

建设项目环境影响报告表

(污染影响类)

项目名称： 海南昌江核电厂 1 号机组堆芯

功率提升论证

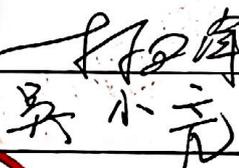
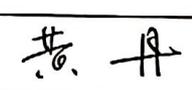
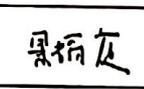
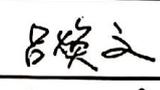
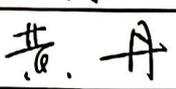
建设单位 (盖章)： 海南核电有限公司

编制日期： 2025 年 3 月

中华人民共和国生态环境部制

打印编号: 1741250649000

编制单位和编制人员情况表

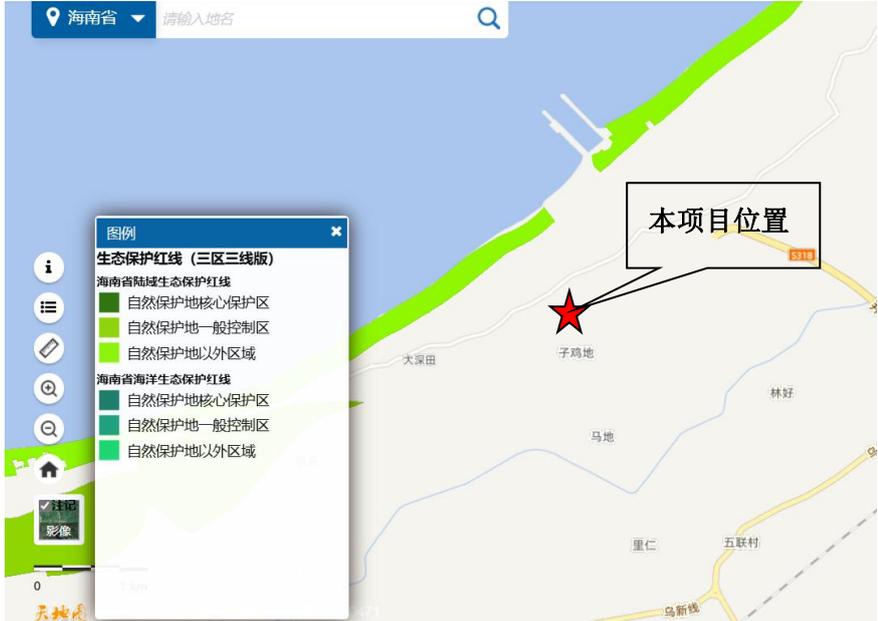
项目编号	17rh66		
建设项目名称	海南昌江核电厂1、2号机组堆芯功率提升论证		
建设项目类别	55--167核动力厂(核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等); 反应堆(研究堆、实验堆、临界装置等); 核燃料生产、加工、贮存、后处理设施, 放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称(盖章)	海南核电有限公司		
统一社会信用代码	91460000681168510A		
法定代表人(签章)	魏智刚		
主要负责人(签字)	林卫峰		
直接负责的主管人员(签字)	吴小亮		
二、编制单位情况			
单位名称(盖章)	中核核动力研究设计院		
统一社会信用代码	121000004507168586		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
黄丹	10355143509510239	BH021562	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
景福庭	建设项目工程分析、环境保护目标及评价标准、主要环境影响和保护措施	BH048814	
吕焕文	建设项目基本情况、环境保护措施监督检查清单	BH019518	
黄丹	区域环境质量现状、主要环境影响和保护措施、结论	BH021562	

目 录

一、建设项目基本情况	1
二、建设项目工程分析	5
三、区域环境质量现状、环境保护目标及评价标准	12
四、主要环境影响和保护措施	18
五、环境保护措施监督检查清单	30
六、结论	31
建设项目污染物排放量汇总表	33

一、建设项目基本情况

建设项目名称	海南昌江核电厂 1、2 号机组堆芯功率提升论证		
项目代码	无		
建设单位联系人	吴小亮	联系方式	17789807720
建设地点	海南省（自治区）/市昌江县（区）海尾镇（街道）塘兴村		
地理坐标	(1 号机组厂房：东经 108 度 53 分 56 秒，北纬 19 度 27 分 39 秒；2 号机组厂房：东经 108 度 53 分 57 秒，北纬 19 度 27 分 36 秒)		
国民经济行业类别	D4414 核力发电	建设项目行业类别	167、核动力厂
建设性质	<input type="checkbox"/> 新建（迁建） <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input checked="" type="checkbox"/> 技术改造	建设项目申报情形	<input checked="" type="checkbox"/> 首次申报项目 <input type="checkbox"/> 不予批准后再次申报项目 <input type="checkbox"/> 超五年重新审核项目 <input type="checkbox"/> 重大变动重新报批项目
项目审批（核准/备案）部门（选填）	/	项目审批（核准/备案）文号（选填）	/
总投资（万元）	/	环保投资（万元）	/
环保投资占比（%）	/	施工工期	/
是否开工建设	<input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是：	用地（用海）面积（m ² ）	无新增占地面积
专项评价设置情况	根据建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）（试行）中表1，对照本项目与专项评价设置原则，确定本项目设置专项评价类别情况，见表1-1。		
	表 1-1 本项目与专项评价设置原则对照表		
	专项评价类别	设置原则	本项目
	大气	排放废气含有有毒有害污染物、二噁英、苯丙芘、氰化物、氯气且厂界外500m范围内有环境空气保护目标的建设项目	不涉及
	地表水	新增工业废水直排建设项目（槽罐车外送污水处理厂的除外）；新增废水直排的污水处理厂	不涉及
	环境风险	有毒有害和易燃易爆危险物质存储量超过临界量的建设项目	不涉及
	生态	取水口下游500m范围内有重要水生生物的自然产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道的新增河道取水的污染类建设项目	不涉及
海洋	直接向海排放污染物的海洋工程建设项目	不涉及	

	<p>根据上表及本项目的排污情况及所涉及的敏感程度，从而确定本项目不需要设置专项评价。</p>
<p>规划情况</p>	<p>无</p>
<p>规划环境影响评价情况</p>	<p>无</p>
<p>规划及规划环境影响评价符合性分析</p>	<p>无</p>
<p>其他符合性分析</p>	<p>“三线一单”符合性分析如下：</p> <p>(1) 生态保护红线</p> <p>本项目位于海南省昌江县海尾镇塘兴村，根据《昌江黎族自治县国土空间总体规划（2021-2035年）》，并经查询海南省国土空间基础信息平台，本项目与生态红线的相对位置详见图 1-1。由图 1-1 可见，本项目厂址不占用陆域和海域生态保护红线，符合《海南省生态保护红线管理规定》相关要求。</p>  <p>图 1-1 本项目与生态红线区位关系图（海南省国土空间基础信息平台截图）</p> <p>(2) 环境质量底线</p> <p>根据《2023年海南省生态环境状况公报》，昌江县环境空气质量达到二级标准；地表水和地下水环境质量总体较好，近岸海域水质总体为优，声环境、土壤环境质量总体较好。</p> <p>本项目不新增非放射性污染物，项目实施后不改变区域环境质</p>

量，因此，本项目的实施符合环境质量底线要求。

(3) 资源利用上线

本项目实施后不增加用电用水，能耗与技改前一致，符合资源利用上线的要求。

(4) 生态环境准入清单

根据海南省生态环境分区管控数据应用平台查询结果，本项目所在地属于昌江黎族自治县水环境农业污染重点管控单元，环境管控单元编号为 ZH46902620003，项目所在地的环境管控单元分布图见图 1-2。

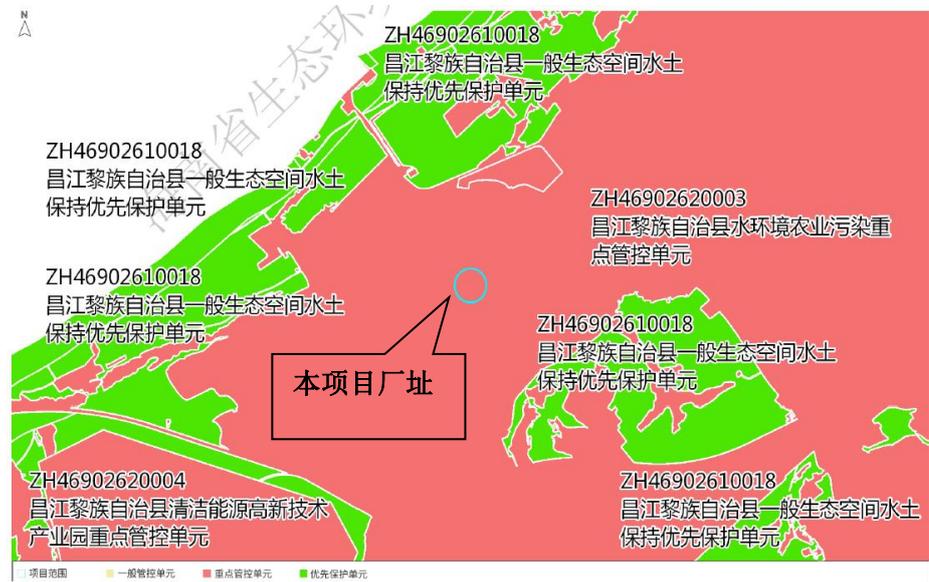


图1-2 项目所在地的环境管控单元图

结合《海南省生态环境分区管控方案》（2023 年版），本项目的生态环境准入分析详见表1-2。由表1-2的分析可见，本项目满足所属环境管控单元ZH46902620003的空间布局约束要求、污染物排放管控及环境风险防控要求。

综上所述，本项目厂址不占用生态保护红线，本项目的实施未超出环境质量底线及资源利用上线、未列入环境准入负面清单内，符合《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150 号）要求。

表 1-2 本项目与海南省生态环境分区管控要求相符性分析一览表（节选相关部分）

管控维度	管控要求	本项目相关情况	是否符合
空间布局约束	<p>1.执行水环境农业污染重点管控区普适性管控要求。 禁止向农田灌溉渠道排放工业废水或者医疗污水。</p> <p>2.执行建设用地重点管控区普适性管控要求： 严格执行相关行业企业布局选址要求，禁止在居民区和学校、医院、疗养院、养老院等单位周边新建、改建、扩建可能造成土壤污染的建设项目。</p> <p>3. 昌江核电厂限制区半径不得小于 5 千米。禁止设立炼油厂、化工厂、油库、爆炸方法作业的采石场、易燃易爆品仓库等对核电厂安全存在威胁的项目。</p>	<p>1.本项目不新增非放生产废水，昌江核电厂 1、2 号机组非放生产废水经处理后排海，不涉及向农田灌溉渠道排放工业废水。</p> <p>2. 本项目在昌江核电厂已建厂址内实施，无新征地，原厂址选址符合要求；</p> <p>3.海南省政府已批准在昌江核电厂周围设置限制区，规划限制区半径为 5km。</p>	符合
污染物排放管控	<p>1.执行水环境农业污染重点管控区普适性管控要求。 位于江河、湖泊、渠道、水库沿岸的村庄应当建设污水处理设施，其生活污水不得直接排放。</p> <p>2.昌江核电厂辐射环境满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249）。</p>	<p>1.不涉及。</p> <p>2. 昌江核电厂 1、2 号机组自运行以来，每年放射性流出物年排放量远低于国家批准排放量。本项目不改变昌江核电厂原有三废处理、排放设施，本次技改实施后的放射性流出物排放量设计值低于 GB6249-2011 所规定的排放量控制值。</p>	符合
环境风险防控	<p>1. 执行建设用地重点管控区普适性管控要求： 产生工业固体废物的单位应当根据经济、技术条件对工业固体废物加以利用；对暂时不利用或者不能利用的，应当按照国务院生态环境等主管部门的规定建设贮存设施、场所，安全分类存放，或者采取无害化处置措施。贮存工业固体废物应当采取符合国家环境保护标准的防护措施。</p> <p>2.将昌江核电厂环境风险源单位的风险防控措施、监测预警措施、应急处置措施和应急预案管理等纳入重点监管内容，事故工况下剂量控制值满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249）要求。</p>	<p>1. 不涉及。</p> <p>2.昌江核电厂已制定应急计划，成立应急组织机构，并且定期开展应急演练。本项目事故工况下剂量控制值执行 GB6249-2011 的要求，并且事故工况下剂量值低于 GB6249-2011 的控制值。</p>	符合
<p>备注：本表仅摘录与本项目生态环境特征有关的问题进行分析，已剔除《海南省生态环境分区管控方案》（2023 年版）中与本项目生态环境特征无关的条目。</p>			

二、建设项目工程分析

2.1 项目由来

海南昌江核电厂（以下简称“昌江核电厂”）1、2号机组为650MWe压水堆核电机组。厂址位于海南省昌江县海尾镇塘兴村，濒临北部湾。1号机组于2015年10月27日并网发电；2号机组于2016年6月20日并网发电。

根据电力需求预测，海南“十三五”及中长期阶段负荷仍将维持快速增长趋势，2020年、2025年、2030年全社会最大负荷分别达到650万千瓦、981万千瓦和1356万千瓦，“十三五”、“十四五”、“十五五”期间最大负荷年增长率分别达到9.3%、8.6%和6.7%，海南电力存在较大缺口。

随着核电技术的快速发展，在役核电厂通过技术改进不断提升了电厂安全性及经济性，其中通过对核电机组功率提升是行之有效的方法。目前，国内外已经对在役核电机组的功率提升开展了大量研究，国外多个核电机组已成功实施了核电机组不同幅度的堆芯功率提升，产生了显著的经济效益。

昌江核电厂1、2号机组在堆芯设计方面的裕量较大，具有一定改进、升级的空间。为适应海南电力负荷快速增长的需求，本项目拟对昌江核电厂1、2号机组实施堆芯功率提升改造，将反应堆额定热功率由1930MW提升至1980MW，技改后堆芯功率约提升了2.59%。

根据中华人民共和国生态环境部部令第16号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，确定本项目的环评文件形式为环境影响报告表。本项目建设单位海南核电有限公司委托中国核动力研究设计院（以下简称“核动力院”）开展环境影响评价工作。接受本项目环境影响评价工作委托后，核动力院根据海南核电有限公司提供的资料，在工程分析、调查项目周边环境后，根据国家的法律法规和环境影响评价导则，编制本项目环境影响报告表。

2.2 建设内容

本次技改仅是通过对堆芯燃料管理策略的改进，从而实现昌江核电厂1、2号机组的堆芯功率提升。技改过程中不涉及对电厂运行工艺进行改变，也不对电厂现有的设备实施改造。

（1）技改前项目概况

建设
内容

昌江核电厂 1、2 号机组均为二代加压水堆核电机组，机组功率均为 650MWe。每台核电机组均由包括核反应堆及其核辅助设施的核岛和包括汽轮发电机及其辅助设施的常规岛组成。

昌江核电厂 1、2 号机组在正式投运前编制了环境影响评价报告文件，生态环境部以文件《关于海南昌江核电厂一、二号机组环境影响报告书（运行阶段）的批复》（环审[2015]190号）对其环评文件进行了批复。

昌江核电厂 1、2 号机组于 2019 年申请长燃料循环项目技改，由年换料制改进为每 18 个月进行一次换料的长燃料循环堆芯燃料管理策略，编制了建设项目环境影响报告表，生态环境部以文件《关于海南昌江核电厂 1、2 号机组长燃料循环项目环境影响报告表的批复》（环审[2019]123 号）对其环评文件进行了批复。

海南核电有限公司于 2020 年提交昌江核电厂放射性流出物排放量优化申请值的请示，国家核安全局以文件《关于海南昌江核电厂 1、2 号机组放射性流出物年度排放量申请值优化的批复》（国核安发[2020]299 号）对其申报文件进行了批复。

昌江核电厂 1、2 号机组的反应堆堆芯均由 121 组燃料组件及其相关组件组成。目前，昌江核电厂 1、2 号机组采用长燃料循环燃料管理策略。主要设计参数如下：

- 1) 反应堆额定热功率：1930MW；
- 2) 换料组件富集度：4.45%；
- 3) 平衡循环换料组件数：48 组/44 组；
- 4) 平衡循环的长循环循环长度为 520EFPD 左右，平衡循环的短循环循环长度为 460EFPD 左右；
- 5) 燃料组件类型：全 M5 型 AFA3G 燃料组件；
- 6) 堆芯换料模式：采用低泄漏装载；
- 7) 燃料组件的燃耗限值：燃料组件最大燃耗 < 52000MWd/tU。

(2) 技改后项目概况

本项目拟对昌江核电厂 1、2 号机组的堆芯功率进行提升，换料周期仍为 18 个月。堆芯功率提升后的燃料管理策略主要设计参数如下：

- 1) 反应堆额定热功率：1980MW；

- 2) 换料组件富集度：4.45%和 4.95%混合使用；
- 3) 平衡循环换料组件数：48 组；
- 4) 平衡循环的长循环循环长度为 513.1EFPD；
- 5) 燃料组件类型：全 M5 型 AFA3G 燃料组件；
- 6) 堆芯换料模式：采用低泄漏装载；
- 7) 燃料组件的燃耗限值：燃料组件最大燃耗 $<52000\text{MWd/tU}$ 。

本次技改不改变昌江核电厂的主体工程、辅助工程、公用工程、环保工程以及储运工程，不对昌江核电厂运行工艺进行改变，也不对昌江核电厂现有的设备实施改造。

2.3 劳动定员及工作制度

本项目不改变昌江核电厂原有的劳动定员和工作制度，不新增工作人员。

2.4 厂区地理位置及厂区平面布置

(1) 厂区地理位置

昌江核电厂 1、2 号机组已投入商运，3、4 号机组正在建设 2 台 1200MWe“华龙一号”核电机组及配套辅助设施。在 3、4 号机组西北侧建设海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程。

昌江核电厂厂址位于海南省昌江县海尾镇塘兴村，濒临北部湾。厂址东北距海口市约 160km，东南距三亚市约 150km，西南距东方市约 51km；东距儋州市约 48km，东南距昌江县城约 27km；东北距海头镇约 7.5km，西南距海尾镇约 9.6km。厂址地理位置见图 2-1。

(2) 厂区平面布置

本项目不改变昌江核电厂平面布置，不改变废气、废液排放点位置。

昌江核电厂 1、2 号机组用地主要分为主厂房区、辅助生产区、循环水设施区、开关站区、厂前区。主厂房区、辅助生产区的布置如下：

主厂房区：包括核岛和常规岛，由反应堆厂房、电气厂房、核辅助厂房、柴油发电机厂房、燃料厂房、联结厂房、辅助给水储存罐间、汽轮发电机厂房、主变压器和降压变压器等组成。主厂房区布置在厂区用地中部，核岛厂房西南向，常规岛厂房东北向布置。

辅助生产区：主要包括放射性辅助生产区和非放射性辅助生产区。放射性辅助生产区位于主厂房西侧，包括核岛废液排放厂房、常规岛废液排放厂

房、放射性机修及去污车间、放射性洗衣房、放射性固体废物处理辅助厂房、放射性固体废物暂存库及特种车库。非放射性辅助生产区位于主厂房的东北侧及西北侧。除盐水生产厂房、除盐水储罐布置在主厂房的东北侧；辅助锅炉房、空压机房、第五台柴油发电机厂房、厂区实验楼、配电站、氮气贮存区、非放射性机修车间、机加工车间、专用工具库及备用钢材库等布置在主厂房西北侧；放射源库、润滑油及油脂库与主厂房联系少且有一定危险性，布置在厂区东北角；有防爆要求的氢气站及贮存厂房布置在厂区东侧边缘，远离人群和重要设施。生产办公楼、电仪修车间及调试大棚布置在厂区西北侧边缘，靠近厂区和厂前区联系的主要出入口。

废液、废气的排放口位置如下：

昌江核电厂废液排放口（冷却水和重要厂用水排水口），位于厂址西北的北部湾海域，距厂区西北侧地产界限的最小直线距离约 3433m，液态流出物通过地下管沟排至虹吸井，经排水隧道排至废液排放口，进入北部湾海域。

昌江核电厂 1、2 号机组共用一个放射性废气排放口（烟囱），位于 1、2 号机组核辅助厂房顶部，标高 72.60m，烟囱高出反应堆厂房屋顶至+62.30m 标高处，距离陆域地产边界线最小距离为：西北侧边界线 627m，东北侧边界线 312m，东南侧边界线 471m，西南侧边界线 196m。



图 2-1 厂址地理位置图

2.5 工艺流程

本次技改不改变昌江核电厂总的工艺流程及产污环节，通过改变堆芯燃料装载方式从而实现堆芯功率提升。

昌江核电厂是由反应堆回路（一回路）、汽轮机回路（二回路）和发电机回路（三回路）三个基本部分组成。

反应堆回路主要由反应堆、蒸汽发生器和主泵等组成密闭式的高压循环回路。其作用是将反应堆堆芯内核裂变所释放的大量热能导出，传给蒸汽发生器二次侧的给水，使之产生饱和蒸汽送入汽轮发电机。

汽轮机回路的主要设备有汽轮发电机、凝汽器、凝结水泵、低压加热器、除氧器、主机水泵和高压加热器等与核岛部分的蒸汽发生器组成封闭的汽水循环回路。这个循环回路的流程原理与火力发电厂的流程原理基本相同，只是由核岛部分的蒸汽发生器代替了火力发电厂的蒸汽锅炉。

发电机回路的主要设备为发电机、励磁机、主变压器、厂用变压器、高压开关站等。

工艺流程图见下图 2-3。

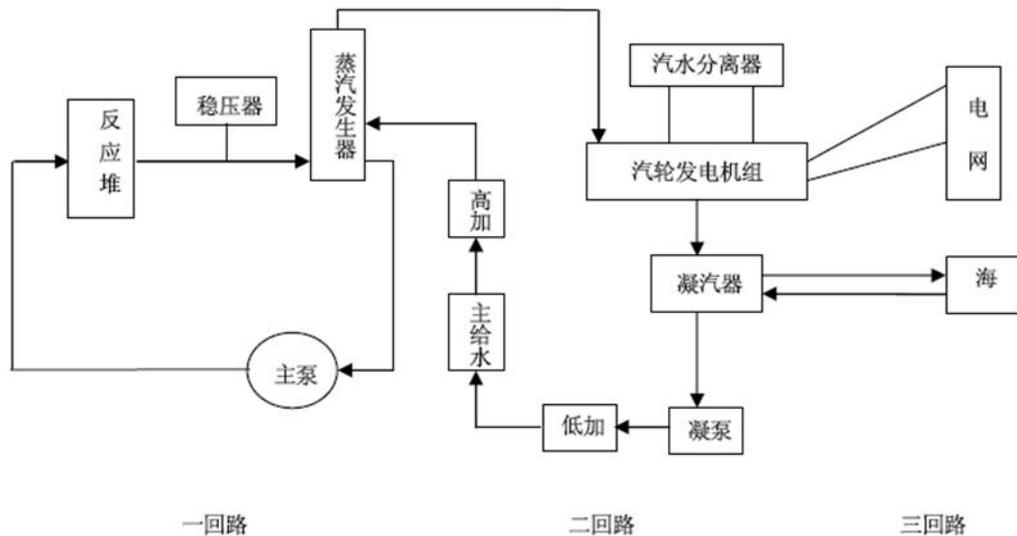


图 2-3 核电厂工艺流程图

2.6 产排污环节

放射性物质的产生：核电厂放射性物质最根本的来源是反应堆燃料芯块内的链式裂变反应。裂变产生的放射性核素基本上都包容在燃料元件芯块与包壳之内，只有极少量的裂变产物会由于燃料元件破损而泄漏到反应堆冷却

剂中，或者由极少量的燃料元件加工制造过程中的表面铀沾污而直接进入反应堆冷却剂中。同时裂变产生的中子使反应堆冷却剂自身以及腐蚀产物、控制棒、硼酸和其它材料受到激活而产生中子活化及活化腐蚀产物。这些裂变产物和活化及活化腐蚀产物是主冷却剂系统及相关系统的主要放射性来源，蒸汽发生器传热管束的泄漏还有可能造成二回路系统的污染。

放射性物质的排放：

放射性废液来自工艺废液以及地面排水。从一回路排出的冷却剂首先复用，不能复用的成为工艺废液输送到TEU系统处理，此外还有化学废液。

放射性废气来自工艺废气以及厂房排气。工艺废气包括一回路运行排气和扫气，硼回收系统除气器排气、各个箱槽和废液蒸发单元的呼排气。

放射性固体废物经整备处理后贮存，不排放。

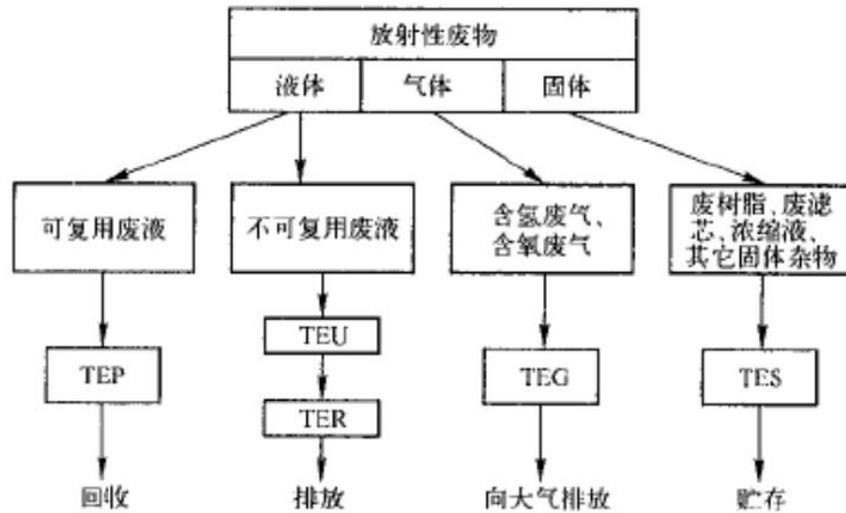


图 2-4 放射性废物处理及排放示意图

与项目有关的原有环境污染问题

2.7 现有工程的放射性流出物实际排放量

昌江核电厂自投入商运以来，各核电机组运行正常。根据《海南核电有限公司流出物及周围环境监测评价年报》，2022年及2023年昌江核电厂1、2号机组排放的放射性流出物排放情况良好，放射性流出物的年排放量小于批准的昌江核电厂放射性流出物年排放总量。并且，每个季度的排放总量小于批准的年排放总量的二分之一，每个月的排放总量小于批准的年排放总量的五分之一，满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中对放射性流出物排放量的控制要求。

2.8 放射性固体废物

2023年，海南核电固废处理技术人员依据专用管理程序和技术规程有序开展现场放射性固体废物处理工作，日常和大修所产生的放射性固体废物全部按规分类处理。同时，紧紧围绕中国核电放射性废物最小化管理要求，在三废系统运行管理、工艺废物整备、技术废物分拣、废旧空气过滤器金属框架清洁解控、废安全帽清洁解控、放射性废物管理对标交流等方面扎实推进，放射性固体废物产生量物实际产生量低于管理目标值并持续优化。

昌江核电站产生的放射性固体废物类型主要有废树脂、浓缩液、废水过滤器芯子及干废物。处理后的废物暂存于废物暂存库内。

2.9 主要环境问题及整改措施

综上所述，2022年及2023年昌江核电站1、2号机组放射性流出物排放控制有效，放射性固体废物经妥善整备后形成废物包存于暂存库内，无遗留环境问题。

三、区域环境质量现状、环境保护目标及评价标准

区域
环境
质量
现状

3.1 环境空气质量现状与评价

依据《2023年海南省生态环境状况公报》，2023年昌江黎族自治县环境空气基本污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂年均浓度值、CO-95per24小时平均浓度、O₃-95per8小时平均浓度分别为14μg/m³、24μg/m³、4μg/m³、5μg/m³、0.7mg/m³和119μg/m³。

2023年昌江黎族自治县环境空气质量达标判断结果见表3-1。

表3-1 2023年昌江黎族自治县环境空气质量现状评价表

污染物	年评价指标	现状浓度 (μg/m ³)	标准值 (μg/m ³)	占标率 (%)	达标情况
PM _{2.5}	年平均质量浓度	14	35	40.0	达标
PM ₁₀	年平均质量浓度	24	70	34.3	达标
SO ₂	年平均质量浓度	4	60	6.7	达标
NO ₂	年平均质量浓度	5	40	12.5	达标
CO (per95)	百分位数日平均	0.7(mg/m ³)	4.0 (mg/m ³)	17.5	达标
O ₃ (per90)	百分位数8小时平均质量浓度	119	160	74.4	达标

根据上表统计结果，昌江黎族自治县基本污染物 SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}年平均浓度值、CO-95per24小时平均浓度、O₃-90per8小时平均浓度均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单中的二级标准。因此，本项目所在区域为空气质量达标区。

3.2 地表水及海水质量现状与评价

根据《2023年海南省生态环境状况公报》，昌化江流域水质为优。监测的24个断面中，I-III类水质断面占100%，同比持平；无劣V类断面，同比持平。其中干流水质及水满河、通什水、毛庆水、乐中河、南巴河、南绕河、七差河、石碌河等8条水质为优；东方水水质良好。

根据《2023年海南省生态环境状况公报》，海南省全省近岸海域水质总体为优，优良水质（一类、二类）面积比例达99.66%，海水环境质量现状较好。超二类水质出现在文昌清澜湾、万宁小海近岸海域，距离本项目位置较远。

3.3 声环境质量现状

根据《建设项目环境影响报告表编制技术指南（污染影响类）（试行）》：“厂界外周边50米范围内存在声环境保护目标的建设项目，应监测保护目标声环境质量现状并评价达标情况”，本项目厂界周边50米范围内不存在声环境保护目标，可不开展声环境质量现状监测工作。

3.4 辐射环境质量现状与评价

根据《海南核电有限公司环境辐射监测年报 2023 年》，电站周边环境样品放射性监测结果处于本底涨落范围内，未发现可察觉性的异常。

(1) 环境 γ 辐射水平

通过环境 γ 辐射剂量率连续监测、环境 γ 辐射累积剂量监测、便携式 γ 剂量率仪定点定期监测，结果表明环境 γ 辐射剂量率与本底处于同一水平。

(2) 大气、沉降物和降水放射性水平

气溶胶总 α 、总 β 、沉降物总 β 、 ^{14}C 测量值均处于本底波动范围内，空气 ^3H 、 ^{131}I 测量值均小于探测限， ^{14}C 与 2016 年海南省辐射监测站监督性监测系统空气中 ^{14}C 含量数据平均值处于同一水平。气溶胶、沉降物 γ 谱分析未检出人工核素。降水中的所有测量核素（包括 ^3H 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）测量结果均小于探测限。

(3) 地表水、地下水、饮用水放射性水平

地表水中的所有测量核素（包括 ^3H 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）测量结果均小于探测限。地下水厂区外测点的 ^3H 测量结果均小于探测限。所有测点 γ 核素分析未测出人工核素。饮用水中的所有测量核素（包括 ^3H 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）测量结果均小于探测限。

(4) 土壤及底泥放射性水平

陆地表层土壤（水库底泥）的 ^{90}Sr 的活度浓度与本底处于同一水平， γ 谱分析人工核素未检出。

(5) 海水及海洋沉积物放射性水平

通过对海洋生物、沉积泥、海水的取样分析，各放射性核素的活度浓度水平同往年及本底调查相比无明显变化。

厂址附近海域监测点位海水中， ^3H 活度浓度低于探测限。 γ 谱分析仅测出天然核素 ^{226}Ra ，人工核素均低于探测限。

厂址附近海域各个监测点海洋沉积物中 ^{90}Sr 的活度浓度在本底涨落范围内； γ 谱分析结果表明除天然放射性核素 ^{226}Ra 外，其余人工核素均小于探测下限。

(6) 生物

陆地生物放射性核素分析结果表明，大米中有 5 个样品检出 ^{137}Cs ，针对以上样品进行 ^{90}Sr 放化分析，其测量值均在在本底波动范围内，后续将持续跟踪大米样品的 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 活度浓度波动情况；空心菜、豆角、香蕉中除天然核素 ^{226}Ra 外，

其余放射性核素测量值均小于探测限；肉类中，海尾羊肉检出 ^{137}Cs ，对其进行 ^{90}Sr 放化分析，测量结果均处于本底涨落范围内。生物样品中 ^{14}C 的活度浓度均处于本底涨落范围内；大米、羊肉中的自由 ^3H 和结合 ^3H 测量结果均小于探测限。

对海洋生物进行放射性核素分析，其测量值在本底涨落范围内；海尾石斑鱼检出 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr ，其测量值在本底涨落范围内。

指示生物中除天然放射性核素 ^{226}Ra 外，其余各放射性核素测量值均小于探测限。

综上，根据环境监测结果，2023 年厂址周围环境 γ 辐射剂量率及环境介质中放射性物质的含量均处在本底水平。总体来说，昌江核电厂 1、2 号机组的运行未引起核电厂周围环境辐射水平的明显变化。

1、大气环境保护目标

本项目位于昌江核电厂内，厂界（地产边界，下同）外 500 米范围内无自然保护区、风景名胜区、居住区、文化区，以及其他人群较集中的区域等大气环境保护目标。

2、声环境保护目标

本项目位于昌江核电厂内，厂界外 50 米范围内无声环境保护目标。

3、地下水环境保护目标

项目位于昌江核电厂内，厂界外 500 米范围内无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源。

4、生态环境

本项目位于昌江核电厂内，没有新增用地，不涉及生态环境保护目标。

环境保护目标

表 3-1 项目环境要素及环境保护目标

环境要素	保护目标	保护级别
大气环境	本项目厂界外500米范围内无大气环境保护目标	/
声环境	本项目厂界外50米范围内无声环境保护目标	/
地下水环境	本项目厂界外500米范围内无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源	/
生态环境	核电厂区外无新增用地，不涉及生态环境保护目标。	/

5、辐射环境保护目标

(1) 评价范围内人口

厂址半径 5km 范围涉及海尾镇 5 个行政村的 13 个自然村，共有常住人口 7480

人，户籍人口 7461 人。

厂址半径 15km 范围涉及昌江县海尾镇、十月田镇，儋州市海头镇三个镇在内的共 6 个社区、23 个行政村、1 个林场。常住人口共 75932 人，户籍人口共 75754 人。

厂址半径 80km 范围内涉及昌江黎族自治县、儋州市、东方市、白沙黎族自治县、临高县、五指山市、乐东黎族自治县，共计 7 个地级市、省直辖县、县级市区在内的共 41 个镇、9 个乡、1 个经济开发区、1 个林场、10 个农场。厂址半径 80km 范围内常住人口总人数为 1832895 人。

(2) 学校

半径 15km 范围内共有学校 23 所，其中中学 2 所，小学 14 所，幼儿园 7 所，共有学生 3936 人，住校生 631 人，教职工 513 人。其中距离厂址最近的是 S 方位 2.0km 处的昌江黎族自治县海尾镇海联小学，共有在校学生 33 人，教职工 10 人。

(3) 医院及敬老院

厂址半径 15km 范围内共有医院 3 家。其中距离最近的是 NE 方位 4.5km 处的昌江黎族自治县南罗卫生院，共有床位 2 张，医务人员 23 人。

厂址半径 15km 范围内仅有 1 所敬老院，为儋州市海头镇敬老院，位于海头镇那历村。位于厂址 NE 方位 7.6km 处，目前无人入住，无服务人员和管理人员。

(一) 质量标准

(1) 海水水质标准

根据《海水水质标准》(GB3097-1997)的要求,海水中放射性核素浓度限值如下:
 ^{60}Co : 0.03Bq/L, ^{90}Sr : 4.0Bq/L, ^{106}Ru : 0.2Bq/L, ^{134}Cs : 0.6Bq/L, ^{137}Cs : 0.7Bq/L。

(2) 环境空气质量标准

执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的二级标准。

(二) 排放标准

执行《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)中规定的放射性流出物排放量控制值,本项目实施后昌江核电厂 1、2 号机组运行状态下的放射性流出物排放量控制值如下:

表 3-2 昌江核电 1、2 号机组放射性流出物排放量控制值

	控制指标	GB6249-2011 规定的排放控制值*
放射性气态流出物	惰性气体 (Bq/a)	7.92E+14
	碘 (Bq/a)	2.64E+10
	粒子 (半衰期 $\geq 8\text{d}$) (Bq/a)	6.60E+10
	碳-14 (Bq/a)	9.24E+11
	氚 (Bq/a)	1.98E+13
放射性液态流出物	氚 (Bq/a)	9.90E+13
	碳-14 (Bq/a)	1.98E+11
	其余核素 (Bq/a)	6.60E+10

注: *按提升后的功率进行折算。

放射性液态流出物排放限值: 根据 GB6249-2011《核动力厂环境辐射防护规定》的相关规定,槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和碳-14 外其他放射性核素浓度不超过 1000Bq/L。

(三) 公众剂量约束值

运行状态:

整个昌江核电厂流出物排放所致公众的个人有效剂量执行《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)中“任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量,每年必须小于0.25mSv的剂量约束值”。其中1、2号机组的公众年剂量约束值为0.06mSv。

事故工况:

执行《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)关于设计基准事故的潜在照射后果的规定,具体如下:

在发生一次稀有事故时,非居住区边界上公众在事故后2h内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量控制在5mSv以下,甲状腺当量剂量控制在50mSv以下。

在发生一次极限事故时,非居住区边界上公众在事故后2h内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量控制在0.1Sv以下,甲状腺当量剂量控制在1Sv以下。

根据GB6249-2011,昌江核电厂所有机组流出物年排放量总量控制值见下表。

表 3-3 昌江核电厂放射性流出物排放量总量指标

控制指标		所有机组总量控制值 (Bq/a)
放射性气态流出物	惰性气体	2.40E+15
	碘	8.00E+10
	粒子 (半衰期≥8d)	2.00E+11
	碳-14	2.80E+12
	氚	6.00E+13
放射性液态流出物	氚	3.00E+14
	碳-14	6.00E+11
	其余核素	2.00E+11

总量控制指标

四、主要环境影响和保护措施

施工期环境保护措施	本次技改不涉及施工期。
运营期环境影响和保护措施	<p>4.1 放射性废物的处理及排放</p> <p>本项目不改变昌江核电厂 1、2 号机组原有三废处理及排放设施。本次评价采用的流出物排放源项计算方法与技改前保持一致。</p> <p>4.1.1 放射性废液的处理及排放</p> <p>4.1.1.1 废液系统</p> <p>放射性废液系统用于控制、收集、处理、输送、贮存、监测和排放核电厂正常运行期间（包括发生预计运行事件时）产生的放射性废液。废液管理系统由下列系统组成：</p> <ul style="list-style-type: none">—硼回收系统（TEP）；—废液处理系统（TEU）；—核岛液态流出物排放系统（TER）；—放射性废水回收系统（SRE）；—核岛疏水排气系统（RPE）。 <p>其它已被污染或可能被污染的废液由下列系统收集、处理或排放：</p> <ul style="list-style-type: none">—化学和容积控制系统（RCV）；—反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统（PTR）；—蒸汽发生器排污系统（APG）；—常规岛废液收集系统（SEK）；

—常规岛液态流出物排放系统（SEL）。

4.1.1.2 废液排放

排入环境的放射性废液主要来自：

- 硼回收系统（TEP），
- 废液处理系统（TEU），
- 二回路相关系统。

根据设计运行模式，针对以下两种运行工况和源项来考虑单台机组放射性液态流出物排放量：

—包括预期运行事件并允许计算在电站寿期内的平均释放的水平正常运行的工况（CaseA），这里称为“预期值”。

—反应堆在冷却剂最大活度下运行的工况（CaseB），该活度可以用于计算相关释放的水平，这里称为“设计值”。

两台机组废液排放量设计值等于一台机组排放量 CaseA+一台机组排放量 CaseB。

4.1.1.3 放射性液态流出物排放量

本项目通过对堆芯燃料管理策略的改进，从而实现昌江核电厂 1、2 号机组的堆芯功率提升。技改过程中不涉及对电厂运行工艺进行改变，也不对电厂现有的设备实施改造。经过对堆芯积存量、一回路源项、二回路源项及氚和碳-14 源项的分析，结果表明堆芯功率小幅提升后不会对正常运行工况下放射性液态流出物排放量设计值产生明显影响。

实施本项目后，1、2 号机组放射性液态流出物排放量设计值汇总及技改前排放量设计值见下表：

表 4.1-1 技改前后昌江核电厂 1、2 号机组放射性液态流出物排放量设计值略

技改后本项目氚的排放量较技改前约增加15%，碳-14的排放量较技改前约增加4%，其余核素排放量比技改前有所减少。氚源项的增加主要是由于堆芯中子学参数的变化及按照海南核电目前的采购技术规格书对计算参数⁷Li丰度的调整引起的。碳-14排放量的增加主要是由于堆芯中子学参数的变化引起的。技改后，放射性液态流出物各类核素的年排放量设计值均满足 GB6249-2011的控制值要求。

新申请值取值方法：液态流出物中的氚和碳-14申请值取技改后的设计值，其余核素取技改后设计值的90%。新的申请值见下表。

表 4.1-2 技改后 1、2 号机组放射性液态流出物排放量新的申请值
略

技改后，昌江核电厂1、2号机组槽式排放出口处的放射性液态流出物中除氚和 C-14外其他放射性核素浓度满足 GB6249-2011的要求“槽式排放出口处的放射性液态流出物中除氚和 C-14外其他放射性核素浓度不超过1000Bq/L”。

4.1.2 放射性废气的处理及排放

4.1.2.1 废气处理系统

昌江核电厂 1、2 号机组废气处理系统为两台机组共用，用于收集、贮存并处理两座反应堆正常运行工况和预计运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准及核电厂管理规范要求后排入大气。放射性废气分为含氢放射性废气和含氧放射性废气两大类。

放射性废气处理系统主要包括：

- 废气处理系统（TEG）；
- 厂房通风系统（HVAC）；
- 主冷凝器真空系统（CVI）。

4.1.2.2 废气排放

排入环境的放射性废气主要来自：

- 废气处理系统，
- 反应堆厂房通风系统，
- 核辅助厂房通风系统，
- 二回路系统。

根据设计运行模式，针对以下两种运行工况和源项来考虑单台机组放射性气态流出物排放量：

— 包括预期运行事件并允许计算在电站寿命期内的平均释放的水平正常运行的工况（Case A），这里称为“预期值”。

— 反应堆在冷却剂最大活度下运行的工况（Case B），该活度可以用于计算相关释放的水平，这里称为“设计值”。

两台机组放射性气态流出物排放量设计值等于一台机组排放量 CaseA+一台机组排放量 CaseB，见表 4.1-3。

4.1.2.3 放射性气态流出物排放量

本项目通过对堆芯燃料管理策略的改进，从而实现昌江核电厂 1、2 号机组的堆芯功率提升。技改过程中不涉及对电厂运行工艺进行改变，也不对电厂现有的设备实施改造。经过对堆芯积存量、一回路源项、二回路源项及氚和碳-14 源项的分析，结果表明堆芯功率小幅提升后不会对正常运行工况下放射性气态流出物排放量产生明显影响。

实施本项目后，1、2 号机组放射性气态流出物排放量设计值汇总及技改前排放量设计值见下表：

表 4.1-3 技改前后昌江核电厂 1、2 号机组放射性气态流出物排放量设计值
略

由上表可见，技改后本项目氚的排放量较技改前约增加15%，碳-14的排放量较技改前约增加4%，惰性气体排放量比技改前有所减少，碘和粒子的排放量与技改前相当。氚排放量的增加主要是由于堆芯中子学参数的变化及按照海南核电目前的采购技术规格书对计算参数⁷Li 丰度的调整引起的。碳-14排放量的增加主要是由于堆芯中子学参数的变化引起的。技改后，放射性气态流出物各类核素的年排放量设计值均满足 GB6249-2011的控制值要求。

本次排放量申请值取值方法：惰性气体申请值不变，气态流出物中的氚和碳-14申请值取技改后的设计值，碘和粒子取技改后设计值的90%。新的申请值见下表。

表 4.1-4 技改后 1、2 号机组放射性气态流出物排放量新的申请值
略

4.1.3 放射性固体废物处理系统

昌江核电厂的放射性固体废物处理系统(TES)由核辅助厂房（NX厂房）、废物处理辅助厂房（QS厂房）和放射性固体废物暂存库（QT库）三部分组成。固体废物处理过程主要在NX厂房和QS厂房内进行，处理包装完成后的钢桶运至QT库暂存。

（1）核辅助厂房（NX厂房）

NX厂房内的处理设施设备包括废树脂处理站、浓缩液和化学废液处理站、过滤器芯更换转运容器、装桶站，用于贮存和处理湿废物（废树脂、浓

缩液和化学废液)，处理放射性废过滤器芯及废物装桶。

(2) 废物处理辅助厂房 (QS 厂房)

QS 厂房具有处理五台机组产生的杂项干废物的能力。主要功能为：干废物的分拣、烘干、压实和装桶，以及干水泥贮存。

(3) 放射性固体废物暂存库 (QT 库)

考虑到昌江核电厂规划容量的要求，放射性固体废物暂存库 (QT 厂房) 的库容按五台机组5年产生的废物量进行设计。

QT 厂房贮存区分为废物桶贮存区以及贮存室；废物桶贮存区用于贮存表面剂量率 ≤ 2 mSv/h的废物桶以及轻微污染设备。贮存室用于贮存表面剂量率 > 2 mSv/h的水泥固化废物钢桶。此外还设置了轻微污染大尺寸废物贮存区，专门存放待解控废物。

放射性废物管理系统和源项详见附录B (略)。

4.2 运营期辐射环境影响评价

本节评价昌江核电厂 1、2 号机组升功率后正常运行时的辐射环境影响。正常运行的辐射环境影响计算结果详见附录 C (略)。

4.2.1 气态流出物的辐射环境影响

昌江核电厂 1、2 号机组正常运行时，放射性气态流出物主要通过核辅助厂房的烟囱排入大气，经大气扩散对核电厂周围的公众造成辐射影响。

(1) 排放源项

按照 HJ808-2016 的要求，在运行阶段，用于计算评价范围内的公众剂量的流出物排放量采用排放量申请值；在分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时源项采用流出物排放量的预期值。

(2) 照射途径

计算考虑的气态途径有：空气浸没外照射，地面沉积物外照射，吸入污染空气受到的内照射和食入污染食品受到的内照射。

(3) 评价模式及参数

本项目运行状态下，放射性气态流出物在大气中的扩散采用高斯烟羽模式计算，在大气弥散计算模式中，考虑了风摆效应、静风的分配、混合层高度以及建筑物尾流；同时考虑了放射性衰变及干、湿沉积在地表的累积、清除和转移。计算模式及参数见附录 G (略)。

计算气态途径剂量所用的模式及参数见附录 H (略)。惰性气体空气浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 其余核素的空气浸没外照射剂量转换因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告, 食入、吸入内照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 地表沉积剂量转换因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告, 各核素的转移系数和浓集因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告中的数据。居民食谱、生活习性数据、人口分布数据采用中核第四研究设计工程有限公司于 2024 年 4 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围人口和人口分布及食谱调查和统计报告》中的数据。其中人口分布数据以 1、2 号机组烟囱为中心进行了调整。

(4) 剂量估算

①大气弥散因子及地面沉积因子

大气弥散因子及地面沉积因子采用昌江核电厂厂址气象站 2022 年 3 月~2024 年 2 月两整年逐时气象数据计算。厂址气象铁塔 10m 梯度的风向、风速、稳定度三维联合频率见附录 C 中的表 C.1-2 (略)。气象铁塔 70m 梯度的风向、风速、稳定度三维联合频率见附录 C 中的表 C.1-3 (略)。气象铁塔 70m 梯度的风向、风速、稳定度、降雨量四维联合频率, 分别见附录 C 中的表 C.1-4 (略) 及表 C.1-5 (略)。

根据厂址气象站 2022 年 3 月~2024 年 2 月气象数据计算得到厂址半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ^{137}Cs 、 ^{131}I 和 ^{85}Kr 的年均大气弥散因子详见附录 C 中的表 C.1-6 (略); 代表性放射性核素 ^{131}I 和 ^{137}Cs 的地面沉积因子详见附录 C 中的表 C.1-7 (略)。

②剂量估算结果

基于饮食、生活习性以及剂量转换因子的不同, 将一般公众分为四个年龄组, 即成人组 (17 岁以上)、青少年组 (7-17 岁 (含 17 岁))、儿童组 (1-7 岁 (含 7 岁)) 和婴儿组 (≤ 1 岁), 分别对厂址 80km 范围内各方位各距离所在子区的上述年龄组的个人年有效剂量进行估算。

经计算得到的昌江核电厂 1、2 号机组运行状态下放射性气态流出物对各年龄组、各子区公众个人所造成的年有效剂量见附录 C 中的表 C.1-8 (略)。由表 C.1-8 可知, 本项目实施后, 昌江核电厂 1、2 号机组气态途径释放的放

放射性核素对有人居住子区的成人、青少年、儿童和婴儿组造成的最大个人有效剂量分别为 $9.50 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $1.24 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 、 $1.09 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 和 $8.67 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，位于 SW 方位 1~2km 处。

实施本项目后，昌江核电厂1、2号机组气态途径释放的放射性核素所致评价范围内公众的集体剂量为 $1.24 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 。

4.2.2 液态流出物的辐射环境影响

(1) 排放源项

按照 HJ808-2016 的要求，在运行阶段，用于计算评价范围内的公众剂量的流出物排放源项采用排放量申请值，在分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时源项采用流出物排放源项的预期值。

(2) 照射途径

本项目在运行状态下，放射性液态流出物排放到北部湾，在其稀释和扩散的过程中，对公众的照射途径包括：食入海生生物造成的内照射、岸边沉积造成的外照射、在海域中游泳和从事水上作业时受到的外照射。

昌江核电厂为滨海厂址，海水不作为农业灌溉和人畜饮用水，因此对饮用水和灌溉的照射途径不予考虑。

(3) 评价模式及参数

海水稀释因子取自中国水利水电科学研究院于 2019 年 5 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组液态流出物排放数值模拟补充研究报告》，其中对 1、2 号机组液态流出物排放进行了补充研究，本报告选择最不利潮型——冬季小潮下的稀释因子进行剂量估算。详见附录 C 中的表 C.2-3（略）。

液态途径对公众所致有效剂量的计算模式及参数见附录 I（略）。食入有效剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），地表沉积剂量转化因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告，水中浸没剂量转化因子取自美国联邦导则 12 号报告（1993），沉积吸附分配系数 K_d 取自 IAEA 安全丛书 19 号报告，海产品浓集因子 B_p 取自 IAEA 安全丛书 422 号报告。

(4) 剂量估算

由于膳食、生活习性以及剂量转换因子的不同，将公众个人分为四个年龄组，即成人组（17 岁以上）、青少年组（7-17 岁（含 17 岁））、儿童组（1-7 岁（含 7 岁））和婴儿组（ ≤ 1 岁）。

经计算得到的昌江核电厂 1、2 号机组运行状态下放射性液态流出物对各年龄组、各子区公众个人所造成的有效剂量见附录 C 中的表 C.2-2（略）。由表 C.2-2 可知，实施本项目后，昌江核电厂 1、2 号机组液态途径释放的放射性核素对成人、青少年、儿童和婴儿造成的个人最大有效剂量分别为 $2.33 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 、 $3.46 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 、 $2.83 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 和 $1.74 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 。

实施本项目后，昌江核电厂 1、2 号机组液态途径释放的放射性核素所致评价范围内公众的集体剂量均为 $3.27 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 。

（5）海水水质评价

昌江核电厂 1、2 号机组共用一套低放废液排放系统，低放废液年排放量为 58000m^3 ，间歇排放时单台有效容积 500m^3 的贮槽排空时间保守假设为 3.3h，2 台机组的冷却循环水流量为 $81.6 \text{m}^3/\text{s}$ 。按间歇排放方式计算得到总排放口处循环冷却水内的放射性核素浓度见附录 C 中的表 C.2-4（略）。表 C.2-4 同时给出了昌江核电厂 1、2 号机组运行前放射性环境本底调查对排放海域内的海水放射性浓度监测结果。

由表 C.2-4 可知，实施本项目后，排放海域内放射性本底与 1、2 号机组低放废水排放所致海水浓度叠加后，海水中各核素的浓度为 ^{60}Co : $1.62 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ， ^{90}Sr : $2.07 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ ， ^{106}Ru : $1.16 \times 10^{-5} \text{Bq/L}$ ， ^{134}Cs : $3.23 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ， ^{137}Cs : $3.35 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ，因此即使考虑叠加，排放口处海水中放射性核素的浓度也符合 GB3097-1997 中相应指标要求（ ^{60}Co : 0.03Bq/L ， ^{90}Sr : 4.0Bq/L ， ^{106}Ru : 0.2Bq/L ， ^{134}Cs : 0.6Bq/L ， ^{137}Cs : 0.7Bq/L ）。

4.2.3 年辐射剂量汇总及分析

将昌江核电厂 1、2 号机组气、液态途径释放的放射性核素对厂址半径 80km 范围内各年龄组、各子区公众个人所致的有效剂量叠加后的结果见附录 C 中的表 C.3-1（略）。由表 C.3-1 可知，实施本项目后，厂址半径 80km 范围内最大个人有效剂量出现在 SW 方位（以 1、2 号机组烟囱为中心）1-2km 处，此处居住的是马地村的村民，各年龄组（成人、青少年、儿童和婴儿）受到的个人最大有效剂量分别为 $3.28 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 、 $4.70 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 、 $3.93 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 和 $2.61 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，小于昌江核电厂 1、2 号机组所致公众个人有效剂量约束值 0.06mSv/a 。昌江核电厂 1、2 号机组气、液态途径释放的放射性核素所致评价范围内公众的集体剂量为 $4.51 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 。

采用预期值源项计算的公众辐射影响“三关键”情况如下：

关键居民组为本项目厂址 SW 方位 1-2km 处的马地村的青少年组，昌江核电厂 1、2 号机组各途径、各核素对关键居民组剂量的贡献见附录 C 中的表 C.3-2（略），由表 C.3-2 可见，关键人群组受到的最大个人年有效剂量为 $3.36 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ；关键途径为食入海产品造成的内照射，其所致剂量为 $2.99 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，约占总剂量的 88.96%；其次为食入农牧产品造成的内照射，其所致剂量为 $2.03 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，约占总剂量的 6.04%。各核素中的关键核素为 ^{14}C ，其所致剂量为 $1.59 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，约占总剂量的 47.23%；其次为 ^{131}I ，其所致剂量为 $6.13 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占总剂量的 18.25%。

4.2.4 本项目对非人类生物的辐射影响

本节主要估算昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时，由于气、放射性液态流出物的排放，所致周围环境中非人类生物的辐射剂量水平。根据 HJ808-2016 的规定，采用排放量申请值进行评价。

（1）排放源项

按照 HJ808-2016 的要求，在运行阶段，用于计算评价范围内的非人类生物的辐射剂量水平的流出物排放源项采用排放量申请值。

（2）照射途径

非人类生物受照途径包括内照射和外照射。其中水生生物外照射分为水体照射和底泥照射，内照射主要来源于食入照射。陆生生物外照射来源于空气和土壤中放射性物质的外照射，内照射主要来源于食入照射。

（3）评价模式及参数

非人类生物所受的辐射剂量采用 ERICA 程序计算。ERICA 程序根据生物所在的栖息环境设置了不同的代表性生物作为参考生物。本次评价根据本项目厂址所在区域代表性生物的具体情况，选择了底栖软体动物、甲壳类动物、大型藻类、浅水鱼、深水鱼、浮游植物、浮游动物、多毛纲动物蠕虫、珊瑚虫、珊瑚虫群落共 10 类水生生物，以及两栖动物、环节动物、食腐类节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘穴类哺乳动物、腹足纲软体动物、爬行动物、灌木、乔木 13 类陆生生物进行计算。计算模式见附录 K（略）。

计算中各元素对应的分配系数采用 IAEA19 号报告中的值，浓集比采用

IAEA422号报告中的值以及 ERICA 程序推荐值。

(4) 水生生物辐射影响评价

昌江核电站1、2号两台机组正常运行时，评价范围海域中10类生物所受的最大剂量率见附录 C 中的表 C.4-1（略）。由表 C.4-1可见，在评价范围内10类生物中多毛纲动物蠕虫受到的剂量率最大，为 $5.33 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。对多毛纲动物蠕虫剂量率贡献最大的核素为 ^{58}Co ，该核素对多毛纲动物蠕虫造成的剂量率为 $2.87 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。昌江核电站1、2号两台机组正常运行时，评价范围海域中各类水生生物所受的总剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值（ $10 \mu\text{Gy/h}$ ），因此昌江核电站1、2号两台机组正常运行时放射性液态流出物排放对评价范围内水生生物影响较小。

(5) 陆生生物辐射影响评价

昌江核电站1、2号两台机组正常运行时，评价范围内陆域13类生物所受的最大剂量率见附录 C 中的表 C.4-2（略）。由表 C.4-2可见，在评价范围内13类生物中大型哺乳动物受到的剂量率最大，为 $5.35 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ 。对大型哺乳动物剂量率贡献最大的核素为 ^3H ，该核素对大型哺乳动物造成的剂量率为 $3.50 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ 。昌江核电站1、2号两台机组正常运行时，评价范围内各类陆生生物所受的总剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值（ $10 \mu\text{Gy/h}$ ），因此昌江核电站1、2号两台机组正常运行时放射性气态流出物排放对评价范围内陆生生物影响较小。

4.2.5 运营期非放射性环境影响

本次技改不改变核电站总的工艺流程，仅通过改变堆芯燃料管理策略实现堆芯功率提升，不会造成非放射性污染物排放量发生变化，不改变非放射性环境影响。

本项目实施后，反应堆额定热功率由 1930MW 提升至 1980MW，约提升了 2.59%，冷却水量不变，则冷却水水温增加约为 0.3°C ，与环境水温相比，该增量较小，造成环境影响的变化较小。

4.3 事故工况下的辐射环境影响

在昌江核电站 1、2 号机组堆芯功率提升论证项目中主要分析了以下各类假想事故的放射性后果，包括：失水事故、弹棒事故、主蒸汽管道断裂（MSLB）事故、蒸汽发生器传热管破裂（SGTR）事故、蒸汽发生器传热管

破裂叠加安全阀卡开事故、最终热阱完全丧失事故、MSLB 叠加 SGTR 事故、放射性废气系统破损事故、假想的贮液罐破损事故、安全壳外载有一回路冷却剂的管道破损事故、燃料操作事故等。

4.3.1 设计基准事故描述及源项

各设计基准事故描述及源项详见附录D（略）。

4.3.2 事故放射性后果计算模式

事故工况下的大气弥散因子计算采用PAVAN程序。由于事故时的释放高度小于相邻建筑物高度的2.5倍，按照RG1.145的规定，采用地面释放模式。三维联合频率根据厂址气象站2022年3月~2024年2月10m高度的逐时气象数据统计，大气扩散参数采用厂址大气扩散试验结果。根据HJ808-2016的规定，事故大气弥散因子保守值取各方位99.5%概率水平和全厂址95%概率水平中的最大值，事故大气弥散因子现实值取全厂址50%概率水平大气弥散因子。事故工况大气弥散因子见附录D中的表D.2-1（略）。

事故工况下的剂量计算考虑空气浸没外照射、地面沉积外照射以及吸入内照射三个途径。事故大气弥散及剂量计算模式及参数见附录 J（略）。

4.3.3 事故放射性结果及评价

各事故放射性后果最大值见下表。

表 4.3-1 各事故放射性后果最大值

单位：Sv

事故名称		0h-2h, 500m		0d-30d, 5000m	
		有效剂量	甲状腺当量剂量	有效剂量	甲状腺当量剂量
稀有事故	SGTR 事故	1.32E-03	2.59E-02	9.29E-05	1.82E-03
	贮液罐破损事故	7.86E-04	5.73E-04	5.52E-05	4.02E-05
	放射性废气系统破损	1.46E-03	3.51E-04	1.02E-04	2.46E-05
	小管道破损事故	1.37E-03	2.45E-02	9.64E-05	1.72E-03
极限事故	失水事故	2.03E-03	3.18E-02	8.67E-04	1.60E-02
	弹棒事故	2.93E-02	5.25E-01	5.28E-03	9.82E-02
	MSLB 事故	3.09E-04	5.78E-03	2.38E-05	4.35E-04
	卡轴事故	7.22E-04	6.91E-03	2.00E-04	2.76E-03
	SGTR+SVSO 事故	2.56E-03	4.88E-02	5.35E-04	1.05E-02
	SGTR 叠加 MSLB 事故	1.39E-02	2.72E-01	9.76E-04	1.91E-02
	最终热阱丧失事故	2.54E-06	2.69E-05	2.05E-05	4.05E-04
燃料操作事故	7.64E-03	9.11E-02	5.40E-04	6.39E-03	

根据 GB6249-2011《核动力厂环境辐射防护规定》中规定：在发生一次

稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后2h内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在5mSv以下，甲状腺当量剂量应控制在50mSv以下；在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后2h内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在0.1Sv以下，甲状腺当量剂量应控制在1Sv以下。以上各种事故中，SGTR事故、贮液罐破损事故、放射性废气系统破损以及安全壳外载有一回路冷却剂的小管道破损事故属III类工况，应满足稀有事故的限值；其余各事故均属IV类工况，应满足极限事故的限值。

由计算结果可以得到：在各类极限事故中，放射性后果最严重的是弹棒事故。在一系列的保守假设下，该事故导致在非居住区边界上公众在事故后2h内可能受到的最大有效剂量为 2.93×10^{-2} Sv，甲状腺当量剂量为 5.25×10^{-1} Sv；导致规划限制区外边界上公众中任何个人在整个事故持续时间内可能受到的最大有效剂量 5.28×10^{-3} Sv，甲状腺当量剂量为 9.82×10^{-2} Sv。

在各类稀有事故中，放射性后果最严重的是放射性废气系统破损事故与SGTR事故，其中个人有效剂量最大的是放射性废气系统破损事故，甲状腺当量剂量最大的是SGTR事故。在一系列的保守假设下，放射性废气系统破损事故导致在非居住区边界上公众在事故后2h内可能受到的最大有效剂量为 1.46×10^{-3} Sv，SGTR事故导致在非居住区边界上公众在事故后2h内可能受到的最大甲状腺当量剂量为 2.59×10^{-2} Sv；放射性废气系统破损事故导致规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的最大有效剂量为 1.02×10^{-4} Sv，SGTR事故导致规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到最大甲状腺当量剂量为 1.82×10^{-3} Sv。

综上所述，极限事故和稀有事故的放射性后果均低于GB6249-2011中规定的剂量控制值。因此，昌江核电厂1、2号机组堆芯功率提升实施后设计基准事故的环境影响满足GB6249-2011的要求。

五、环境保护措施监督检查清单

内容要素	排放口（编号、名称）/污染源	污染物项目	环境保护措施	执行标准*
大气环境	烟囱	惰性气体、碘、粒子、碳-14、氙	不发生变化，即：含氢废气在废气处理系统衰变箱内衰变、含氧废气经碘吸附器过滤，然后经取样分析和审批之后，通过核辅助厂房通风系统的预过滤器、高效空气粒子过滤器过滤后从烟囱排放；反应堆厂房、核辅助厂房扫气通过预过滤器、高效空气粒子过滤器过滤后从烟囱排放，排放时连续监测。	略
地表水环境	排放槽	碳-14、氙等核素	不发生变化，即：废液系统对其进行收集、暂存、输送、处理（蒸发净化、除盐净化、过滤净化）和排放，且排放前经取样分析和审批，排放时连续监测。	略； 除氙和 C-14 外其他放射性核素浓度：1000Bq/L
声环境	不发生变化			
电磁辐射	不涉及			
固体废物	不发生变化，即： 固体废物系统对固体废物进行分拣、处理、封装和暂存，且制定和执行严格的废物管理程序。 处理措施如下： 湿固体废物：水泥固化； 废过滤器芯：水泥固定（表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ ）；装桶暂存（表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ）。 杂项干固体废物：水泥固定（表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ ）；可压缩废物（表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ）经压缩处理；不可压缩废物（表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ）装桶暂存。			
土壤及地下水污染防治措施	不涉及			
生态保护措施	不涉及			
环境风险防范措施	不发生变化			
其他环境管理要求	不发生变化			

*注：本项目实施后的新申请值。

六、结论

一、建设项目概况

本项目拟对昌江核电厂1、2号机组实施堆芯功率提升改造，将反应堆额定热功率由1930MW提升至1980MW。本次技改仅是通过对堆芯燃料管理策略的改进，从而实现堆芯功率提升，不对电厂现有的设备实施改造，不改变电厂运行工艺。

二、“三线一单”符合性分析

本项目厂址不占用生态保护红线，本项目的实施未超出环境质量底线及资源利用上线、未列入环境准入负面清单内，符合《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150号）要求。

三、环保措施有效性分析

昌江核电厂1、2号机组自运行以来，各核电机组运行正常，废气、废液和固体废物处理系统的处理性能满足设计要求，流出物排放控制有效，年排放量远低于国家批准排放量，无遗留环境问题。

本次技改不改变昌江核电厂原有三废处理、排放设施，原三废处理、排放设施运行状况良好，能够满足技改后放射性废物处理、排放的需要。

昌江核电厂1、2号机组在本次技改实施后的放射性流出物排放量设计目标值低于GB6249-2011 所规定的排放量控制值。

核电厂1、2号机组槽式排放出口处的放射性液态流出物中除氚和碳-14外其他放射性核素浓度小于1000Bq/L，满足GB6249-2011的要求。

四、环境影响分析

(1) 运行状态下环境影响分析

实施本项目后，评价范围内各年龄组（成人、青少年、儿童和婴儿）受到的最大个人有效剂量分别为 3.28×10^{-6} Sv/a、 4.70×10^{-6} Sv/a、 3.93×10^{-6} Sv/a 和 2.61×10^{-6} Sv/a。小于昌江核电厂1、2号机组所致公众个人有效剂量约束值0.06mSv/a。气、液态途径释放的放射性核素所致评价范围内公众的集体剂量为 4.51×10^{-2} 人·Sv/a。因此，昌江核电厂1、2号机组正常运行时放射性流出物排放对评价范围内公众影响较小。

关键居民组为厂址 SW 方位1-2km 处的马地村的青少年组，关键人群组受到的最大个人年有效剂量为 3.36×10^{-6} Sv/a；关键途径为食入海产品造成的内照射，关键

核素为 ^{14}C 。

实施本项目后，即使叠加排放海域内海水放射性本底值，1、2号机组低放废水排放口处海水中放射性核素的浓度也符合 GB3097-1997中相应指标要求。

实施本项目后，评价范围内各类水生生物所受的最大剂量率为 $5.33\times 10^{-2}\mu\text{Gy/h}$ ，各类陆生生物所受的最大剂量率为 $5.35\times 10^{-4}\mu\text{Gy/h}$ ，均小于 ERICA 推荐的筛选值（ $10\mu\text{Gy/h}$ ）。因此，昌江核电站1、2号机组正常运行时放射性流出物排放对评价范围内非人类生物影响较小。

（2）事故工况下环境影响分析

在本项目的事故工况辐射影响评价中，考虑了 12 个设计基准事故，事故后果预测结果表明，极限事故和稀有事故的放射性后果均低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）中规定的剂量控制值，放射性后果是可以接受的。

五、评价结论

昌江核电站 1、2 号机组堆芯功率提升项目实施后，在堆芯装载方案存在微小变化而电厂主辅系统设备不变的前提下，根据放射性流出物排放量对环境影响的分析结果来看，其对环境的影响较小。在昌江核电站现行的三废控制措施及管理制度下，正常运行状态及事故工况下对电厂周围公众和非人类生物的辐射影响均满足国家相关标准的要求。从环境保护角度考虑，本项目的实施是可行的。

建设项目污染物排放量汇总表

分类 \ 项目	污染物名称	现有工程 排放量（固体废物 产生量）①	现有工程 许可排放量 ②	在建工程 排放量（固体废物 产生量）③	本项目 排放量（固体废物 产生量）④	以新带老削减量 （新建项目不填）⑤	本项目建成后 全厂排放量（固体废物产 生量）⑥	变化量 ⑦
废气（Bq/a）	惰性气体	略	略	/	/	/	略	/
	碘			/	/	/		/
	粒子（半衰期 ≥8d）			/	/	/		/
	碳-14			/	/	/		/
	氡			/	/	/		/
废水	粒子（半衰期 ≥8d）	略	略	/	/	/	略	/
	碳-14			/	/	/		/
	氡			/	/	/		/
一般工业 固体废物	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/
危险废物	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/

注：⑥=①+③+④-⑤；⑦=⑥-①