氨氮≤10mg/L，可以达到《水污染物排放限值》(DB44/26-2001) 第二时段一



级标准要求，出水排入马牯丘小溪。施工期废水处理设施均采用效果稳定的成熟技术，可以满足稳定运行和达标排放的要求。其处理措施是可行的。

### 9.1.2.3 施工期噪声污染防治措施可行性分析

本项目施工期建设主要在井下进行，地表施工主要是运矿轨道的拆除和安装、建筑材料的运输及装卸等。通过避免高噪音工序夜间施工、规划运输路线、加强施工管理等措施后，在施工场界处噪声可以满足昼间 $\leq 70\text{dB}(\text{A})$ ，夜间 $\leq 55\text{dB}(\text{A})$ 的要求；且本项目位于山丘地带，与周边居民点相隔较远；地形粗糙度大，植被覆盖度高，对噪声的阻隔、屏蔽效果良好，矿区距离敏感点较远，施工噪声基本不会对周围敏感点产生明显影响，因此施工期噪声防治措施是可行的。

### 9.1.2.4 施工期固体废物污染防治措施可行性分析

施工期固体废物加强管理，专人收集、定点堆放。施工废石全部就近回填至井下采空区。废旧设备管道经简单去污后暂存于干燥的废弃巷道内，待退役时运至审管部门认可的废旧金属处理中心处理；建筑垃圾送建筑垃圾填埋场；生活垃圾送环卫处集中处理。各类废物的处置去向合理，处置措施可行。

## 9.2 运行期环境保护措施及其可行性论证

### 9.2.1 运行期环境保护措施

#### 9.2.1.1 运行期大气污染防治措施

##### 1) 矿井废气

本项目井下开采过程中，通过采取湿式作业、及时封闭废弃巷道、干式充填采矿法等措施，可在一定程度上减少氡的析出、抑制粉尘产生。对于已产生的放射性污染物，采取强制通风方式排出矿井，回风井出口氡浓度小于 $7400\text{Bq}/\text{m}^3$ 、铀尘浓度小于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 的相关限值要求，排出的放射性废气经大气稀释扩散。

##### 2) 破碎厂房废气

破碎厂房采取泡沫干雾抑尘法和局部通风除尘方式，收集并排出破碎过

程产生的铀矿尘、氡及其子体等放射性废气。破碎厂房设 3 个通风系统，处理后的破碎废气经集气罩收集后，由排气筒排出厂房；集尘风机总风量为  $6000\text{m}^3/\text{h}$ ，粉尘排放浓度为  $23.25\text{mg}/\text{m}^3$ ，可以满足《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）表 2 中颗粒物排放限值的要求。

#### 9.2.1.2 运行期水污染防治措施

##### 1) 放射性废水

###### (1) 矿井废水

本项目建成后，棉花坑矿井水排放量约为  $2148\text{m}^3/\text{d}$ ，与书楼丘矿井水（ $810\text{m}^3/\text{d}$ ）一同排入现有的矿井水处理设施进行处理；矿井水中  $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  等核素浓度与现有工程相比变化不大，处理达标后排入马牯丘小溪，排水量  $2958\text{m}^3/\text{d}$ 。

###### (2) 工艺废水

本项目建成后，工艺废水平均产生量不发生变化，仍为  $242\text{m}^3/\text{d}$ 。本项目矿石水冶过程产生的工艺废水排入水冶工业场地的现有废水处理设施，处理达标后排入官田小溪。

###### (3) 尾矿库流出水

本项目建成后，尾矿库流出水产生量为  $1725\text{m}^3/\text{d}$ ，排入尾矿库流出水处理设施，处理达标后排入官田小溪。

##### 2) 非放射性废水

本项目不新增加劳动定员，职工淋浴和洗衣废水处理利用福利区现有生活污水处理设施，处理后排放量  $30.5\text{m}^3/\text{d}$ 。经处理后，就近排入马牯丘小溪。

#### 9.2.1.3 运行期固体废物污染防治措施

##### 1) 放射性固体废物

###### (1) 废石

棉花坑矿井三期工程，在充填完井下采空区后，每年提出地表废石量约 0.7 万 t；本项目生产期 20a 间，废石产生量为 14 万 t（约 8 万  $\text{m}^3$ ），全部运至书楼丘废石场堆存。

###### (2) 堆浸尾渣及工艺废水处理废渣

堆浸尾渣加石灰搅拌中和后运至尾矿库堆存；工艺废水处理废渣也运至

尾矿库堆存。

## 2) 非放射性固体废物

本项目非放射性固体废物主要为生活垃圾，产生量不大，收集后集中堆放，定期由当地环卫部门清运。

### 9.2.1.4 运行期噪声污染防治措施

#### 1) 设备噪声及降噪措施

本项目噪声源主要为井下和地表生产所需设备，包括风机、空压机、凿岩机、破碎机和筛分机等。

设备噪声的防治主要考虑降低噪声源强和在传播途径上进行降噪处理，本项目采取的降噪措施如下：

##### (1) 源强控制

井下及地表设备噪声多源于机械振动、摩擦、撞击等。在设备选型时优先选用低噪声设备，对破碎厂房破碎机、筛分机等采取隔声、减振措施，可降低噪声源强。此外，生产运行期间加强对设备的定期维护保养，维持机器良好运行状态，有利于降低设备运行噪声。

##### (2) 传播途径降噪措施

风机、空压机、水泵、砂轮切割机等噪声设备均布置在单独的硐室或地表建筑内，墙体吸声可以减少一定的透声量，降低对外部声环境的影响。噪声值较大的凿岩机、钻机等均布置在井下，对地表噪声影响有限。砂轮切割机为间断性使用，对环境影响的时间有限。各噪声设备所在的工业场地位于山丘地带，地形粗糙度大，植被覆盖度高，对噪声的阻隔、屏蔽效果良好，也可降低噪声对远距离声环境的影响。

## 2) 爆破噪声

井巷掘进过程采用微差爆破技术，距离爆破源 20m 处，噪声值可降至 85dB (A)，由于爆破作业为地下式，噪声对地表影响较小。

### 9.2.1.5 运行期其他环保措施

#### 1) 运输过程污染防治措施

本项目矿石采用汽车公路运输方式，运矿距离约 3.05km，为避免矿石洒落，应采用专用运输车辆，车厢尽可能密闭，保持车厢整体平整并容易去污。

运矿公路应根据运输要求进行定期维护保养，发现路面出现坑洼不平、小塌陷等应及时进行修补，保障运矿公路路面质量，减少矿石洒落。运输时严格限制车速，尤其在运矿道路转弯处严格控制车速，减少交通事故发生。矿石装车时不应装的过满，应与车厢顶部及尾部保留一定空间，使运矿汽车在遇到颠簸时保证矿石的起伏不会超过车顶，减少洒落的可能。配置矿石洒落清扫工具，在运输过程中如果发现矿石洒落，应及时由专人清理矿石、清扫路面，回收的矿石或清扫垃圾运至相应处置设施。矿石装卸、运输由专人监督检查，确保矿石不洒落。

## 2) 环境管理

应制定完善的操作规程和设备检修制度，保证设备良好运行，并设专人监督管理。严格执行环境监测计划，对外排污染物定期监测，确保达标排放。

本项目投入运行后，可采取缩短排放周期或增加排放槽的方式，以保证工艺废水槽式检测后达标排放要求。

## 3) 废旧金属管理

对于基建和生产过程产生的废旧金属，应进行表面污染检测，受到污染的应清洗去污合格后，妥善安排回收利用去向。

### 9.2.2 运行期环境保护措施可行性论证

#### 9.2.2.1 放射性流出物

##### 1) 气载流出物

井下废气采取由回风井排至大气稀释扩散；破碎厂房采取局部通风除尘方式，收集并排出破碎过程产生的铀矿尘、氡及其子体等放射性废气。根据正常生产工况下的辐射环境影响预测与评价，本项目运行期所有气载源项所致最大公众剂量为  $0.018\text{mSv/a}$ 。

##### 2) 液态流出物

###### (1) 矿井废水

本项目施工期排水和生产期间矿井排水排至锦原公司现有矿井废水处理设施。项目建成后，棉花坑和书楼丘矿井废水的总排水量  $2958\text{m}^3/\text{d}$ ，现有矿井废水处理站处理规模  $6000\text{m}^3/\text{d}$ ，可以满足矿井水处理要求。根据锦原公司

常规流出物监测数据表明，矿井水处理设施运行正常，处理效率能够满足达标排放要求。

### （2）工艺废水

本项目建成后，工艺废水平均产生量不发生变化，仍为  $242\text{m}^3/\text{d}$ ，工艺废水处理站处理规模  $500\text{m}^3/\text{d}$ ，可以满足工艺废水的处理需求。并且，锦原公司常规流出物监测数据表明，工艺废水处理设施运行正常，处理效率能够满足达标排放要求。

### （3）尾矿库流出水

尾矿库流出水产生量为  $1725\text{m}^3/\text{d}$ ，本项目建成后，尾矿库流出水产生量不发生变化。尾矿库坝下建有流出水处理设施一套，设施处理能力为  $6000\text{m}^3/\text{d}$ ，可以满足流出水处理需要。根据锦原公司《铀矿冶流出物与环境监测总结报告》的监测数据，处理后的尾矿库流出水满足《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020）表 3 中排放浓度限值要求。

在采取以上措施对气载、液态流出物进行处置后，各排放点的污染物排放均可以实现达标排放；经计算分析，本项目放射性流出物造成的最大个人剂量为  $0.0181\text{mSv/a}$ ，满足本项目制定的不高于  $0.1\text{mSv/a}$  的本项目剂量约束值要求，由此可见本项目采取的相关环境保护措施是可行的。

#### 9.2.2.2 非放射性流出物

本项目不新增加劳动定员，职工淋浴和洗衣废水处理利用福利区现有生活污水处理设施，处理后排放量  $30.5\text{m}^3/\text{d}$ 。非放废水采用水解酸化+三级接触氧化+化学除磷的工艺，处理后出水水质  $\text{COD}\leq 90\text{mg/L}$ 、氨氮 $\leq 10\text{mg/L}$ ，可以达到《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级标准要求，出水就近排入马牯丘小溪。处理设施均采用效果稳定的成熟技术，可以满足稳定运行和达标排放的要求，其处理措施是可行的。

#### 9.2.2.3 运行期固体废物污染防治措施可行性论证

##### 1) 废石

棉花坑矿井现有工程已建有完善的干式填充系统。本项目-150m 以上充分利用原有充填系统，-150m 以下利用采场溜井作为充填井，为深部采场充填储存废石备用。当采场需要充填时，用卡车在充填料井下口装车，再由运矿卡

车或矿车运送至充填采场充填；或经采准斜坡道直接运送至采场内充填。本项目废石大部分不出地表直接回填井下采空区。棉花坑矿井三期工程，在充填完井下采空区后，每年提出地表废石量约 0.7 万 t；本项目生产期 20a 间，废石产生量为 14 万 t（约 8 万  $\text{m}^3$ ），全部运至书楼丘废石场堆存。

书楼丘废石场位于北翼回风井北侧约 500m 处，该废石场设计有效容积为 16.1 万  $\text{m}^3$ ，目前已堆存废石约 7.5 万  $\text{m}^3$ ，剩余库容约 8.6 万  $\text{m}^3$ ，可以满足三期工程废石堆存的需求。因此，本项目的废石处理措施是可行的。

## 2) 堆浸尾渣和工艺废水处理废渣处理措施的可行性分析

本项目建成后，堆浸尾渣平均产生量为 7.6 万  $\text{m}^3/\text{a}$ ，工艺废水处理废渣的产生量约为 0.13 万  $\text{m}^3/\text{a}$ ，全部运至尾矿库堆存。

锦原公司尾矿库剩余库容约 91.6 万  $\text{m}^3$ 。扣除本项目基建期，二期工程堆浸尾渣产生量，待本项目投产后，剩余库容约为 67 万  $\text{m}^3$ ，能够容纳棉花坑三期工程运约 12a 产生的堆浸尾渣及废水处理废渣。目前，锦原公司正在进行堆浸尾渣填充井下采空区的相关实验研究。根据公司规模，将继续推进相关工作的工程可行性、环保可行性研究；预计至 2035 年左右，在相关研究成果完善，可行性得到验证后，产生的堆浸尾渣可逐步采用回填井下的方式进行处置。至 2038 年，可实现全部堆浸尾渣处理后回填井下。由此可见本项目堆浸尾渣、废水处理废渣的处置方式是可行的。

## 3) 生活垃圾处理措施可行性分析

本项目不新增加劳动定员，产生的生活垃圾按现有方式进行集中堆存和处置。堆放点进行防渗处理，并有专人进行收集，定期由环卫部门的垃圾处理车外运处理，处理方式不会对周围大气及水体产生不利影响，处置去向明确，因此处理措施可行。

### 9.2.2.4 运行期噪声污染防治措施可行性论证

设备噪声在采取降低噪声源强和在传播途径上进行降噪处理等防治措施后，本项目各主要产噪设施边界处噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB12348-2008 中 2 类标准限值要求，即昼间 $\leq 60\text{dB}(\text{A})$ 、夜间 $\leq 50\text{dB}(\text{A})$ 。

由于爆破、凿岩作业为地下式，作业深度距离地表较远，经阻隔、衰减，井下噪声对地表影响较小，矿区边界处噪声满足《工业企业厂界环境噪声排

放标准》GB12348-2008 中 2 类标准要求。

另外，本项目与周边居民点距离均较远，项目主要生产、辅助设施周边 1000m 范围内没有居民点分布，因此本项目噪声对周边居民的影响很小。由此可见，运行期噪声防治措施是可行的。

## 10 环境影响经济损益分析

### 10.1 环境影响经济损益分析

#### 1) 正面影响分析

棉花坑矿井运行至今已有 50 余年的历史；在其运行历史中，经过不断的技术改造和设备升级，污染物均得到了有效的处理，可以实现达标排放。棉花坑矿井三期工程在现有工程的基础上，对棉花坑矿井的深部资源进行开采，矿石开采、水冶过程中产生的污染物均利用现有设施进行处理，可实现达标排放，对周边环境影响较小。

除此之外，本项目也有较好的环境经济优势，主要表现在：

##### (1) 符合国家和行业的产业发展政策

铀资源作为我国重要的战略资源，确保一定的铀资源储备对我国国家安全具有重要的战略支撑意义。此外，国内核能发电也对国内天然铀产业的发展提出了较高的需求。为了保障必要的铀资源储备，同时支持国民经济的可持续发展，势必要对一些具有一定地质储量和品位较高的铀矿山进行持续的建设和开采。同时，铀矿山开采建设为核电发展提供原材料，对国家的清洁能源政策发展具有极其深远的意义。

##### (2) 企业生存发展的需要

棉花坑矿井是我国目前在运行的唯一一座硬岩矿山。棉花坑矿井二期工程生产至今可开采资源已基本开采完毕，亟需开拓更多的可采铀资源，以维持棉花坑矿井天然铀生产能力，为企业的生产生存发展打下基础。

##### (3) 项目建设、生产对当地经济影响

棉花坑三期矿井建设可以带动当地建材、原料生产和销售行业的发展；项目维持生产可以持续为当地提供一定数量的劳动就业机会，这对改善当地的就业状况、促进社会稳定具有积极的意义。

#### 2) 负面影响分析

任何一个建设项目基本均会对环境造成一定的负面影响，但本项目通过采用切实可行的环保措施，使排入周围环境的污染物大大减少，有效地降低



了环境负面影响，主要体现如下：

（1）通过优化井下通风系统、封闭废弃矿道等措施，降低了通风量，降低了矿井废气的排放量；

（2）基建期废石全部回填井下，生产期废石大部分回填井下，大大减少了废石处置的占地面积，同时有利于退役治理。

## 10.2 环境保护投资分析

项目环境保护设施主要由以下部分组成：

- 1）凡属污染防治和环境保护所需的设施和装置；
- 2）生产工艺需要为环境保护服务的设施；
- 3）为保证生产有良好的环境所采取的通风、防尘、绿化设施等。

本项目主要环保设施一览表见表 10.2-1。

表 10.2-1 主要环保设备一览表

| 类别         | 污染源        | 环保设施            | 投资（万元） |
|------------|------------|-----------------|--------|
| 废气         | 井下作业面氡及铀矿尘 | 回风巷道、回风井、通风工程   | 906.09 |
| 废水         | 矿井废水       | 矿井排水设施、设备       | 281.75 |
| 井下安全避险六大系统 |            | 空气净化设备、井下环境监测系统 | 43.96  |

本项目用于环境保护方面的为投资 1231.8 万元，占项目建设总投资的 9.65%。

总体来看，本项目建设对支持国民经济可持续发展、国家清洁能源政策发展以及生态环境的改善具有极其深远的意义，环境效益显著，且在生产中采取切实可行的环保措施后，可显著降低对环境的负面影响；另外，本项目的环境保护投资及其比例较为合理，项目建设时严格执行“三同时”，严格资金管理，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益的同时，具有环境效益。

## 11 环境管理及监测计划

### 11.1 环境管理

本项目在施工期、运行期执行和遵守国家、省、市有关环境保护法律、法规、政策和标准，对建设项目的运行实行有效监控，及时掌握和了解污染治理与控制措施的执行效果，以及周围地区环境质量的变化，及时调整工程运行方式和环境保护措施，并接受地方环境主管部门的环境监督，最终达到保护环境的目的，取得更好的综合环境效益。

#### 11.1.1 环境管理机构

本项目施工期和运行期的环境管理工作由中核韶关锦原公司负责。项目环境管理实行环境保护总经理负责制。公司设置有专门的环境保护和辐射防护管理机构，多年来积累了丰富的铀矿山环境管理经验，为本项目实施后的环境保护工作打下了良好的基础。

本项目施工期为 4a，在锦原公司现有环境管理机构的基础上，施工期环境管理实行分级管理制度，由管理层设置 1~2 名环保主管，负责三期工程的总体布置和监管工作；矿井开拓、设备安装、设施改造等各施工阶段负责人同时承担环境管理工作的具体实施，采取各种环保措施减少大气、废水和噪声排放，减少施工期对环境的影响。

运行期由锦原公司安防处具体负责矿山的辐射防护和环境保护管理与监测工作，定期对各生产部门的环境保护和辐射防护工作的进行检查和监督，保证环境保护相关设施的正常进行，确保污染物达标排放。此外，还应定期开展相关的环保和辐射防护培训、教育，提高职工环保意识。

#### 11.1.2 环境管理机构职责

1) 贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》及相关法律法规，按照国家的环保政策、环境标准及环境监测要求，在现有环境管理规章制度的基础上，针对本延续工程，制定相应的环境管理规章制度，并监督执行。

2) 编制、提出项目的施工期和运行期的环境保护计划和污染防治计划以及全公司环境保护工作的长远规划。

3) 在工程建设阶段负责监督环保措施的施工、安装、调试等,落实工程的“三同时”计划,工程投产后,定期检查环保设施的运行情况,并根据存在的问题提出改进意见。

4) 做好污染物达标排放,维护环保设施正常运转,协同各级环境保护主管部门解答和处理公众提出的环境保护方面的意见和问题。

5) 组织开展全矿职工的辐射防护教育和工作人员的技术培训,不断提高辐射防护工作人员的素质和全矿职工的自我保护意识。

6) 领导并组织全矿的辐射环境监测工作,建立源项监测档案,定期向主管部门上报监测报表。

7) 与辐射、环保管理机关密切配合,接受检查和指导。

### 11.1.3 环境管理计划

#### 1) 施工期的环境管理

(1) 项目施工前应认真编制施工组织计划,做到文明施工。

(2) 将环保要求体现在工程施工承包合同中,对施工方法、施工机械、施工速度、施工时段等要充分考虑环境保护要求,特别是施工过程中产生废水、噪声、固体废弃物等对周围环境的影响,要有行之有效的处理措施,并建议建设单位将此内容作为工程施工考核的重要指标之一。

(3) 建设单位在工程施工期间,要认真监督施工单位环保措施执行情况,了解施工过程中设备、物料堆置、临时工棚搭建、便道及施工方法对生态造成的影响,若发现严重影响及污染环境情况,建设单位应及时制止并要求改进。

(4) 工程竣工时,要全面检查施工现场环境状况,施工单位应及时清理临时占用的土地,拆除临时设施,清除各类垃圾,采取覆土绿化等措施,恢复被破坏的地面,使项目在良好的环境中运行。

#### 2) 运行期的环境管理

(1) 运行期应定期监测各类污染物的排放情况,确保放射性流出物的达标排放,并开展相应的流出物监测、常规环境监测等,随时掌握厂区周围环境质量的变化趋势。

(2) 明确环境监测的职责，建立健全各项规章制度；根据国家辐射环境标准，对矿山重点污染源和污染物开展日常监测，并将监测数据编制表格和报表，定期上报有关主管部门，建立监测档案。

## 11.2 监测计划

### 11.2.1 监测目的

监测的目的主要是为了及早发现和获取可能发生的污染征兆，防止对环境产生不利影响，为采取相应的环境保护措施提供必要的依据；同时，监测数据为生产运行阶段的环境现状评价提供参考资料；与本底数据进行对照，可以分析工程投产后对当地环境的影响。

### 11.2.2 监测点位、项目及频次

本项目环境监测由锦原公司负责实施，对于不具备监测条件的项目可委托具有相关资质单位进行监测。

#### 11.2.2.1 施工监测计划

施工期环境监测主要包括大气、地表水、噪声等环境介质，监测计划见表 11.2-1。

表 11.2-1 施工期环境监测方案

| 监测对象 | 监测位置   | 监测频次   | 监测项目         |
|------|--------|--------|--------------|
| 空气   | 油洞、马牯丘 | 1 次/半年 | TSP          |
| 噪声   | 油洞、马牯丘 | 1 次/季度 | 昼、夜等效连续 A 声级 |

#### 11.2.2.2 运行期监测计划

本项目为扩建工程，项目完成后的地表相关生产及废物处置设施不发生变化；因此，为了能够整体掌握本项目完成后棉花坑矿井及相关堆浸、水冶设施的流出物排放特点，同时系统性的了解周围环境的变化情况，本次在锦原公司年度流出物和环境监测计划的基础上，重新制定了流出物和环境监测计划。具体计划如下：

##### 1) 流出物监测计划

根据设施的性质、规模及运行情况，在产生放射性流出物的设施、部位实施监测，以便及时掌握和控制气态流出物的排放量和对环境的影响。本项

目流出物主要包括气载流出物和液态流出物，监测计划详见表 11.2-2。

表 11.2-2 流出物监测方案

| 序号 | 监测部位       | 监测点位 | 频次     | 测量分析项目                                                                                               |
|----|------------|------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 回风井        | 排风井口 | 1 次/季  | U <sub>天然</sub> 、 <sup>222</sup> Rn、 <sup>226</sup> Ra、 <sup>210</sup> Pb、 <sup>210</sup> Po、<br>颗粒物 |
| 2  | 破碎厂房       | 排气筒  | 1 次/季  |                                                                                                      |
| 3  | 堆浸场        | 堆表面  | 1 次/季  | <sup>222</sup> Rn 析出率                                                                                |
| 4  | 废石场、尾矿库    | 场地表面 | 1 次/半年 | <sup>222</sup> Rn 析出率                                                                                |
| 5  | 矿井水        | 排放口  | 1 次/月  | pH、U <sub>天然</sub> 、 <sup>226</sup> Ra、COD、氟化物                                                       |
|    |            |      | 1 次/季  | <sup>210</sup> Po、 <sup>210</sup> Pb                                                                 |
|    |            |      | 1 次/年  | Cd、As、Zn、Hg、Cr、Pb                                                                                    |
| 6  | 工艺废水       | 排放槽  | 槽排前    | U <sub>天然</sub>                                                                                      |
|    |            |      | 1 次/月  | pH、 <sup>226</sup> Ra、COD、氟化物、Mn、<br>硫酸盐                                                             |
|    |            |      | 1 次/季  | <sup>210</sup> Po、 <sup>210</sup> Pb                                                                 |
|    |            |      | 1 次/年  | Cd、As、Zn、Hg、Cr、Pb                                                                                    |
| 7  | 尾矿库流出水处理设施 | 排放口  | 1 次/月  | pH、U <sub>天然</sub> 、 <sup>226</sup> Ra、COD、氟化物、<br>Mn、硫酸盐                                            |
|    |            |      | 1 次/季  | <sup>210</sup> Po、 <sup>210</sup> Pb                                                                 |
|    |            |      | 1 次/年  | Cd、As、Zn、Hg、Cr、Pb                                                                                    |
| 8  | 生活污水       | 排放口  | 1 次/月  | COD、NH <sub>3</sub> -N                                                                               |

## 2) 环境监测计划

对环境中各相关介质内有害物的浓度、水平进行监测，及时了解、掌握环境污染状况和污染变化趋势，并与对照点比较判断环境污染来源和可能造成的危害，同时可积累监测数据，为环境管理提供依据。

本项目监测介质主要包括大气、土壤、地表水、生物、地下水等。常规环境监测计划见表 11.2-3，监测布点见图 11.2-1。



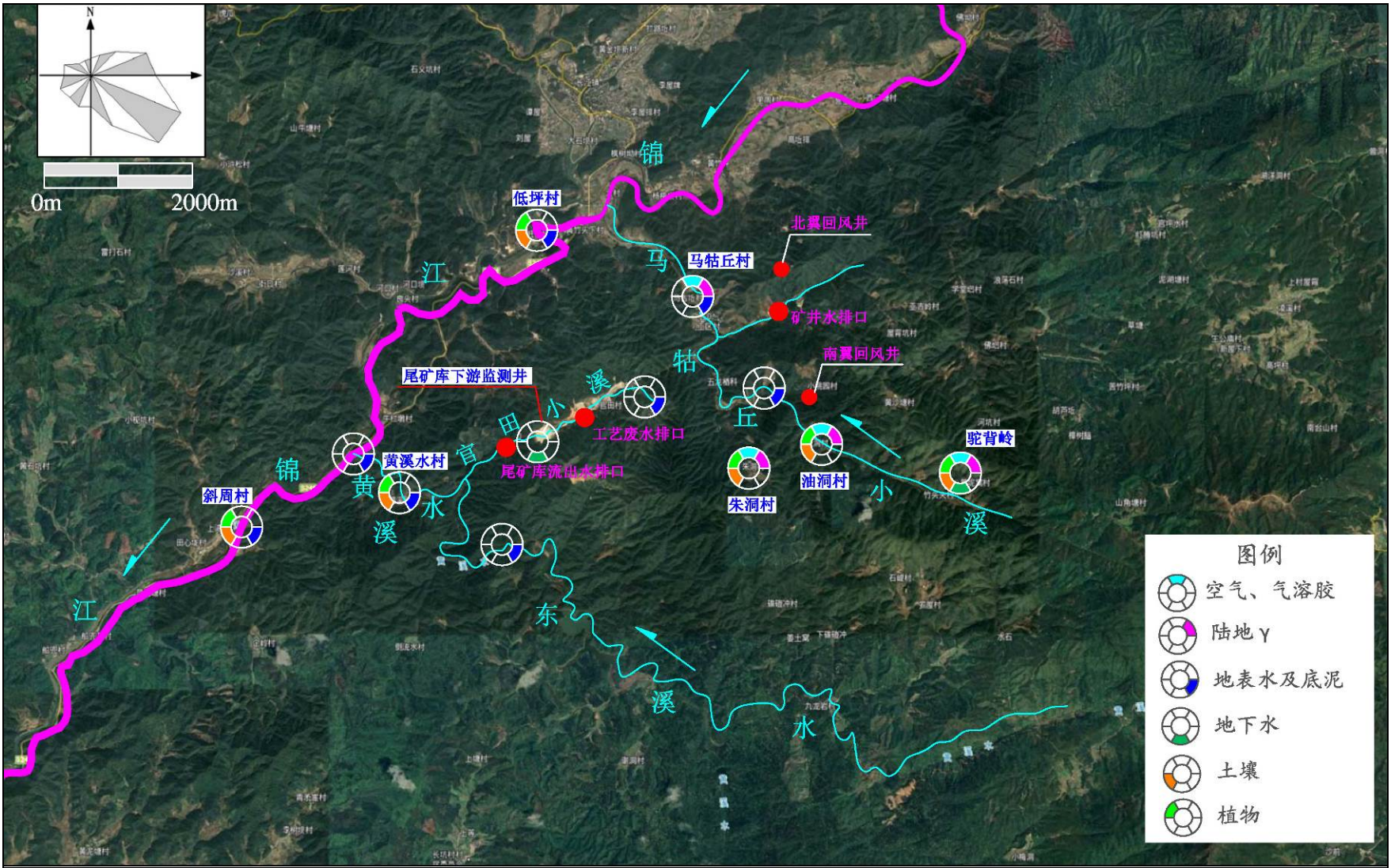


图 11.2-1 环境监测布点图

## 11.2-3 常规环境监测计划

| 序号 | 监测介质        | 采样点或测量点                                                             | 频次         | 测量分析项目                                                                                                                                         |
|----|-------------|---------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 空气          | ①尾矿库、废石场、南北翼回风井、破碎厂房下风向边界处；<br>②居民点：油洞、马牯丘；<br>③对照点：驼背岭。            | 1 次/季      | $^{222}\text{Rn}$                                                                                                                              |
| 2  | 气溶胶         | ①破碎厂房下风向边界处；<br>②居民点：油洞、朱洞、马牯丘；<br>③对照点：驼背岭。                        | 1 次/半年     | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$                                                             |
| 3  | 陆地 $\gamma$ | 空气采样布点处                                                             | 1 次/半年     | 贯穿辐射剂量率                                                                                                                                        |
| 4  | 地表水         | ①马牯丘小溪马牯丘村段；<br>②马牯小溪、锦江交汇处下游 500m（低坪村段）；<br>③对照点：马牯丘小溪矿井水排口上游 500m | 1 次半年      | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、氟化物、氨氮、pH、COD、As、Cr、Cd、Pb、Hg、Zn     |
|    |             | ①黄溪水黄溪水村段；<br>②锦江斜周村段；<br>③对照点：官田小溪工艺废水排口上游 500m。                   | 1 次/半年     | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、Mn、硫酸盐、氟化物、pH、COD、As、Cr、Cd、Pb、Hg、Zn |
| 5  | 底泥          | 与地表水点位相同。                                                           | 1 次/年      | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$                                                                                                     |
| 6  | 地下水         | 尾矿库下游监测井，驼背岭（对照点）                                                   | 1 次/半年     | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$                                                             |
| 7  | 土壤          | 马牯丘村、黄溪水村、油洞村、朱洞村、低坪村、斜周村农田；驼背岭（对照）                                 | 1 次/半年     | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、Cd、As                                                                                              |
| 8  | 生物          | ①土壤采样点处出产农作物；驼背岭（对照）。                                               | 1 次/年      | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$                                                             |
|    |             | ②锦江低坪段、锦江斜州村段出产的水产品。                                                | 1 次/年（捕捞期） |                                                                                                                                                |

## 11.3 采样及测量方法

## 11.3.1 采样方法

## 1) 空气

(1) 在保证测量和分析探测限的前提下优先采用低流量采样，采样口距地面 1.5m，当需要大流量采样时，采样高度可适当提高。

(2) 瞬时空气采样每次应连续采样 4~5h, 每天采四次, 首次采样起始时间为上午 8 时。各测点可同步采样时, 则应采用同步采样。

(3) 用以分析氡的空气样品还需有一定数量的全天 24h 的连续采样, 连续采 3d 以上, 作为全天 24h 氡浓度日变化分析。

(4) 居民监测点的空气采样, 除室外空气样品外还包括一定数量的室内空气样品, 室内空气、氡气样品采样, 采样头应尽量放置在房间中央, 离地板 1.5m 处。

## 2) 气溶胶

采样方法同  $^{222}\text{Rn}$  采样方法。

## 3) 地表水和地下水

(1) 水样品采集应尽可能完全地代表取样点的性质, 并应采取一切措施, 保证从取样到分析这段时间内样品不起任何变化或变化极小。

(2) 地表水表层水样可距水面 50cm 处取样。当需采底层水样时, 应注意不要搅动水底的游泥和防止采样时位置移动。

(3) 当河床较深、河面较宽、断面上各采样点流速有明显差异时, 应按各采样点的流速比配制混合水样。

(4) 水井或钻孔的地下水采样应记录采样深度(距地面)或采集不同深度的水样, 用以分析水质分层情况。

(5) 地表流动水样每次应连续取样 2d, 每天在相同时间取样一次。对同一水体的流动水样, 同一流线的地下水样, 可实行同步采样。

## 4) 底泥、土壤和生物

(1) 底泥采样可在每个采样地点(或断面)采集若干样作混合样, 使之具有一个有代表性的样品。

(2) 应采集次表面土壤样。采样深度为 1m, 按 0~15cm、15~60cm 分层采取。

(3) 底泥和土壤样品经处理后除留作分析外, 对本底样品及部分常规样品应留一部分副样长期保存。

(4) 陆生生物采样一般可选择当地居民食用的主要食物和有代表性的指示生物, 并应采集可食部分和生物敏感部位。



### 11.3.2 监测方法

监测方法应优先选用国家标准监测方法，监测方法及仪器设备见表 11.3-1

表 11.3-1 主要监测方法依据

| 监测项目    |                      | 监测方法依据                 |
|---------|----------------------|------------------------|
| 空气      | 氡浓度                  | HJ1212-2021            |
|         | 氡析出率                 | EJ/T979-1995           |
|         | 气溶胶中 $U_{\text{天然}}$ | HJ840-2017             |
|         | 气溶胶中总 $\alpha$       | EJ/T 1075-1998         |
|         | TSP                  | 重量法                    |
| 贯穿辐射剂量率 |                      | HJ1157-2021            |
| 地表水和地下水 | $U_{\text{天然}}$      | HJ700-2014             |
|         | $^{226}\text{Ra}$    | GB/T11214-1989         |
|         | $^{210}\text{Po}$    | HJ813-2016             |
|         | $^{210}\text{Pb}$    | GB/T11743-2013         |
|         | pH                   | 玻璃电极法 DZ/T 0064.5-1993 |
|         | 总 $\alpha$           | EJ/T 1075-1998         |
|         | 总 $\beta$            | EJ/T 900-1994          |
| 底泥和土壤   | $U_{\text{天然}}$      | EJ/T550-2000           |
|         | $^{226}\text{Ra}$    | GB/T13073-2010         |
| 植物      | $U_{\text{天然}}$      | GB11223.2-1989         |
|         | $^{226}\text{Ra}$    | GB/T13073-2010         |
|         | $^{210}\text{Po}$    | GB12376-1990           |
|         | $^{210}\text{Pb}$    | GB/T16145-1995         |

### 11.4 监测机构及设备配置

锦原公司总体负责本项目的辐射防护和环境保护管理工作。锦原公司设有专门的安全环保机构，负责全矿的环境保护和辐射防护管理工作。锦原公司自运行至今，已配备了较为完善的监测设备，具备了一定的监测能力，能够为环境管理及环境监测提供有力的技术保障。对建设单位无监测能力的项目，由建设单位委托具有相应资质的单位进行监测

### 11.5 监测质量保证

环境监测质量保证是环境监测工作的重要组成部分，为了保证监测数据

准确可靠，监测过程严格执行《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009），以保证获得的测量结果和评价结论是正确的。针对本项目特点，在监测过程中应注意：

1) 人员

对于从事监测的人员在工作作风、专业知识、技术水平等方面予以规定，通过培训和考核并获得合格证后才能上岗。

2) 采样的质量控制

样品采集尽量采用标准方法或公认方法，采样布点合理、有代表性，部分样品采集平行样。

采样方法、采样设备调整、样品包装、运输、保存、现场处理、贮存以及采样记录资料，严格执行有关规定。

3) 样品的分析测试

分析测量方法尽量采用国家已颁布的标准方法；没有国家标准的，采用行业通用方法或经实际样品考核成熟的分析方法，并用标准物质进行校验。

分析测量仪器和设备按规定定期送计量部门进行校验和刻度。对于监测仪器，若发现异常情况，随时进行校验；对有质疑的样品，进行双样分析测定或重新取样测定。

为提高分析结果的可靠性，定期或不定期与其它权威实验室进行样品分析比对；有的样品必要时送出外检，以保证样品分析测量结果的质量和准确性。

分析结果均用专用表格填报，分析数据报表均经采样人员、制样人员、分析测量人员签字，最后经审核人签字后留存和上报。

采集的样品要有一部分长期保留，以便随时抽检；监测结果要永久保存。

4) 实验室分析质量的内部控制中包括空白试验、校正曲线核查、仪器设备校正、平行样测定、加标样和密码样测定、质量控制图编制。外部控制包括实验室之间的分析比对或交叉核查，参加可以溯源到国家标准的实验室间的比对。

5) 监测报告中要完整和准确地保留全部原始数据，保留样品容量的信息。数据处理应采用标准方法，所有计算步骤、计算机程序都经过复审和验证，

并载入记录文件。

6) 监测计划和采取的质量保证措施应有书面执行程序, 并经审核批准后才能实施。文件的格式、术语应具备后人可读性; 文件内容应包括从监测方案到结论各部分的详尽描述; 并建立文档备份、呈交、保存制度。

7) 设立质量保证机构, 配备专职或兼职监测质保人员。质量保证机构的职权包括审查监测计划和质量保证的书面程序; 监督实施监测过程的质量保证措施; 复查监测数据; 建立完整的文件档案等项任务。

## 11.6 环境保护“三同时”验收一览表

根据建设项目管理办法, 环保设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用, 在建设项目完成后, 应对环境保护设施进行验收。本项目环境保护“三同时”验收一览表见表 11.6-1。

表 11.6-1 棉花坑三期工程“三同时”验收一览表

| 类别    | 防治对象 |                                              | 防治措施                            | 数量    | 要求及效果                                               | 验收标准                                 |
|-------|------|----------------------------------------------|---------------------------------|-------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 大气污染物 | 矿井废气 | $^{222}\text{Rn}$ 及子体、粉尘、 $\alpha$ 气溶胶       | 矿井废气采用轴流风机, 通过南、北翼回风井排出地表       | 各 1 台 | —                                                   | —                                    |
| 水污染物  | 矿井废水 | $\text{U}_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 等 | 采用“离子交换吸附除铀”工艺进行处理              | 1 套   | 设施设计处理规模为 $6000\text{m}^3/\text{d}$ ; 处理达标废水排入马牯丘小溪 | 《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020) 表 3 |
| 固体废物  | 废石   |                                              | 大部分废石回填井下采空区, 少量废石运出地表在书楼丘废石场堆存 | 1 座   | 出地表矿石在废石场堆存; 受控, 不进入环境                              | 固体废物去向可控, 不遗撒环境; 废石运输防止沿途遗撒。         |

## 12 退役治理与长期监护

### 12.1 退役治理

#### 12.1.1 设计阶段便于退役治理的方案

1) 本项目不新增占地，矿石破碎、堆浸、浸出液处理以及废物处置均利用现有设施，有利于退役集中整治；井下设备具备利旧条件的全部利旧，减少退役时废物的量；项目更换拆除的旧矿车、轨道、罐笼等在指定地点存放，待退役时统一处理；

2) 本项目基建期产生的废石，全部用于充填现有工程的采空区，做到基建期废石不出地表，节约了地表空间；生产期产生的废石，大部分回填井下，少部分在书楼丘废石场堆存。大量废石回填井下减少了地表堆存废石量，为今后的工程退役提供了有利的条件；

3) 本项目水冶设施、尾渣处置设施、废水处理设施均利用锦原公司现有设施，不增加新的退役源项。

#### 12.1.2 运行期便于退役的措施

##### 12.1.2.1 组织管理措施

运行期由建设单位已有安防机构和专职安全环保管理人员负责本工程的环境管理、污染治理和环境监测管理等工作，其针对退役管理的主要职责有：

1) 负责制定各种环境管理、维护管理等制度，编制环境保护计划和污染防治计划，并监督执行；

2) 维护环保设施正常运转，做好污染物达标排放，进行定期检查和监督，保证污染不对外扩散，以减少减轻后续退役治理的范围和深度；

3) 组织全公司的辐射环境监测工作，制定监测计划并监督实施，建立源项监测档案，为退役治理奠定基础；

依托现有环境保护和辐射防护组织机构，在运行期开展上述各项环境管理工作，有利于后续退役治理工作的顺利开展。

##### 12.1.2.2 生产管理措施

1) 加强破碎机等地表产尘设施的除尘治理，减少铀矿尘等污染源的排放，

可有效地减少工业生产对环境的污染，同时也减轻了退役治理的负担。

2) 生产期产生的废石，尽可能把用于充填井下采空区，减少废石堆放对地表用地的侵占，同时减少废石堆放可能对周围环境产生的污染，便于将来退役治理。

3) 生产期矿井涌水、工艺废水等收集处理后，尽量回用于生产，减少外排量，缩小退役治理范围。

4) 生产过程中实行严格管理，控制放射性废物的流失和扩散，尽量减少表面污染，减少退役时的清污工作量。

5) 做好生产运行记录，为退役治理奠定基础。

### 12.1.3 源项调查及退役治理目标

#### 12.1.3.1 源项调查

##### 1) 源项调查基本要求

(1) 根据《铀矿冶辐射环境监测规定》(GB23726-2009)、《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》(GB14586-93)以及《铀矿冶设施退役治理源项调查技术规范》等标准规范开展源项调查工作。

(2) 调查范围应全面，应包括所有生产及相关辅助配套设施、场所，以及所有可能被污染的环境介质，以确保不漏项。

(3) 调查内容的选择应具有代表性，应能够准确反映源项的实际辐射水平或被污染现状。

(4) 调查应考虑时效性，应在源项已确定处于最终状态的情况下进行源项调查。

(5) 调查结果应真实有效，调查中的源项监测分析结果是退役源项数据的基本依据，是退役设施现状和对周围环境影响的客观反映，其结果必须真实、可靠。

##### 2) 源项调查方法

(1) 根据源项调查内容，确定各类源项的具体调查方法。

(2) 由有资质的单位采用国家规定的标准测量方法进行测量监测。

(3) 调查方法采取现场实地勘查、测绘测量、监测分析与查阅资料相结

合的方法。大部分调查内容，应通过现场实地勘查、测绘测量、监测分析等手段获得；少数调查内容，在现场勘测不易获得的情况下，可通过查阅相关文件、历史资料等手段获得。

### 3) 源项调查对象

本工程为中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程，待项目服务期满后，对全矿开展源项调查工作，调查对象应包括所有生产及相关辅助配套设施、场所，以及所有可能被污染的环境介质等，其调查对象主要包括：坑（井）口、尾矿库、废石场、工业场地、污染建（构）筑物、污染设备管线、可能受污染的道路和地表水体等。

#### 12.1.3.2 退役治理源项

本项目为棉花坑三期工程，在前两期工程的基础上对棉花坑矿床深部铀矿资源进行开采，其水冶、污染处置等均利用现有设施，根据项目组成特点以及前两期工程建设内容，初步确定退役治理源项主要包括：坑（井）口、尾矿库、废石场、污染工业场地、污染建（构）筑物、污染设备管线、污染道路和污染水体等。

#### 12.1.3.3 退役治理目标

退役管理约束值主要根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020）和《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》（GB14586-1993）确定。

##### 1) 公众剂量约束值

根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020），对于退役治理后的公众照射的剂量约束值为  $0.3\text{mSv/a}$ 。

##### 2) 地表 $^{222}\text{Rn}$ 析出率的管理限值

根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020），尾矿库等设施经退役治理与环境整治后，所有场址表面  $^{222}\text{Rn}$  析出率不大于  $0.74\text{Bq/m}^2\cdot\text{s}$ 。

##### 2) 土壤中 $^{226}\text{Ra}$ 残留量控制值

根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020），废石场、工业场地等去污整治后，任何  $100\text{m}^2$  范围内土层中  $^{226}\text{Ra}$  的平均活度浓度扣除

当地本底值后不超过 0.18Bq/g；污染水体底泥治理限值参照土壤。

### 3) 放射性表面污染控制水平

根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020)和《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》(GB14586-1993)，本项目中无利用价值的金属设备、管线等经去污处理后，其表面 $\alpha$ 、 $\beta$ 放射性水平分别降低至0.08Bq/cm<sup>2</sup>和0.8Bq/cm<sup>2</sup>时，经防护部门监测许可后，可在一般工业中使用（食品工业除外）。

对于去污治理后，仍不能满足上述限值时，统一送生态环境主管部门许可的放射性废旧金属处理单位处理。设备、管线在运输过程中，参照《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020)，其包装容器和运输车辆外 $\alpha$ 表面污染水平 $\leq 4\text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染水平 $\leq 40\text{Bq/cm}^2$ 。

## 12.1.4 退役治理方案及可行性分析

### 12.1.4.1 退役治理方案及退役深度

本项目相关设施退役治理初步方案及退役深度见表 12.1-1。

表 12.1-1 相关设施退役治理方案及退役深度

| 源项      | 退役治理方案及退役深度                                |               |
|---------|--------------------------------------------|---------------|
|         | 初步治理方案                                     | 退役深度          |
| 坑（井）口   | 有效封堵，防止氢气外逸，保护公众健康与安全。                     | 严禁随意打开        |
| 尾矿库     | 作为放射性废物集中处置场所，采取覆盖治理方法，与外部环境实现隔离。          | 有限制开放使用       |
| 废石场     | 清挖废石及下部污染土回填井下或运至尾矿库集中处置，原址覆土回填植被          | 无限制开放使用       |
| 工业场地    | 清挖全部污染土至尾矿库集中处置，原址覆土回填植被                   | 无限制开放使用       |
| 污染建构筑物  | 去污后拆除，拆除污染建筑垃圾运至尾矿库集中处置；一般建筑垃圾运至建筑垃圾填埋场填埋。 | 原址无限制开放使用     |
| 污染设备、管线 | 非金属设备回填井下；金属材质送至生态环境主管部门许可的放射性废旧金属处理单位处理。  | 污染设备管线处于可控状态。 |
| 污染道路    | 全部清挖至尾矿库，恢复原有路况及使用功能。                      | 无限制开放使用       |
| 污染水体    | 清挖污染底泥至尾矿库。                                | 无限制开放使用       |

#### 12.1.4.2 退役治理方案可行性分析

本项目退役治理拟采用封堵、覆盖与植被、清挖、去污等方法减少放射性物质对环境的影响；退役治理拟采用的治理方案或处置方法，在铀矿冶系统退役治理中已经广泛采用，并有多处铀厂矿已经竣工验收，积累了丰富的经验；按目前采用的退役治理方法和设计要求进行各源项的治理，该工程退役能够达到退役治理要求，退役技术可行、方案合理。

#### 12.1.5 退役治理经费

本项目退役治理资金来源为军工核设施退役及放射性废物专项资金。

### 12.2 长期监护

#### 12.2.1 监护对象

项目退役治理工程竣工验收后，其废石场、工业场地、污染道路等源项均达到无限制开放使用退役治理深度，无需进行监护。由于尾矿库作为退役治理产生放射性固体废物的集中处置场所，存有大量铀的衰变产物，一旦受到自然因素或人为因素影响易于扩散，可能带来一定程度的放射性危害，因此在其退役治理后，必须对其进行长期的监督维护和监测，以便及时对出现的影响安全和环境的隐患和问题进行治理，确保尾矿库等设施的长期安全稳定，保护公众和环境安全。此外，在监护过程中还需对治理完成的坑（井）口进行巡视，确保封堵措施完好。

#### 12.2.2 监护责任主体及职责

项目退役治理后监护责任主体为锦原公司；公司应配备 2~3 名专（兼）职工作人员，其职责包括：

- 1) 做好各种退役治理文件资料的保管工作；
- 2) 对尾矿库进行定期监护，严禁进行土建施工开挖、放牧、耕种、开洞等人为破坏；
- 3) 对表面植被，截排洪沟、挡墙等进行维护和保养；定期检验各治理设施的完好性，并及时进行修复；发现隐患及时排除，发现较大损毁事故及时上报；



4) 开展辐射监测, 进行日常巡视和定期辐射安全监测。

5) 制定事故应急计划, 当发生人为侵扰和自然灾害事故时, 能够迅速做出反应并采取相应的处置对策。

6) 负责将监测报告、维修记录报告及事故处置报告等上报。

### 12.2.3 监护内容及频次

根据本项目监护对象的特征, 监护工作内容主要为两项, 第一项为巡视监护, 第二项为辐射安全监测。

巡视监护是定期对尾矿库、坑(井)口的稳定性、完好性进行巡视检查, 发现隐患及时排除, 发现较大损毁事故及时上报, 并形成现场巡视的影像资料和文字记录。

辐射安全监测是对尾矿库进行日常监测和定期监测, 目的主要是为了及早发现可能发生污染与危害的征兆, 确保工程的安全稳定, 及时发现问题, 解决问题, 防止对环境及周围公众产生有害影响。

#### 12.2.3.1 巡视监护方案

##### 1) 尾矿库监护内容

###### (1) 滩面及坝体检查

滩面内有无塌坑、冲沟、乱采、乱挖、堆放垃圾和排放其它工业废物等现象, 警示牌是否完整; 坝(坡)有无冲沟、塌坑、覆盖层减薄、尾砂裸露、表面不均匀沉降等, 砌石垫层有无流失, 护坡块石有无风化、脱落、变形或被挪用。

###### (2) 溢洪道及排水沟检查

断面尺寸、坡度是否满足设计要求, 沿线有无淤积物, 边墙及底板浆砌石或砼有无变形、裂缝、破损、断裂和磨蚀等。沿线边坡坡滑坡、塌方。

###### (3) 观测设施检查

位移观测设施是否完好, 标志是否明显, 是否存在观测障碍物等。

###### (4) 库区检查

①检查周边山体稳定性; 库区和上坝公路塌方、滑坡体及其规模、方位和对尾矿库安全的影响和发展情况;

②检查周边爆破、采石、采土（渣）、建筑、取水；外来尾矿、废石、废渣、废水等排入可能对尾矿库安全的影响和发展情况；

③检查放牧、开垦、建设等人为活动或侵扰对尾矿库安全的影响和发展情况。

## 2) 坑（井）口监护内容

(1) 封堵设施是否完好，井口有无打开、是否有人为破坏的痕迹；

(2) 表层植被是否完好。

## 3) 监护频次

(1) 尾矿库巡视监护频次为 1 次/天，在暴雨期间实行 24 小时值班巡视监护。

(2) 坑（井）口监护频次为 1 次/月。

### 12.2.3.2 辐射监测方案

#### 1) 日常巡视监测

日常巡视过程中，主要对尾矿库进行  $\gamma$  辐射剂量率监测，重点对其开裂受损、风蚀、雨蚀较明显、覆盖层厚度减少的部位进行监测，其他无明显变化的部位可根据具体情况进行抽测；主要通过监护人员携带 X- $\gamma$  剂量率仪进行。

#### 2) 定期监测

定期监测的监测内容主要是对尾矿库滩面进行  $^{222}\text{Rn}$  析出率和  $\gamma$  辐射剂量率监测。监测布点采用网格布点法，其中  $^{222}\text{Rn}$  析出率原则上按  $40\text{m}\times 40\text{m}$  网格布点； $\gamma$  辐射剂量率原则上按  $20\text{m}\times 20\text{m}$  网格布点，单个设施的监测点位不少于 5 个。

按照《铀矿冶辐射防护监测规定》（GB23726-2009）中的监测频次规定：“竣工验收后前 2 年监测频次为 1 次/a，以后每年降低监测频次”，因此项目完成退役竣工验收后，建议前两年监测频次为 1 次/a，之后每隔两年监测 1 次

## 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目基本情况

中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程建设地点位于广东省仁化县长江镇境内。本项目拟对棉花坑矿井南部 17 线~16 线（标高为 200m~-150m）、深部 61 线~16 线（标高为-150m~-440m）范围内的铀资源进行开采。本项目建设主要为井巷及井下通风、排水、运输设施的建设，水冶生产及污染物处理处置设施均使用锦原公司现有设施。本项目服务期 24a，其中生产期 20a。项目总投资 12767.71 万元，其中环保投资 1231.8 万元，占项目建设总投资的 9.65%。

本项目的生产对保障我国战略铀资源储备具有积极的意义，同时可为核电生产提供燃料，也可为国家增加税收。本项目的建设有利于国有资产发挥价值，为企业的生存发展提供新的动力。同时，对当地经济发展也有较大的推动作用。

#### 13.1.2 环境质量现状

本次评价收集了棉花坑矿井 2020 年~2022 年环境监测年报数据，对项目周边大气、地表水、地下水、土壤、生物等中的相关放射性及非放污染因子进行了调查。监测数据显示：

1) 空气中氡及其子体浓度：矿部生活区氡浓度与建矿前本底基本处于同一水平；

2) 空气中气溶胶浓度：生活区和棉花坑矿井周边居民点处空气中的  $U_{\text{天然}}$  浓度和总  $\alpha$  浓度与对照点基本处于同一水平；

3) 贯穿辐射剂量率：周边居民点、矿部生活区以及运矿公路处贯穿辐射剂量率水平均在建矿前本底水平范围之内；

4) 地表水：棉花坑矿井矿井水、工艺废水排放口上游以及接纳水体下游居民点处地表水中  $^{226}\text{Ra}$  浓度与建矿前本底基本处于同一水平； $U_{\text{天然}}$  浓度略高于本底水平；非放射性因子均满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）

### III标准要求：

5) 底泥：棉花坑矿井周边地表水体底泥中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  浓度与建矿前土壤本底基本处于同一水平；

6) 地下水：尾矿库下游监测井中， $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  浓度与对照点基本处于同一水平， $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  略高于对照点；

7) 土壤：棉花坑矿井周边居民点附近农田土壤中  $U_{\text{天然}}$  和  $^{226}\text{Ra}$  含量与建矿前土壤本底基本处于同一水平；周边居民点土壤中 Cd、As 监测结果均满足《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中的土壤污染风险筛选值的标准要求；

8) 生物样：棉花坑矿井周边居民点处蔬菜及鱼类样品中  $U_{\text{天然}}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{210}\text{Po}$  含量均满足《食品中放射性物质限制浓度标准》（GB14882-94）中限值要求。

#### 13.1.3 工程分析

本项目主要建设内容包括井下采掘系统、提升运输系统、通风排水系统、供配电及通信系统等。

##### 13.1.3.1 矿井建设

###### 1) 矿井开拓

-150m 以上南部（17 线~16 线）巷道在前期工程建设中已开拓完成，为竖井开拓系统；-150m 以下采用斜坡道延伸方案、折返形式，布置于 41 线~37 线之间。

###### 2) 采矿方法

棉花坑矿井深部（-150m 以下）主矿体采用机械化上向分层充填法（简称无轨干式充填法）进行开采；-150m 以上南部矿体破碎，采用分段空场嗣后充填采矿法。

###### 3) 井下运输

###### (1) 矿石运输

-150m 以上各采场用铲运机通过斜坡道联络道运至中段溜井，通过中段溜井下放到下中段，通过溜井振动放矿机装入矿车，用电机车牵引至竖井车场，通过再由主竖井提升至 304m 平硐运出地表；

-150m 以下各中段矿石从采场底部振动放矿机装入卡车，卡车经斜坡道运

送至卸矿硐室，矿石卸入-135~-150m 转运矿石仓，经矿石仓底部振动放矿机装入矿车，再由主竖井提升至 304m 平硐运出地表。

#### (2) 废石运输

生产中掘进废石用铲运机装入矿车/卡车，根据充填工作的需要由竖井/斜坡道运送至上部中段，或通过采准斜坡道直接运输至充填采场进行充填。

#### 4) 井下充填

本项目-150m 以上充分利用原有充填系统，-150m 以下利用采场溜井作为充填井，为深部采场充填储存废石备用。当采场需要充填时，用卡车在充填料井下口装车，再由运矿卡车或矿车运送至充填采场充填；或经采准斜坡道直接运送至采场内充填。

#### 5) 矿井通风

棉花坑矿井目前采用中央进风两翼回风对角式通风方式，风机安装在井下，为两翼抽出式，中段通风网络为上行阶梯式；新鲜空气由 304 主平硐口入风，经中段运输大巷、穿脉，到达各采场，采场污风经上中段脉内巷道、中段回风井至风机房，由主回风井排出地表。

本项目建设完成后，在考虑各采矿断面排氦、排炮烟、排柴油设备尾气的风量需求后，经计算北翼、南翼回风井风量分别为  $43.19\text{m}^3/\text{s}$  和  $42.39\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 6) 矿井排水

棉花坑三期-150m 以上排水系统，沿用原 150m、50m 中段排水系统。矿井深部延深后采用分段排水方式，分别在井下-300m 中段和-440m 中段新建水泵房。新建水泵房与现有-150m、50m 中段水泵房形成二次接力排水，最终有 304 主平硐排出地表，输送至矿井水处理设施进行处理。

### 13.1.3.2 矿石处理

本项目建成后年开采矿石约\*\*万 t。开采出矿石采用现有水冶生产线的破碎、堆浸和浸出液处理设施进行处理，处理流程与现有工程相同。现有破碎厂房处理能力为 16 万 t/a，可以满足本工程矿石破碎需求。破碎后的矿石仍采用现有的堆浸设施进行堆浸；浸出液处理也采用现有设施。

### 13.1.3.3 运行期污染物产生及处理

#### 1) 废气

### (1) 矿井废气

本项目建成后，仍采用中央进风两翼回风对角式通风方式。南翼、北翼回风井风量分别为  $42.39\text{m}^3/\text{s}$  和  $43.19\text{m}^3/\text{s}$ 。矿井排放的氡气及粉尘经大气稀释扩散排放；

#### 2) 矿仓废气

矿仓矿石堆存过程中释放的氡经大气稀释扩散排放；

#### 3) 破碎废气

##### (1) 粉尘

破碎生产线采用泡沫干雾抑尘法抑尘后，处理后的破碎废气经收集后，由排气筒排出厂房，粉尘排放浓度为  $23.25\text{mg}/\text{m}^3$ 。粉尘破碎过程中也会释放出一定量的氡。

#### 4) 废石场废气、堆浸废气、尾矿库废气

本项目产生的废石、尾渣在堆存的过程中会释放出氡及其子体；矿石堆浸过程中也会释放出一定量的氡。以上废气经大气稀释扩散排放。

### 2) 废水

#### (1) 矿井水

本项目建成后，棉花坑矿井水排放量约为  $2148\text{m}^3/\text{d}$ ，与书楼丘矿井水 ( $810\text{m}^3/\text{d}$ ) 一同排入现有的矿井水处理设施进行处理，处理达标后排入马牯丘小溪，排水量  $2958\text{m}^3/\text{d}$ 。

#### (2) 工艺废水

本项目建成后，工艺废水产生量为  $242\text{m}^3/\text{d}$ ，排入工艺废水处理设施处理达标后排入官田小溪。

#### (3) 尾矿库流出水

本项目建成后，尾矿库流出水产生量为  $1725\text{m}^3/\text{d}$ ，排入尾矿库流出水处理设施，处理达标后排入官田小溪。

### 3) 固体废物

#### (1) 废石

棉花坑矿井三期工程，大部分废石用于充填井下采空区；生产期出地表废石总量约为 8 万  $\text{m}^3$ ，全部运至书楼丘废石场堆存。书楼丘废石场设计有效

容积为 16.1 万  $\text{m}^3$ ，目前已堆存废石约 7.5 万  $\text{m}^3$ ，剩余库容约 8.6 万  $\text{m}^3$ ，可以满足三期工程废石堆存的需求。

#### (2) 堆浸尾渣及工艺废水处理废渣

本项目建成后，堆浸尾渣平均产生量为 5.5 万  $\text{m}^3$ ，生产期间共产生尾渣 110 万  $\text{m}^3$ 。工艺废水处理废渣，产生量约为 0.13 万  $\text{m}^3/\text{a}$ 。全部运至尾矿库堆存。现有尾矿库库容可满足项目建成后 12a 的堆浸尾渣、工艺废水处理废渣堆存需求，建设单位已开展尾渣胶结井下充填的研究试验工作，预计在库容使用完毕前为尾渣找到合理、可行的处置措施。

#### 4) 非放射性污染物

##### (1) 废气

本项目硫酸在存放及使用过程中会释放出酸性废气。由于释放量较小，经大气稀释扩散不会对周边环境造成明显的影响。

##### (2) 废水

本项目生产废水中非放射性污染物主要是 Mn、氟化物等；根据棉花坑矿井 2021 年、2022 年监测报告，以上两种污染物均可以实现达标排放，废水排口下游河段中监测数据显示水中污染物浓度满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III标准要求。本项目实施后采用现有的设施对生产废水进行处理后，仍可实现达标排放，废水对下游河段不会产生明显的影响。

此外，本项目不增加劳动定员，生活污水仍排入矿区现有设施进行处理，处理达标后排放。

##### (3) 固体废物

本项目生产期产的生活垃圾在指定的地点暂存，定期由环卫部门外运处理。

##### (3) 噪声

本项目爆破、凿岩等产噪工序均位于井下，经地层阻隔，基本不会对地表产生影响。棉花坑矿井现有破碎、浸出液处理等设备运行期间，噪声可以实现达标排放，对距离最近的马牯丘村不产生明显影响。本项目前后产噪设备的数量、种类不发生变化，故对周边的声环境影响不会发生明显的变化。

#### 13.1.4 施工期环境影响

本项目施工期产生的废水、废气、固体废物、噪声均取了有效的处理、处置措施，在加强施工管理的情况下，本项目施工期产生的废物不会对周边环境产生明显的影响。此外，棉花坑矿井三期工程不在地表新建生产设施，不新增占地，基本不会对周边植被、土壤等生态要素产生影响，施工期生态影响较小。

#### 13.1.5 公众辐射剂量分析

棉花坑矿井三期工程相关设施排放的气、液态流出物所致的 20km 范围内最大个人剂量为 0.0181mSv/a，关键居民组为 WSW 方位的马牯丘村少年组和成人组，主要由气载放射性流出物排放所致，关键途径为吸入内照射，关键核素为  $^{222}\text{Rn}$ 。

#### 13.1.6 事故环境影响分析

通过对破碎厂房除尘设备失效事故、废水处理设施失效事故、矿石运输车辆事故等三种典型事故景象的分析可以看出，在以上事故发生后，通过采取紧急处置措施，可将事故影响控制在有限的范围内，不会对周边环境造成持续的影响。

本项目硫酸储罐设有围堰，且距离周边 1km 范围内没有居民点分布，且没有需要进行特殊保护的敏感区域，在采取相应的风险防范措施后，可有效避免硫酸储罐泄漏，即使发生泄漏事故对周边环境造成的影响也是有限的。

#### 13.1.7 环境管理与监测计划

本项目的施工期和运行期环境管理工作由锦原公司负责。本项目施工期为 4a，施工期环境管理实行分级管理制度，由管理层设置 1~2 名环保主管，负责总体工作；各施工阶段负责人同时承担环境管理工作的具体实施。

运行期由锦原公司安防处具体负责矿山的辐射防护和环境保护管理与监测工作，定期对各生产部门的环境保护和辐射防护工作的进行检查和监督，保证环境保护相关设施的正常进行，确保污染物达标排放。此外，还应定期开展相关的环保和辐射防护培训、教育，提高职工环保意识。



### 13.1.8 总结论

综合以上分析，棉花坑矿井三期工程的建设符合国家产业政策，生产过程中产生的污染物均采取了有效的防治措施，污染物可实现达标排放，周边生态环境不会因本项目的实施遭到破坏。项目生产过程中对大气、地表水、声环境、生态环境的影响可接受，公众受照剂量满足剂量约束值的要求，项目具有一定的经济效益和社会效益。项目正常运行情况下环境影响较小；事故情况下环境影响可接受，项目单位制定有完备的事故处理应急预案和处置措施。因此，从环境保护角度来讲，本项目的实施是可行的。

### 13.2 建议

1) 项目建设将严格执行工程基本建设程序和“三同时”制度，环保设施做到与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。

2) 三期工程建设过程中，对现有的采矿、水冶及辅助设施展开全面的排查，对于存在环保隐患的设备及时进行修复、更新，确保生产及辅助设施满足相关的环保要求；

3) 三期工程实施后，生产过程中严格按照环境监测计划开展项目运行后的流出物监测和环境质量监测，及时掌握项目周边的环境质量变化情况；

4) 持续推进尾渣充填相关研究及工程试验工作，确保在 2033 年以前相关技术可以实现工程应用，在 2038 年以前实现全部尾渣充填井下。

## 附录一 气态途径辐射环境影响预测模式与参数

### 一、大气扩散模式

UAIR-FINE 软件大气扩散模式采用美国 EPA 开发、环保部推荐使用的 AERMOD 模型，该模型为基于新一代边界层理论的高斯扩散模型。

#### 1、AERMET 气象预处理

AERMET 中，采用感热通量  $H$  来判别 PBL 的稳定度，对流或不稳定边界层， $H>0$ ；稳定边界层， $H<0$ 。对流边界层的尺度参数化使用： $L$ 、 $w^*$ 、 $z_i$ 、 $u^*$ ；稳定边界层的尺度参数化使用： $L$ 、 $\theta^*$ 、 $z_i$ 、 $u^*$ 。

#### 2、AERMAP 地形预处理

AERMAP 根据项目的实际地理位置及其所在区域网格化的地形 DEM 文件中的实际高程数据，按照下述方法得到各接受点的山体高度尺度  $h_c$ ：

- 1) 读取或计算每个接受点和排放源所在位置的海拔高度；
- 2) 对于每个接受点，以该接受点的实际海拔高度为初始山体高度尺度；
- 3) 计算该接受点与周边各地形数据点的坡度，若某一数据点与该接受点的坡度等于 10%或者更大，则该数据点的海拔高度便为接受点的山体高度尺度  $h_c$ 。

AERMAP 地形预处理中，使用的地形文件应比评价范围稍大，以保证评价区域内所有接受点的山体高度尺度都可以被计算出来。获取各接受点的山高尺度  $h_c$  值后，AERMAP 继续用它来计算烟羽流线分层高度（或称临界高度） $H_c$ ，公式如下：

$$\frac{1}{2}u^2 \{H_c\} = \int_{H_c}^{h_c} N^2(h_c - z) dz$$

#### 3、AERMOD 扩散模型

AERMOD 中既适用于 CBL 也适用于 SBL 的通用浓度公式为：

$$C\{x, y, z\} = (Q/u) p_y\{y, x\} p_z\{z, x\}$$

式中：

$Q$ —源强，即污染物单位时间排放量；

$u$ —有效风速;

$p_y$ 、 $p_z$ —概率密度函数 pdf, 分别表示横向和垂直方向的浓度分布。

#### 1) 对流条件下 CBL 中的浓度

对于本项目来说, 主要考虑地面直接源对下风向浓度的影响, 其浓度计算公式为:

$$c_d\{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_i}{\sigma_{zj}} \left[ \exp\left(-\frac{(z - \Psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right]$$

式中:

$$\Psi_{dj} = h_s + \Delta h_d + \frac{\bar{w}_j x}{u}$$

$u$ —排气筒出口处风速;

$F_y$ —考虑烟羽迂回的横向分布函数,  $F_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_v^2}\right)$ ;

$j=1$  或  $2$ , 分别代表上升和下沉部分。

#### 2) 稳定条件下 SBL 中的浓度

$$c_s\{x_r, y_r, z\} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zs}} F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[ \exp\left(-\frac{(z - h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{es} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) \right]$$

式中:

$z_{ieff}$ —有效机械混合层高度;

$h_{es}$ —烟羽高度 (烟囱高度加烟气抬升高度);

$F_y$ —横向分布函数 (有迂回)。

在机械混合层高度之上, 湍流一般较弱, 因此, 烟羽的垂直混合也比较小。AERMOD 定义了一个有效机械混合层高度  $z_{ieff}$ , 按下式限定烟羽反射的最大高度:

$$z_{ieff} = \text{MAX}[h_{es} + 2.15\sigma_{zs}\{h_{es}\}, z_{im}]$$

当  $z_r \geq z_{ieff}$  时, 不考虑有效反射面。

#### 4、污染物扩散过程中的衰减作用

本项目排放的污染物为放射性核素, 在扩散过程中由于放射性衰变会造成核素浓度的衰减, 其衰减作用公式如下:

$$D = \exp\left[-\psi \frac{x}{u_s}\right] \quad (\psi > 0)$$

$$\text{或 } D = 1 \quad (\psi = 0)$$

$$\psi = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

式中：

$\psi$ —污染物的衰减系数；

$T_{1/2}$ —污染物的半衰期，s。

## 5、面源计算模式

对于面源，AERMOD 采用数值积分的处理方法，计算公式如下：

$$\chi = \frac{Q_A K V D}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$

式中：

$Q_A$ —面源释放率， $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ；

$K$ —单位转换系数；

$D$ —污染物衰减项；

$\sigma_y$ —水平扩散系数，m；

$\sigma_z$ —垂直扩散系数，m；

$u_s$ —排放源高度处的风速， $\text{m}/\text{s}$ ；

$V$ —垂直扩散项，与污染源高度、受体点高度、烟气抬升、混合层高度、重力沉降与干沉降等因素有关。

根据面源与计算点的距离，AERMOD 采用三重优化整合 Romberg 积分、两点高斯数值积分、点源趋近这三种方法进行积分运算。

## 6、复杂地形下的浓度计算

根据 AERMAP 计算得到的  $H_c$ ，在 AERMOD 中可获取两种类型烟羽各自所占的烟羽质量分数，烟羽高度、接受点所在地的海拔高度、以及  $H_c$  共同决定每一个烟羽类型所占的烟羽质量。 $H_c$  以下的烟羽质量分数  $\varphi_p$  按下式计算：

$$\varphi_p = \frac{\int_0^{H_c} C_T(x_r, y_r, z_r) dz_r}{\int_0^{\infty} C_T(x_r, y_r, z_r) dz_r}$$

式中  $C_T(x_r, y_r, z_r)$  是在稳定条件下，没有山体时的浓度值。在对流条件下， $H_c=0$ ， $\varphi_p=0$ 。

烟羽权重函数  $f$  可表示为：

$$f = 0.5(1 + \varphi_p)$$

当烟羽全部位于  $H_c$  以下时， $\varphi_p=0$ ， $f=1.0$ ，此时浓度值决定于水平型烟羽。另一方面，当烟羽全部位于流线分层高度以上，或大气在中性或对流条件下， $\varphi_p=0$ ， $f=0.5$ 。

一般来说，在稳定条件下，当烟羽接近一个理想的孤立山体时，按高度  $H_c$  将流动分为两层。高于  $H_c$  的烟羽部分有充足的动能，可以流过山顶，形成流过地形型烟羽；低于  $H_c$  的烟羽部分则只能围绕山体做水平流动，即水平型烟羽；此种情况下，由于大气的垂直湍流较弱，水平型烟羽占主导地位，权重值就大。当烟羽不稳定性增大时，高于  $H_c$  的烟羽部分也将增多，此时沿地形抬升的烟羽则被赋给较大的权重值。接受点的地面浓度即为这两类烟羽影响浓度的总和，这种复杂和平坦地形一体化处理的扩散公式如下：

$$C_T(x_r, y_r, z_r) = f c_{c,s} \{x_r, y_r, z_r\} + (1-f) c_{c,s} \{x_r, y_r, z_p\}$$

式中：

$C_T(x_r, y_r, z_r)$  ——为接受点总浓度值；

$c_{c,s} \{x_r, y_r, z_r\}$  ——为水平型烟羽贡献的浓度值；

$c_{c,s} \{x_r, y_r, z_p\}$  ——为流过地形型烟羽所贡献的浓度值（下标  $c$ ， $s$  分别表示对流条件下和稳定条件下）；

$f$  ——烟羽类型的权重函数，取决于流线分层高度  $H_c$ 。

## 7、AERMOD 沉降模式

AERMOD 模型包含了可用于气体和颗粒污染物的干、湿沉降运算法则。

## 1) 干沉降模式

干沉降通量 ( $F_d$ ) 是参考高度 ( $z_r$ ) 上的浓度 ( $\chi_d$ ) 和沉降速率 ( $V_d$ ) 的函数。

$$F_d = \chi_d \cdot V_d$$

式中:

$F_d$ ——干沉降通量,  $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;

$\chi_d$ ——参考高度 ( $z_r$ ) 上的浓度;

$V_d$ ——沉降速率 ( $\text{m/s}$ );

$z_r$ ——沉降参考高度 ( $\text{m}$ ) =  $z_0 + 1$ ;

$z_0$ ——气象文件中当地的地表粗糙度。

干沉降通量每小时计算一次, 一个指定时间段内的总通量为其间各小时通量之和。干沉降通量的默认输出单位为  $\text{g}/\text{m}^2$ 。

## (1) 颗粒物干沉降

颗粒物的干沉降速率采用阻力方法模拟, 假定沉积速度与各种阻力的总和成反比。

$$V_{dp} = f_p v_{dpf} + (1 - f_p) v_{dpc}$$

式中:

$V_{dp}$ ——颗粒物的干沉降速率 ( $\text{m/s}$ );

$f_p$ ——细粒子 (粒径小于  $2.5\mu\text{m}$ ) 占总粒子的质量分数, 评价中取 0.7;

$V_{dpf}$ ——细粒子的沉积速度, 按  $V_{dpf} = \frac{1}{R_a + R_p + R_a R_p V_g} + V_g$  计算, 令  $V_g = 0$ ;

$V_{dpc}$ ——粗粒子的沉积速度, 按  $V_{dpc} = \frac{1}{R_a + R_p + R_a R_p V_g} + V_g$  计算, 令  $V_g = 0.002$ 。

## (2) 气体干沉降

气体污染物干沉降与地面植被叶面吸收有关, 其沉降速度为:

$$V_{dg} = \frac{1}{R_a + R_b + R_c}$$

式中:

$V_{dg}$ ——气体污染物的沉积速度（m/s）；

$R_a$ ——空气动力阻力（s/m）；

$R_b$ ——总地表面的层流底层阻力（s/m）；

$R_c$ ——总地表面阻力（s/m）。

总地表面阻力与地表面用地类型和植被表面特性有关，相关参数可根据国际通用的分类方法进行查找，本次评价选取的地面植被类型见表 1。

表 1 季节与地面植被类型

| 月份（月） | 季节与地面植被类型   |
|-------|-------------|
| 1     | 地面有雪的冬季     |
| 2     | 无雪的冬季       |
| 3     | 部分绿色植物覆盖的春季 |
| 4     | 部分绿色植物覆盖的春季 |
| 5     | 草木葱翠的中夏     |
| 6     | 草木葱翠的中夏     |
| 7     | 草木葱翠的中夏     |
| 8     | 草木葱翠的中夏     |
| 9     | 庄稼未收成的秋季    |
| 10    | 庄稼未收成的秋季    |
| 11    | 无雪的冬季       |
| 12    | 无雪的冬季       |

2) 湿沉降模式

(1) 颗粒物湿沉降

颗粒物湿沉降通量  $F_{wp}$  是粒子清除系数的函数，其计算公式如下：

$$F_{wp} = 10^{-3} \rho_p W_p r$$

式中：

$F_{wp}$ ——颗粒物湿沉积通量， $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；

$\rho_p$ ——颗粒物在空气中的纵向（垂直方向）平均浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

$W_p$ ——颗粒物清洗系数，无量纲；

$r$ ——降水量或当量降水率， $\text{mm}/\text{h}$ ，由气象预处理程序 AERMET 提供。

计算湿沉积通量平均时间为 1h，用户如需要平均时间大于 1h 湿沉积通量，

可用 1h 平均时间的湿沉积通量累加， $F_{wp}$  输出单位的缺省值为  $g/m^2$ 。

颗粒物在空气中的纵向平均浓度  $\rho_p$  可通过垂直方向假定为正态分布的烟羽中每种粒径档次的颗粒物积分得到；清洗系数  $W_p$  与降雨雨滴特性（包括直径、碰撞系数）有关。

## （2）气体湿沉降

气体湿沉积通量  $F_{wp}$  的计算公式如下：

$$F_{wp} = 10^6 c_l W_w r$$

式中：

$F_{wg}$ ——气体湿沉积通量， $\mu g/(m^2 \cdot h)$ ；

$c_l$ ——已呈液相的污染物浓度， $mol/L$ ；

$W_w$ ——污染物的相对分子质量；

$r$ ——降水量或当量降水率， $mm/h$ ，由气象预处理程序 AERMET 提供。

液相污染物浓度  $c_l$  由液相污染物在饱和状态下的浓度（ $mol/L$ ）和饱和度有关。

## 3）干亏损（清除）模式

随着烟羽向下风向迁移，颗粒物或气态污染物在地表面的干湿沉降效果，使部分污染物从烟羽中被清除，这一清除过程可被视为烟羽的干亏损，其作用是降低了颗粒物或气态污染物的地面浓度和沉积通量。AERMOD 的干亏损算法基于源亏损模式。

### （1）颗粒物干亏损模式

可忽略颗粒物的重力沉降，即  $h_{ed}=h_e$ 。为了计算粗粒子的沉积速度，需要附加一项小的沉降速度， $V_g=0.002m/s$ 。

下风向  $x$  处的干亏损后浓度或沉积通量，等于未亏损时的浓度或沉积通量乘以源亏损因子  $F_Q(x)$ ； $F_Q(x)$  是仍保留在烟羽之中，尚未沉积到地表面的质量分数，等于考虑了亏损后的源强  $Q(x)$  与初始源强  $Q_0$  之比。考虑了亏损后的源强，可按下式计算：

$$Q(x) = Q_0 \exp\left[-\int_0^x \frac{V_d}{u} \bar{D}(x) dx\right]$$



式中：

$Q(x)$ ——下风向  $x$  处考虑了亏损后的源强，g/s；

$Q_0$ ——初始源强，g/s；

$V_d$ ——沉降速度，m/s；

$u$ ——平均风速，m/s；

$\bar{D}(x)$ ——横截积分扩散函数， $\bar{D}(x) = \bar{\chi}u / Q$ ， $m^{-1}$ ；

$\bar{\chi}$ ——横截积分浓度，g/m<sup>2</sup>。

## (2) 气体干亏损模式

气态烟羽干亏损（清除）的计算方法和颗粒物干亏损的计算方法相同，只是不考虑烟羽在垂直方向的倾斜，烟羽有效高度计算公式中  $V_g=0$  及  $h_{ed}=h_e$ 。

## 4) 湿亏损（清除）模式

随着烟羽自源向下风方迁移，由于降水，颗粒物或气态污染物在地表面的湿沉积或清洗效果，使其从烟羽中被清除到地表面。可以将这一过程视为湿亏损，其作用是降低了颗粒物或气态污染物的地面浓度和沉积通量。污染物因降水的清洗过程发生在整个烟羽的垂直范围，AERMOD 的湿亏损算法仍基于源亏损模式，下风方向  $x$  处的湿亏损后浓度或沉积通量，等于未亏损时的浓度或沉积通量乘以湿沉积的源亏损因子。

湿沉积源亏损因子，亦即考虑了亏损后的源强  $Q(x)$  与初始源强  $Q_0$  之比，可按式计算：

$$\frac{Q(x)}{Q_0} = e^{-\Lambda x}$$

式中：

$Q(x)$ ——下风向  $x$  处考虑了亏损后的源强，g/s；

$Q_0$ ——初始源强，g/s；

$t$ ——烟羽自源至接受点的迁移时间，s， $t=x/u$ ；

$\Lambda$ ——当量净化比，s<sup>-1</sup>。

当量净化比  $\Lambda$  的倒数  $\Lambda^{-1}$  为湿清除时间尺度，即污染物因降水由烟羽中被清除的时间尺度。

### (1) 颗粒物湿亏损模式

对于颗粒物的湿亏损，湿清除时间尺度  $\Lambda^{-1}$  可按下式计算：

$$\Lambda = \frac{\rho_p z_p}{F_{wp}}$$

可推导出当量净化比  $\Lambda$  ( $s^{-1}$ ) 计算公式为：

$$\Lambda = \frac{3E_0 r}{2D_m 3.6 \times 10^6}$$

### (2) 气体湿亏损模式

对于气体污染物的湿亏损，其亏损因子和颗粒物亏损因子公式的形式相同，其中的湿清除时间尺度  $\Lambda^{-1}$  可按下式计算：

$$\Lambda^{-1} = \frac{\rho_p z_p}{F_{wg}}$$

带入  $F_{wg}$  计算公式，可得到当量净化比  $\Lambda$  ( $s^{-1}$ ) 计算公式为：

$$\Lambda = \frac{f_{sat} RT_a r}{3.6 \times 10^6 z_p H [1 + \frac{LRT_a}{\rho_w H}]}$$

## 二、剂量估算模式

本项目剂量估算考虑的照射途径包括吸入内照射、食入内照射、烟羽浸没外照射和地表沉积外照射，主要核素包括气溶胶  $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  和气态的  $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$ 。

### 1、吸入内照射所致剂量

1) 气溶胶核素 ( $^{238}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{230}\text{Th}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{228}\text{Th}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ )

公众吸入放射性气溶胶所致的吸入内照射剂量与大气中核素浓度、公众的呼吸量及吸入剂量转换因子相关，计算公式如下：

$$E_{inh} = C_A \cdot R_{inh} \cdot DF_{inh}$$

式中：

$C_A$ —空气中核素浓度， $\text{Bq/m}^3$ ；

$R_{inh}$ —呼吸量， $\text{m}^3/\text{a}$ ，见表 2；

$DF_{inh}$ —吸入剂量转换因子, Sv/Bq, 见表 3。

表 2 不同年龄组年空气摄入量

| 婴儿 (m <sup>3</sup> /a) | 幼儿 (m <sup>3</sup> /a) | 少年 (m <sup>3</sup> /a) | 成人 (m <sup>3</sup> /a) |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1000                   | 1400                   | 5500                   | 8000                   |

表 3 吸入剂量转换因子\*

| 核素     | 肺吸收类别 | 剂量转换因子 (Sv/Bq)        |                       |                       |                       |
|--------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|        |       | 婴儿                    | 幼儿                    | 少年                    | 成人                    |
| Pb-210 | M     | $5.0 \times 10^{-6}$  | $3.70 \times 10^{-6}$ | $1.50 \times 10^{-6}$ | $1.10 \times 10^{-6}$ |
| Po-210 | F     | $7.40 \times 10^{-6}$ | $4.80 \times 10^{-6}$ | $1.30 \times 10^{-6}$ | $6.10 \times 10^{-7}$ |
| Ra-226 | S     | $3.40 \times 10^{-5}$ | $2.90 \times 10^{-5}$ | $1.20 \times 10^{-5}$ | $9.50 \times 10^{-6}$ |
| Th-230 | M     | $7.70 \times 10^{-5}$ | $7.40 \times 10^{-5}$ | $4.30 \times 10^{-5}$ | $4.30 \times 10^{-5}$ |
| U-234  | S     | $3.30 \times 10^{-5}$ | $2.90 \times 10^{-5}$ | $1.20 \times 10^{-5}$ | $9.40 \times 10^{-6}$ |
| U-238  | S     | $2.90 \times 10^{-5}$ | $2.50 \times 10^{-5}$ | $1.00 \times 10^{-5}$ | $8.00 \times 10^{-6}$ |

## 2) $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$ 及其子体

$$D_{Rn}^a = T \cdot C_{Rn} \cdot DF_{Rn}$$

式中:

$C_{Rn}$ — $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$  浓度, Bq/m<sup>3</sup>;

$T$ —受照时间, h, 全年取 8760h;

$DF_{Rn}$ — $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$  及其子体剂量转换因子, 取  $2.44 \times 10^{-6} \text{mSv/Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $8 \times 10^{-7} \text{mSv/Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

## 2、地表沉积外照射所致剂量

地表沉积外照射所致的公众外照射剂量计算公式如下:

$$E_{gr} = C_{gr} \cdot DF_{gr} \cdot O_f \cdot R_g + C_{gr} \cdot DF_{gr} \cdot (1 - O_f) \cdot R_d$$

式中:

$C_{gr}$ —地表沉积核素密度, Bq/m<sup>2</sup>;

$DF_{gr}$ —沉积剂量转换因子, (Sv/a) / (Bq/m<sup>2</sup>), 见表 4;

$O_f$ —污染地表居留时间份额, 取 0.78;

$R_g$ —地面粗糙度屏蔽衰减系数, 取 0.7;

$R_d$ —建筑物屏蔽衰减系数, 取 0.1。

表 4 地表沉积外照射剂量转换因子

| 核素     | 剂量转换因子 (Sv/a) / (Bq/m <sup>2</sup> ) |
|--------|--------------------------------------|
| Pb-210 | $7.81 \times 10^{-11}$               |
| Po-210 | $2.61 \times 10^{-13}$               |
| Ra-226 | $2.03 \times 10^{-10}$               |
| Th-230 | $2.36 \times 10^{-11}$               |
| U-234  | $2.36 \times 10^{-11}$               |
| U-238  | $1.74 \times 10^{-11}$               |

### 3、烟羽浸没外照射所致剂量

烟羽浸没外照射有效剂量应用半无限烟羽模式估算，计算公式如下：

$$E_{im} = C_A \cdot DF_{im} \cdot Q_f + C_A \cdot DF_{im} \cdot (1 - Q_f) \cdot R_d$$

式中：

$C_A$ —空气中核素浓度，Bq/m<sup>3</sup>；

$DF_{im}$ —烟羽浸没外照射剂量转换因子，(Sv/a) / (Bq/m<sup>3</sup>)，见表 5；

$Q_f$ —公众个体在烟羽中的浸没时间份额；

$R_d$ —建筑物屏蔽衰减系数。

表 5 烟羽浸没外照射剂量转换因子

| 核素     | 烟羽浸没剂量转换因子 (Sv/a) / (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--------|------------------------------------------|
| Pb-210 | $1.78 \times 10^{-9}$                    |
| Po-210 | $1.31 \times 10^{-11}$                   |
| Ra-226 | $9.92 \times 10^{-9}$                    |
| Th-230 | $5.48 \times 10^{-10}$                   |
| U-234  | $2.40 \times 10^{-10}$                   |
| U-238  | $1.07 \times 10^{-10}$                   |

### 4、食入内照射剂量

公众由于食入受污染的食品所致的内照射成为食入内照射。相对于外排气态放射性核素，所造成的污染食品主要分为植物产品和动物产品。因食入受放射性核素污染的食物所致公众附加剂量的基本计算公式如下：

$$E_{ing} = \sum_{i=1}^p (C_{p,i} \times H_p \times f_p) \times DF_{ing}$$

式中：

$E_{ing}$  —食入受污染食品所致年均有效剂量, Sv/a;

$C_{p,i}$  —食物中的核素  $i$  的活度浓度, Bq/kg;

$H_p$  —食物  $p$  的年摄入量, kg/a;

$DF_{ing}$  —食入剂量转换因子, Sv/Bq, 见表 6;

$f_p$  —食入  $p$  食品被污染的份额。

表 6 食入剂量转换因子

| 核素     | 食入剂量转换因子 (Sv/Bq) |                      |                      |                      |
|--------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|        | 婴儿               | 幼儿                   | 少年                   | 成人                   |
| Pb-210 | 8.4E-06          | $3.6 \times 10^{-6}$ | $1.9 \times 10^{-6}$ | $6.9 \times 10^{-7}$ |
| Po-210 | 2.6E-05          | $8.8 \times 10^{-6}$ | $2.6 \times 10^{-6}$ | $1.2 \times 10^{-6}$ |
| Ra-226 | 4.7E-06          | $9.6 \times 10^{-7}$ | $8.0 \times 10^{-7}$ | $2.8 \times 10^{-7}$ |
| Th-230 | 4.1E-06          | $4.1 \times 10^{-7}$ | $2.4 \times 10^{-7}$ | $2.1 \times 10^{-7}$ |
| U-234  | 3.7E-07          | $1.3 \times 10^{-7}$ | $7.4 \times 10^{-8}$ | $4.9 \times 10^{-8}$ |
| U-238  | 3.4E-07          | $1.2 \times 10^{-7}$ | $6.8 \times 10^{-8}$ | $4.5 \times 10^{-8}$ |

居民食物包括植物产品和动物产品, 植物产品中的放射性核素浓度由直接污染和间接污染两种类型。

#### 1) 直接污染

直接污染所致植物中的核素浓度计算公式如下:

$$C_{v,i,1} = \frac{d_i \alpha [1 - \exp(-\lambda_{E_i^v} t_e)]}{\lambda_{E_i^v}}$$

式中:

$C_{v,i,1}$  —直接污染所致植物表面核素浓度, Bq/kg;

$d_i$  —核素  $i$  的地表沉降速率, Bq/(m<sup>2</sup>·d), 由大气扩散模式计算得到;

$\alpha$  —植物截留分数, m<sup>2</sup>/kg, 即干、湿沉积过程中, 单位重量的植物中能够截留放射性沉积物的可食部分面积, 牧草以干重计, 农作物以鲜重计;

$\lambda_{E_i^v}$  —核素  $i$  的有效衰减速度, d<sup>-1</sup>, 等于  $\lambda_w + \lambda_i$ ;

$\lambda_w$  —非自然衰变的放射性核素衰减速度, 即环境去除速度, d<sup>-1</sup>, 见表 7;

$\lambda_i$  —核素  $i$  衰变常数, d<sup>-1</sup>;

$t_e$  —生产季节暴露在污染中的时间, d。

表 7 植物表面的拦截因子和环境去除速率

| 因子          |                  | 默认值                               |
|-------------|------------------|-----------------------------------|
| $\alpha_1$  | 牧草截留分数，干重        | $3\text{m}^2/\text{kg}$           |
| $\alpha_2$  | 农作物截留分数，鲜重       | $0.3\text{m}^2/\text{kg}$         |
| $\lambda_w$ | 环境去除速度           | $0.05\text{d}^{-1}$               |
| $\lambda_s$ | 土壤根部核素非衰变所致的衰减速度 | $2.7 \times 10^{-5}\text{d}^{-1}$ |

## 2) 间接污染

间接污染所致植物中核素浓度计算公式如下：

$$C_{v,i,2} = F_v \times C_{s,i}$$

式中：

$C_{v,i,2}$ ——间接污染所致植物中核素浓度，Bq/kg；

$F_v$ ——土壤—植物转移系数，(Bq/kg 干植物组织) / (Bq/kg 干土壤)；

$C_{s,i}$ ——土壤中核素累积浓度，Bq/kg，计算公式如下。

$$C_{s,i} = \frac{d_i \left[ 1 - \exp(-\lambda_{E_i^s} t_b) \right]}{\rho \lambda_{E_i^s}}$$

式中：

$\lambda_{E_i^s}$ ——土壤根部核素的有效衰减速度， $\text{d}^{-1}$ ，等于  $\lambda_i + \lambda_s$ ；

$\lambda_s$ ——土壤根部核素非衰变的衰减速度， $\text{d}^{-1}$ ；

$\lambda_i$ ——土壤根部核素衰变常数， $\text{d}^{-1}$ ；

$t_b$ ——放射性核素释放的时间，d；

$\rho$ ——土壤中有效根部区域的标准密度， $\text{kg}/\text{m}^2$  干土。

## 3) 公众消费植物产品中的总核素浓度

公众个体消费植物产品中的总核素活度浓度计算公式如下：

$$C_{v,i} = (C_{v,i,1} \times w_i + C_{v,i,2}) \exp(-\lambda_i t_h)$$

式中：

$C_{v,i}$ ——植物产品中核素浓度，Bq/kg；

$C_{v,i,1}$ ——直接污染所致植物产品中核素浓度，Bq/kg；

$C_{v,i,2}$ ——间接污染所致植物产品中核素浓度，Bq/kg；

$w_i$ ——洗涤因子（无量纲），默认值取 0.4；

$\lambda_i$ —核素衰变速度， $d^{-1}$ ；

$t_h$ —植物从收获到消费的储存时间， $d$ 。

#### 4) 饲料中的放射性核素浓度

动物饲料中核素的浓度计算公式为。

$$C_{a,i} = f_p f_s C_i^p + (1 - f_p) C_i^s + f_p (1 - f_s) C_i^s$$

式中：

$f_s$ —放牧季节饲料中鲜草的份额；

$f_p$ —放牧季节的时间份额；

$C_i^s$ —干饲料中核素浓度， $Bq/kg$ ；

$C_i^p$ —牧草中核素浓度， $Bq/kg$ ；

#### 5) 动物产品中的放射性核素浓度

我国居民消费食品中的动物产品主要有肉、蛋、奶三类。

##### ① 动物肉中的核素浓度

$$C_{f,i} = F_f C_{a,i} Q_m \exp(-\lambda_i t_f)$$

式中：

$C_{f,i}$ —动物肉中核素  $i$  的浓度， $Bq/kg$ ；

$F_f$ —平衡状态下动物食入的核素转移到单位质量肉中的份额，即畜产品转移系数， $d/kg$ ；

$C_{a,i}$ —动物饲料中核素  $i$  的浓度， $Bq/kg$ （干物质）；

$Q_m$ —动物每天消耗的饲料量（干物质）， $kg/d$ ；

$\lambda_i$ —核素  $i$  的衰变因子， $d^{-1}$ ；

$t_f$ —从屠宰到消费的平均时间， $d$ 。

##### ② 动物奶中的核素浓度

$$C_{m,i} = F_m C_{a,i} Q_m \exp(-\lambda_i t_f)$$

式中：

$C_{m,i}$ —奶中核素  $i$  的浓度， $Bq/L$ ；

$F_m$ —平衡状态下动物食入的核素转移到单位体积奶中的份额， $d/L$ ；

$C_{a,i}$ —动物饲料中核素  $i$  的浓度， $Bq/kg$ （干物质）；

$Q_m$ —动物每天消耗的饲料量（干物质），kg/d；

$\lambda_i$ —核素 i 的衰变因子，d<sup>-1</sup>；

$t_f$ —从收集到消费的平均时间，d。

### ③动物蛋中的核素浓度

$$C_{e,i} = F_e C_{a,i} Q_m \exp(-\lambda_i t_f)$$

式中：

$C_{e,i}$ —蛋中核素 i 的浓度，Bq/kg；

$F_e$ —平衡状态下动物食入的核素转移到单位质量蛋中的份额，d/kg；

$C_{a,i}$ —动物饲料中核素 i 的浓度，Bq/kg（干物质）；

$Q_m$ —动物每天消耗的饲料量（干物质），kg/d；

$\lambda_i$ —核素 i 的衰变因子，d<sup>-1</sup>；

$t_f$ —从收集到消费的平均时间，d。

## 4、公众个人剂量

气载放射性核素在大气环境中对公众产生的个人总照射剂量为各照射途径所致剂量之和：

$$E = E_{inh} + E_{im} + E_{gr} + E_{ing}$$

式中：

$E_{inh}$ —吸入内照射剂量，Sv/a；

$E_{im}$ —烟羽浸没外照射剂量，Sv/a；

$E_{gr}$ —地表沉积外照射剂量，Sv/a；

$E_{ing}$ —食入内照射剂量，Sv/a；

$E$ —公众个人照射总剂量，Sv/a。

## 6、公众集体剂量

集体剂量估算与评价范围及评价范围内的人口数有关，计算公式如下：

$$S = \sum_{i=1}^{96} (E_i \times R_i)$$

式中：

$S$ —集体剂量，Sv·人/a；



$E_i$ — $i$ 子区的个人剂量代表值, Sv/a;

$R_i$ — $i$ 子区的人口数, 人

## 附录二 液态途径辐射环境影响预测模式与参数

假定河道内河流流场为定常流场，河道的铅垂方向污染物浓度均匀分布；在河道的横截面上，当离排放点距离大于 40 倍河宽时，横向均匀混合。在横向均匀混合前，横断面上的最大浓度随下游距离呈反比变化。根据以上的假设，排放口下游距离 X 处的浓度计算式如下：

### 一、水体中扩散模式

#### 1、横向均匀混合前的浓度

$$C(x, y) = \frac{Q}{F} \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(\frac{-n^2 \pi^2 x k_y}{u B^2}\right) \cos \frac{n \pi Y_s}{B} \cos \frac{n \pi y}{B} \right] \exp\left(-\frac{3.17 \times 10^{-8} \lambda x}{u}\right)$$

式中：

$C(x, y)$ —核素的平均浓度，Bq/m<sup>3</sup>；

$Q$ —核素排放率，Bq/s；

$F$ —平均流量，m<sup>3</sup>/s；

$$F = F_r + F_0$$

$F_r$ —河水流量，m<sup>3</sup>/s；

$F_0$ —废水排放流量，m<sup>3</sup>/s；

$u$ —流速，m/s；

$B$ —河宽，m；

$Y_s$ —排放点离岸边距离，m；

$\lambda$ —核素衰变常数，a<sup>-1</sup>；

$K_y$ —横向弥散系数，m<sup>2</sup>/s；

$$K_y = 0.6 U^* \cdot d = 0.6 d^{3/2} (gI)^{1/2}$$

式中：

$$U^* = \sqrt{gI}$$

$d$ —河深，m；

$g$ —重力加速度，m/s<sup>2</sup>；

$I$ —水力坡度，无量纲。

## 2、横向均匀混合后的浓度

$$C(x) = \frac{Q}{F \cdot \sqrt{1+\alpha}} \exp\left[\frac{Xu}{2K_x}(1-\sqrt{1+\alpha})\right]$$

式中：

$$\alpha = 4 \times 3.17 \times 10^{-8} \lambda K_x / u^2$$

$$K_x = 0.011 u^2 B^2 / U^* d$$

$$\text{当 } \alpha \ll 1 \text{ 时, } C(x) = \frac{Q}{F} \exp\left(\frac{-3.17 \times 10^{-8} \lambda u}{u}\right)$$

## 二、液态途径剂量模式

## 1、食鱼肉照射剂量

$$D_g^a = U_g^a C_w B_g D F_g^a$$

式中：

$D_g^a$ — $a$  年龄组个人因食鱼所致剂量，Sv/a；

$U_g^a$ — $a$  年龄组鱼类摄入量，kg/a；

$B_g$ ——核素由水体到鱼类的浓集因子，L/kg，具体见表 1。

表 1 淡水鱼浓集因子

L/kg

| 核素    | Pb-210          | Po-210          | Ra-226          | Th-230          | U <sub>天然</sub> |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $B_g$ | $3 \times 10^2$ | $5 \times 10^1$ | $5 \times 10^1$ | $3 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ |

## 2、食入农产品和动物产品内照射剂量

$$D_p^a = D F_g^a \sum U_p^a f_p C_p$$

式中：

$D_p^a$ — $a$  年龄组个人因食入受污染的食物（包括农产品和动物产品）所致剂量，Sv/a；

$U_p^a$ — $a$  年龄组对  $p$  类产品的摄入量，kg/a；

$f_p$ —食入受污染区的  $p$  类产品份额；

$C_p$ — $p$  类产品中的放射性核素比活度，Bq/kg。

## 3、水体浸没外照射

因划船或游泳受到的外照射剂量为：

$$D_q = 3.15 \times 10^7 M_p C_w t_q D F_q$$

式中：

$D_q$ —水体浸没外照射剂量，Sv/a；

$M_p$ —源和接受体的几何形状校正因子，游泳时  $M_p=1$ ，划船时  $M_p=0.5$ ；

$tq$ —一个人游泳或划船的年时间份额；

$DF_q$ —水体浸没外照射剂量转换因子，(Sv/s) / (Bq/m<sup>3</sup>)，见表 2。

表 2 水体浸没外照射剂量转换因子

| 核素     | 烟羽浸没剂量转换因子 (Sv/s) / (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--------|------------------------------------------|
| Pb-210 | $2.25 \times 10^{-19}$                   |
| Po-210 | $1.13 \times 10^{-21}$                   |
| Ra-226 | $2.45 \times 10^{-16}$                   |
| Th-230 | $9.16 \times 10^{-20}$                   |
| U-234  | $8.86 \times 10^{-20}$                   |
| U-238  | $5.52 \times 10^{-18}$                   |

#### 4、岸边沉积外照射剂量

放射性废水向江河排放造成的岸边放射性沉积物外照射剂量为：

$$D_E = 3.15 \times 10^7 S \cdot U_E DF_E$$

式中：

$D_E$ —岸边沉积外照射剂量，Sv/a；

$U_E$ —公众个人在岸边活动的年时间份额；

$DF_E$ —地表沉积外照射的剂量转换因子，(Sv/s) / (Bq/m<sup>2</sup>)；

$S$ ——岸边沉积物的有效表面污染，Bq/m<sup>2</sup>。

为计算有效表面污染，假定污染物的表面污染由 2.5cm 厚的表层（约相当于 40kg/m<sup>2</sup> 的表面质量）所包含的放射性组成，因而有

$$S = 40C_s W$$

$C_s$ —岸边沉积物核素的比活度，Bq/kg；

$W$ —描述照射几何学的岸宽因子，作为河岸， $W$  取值 0.2；

$C_s$  的计算公式如下：

$$C_s = K_c \frac{C_w [1 - \exp(-\lambda b)]}{\lambda}$$

式中：

$C_w$ —下游距离 X 处河水中核素浓度， $Bq/m^3$ ；

$t_b$ —沉积物受水污染的时间，a；

$K_c$ —放射性核素由水中向沉积物的转移参数， $m^3/(kg \cdot a)$ ，推荐值取  $6.32 \times 10^{-1} m^3/(kg \cdot a)$ ；

$\lambda$ —核素衰变常数， $a^{-1}$ 。

# 中核韶关锦原铀业有限公司

## 环评委托书

中核第四研究设计工程有限公司：

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和中华人民共和国国务院令第 253 号《建设项目环境保护管理条例》的有关规定，现委托贵单位承担《中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程环境影响报告书》的编制工作，请根据国家法律法规要求尽快开展工作。

特此委托。

中核韶关锦原铀业有限公司

2023 年 1 月 31 日

# 中核韶关锦原铀业有限公司

## 关于确认“中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程 环境影响评价执行标准”的申请函

韶关市生态环境局仁化分局：

中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程拟采用充填法对棉花坑矿井-150m 以下深部以及-150m 以上南部资源进行开采，其开采出来的废石大部分回填井下，少部分废石运至地表现有废石场堆存。矿石出笼后均采用现有的工艺设施进行处理，产生的废渣堆放至在运行的尾矿库处理，矿井水、工艺废水、尾矿库渗水利用现有设施处理、达标排放。

该项目的环评工作由中核第四研究设计工程有限公司承担，根据国家环境保护法律法规的要求，现将本项目环境影响评价中拟执行的环境标准向贵单位提出申请，请审查批复。

### 一、环境质量标准

- 1、环境空气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准；
- 2、地表水环境执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类标准；
- 3、地下水环境执行《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中Ⅲ类标准；
- 4、声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准；
- 5、土壤环境农用地执行《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）中土壤污染风险筛选值标准；建设用地执行《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018）第二类用地污染风险筛选值。



# 中核韶关锦原铀业有限公司

---

## 二、污染物排放标准

(1) 废气执行《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)表2中二级标准以及无组织排放监控浓度限值；(2) 废水执行《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)表1及表4一级标准限值；

(3) 施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)中相关要求；运行期厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准。

## 三、辐射环境执行标准

- 1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；
- 2)《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020)；
- 3)《铀钍矿冶放射性废物安全管理技术规定》(GB14585-1993)。

中核韶关锦原铀业有限公司

2023年2月21日





# 韶关市生态环境局仁化分局

---

## 关于《中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程环境影响评价执行标准》 的复函

中核韶关锦原铀业有限公司：

你公司报来关于《中核韶关锦原铀业有限公司棉花坑矿井三期工程环境影响评价执行标准的申请函》收悉。经研究，我分局原则上同意该项目环境影响评价中执行标准，最终以该项目的环境影响评价报告批复为准。

韶关市生态环境局仁化分局  
2023年3月17日



# 仁化县自然资源局

---

## 关于中核韶关锦原铀业有限公司矿区范围 不涉及生态保护红线的证明

中核韶关锦原铀业有限公司：

贵公司发来的《申请函》已收悉。经我局认真核对，所提供的《矿区范围坐标表》红线范围不涉及生态保护红线。

特此证明。

仁化县自然资源局  
2023年3月9日

