

附件 3

《黄金行业氰渣污染控制技术规范 (征求意见稿)》编制说明

《黄金行业氰渣污染控制技术规范》编制组
二〇一七年十月

项目名称：黄金行业氰渣污染控制技术规范

承担单位：中国黄金协会、中国环境科学研究院、长春黄金研究院

环境保护部标准所技术管理负责人：李琴、王海燕

目 录

1	背景	5
1.1	任务来源	5
1.2	工作过程	5
2	标准制订的基本情况	6
2.1	制订的主要内容	6
2.2	法律地位与作用	6
3	国内外氰渣环境管理现状	6
3.1	氰渣主要环境危害	6
3.1.1	氰化物对人的毒性	7
3.1.2	氰化物对牲畜的毒性	8
3.1.3	氰化物对水生物的毒害	8
3.1.4	氰化物对植物的作用	8
3.2	国外氰渣环境管理	8
3.2.1	美国	8
3.2.2	欧盟	10
3.2.3	德国	14
3.2.4	澳大利亚	15
3.2.5	国际氰化物管理协会-金矿验收标准	16
3.3	国内氰渣环境管理	16
3.3.1	国内矿山固体废物管理	16
3.3.2	黄金行业氰渣产生概况	18
3.3.3	国内氰渣环境管理	23
4	本标准制订的必要性分析	24
4.1	固体废物精细化管理需求	24
4.2	标准制订目标	24
5	标准主要技术内容	25
5.1	适用范围	25
5.2	规范性引用文件	25
5.3	术语和定义	25
5.4	氰渣利用和处理处置技术	27
5.5	氰渣环境管理一般技术要求	27
5.6	氰渣运输污染控制技术要求	28
5.7	氰渣尾矿库处置污染控制技术要求	28
5.8	氰渣堆浸处置污染控制技术要求	39
5.9	氰渣利用污染控制技术要求	40
5.10	环境应急与风险防控	50
5.11	监测要求	50
6	与国外主要标准的比较	51
6.1	尾矿处置要求比较	51

6.2 尾矿处置污染物控制限值比较.....	51
7 制订标准后的技术经济和环境效益分析.....	52
7.1 经济效益分析.....	52
7.1.1 氰渣运输.....	52
7.1.2 氰渣尾矿库处置.....	53
7.1.3 氰渣回填利用.....	53
7.1.4 综合利用.....	53
7.2 环境效益分析.....	55

1 背景

1.1 任务来源

氰化提金工艺已有 100 多年的历史，因工艺简单、金回收率高等优点在当前黄金工业中占据主导地位，同时，黄金品位低，尾渣产率几乎为 100%，据统计，全国黄金行业每年氰化尾渣产生量约 0.8~1.0 亿吨。2016 年 6 月，《国家危险废物名录》(2016 版)(以下简称《名录》)发布，将“采用氰化物进行黄金选矿过程中产生的氰化尾渣”纳入《名录》进行管理。鉴于黄金在维护国家经济安全、金融稳定方面的重要作用，黄金行业产值小、氰化尾渣产生量大等特点，为加强黄金行业氰渣的环境管理，有效防范环境风险，环境保护部土壤环境管理司于 2017 年 2 月 23 日同意由中国黄金协会组织开展《黄金行业含氰废渣污染控制技术规范》研究，编制组成员包括中国环境科学研究院和长春黄金研究院等。由于黄金行业氰渣环境管理亟待加强，《黄金行业含氰废渣污染控制技术规范》的编制也被列入《国家环境保护标准“十三五”发展规划》“绿色通道”中。

1.2 工作过程

项目组成立后，按照方案开展各项工作，对国外氰渣管理进行了系统研究分析，包括美国、加拿大、澳大利亚、德国等主要产金国家有关氰渣的管理要求。在对国内外氰渣管理进行系统研究的基础上，选取了国内典型企业进行了现场调查和污染特性调查，取得大量第一手资料，并编制完成了《黄金行业氰渣利用与处置污染控制技术规范》及其编制说明。主要工作过程如下：

2017 年 2 月~7 月，项目组开展对吉林、山东、内蒙、甘肃、福建等 10 余家典型黄金采选厂家现场调研，结合采样分析，掌握我国黄金行业氰渣产生现状和污染特性；

2017 年 4 月~7 月，项目组通过专家咨询、国际交流、企业随访等形式，结合现场调研结果起草了《黄金行业氰渣利用与处置污染控制技术规范》(草案)及其编制说明；

2017 年 8 月，中国黄金协会在山东组织召开了《黄金行业氰渣利用与处置污染控制技术规范》(草案)现场交流研讨，参会的企业包括行业专家、环保专家及国内各大黄金集团；

2017 年 9 月 6 日，中国黄金协会在北京组织召开了《黄金行业氰渣利用与处置污染控制技术规范》(草案)专家技术审查会，通过了规范草案，项目组修改完善后完成了《黄金行业氰渣利用与处置污染控制技术规范》(征求意见稿)。

2017 年 9 月 30 日，环境保护部在北京组织召开了《黄金行业氰渣利用与处置污染控制技术规范》(征求意见稿)专家技术审查会，专家一致同意通过该标准征求意见稿的技术审

查。项目组根据专家意见修改完善标准文本，并根据专家意见将标准名称统一修改为《黄金行业氰渣污染控制技术规范》。

2 标准制订的基本情况

2.1 制订的主要内容

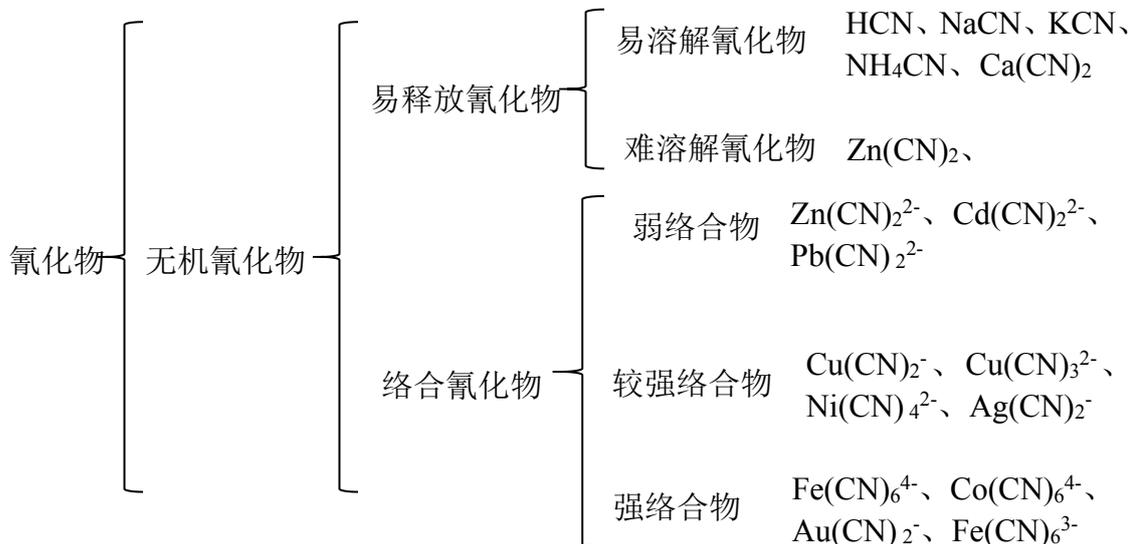
有效防范氰渣的环境污染事件发生，加强黄金行业氰渣的环境管理是我国黄金行业面临的重要环境问题之一。《黄金行业氰渣污染控制技术规范》针对不同类型的氰渣在贮存、运输、脱氰处理、处置和利用过程中的污染控制及环境监管提出要求。本标准适用于黄金行业氰渣在贮存、运输、脱氰处理、处置和利用过程中的污染控制管理以及与黄金行业氰渣有关项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、清洁生产审核等。

2.2 法律地位与作用

《黄金行业氰渣污染控制技术规范》是我国第一个针对黄金行业氰渣加强环境管理的环境保护标准，对氰渣在贮存、运输、脱氰处理、处置和利用过程中的污染控制提出相关技术要求。该标准的实施，为将来规范我国黄金行业氰渣全过程环境管理，防治环境污染起到关键作用。

3 国内外氰渣环境管理现状

3.1 氰渣主要环境危害



氰渣的危害主要是其中的无机氰化物造成的生态危害，按其性质与组成又把它分成两种，即易释放氰化物和络合氰化物。

易释放氰化物包括氢氰酸、碱金属、碱土金属和铵的氰化物。例如氰化钾、氰化钠、氰

化钙、氰化铵均属简单氰化物。

3.1.1 氰化物对人的毒性

氰化物对温血动物和人的危害较大，特点是毒性大、作用快。CN⁻进入人体后便生成氰化氢，它的作用极为迅速，在含有很低浓度（0.005mg/L）氰化氢空气中，很短时间内就会引起人头痛、不适、心悸等症状；在高浓度（>0.1mg/L）氰化氢的空气中能使人在很短的时间内死亡；在中等浓度时2~3 min内就会出现初期症状，大多数情况下，在1 h内死亡。氰化氢对人的吸入毒性见表3.1。

表 3.1 氰化氢对人体的吸入毒性（mg/L）

暴露时间（s）	伤害浓度	半致死浓度	致死浓度
3	-	-	15
15	1.5~2.0	2.5~2.75	3.0~3.5
30	0.5	1.0~1.5	2.5
60	0.4~0.5	0.7	1.5
120	0.25~0.3	0.5	0.7
300	0.15	0.2~0.3	0.4~0.5
900	0.1	0.15~0.2	0.3

氰化物刺激皮肤并能通过皮肤吸收，亦有生命危险。在高温下，特别是和刺激性气体混合而使皮肤血管扩张时，容易吸收HCN，所以更危险。氰化物对人的致死量从中毒病人的临床资料看，氰化钠的平均致死量为150 mg、氰化钾200 mg、氰化氢100 mg左右。人一次服氢氰酸和氰化物的平均致死量为50~60mg或0.7~3.5 mg/kg体重。

表 3.2 氰化物对人的毒性

毒剂名称	中毒途径	致死剂量（mg）
氰化氢	口服	50~100
氰化钾	口服	200~250

氰化物毒性的主要机理是CN⁻进入人体后便生成氰化氢，氰化氢能迅速地被血浆吸收和输送，它能与铁、铜、硫以及某些化合物中（在生存过程起重要作用）的关键成分相结合，抑制细胞色素氧化酶，使之不能吸收血液中的溶液氧，当这些酶不起作用时，就会导致细胞窒息和死亡。由于高级动物的中枢神经系统需氧量最大，因而它受到的影响也最大，当供氧受到阻碍时，就会引起身体各主要器官活动停止和机体的死亡。

3.1.2 氰化物对牲畜的毒性

动物对氰化物急性中毒症状为最初呼吸兴奋，经过麻痹、昏迷不醒、痉挛、窒息最后死亡。狗、猫和猴则是有规律性呕吐。据介绍，牛一次摄入氰化物的致死量为 0.39~0.92 g，羊为 0.04~0.10 g，马为 0.39 g，狗为 0.03~0.04 g。牲畜因吸入氰化氢气体中毒或死亡的事例较少，而由于摄入含氰废水中毒死亡的事件相对较多，其原因主要是含氰废水因跑、冒、滴、漏或超标排放，流入河流或低洼地方形成积水，牛、羊等牲畜饮此水导致中毒死亡。

3.1.3 氰化物对水生物的毒害

氰化物对水生生物的毒性很大。当氰离子浓度为 0.02~1.0mg/L 时（24h 内），就会使鱼类致死。氰化物对鱼类的毒性与环境有关，这是因为氰化物的毒性主要是氢氰酸的形成而产生的。因此，pH 值的变化能影响毒性，在碱性条件下氰化物的毒性较弱，而 pH 值低于 6 时则毒性增大。另外，水中溶解氧的浓度也能影响氰化物的毒性。为了防止中毒，国家规定渔业水体总氰化物浓度不得超过 0.005 mg/L。

氰化物对其他水生物也有很大毒性。如氰化物浓度为 3.4 mg/L 时，48h 水蚤亚目致死；浮游生物和甲壳类对水中的氰化物的最大容许浓度为 0.01 mg/L。

水中微生物可破坏低浓度（<2mg/L）的氰化物，使其成为无毒的简单物质，但要消耗水中溶解的氧，使生化需氧量减少，消化作用降低，还会产生一系列的水质问题。

3.1.4 氰化物对植物的作用

灌溉水中氰化物的浓度在 1 mg/L 以下时，小麦、水稻生长发育正常；浓度为 10 mg/L 时水稻开始受害，产量为对照组的 78%，小麦受害不明显；浓度为 50 mg/L 时，水稻和小麦都明显受害，但水稻受害更为严重，产量仅为对照组的 34.7%，小麦为对照组的 63%。水培时氰化物含量为 1 mg/L 时，水稻生长发育开始受到影响；浓度在 10 mg/L 时，水稻生长明显受到抑制，产量比对照组低 50%；在 50 mg/L 时，大部分受害致死，少数残存植株已不能结果实。含氰废水污染严重的土地，果树产量降低，果实变小。另外，用含氰废水灌溉水稻、小麦和果树时，其果实中会含有一定量氰化物。

3.2 国外氰渣环境管理

3.2.1 美国

《资源保护回收法（RCRA）》是美国固体废物管理的基础性法律。主要阐述由国会决定的固体废物管理的各项纲要，RCRA 有众多的章节和小章节、条款以及相当多的附录。

RCRA 建立了美国固体废物管理体系。这一法律分成三部分，分别对固体废物、危险废物和危险废物地下贮存库的管理提出要求。

RCRA 的规定包含在美国联邦法典 CFR40 部分(环境保护)第 239 到 282 节。早在 1986 年之前，金、银矿山采选过程中产生的氰渣仍属于危险废物，但是 EPA 经过评估最终在 CFR40 PART261-危险废物识别与名录中，将“从提取、选矿固体废物、矿石和矿物加工，除§266.112 本章提供的设施或处理危险废物焚烧产生的废物”从危险废物中排除，同时还排除了 20 种从矿石和矿物选矿过程中产生的固体废物：

- 1) 初级铜加工炉渣；
- 2) 初级铅处理炉渣；
- 3) 红褐色的泥浆从铝土矿提炼；
- 4) 磷酸生产中的磷石膏；
- 5) 元素磷生产炉渣；
- 6) 煤气化炉气化灰；
- 7) 煤气化工艺废水；
- 8) 硫酸钙废水处理厂一次铜处理污泥；
- 9) 初级铜加工炉渣尾矿；
- 10) 氢氟酸生产氟石膏；
- 11) 氢氟酸生产过程废水；
- 12) 空气污染管制高炉铁尘/污泥；
- 13) 高炉铁矿渣；
- 14) 铬矿石焙烧/浸出处理渣；
- 15) 用无水法处理初级镁加工废水；
- 16) 磷酸生产过程废水；
- 17) 碱性氧炉和平炉空气污染控制碳钢粉尘/污泥；
- 18) 碱性氧炉和平炉钢渣生产；
- 19) 氯化钛生产四氯化钛废料；
- 20) 初级锌加工炉渣。

矿石和矿物选矿过程限于下列活动：粉碎；洗涤；溶出度；结晶；过滤；排序；上浆；干燥；烧结；球团；成型；煅烧除去水和/或二氧化碳；焙烧、高压灭菌，在制备和/或氯化浸出（除焙烧（和/或高压灭菌和/或氯化）/浸序列产生的最终或中间不接受进一步的选矿或

加工产品)；重选；磁分离；静电分离；浮选；离子交换；溶剂萃取；电解；沉淀；融合；堆浸、缸、贮蓄塘、原地浸出。

据估算，美国每年黄金行业产生的矿山废物约 6800 万 m^3 ，根据美国 EPA CFR40-PART261 的规定，氰渣属于特殊管理的固体废物。

美国 EPA 公布的通用处理标准 (The Universal Treatment Standard) 规定，危险废物填埋的入场要求总氰化物含量需低于 590.00 mg/kg，易释放氰化物的含量需低于 30.00 mg/kg。

美国加利福尼亚州要求残留在废石堆、尾矿和废液中的氰化物必须满足以下条件才能排放：液相中 WAD (易释放氰) 氰化物含量为 0.2 mg/L 以下，总氰化物为 1 mg/L 以下，固相中溶解性 WAD 氰化物为 0.5 mg/L 以下，溶解性总氰化物为 2.5mg/L 以下，总氰化物为 10 mg/L 以下。

美国内达华州规定：废石堆存设施不能影响当地地表水环境质量，设施所在地地下水中 WAD (易释放氰) 氰化物含量在 0.2 mg/L 以下。废石必须经过预处理后才能进行堆存，处理后 WAD (易释放氰) 氰化物含量需在 0.2 mg/L 以下，pH 值在 6~9 之间，剩余的废石需采用大气水迁移试验进行测试。对于没有排污收集系统的蓄水池，废石必须使用大气水迁移试验进行测试。

南达科他州规定：当废矿石液相中氰化物 (易释放氰化物) 低于 0.5 mg/L，pH 值在 6.5~8.5 之间，其他参数满足环境现状或环境浓度和卫生标准时，废矿石才能进行堆存。

氰化物 (cyanide) 是相当毒化学物质，容易和其他化学物质形成化合物，如氰化氢 (hydrogencyanide, HCN)、氰化钠、氰化钾。以氰化氢为例，外观是无色气体，有杏仁味，氰化钠、氰化钾外观为白色结晶块状固体。氰化物为 EPA 列管毒性化学物质 (编号为 046)，劳工作业环境空气中有害物容许浓度标准八小时日时量平均容许浓度 $5 \text{ mg}/m^3$ (以氰化物计算)，并加注皮肤吸收；美国 OSHA 订定建议阈限值 (TWA) 为 $10 \text{ mg}/m^3$ ；NIOSH 及 ACGIH 订定 8 小时平均容许浓度 (TLV, REL) 皆为 $4.7 \text{ mg}/m^3$ ，最高阈限值 (ceiling) 为 $5 \text{ mg}/m^3$ (以氰化物计算)；加注皮肤吸收。美国 EPA 规定饮用水标准为 0.2 mg/L。

3.2.2 欧盟

3.2.2.1 欧盟的矿业废物管理

欧盟制定了严格的指令、法规和政策以减少工业固体废物对环境的不利影响，以保护人类的健康。欧盟矿产资源尤其是金属矿产资源含量相对较少，开采量也逐年降低，主要依赖进口，矿业废物的回收和综合利用程度较高。其《废物预防和回收主题战略》要求欧盟成员国在 2020 年实现城市垃圾回收率达到 50%，建筑废物达到 70%。



图 3.1 2004~2012 年欧盟废物处理情况

该指令还提出了废物层级管理制度，即预防，准备再利用，再循环，其他回收处理，处置。该指令将预防废物的产生作为首要选择，并要求在制订废物预防和管理法规、政策时将该层级制度作为主要的参考依据。因此，欧盟的废物利用率很高，针对危险废物、矿业及采石业废物的填埋量也占据相当大的比重。

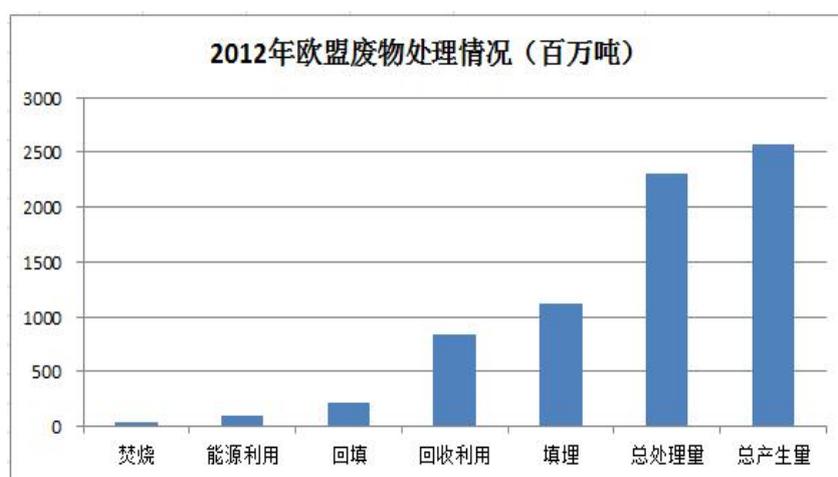


图 3.2 2012 年欧盟废物处理情况

欧洲矿业废物（勘探、采矿、采石、物化处理）主要包括金属矿和非金属矿开采废物，金属矿加工的过程中产生的尾矿、赤泥、粉尘、废石，非金属矿加工过程中产生的废砂、尾矿、废石、粘土、切割废料、钾盐、钻井泥浆和岩盐等废物。而热处理产生的废物包括粉尘、炉渣、污泥、冶炼废渣、粉煤灰、烟气处理废物、飞灰等。

欧盟《矿业生产中尾矿和废石管理条例》（DIRECTIVE2006/21/EC）涵盖了铝、镉、铬、铜、金、铁、铅、锰、汞、镍、银、锡、钨、锌、煤炭采掘、加工和湿法冶金产生的废

物的管理，包括对尾矿池、尾矿坝、尾矿堆、表层土和覆盖层或回填过程的管理。提出了尾矿和矿山酸性废石管理的主要环境问题，包括：与选址和占用土地相关的环境影响、潜在的粉尘和废水释放、溃坝、土壤污染，动植物体内重金属积累、动物和人寿命的缩短。尾矿和废石管理最重要的方面除了正确选址外，还包括对堆体或坝体失效模式的考虑、产酸潜力的准确预测以及了解尾矿特性与长期运行状况的关系。此外，该法规还指出正确管理尾矿和废石的关键是对废物进行恰当的特性描述，而这一点往往被人们所忽视。

2004 年到 2012 年欧盟采矿和采石业废物产生情况见图 3.3，其中废物产生量包括危险废物 0.14 亿吨，非危险废物 7.2 亿吨。



图 3.3 欧盟采矿业和采石业废物产生总量

Directive2006/21/EC 提出了尽量避免或减少矿业废物对环境特别是对水、空气、土壤、动植物和景观以及任何对人类构成风险的方法、规程和指导。该指令将尾矿处理设施分为四类:具有特定的健康和环境风险的 A 类设施，和用于处理具有危险废物特性的废物设施，使用期限无时间限制；用于由意外产生的危险废物的设施，使用期限六个月以上；用于非危险、非惰性废物的设施，使用期限一年以上；用于未污染的土壤、无害勘探废物、选矿废物、惰性废物的设施，使用期限三年以上。以上设施包括库、坝、堆、池等其他结构，但不包括采掘后的矿井。

该指令对尾矿管理提出了如下基本要求：

- 1) 尾矿管理者必须拟定废物管理计划并考虑可持续发展原则，该计划包括：
- 2) 废物特性描述；对废物处理设施进行适当的分类；对废物的产生后后续处理操作的描述；使废物堆放产生的危害降到最低的防范措施的描述；恰当的控制和监管程

序以及封场和复垦管理计划建议；防治水体恶化的方法；调查废物处理设施将会对土壤造成的污染情况等。

- 3) 建立处理设施运营的申请和许可证制度。
- 4) 废物设施的建设和管理：废物设施必须由称职的人管理，定期培训；监管部门要求管理者在建设和改造废物设施时确保：位于合理的位置，满足短期和长期运行所必要的条件；结构合理，管理和维护合理，防止和减少污染；对定期的监控和检查制定合理的计划和安排；封场、关闭后复垦计划合理；
- 5) 封场和封场后的管理程序。
- 6) 防止水体恶化、空气和土壤污染：渗滤液产生的可能性评估，包括渗滤液中的特征污染物；防止或减少产生渗滤液，以及对空气、水、土壤的污染；收集和处理污水和浸出液直至达到安全排放标准范围以内；评估废物处置设施（无论是运行中还是封场后）渗滤液的产生量以及污染物含量的潜力。
- 7) 热处理产生的废物：热处理产生的废物主要有发电厂、钢铁工业、铝热冶炼、铅热冶炼、锌热冶炼、铜热冶炼等产生的废物，还包括铁块和有色金属铸造产生的废物，玻璃和玻璃制品生产产生的废物，水泥、石灰、石膏生产产生的废物。在这便包含了常见的粉煤灰、炉渣、冶炼废渣、飞灰、污泥等。而有色金属和铅热冶炼初级和次级生产产生的炉渣，铜、铅、锌热冶炼产生的烟尘以及气体处理产生的固体废物等都被归为危险废物，按照危险废物管理标准进行管理。

3.2.2.2 氰渣管理

1994年，欧共体（欧盟前身）以94/3/EC号和94/904/EC号决定的形式发布了欧洲废物目录（European Waste Catalogue）和危险废物名录（Hazardous Waste List），这两个目录分别应用于所有废物和危险废物的分类，旨在建立一个统一的废物分类体系。随着欧盟社会经济的发展，许多成员国反应新出现了许多危险废物名录之外的具有危险特性的废物类别，需要对危险废物名录进行调整，而凡是列入危险废物名录的废物又必须列入欧洲废物目录。因此，为了简化以往的废物分类体系，增加名录的可实际操作性，构建一个既包含危险废物又包含非危险废物的废物分类体系，2000年欧盟委员会通过了2000/532/EC号决定，颁布了欧盟废物名录（European Waste List），全面取代了以往的欧洲废物目录和危险废物名录，并规定所有成员国必须于2002年1月1日前采取必要措施来保障该名录的实施。另外，该名录根据各成员国提供的使用反馈信息或最新研究成果，定期进行修订。

根据欧盟废物名录，氰渣属于含危险成分的尾矿，废物代码 010305，归为金属矿石物理化学加工产生的废物。由于欧盟的废物名录只是分类，氰渣可以通过鉴别后进行危险特性属性判定。

欧盟指令 2006/21/EC 规定：2008 年 5 月 1 前已获得批准或已投产的金矿，尾矿中弱酸可分解氰化物含量自 2008 年 5 月 1 日起不得高于 50 ppm，2013 年 5 月 1 日起不得高于 25 ppm，2018 年 5 月 1 日起不得高于 10 ppm；2008 年 5 月 1 日后获得批准的金矿，尾矿中弱酸可分解氰化物含量不得高于 10 ppm。

氰渣的其他环境管理要求还要符合欧盟关于废物及填埋的指令 75-442-EEC。

3.2.3 德国

3.2.3.1 德国的矿业废物管理

德国在 1986 年从法律上对固体废物的分级管理制度进行了明确。《固体废物循环经济法》于 1996 年 7 月正式生效执行，将循环利用和再生以保护自然资源放在首位，明确了德国管理固体废物的基本准则并提出根据组成和来源的不同对各种废物进行分类。主要有四个大类：生活垃圾、建筑废物、大宗废物、商业废物。为了方便回收、处置和管理，又具体分为：废电池、报废车辆、废玻璃、废木材、废油、建筑废物、有机废物、废弃电器和电子设备、污泥、生产废料、市政和商业垃圾、包装废弃物，此外，与欧盟类似，德国还制订有其国内相应的废物名录。

德国的废物管理基本与欧盟的最大限度的实现产生量最低和回收量最大化保持一致，同时对剩余的废物进行环境友好型处置，主要有两种方式：热处理（焚烧）和填埋。在德国的填埋场技术标准中，对不同的填埋废物采用分级填埋，这主要是由于不同填埋物对填埋技术要求不同，对环境安全的影响存在较大的差异性所造成的。根据填埋废物的种类不同划分了三种填埋场，其中第三类填埋场主要应用于工业固体废物（包括危险废物）。各类填埋等级都有详尽的技术标准，包括：表面和基底的防渗层结构与建设，渗滤液的收集和处理系统，运行监测系统。这些规定极大地降低了填埋场对周围环境的危害。德国每年约产生 3.25 亿吨到 3.5 亿吨的废物，绝大多数是建筑和建筑拆除废弃物（60%）。

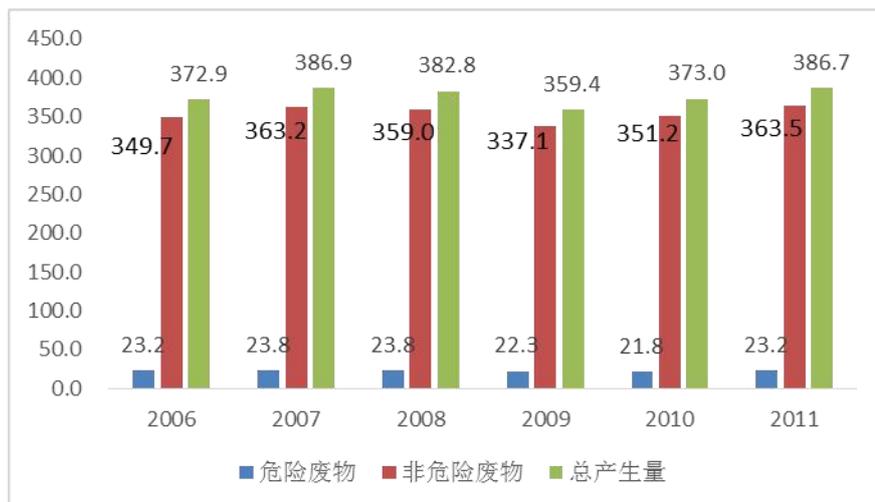


图 3.4 德国固体废物产生量变化情况单位：百万吨（2006-2011）

表 3.3 德国近几年矿业、矿产加工业产生废物情况（单位：百万吨）

年份	产生	填埋	处理处置	能源回收	回收利用	回收率
2013	29.25	28.89	0.016	0.006	0.33	1.13%
2012	30.32	29.96	0.034	0.002	0.323	1.07%
2011	34.67	34.3	0.037	0.002	0.329	0.95%

可以看出，德国采矿和矿产加工业每年产生的废物回收和利用率都很低，主要的处理方式仍然是填埋。

3.2.3.2 氰渣管理

德国没有制定专门的氰渣管理规范，但是在《废物地下贮存规范》（Ordinance on Underground Waste Stowage）对于固体废物井下回填要求废物中总氰化物含量为 100 mg/kg 以下，渗出液中总氰化物含量为 50 μg/L 以下，易释放氰化物为 10 μg/L 以下。

此外，氰渣进入填埋场还需要遵循相关的入场标准，对于进入不设置防渗衬层的惰性废物填埋，其浸出液的易释放氰浓度应小于 0.01 mg/L；进入危险废物填埋场浸出液的易释放氰浓度应小于 1 mg/L。

3.2.4 澳大利亚

澳大利亚 2007 年编制出台了《尾矿库管理手册》，重点讨论了尾矿管理体系和加强管理的相关技术，同时规定氰渣液相中氰化物（弱酸可分解氰化物）浓度低于 50 mg/L 时可以堆存于尾矿库中。

澳大利亚规定氰渣充填砂浆含氰浓度在低于 50 mg/L 的情况下，可以进行井下采空区充

填作业，目前已有 3 家黄金企业进行井下充填生产实践。

3.2.5 国际氰化物管理协会-金矿验收标准

1) 如果蓄水池和尾矿库的水中弱酸可溶性氰化物浓度超过 50 mg/l，金矿就应该采取措施，防止野生动物或家畜靠近水面。可在蓄水池和尾矿库周围设置围网、或将积水处填上乱石、或用网盖住。

2) 金矿应有足够的说明其尾矿库、堆浸设施及溶液池中的液体，其弱酸可溶性氰化物浓度不超过 50 mg/L。

3) 金矿应证明，如果露天水中的弱酸可溶性氰化物不大于 50 mg/L，能够防止野生动物的大量死亡。

4) 如果金矿向地表水直接排放废水，其弱酸可溶性氰化物浓度不得大于 0.5 mg/L。但同时也规定堆存场地需进行防渗漏管理，以保证场地所在地及下游地下水中氰化物（弱酸可分解氰化物）的浓度不超出当地地下水环境质量标准。

5) 向河流排放污水经监管部门允许可以设置一定长度的混合区。但混合区下游水中的游离氰浓度不得大于 0.022 mg/L。还要说明自己测定的过程。

6) 金矿如果有间接排水，混合区下游水流中的游离氰浓度不得大于 0.022 mg/L。

3.3 国内氰渣环境管理

3.3.1 国内矿山固体废物管理

国内矿山固体废物管理属于工业固体废物管理范畴。工业固体废物是工业生产、加工过程中产生，在当前经济技术条件下不具有利用价值的固体废物。而不具有危险特性的工业固体废物称为一般工业固体废物，它可以分为两类：第 I 类一般工业固体废物和第 II 类一般工业固体废物，其中第 II 类会对环境构成较大的污染，需要引起管理上的重视。对工业固体废物进行分类是实现对其有效管理，减少甚至避免环境污染的首要任务之一。做好分类工作，建立符合我国基本国情的一般工业固体废物分类体系不仅可以为各地区管理部门划清职责，有利于开展各项工作，避免出现管理上的缺失，更能够为之后的环境无害化贮存与处置打下基础。现阶段，我国的矿山废物大都属于一般工业固体废物，但是 2016 年新的《国家危险废物名录》发布后，大量的氰渣属于危险废物。

从表中可以看出，我国一般工业固体废物产生量在不断增长，2012 年就已接近 33 亿吨，数量十分庞大。另一方面，自 2001 年标准颁布实施以来，废物排放量得到了很好地控制，

尤其在 2008 年以后，绝大多数的一般工业固体废物得到了贮存、处置或综合利用，随意排放现象得到了有效的控制。

表 3.4 全国一般工业固体废物产生和处理情况（单位：万吨）

年度	产生量	倾倒丢弃量	综合利用量	贮存量	处置量
2001	87794	2891.9	46848	29876	14262
2002	93509	2633.3	49669	29657	16376
2003	99258	1940.7	55613	27244	17376
2004	119035	1760.9	67393	25669	26360
2005	133287	1654.4	76497	27539	30920
2006	150457	1282	92035	22131	42594
2007	174553	1196.9	109661	23965	41004
2008	188770	781.93	122663	21687	47902
2009	202513	710	137355	20710	47060
2010	239357	498	160795	23752	56751
2011	322722	433	195214	60424	70465
2012	329044	144	202461	59786	70744
2013	327702	129	205916	42634	82970
2014	325620	59	204330	45033	80388
2015	327079	56	198807	58365	73034

表 3.5 2013 年我国一般工业固体废物产生和处置情况（单位：亿吨）

废物种类	产生量	综合利用量	综合利用率	累计堆存量
金属矿采矿废石	49.47	4.68	9.50%	438
尾矿	16.49	3.12	18.9%	146
建筑垃圾	10.00	0.50	5.0%	/
煤矸石	7.50	4.80	64.0%	45
粉煤灰	5.80	4.00	69.0%	/
筑路旧料	2.20	0.88	40.0%	/
工业副产石膏	1.84	0.88	48.1%	/
有色行业冶炼废渣	1.28	0.22	17.5%	/

赤泥	0.73	0.03	40.0%	3
----	------	------	-------	---

由该统计表可以看出，目前国内尾矿、废石、赤泥等产生量仍然十分巨大，当前难以有效利用，主要处理方式仍是在堆场、库、坝进行临时贮存，必须加强管理，避免事故的发生，同时减少长期贮存过程中的环境隐患。

尾矿是选矿过程中产生的无经济利用价值的固体废弃物。我国尾矿的分类主要有有色金属尾矿、黑色金属尾矿、非金属矿尾矿和稀有贵金属尾矿。据国家安全监管总局统计，截止2012年底，全国共有尾矿库12273座，而规模较小的尾矿库有9125座，占尾矿库总数的近74.4%，其中大量尾矿库（坝）存在非正常运行的状况各类尾矿中尤以有色金属尾矿污染较为严重，不仅含重金属等有毒有害成分，其所含的方铅矿、黄铁矿、闪锌矿、磁黄铁矿等硫化物在水分、空气、微生物等的共同作用下会发生复杂的化学反应产生酸性废水，促进重金属从尾矿中释放迁移出来。黄金行业产生的氰渣可以纳入尾矿进行管理。

3.3.2 黄金行业氰渣产生概况

黄金具有商品和货币的双重属性，是重要的全球性战略资产和现代信用货币体系的基石，对保障国家经济发展、金融安全具有重要的不可替代的作用。西方主要国家都十分重视对黄金的控制力，都从战略高度对黄金生产、黄金市场、黄金储备三个关键环节加强控制，形成国家层面的黄金控制力，世界产金大国多数对黄金产业予以政策性保护和扶持。随着现代工业的发展和人民生活水平的提高，黄金在航空、航天、电子、医药等领域及传统的饰品、工艺品等行业有着广泛的市场前景。因此，黄金行业作为国民经济发展的重要支柱之一历来被国家产业政策所重视。新世纪以来，以我国黄金市场组建、开放为标志，黄金行业步入市场化发展轨道。在全球传统产金大国黄金产量连续下滑的情况下，我国黄金行业整体实力不断增强，获得了持续健康的发展，连续10年成为全球最大黄金生产国，连续4年成为全球最大黄金消费国。同时，通过资源整合、企业结构调整，黄金资源开发格局更趋合理，大型黄金企业主导黄金产业发展的格局基本形成，我国已有三大黄金集团公司跻身全球黄金矿业公司排名20强。

自1887年氰化法应用于提取金银以来，由于回收率高、对矿石适应性强、成本低、就地产金而广泛地应用于黄金行业。目前，世界黄金产量的80%以上是采用氰化提金技术获得的。美国、加拿大和澳大利亚等发达国家脉石金矿提金工艺均采用氰化法，一些发达国家金矿企业氰化尾渣脱氰处理一井下充填技术已实现了工程化应用。其中知名的有澳大利亚的顶峰金矿、卡若纳·贝勒金矿、深成岩金矿、阿格纽金矿、南非的Savuka、TauTona和Mponeng

矿山等。目前还没有一种适宜的浸金溶剂能够代替氰化物，因此，短期内氰化提金工艺在世界黄金生产领域仍占主导地位。目前，国内外黄金行业氰化工艺主要有三种，分别是金矿石氰化工艺、金精矿氰化工艺、堆浸工艺，各工艺简单流程示意图如下：

(1) 金矿石氰化工艺

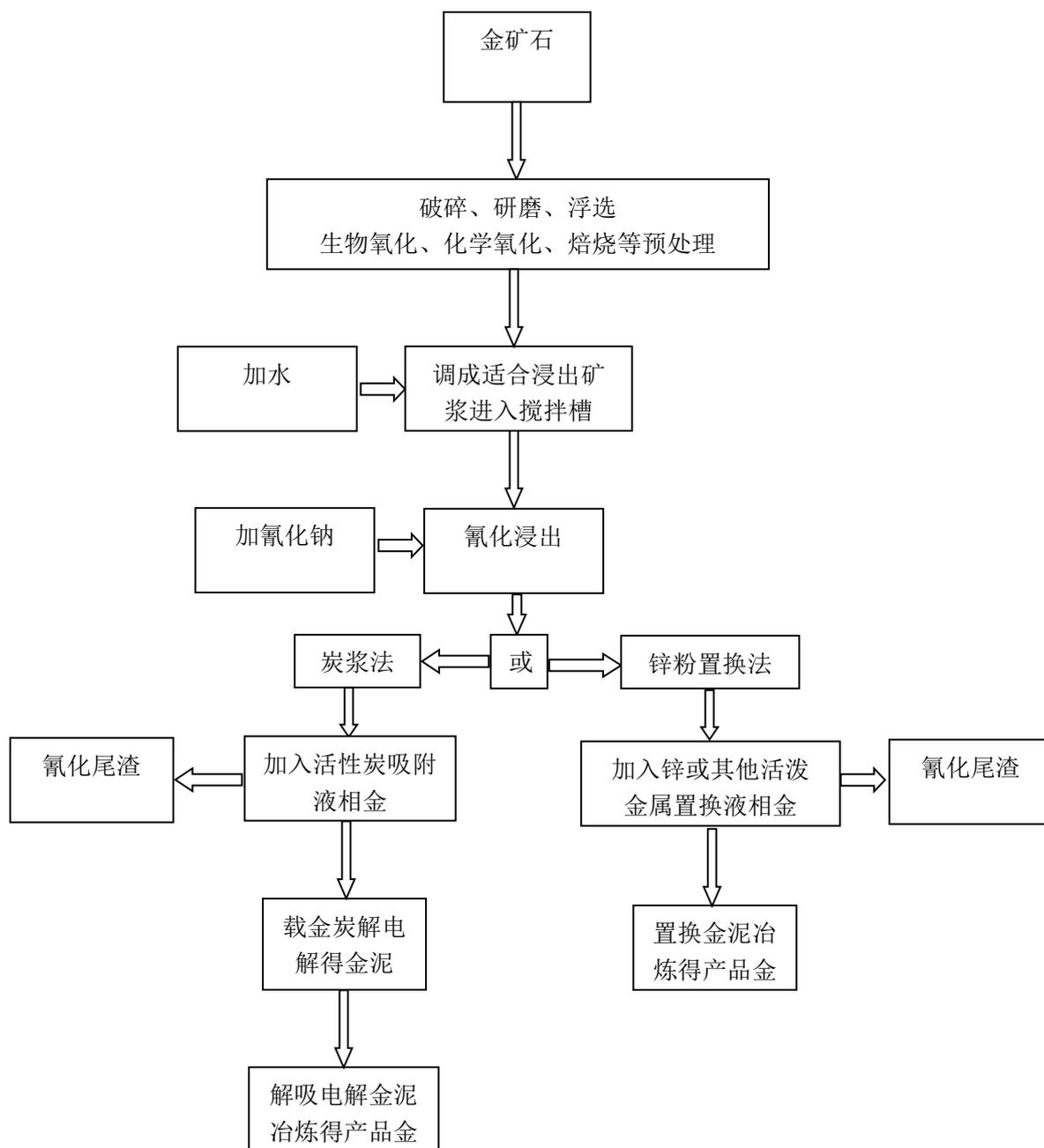


图 3.5 金矿石氰化工艺流程示意图

(2) 金精矿氰化

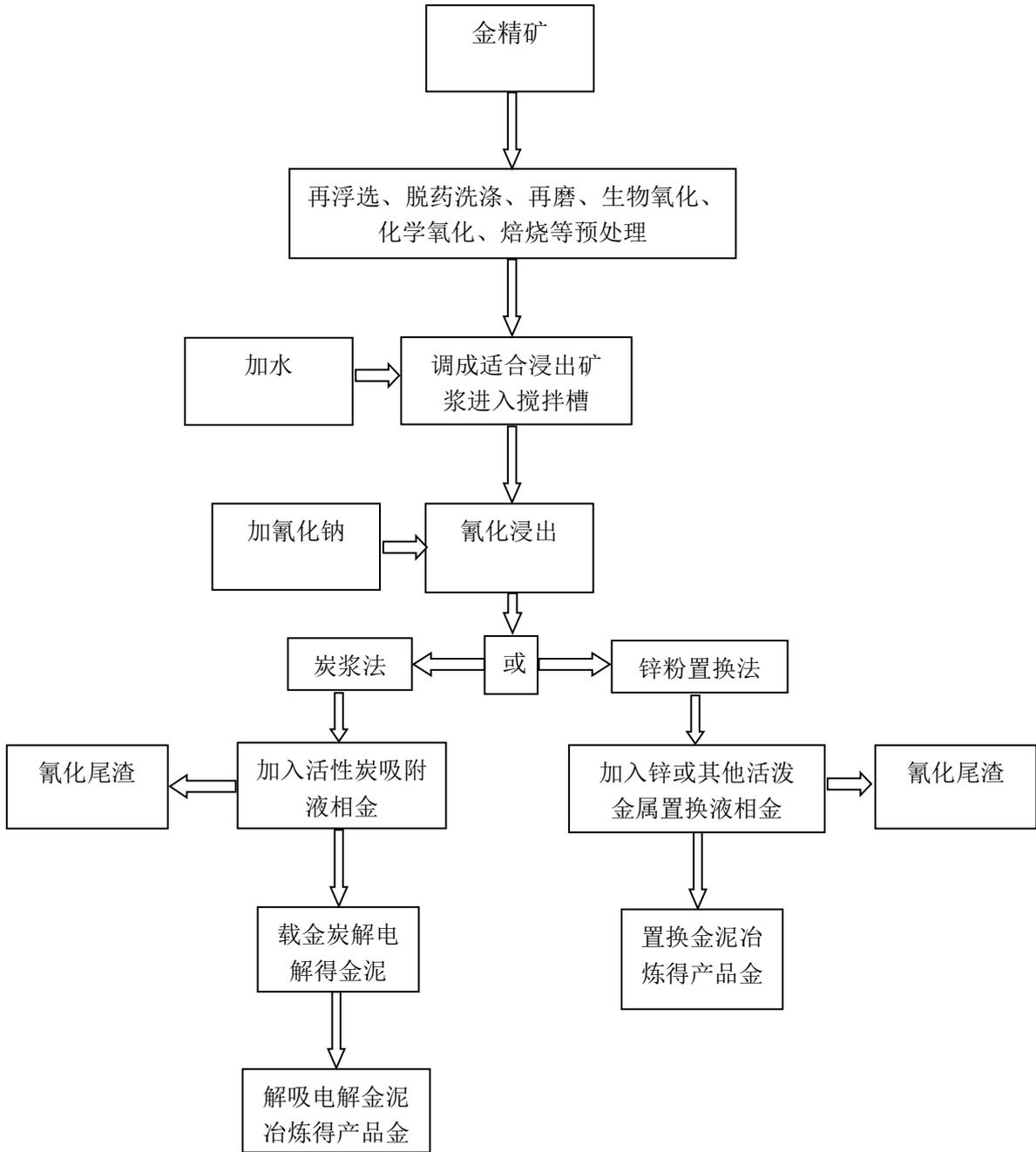


图 3.6 金精矿氰化---直接氰化工艺流程示意图

(3) 氰化堆浸工艺

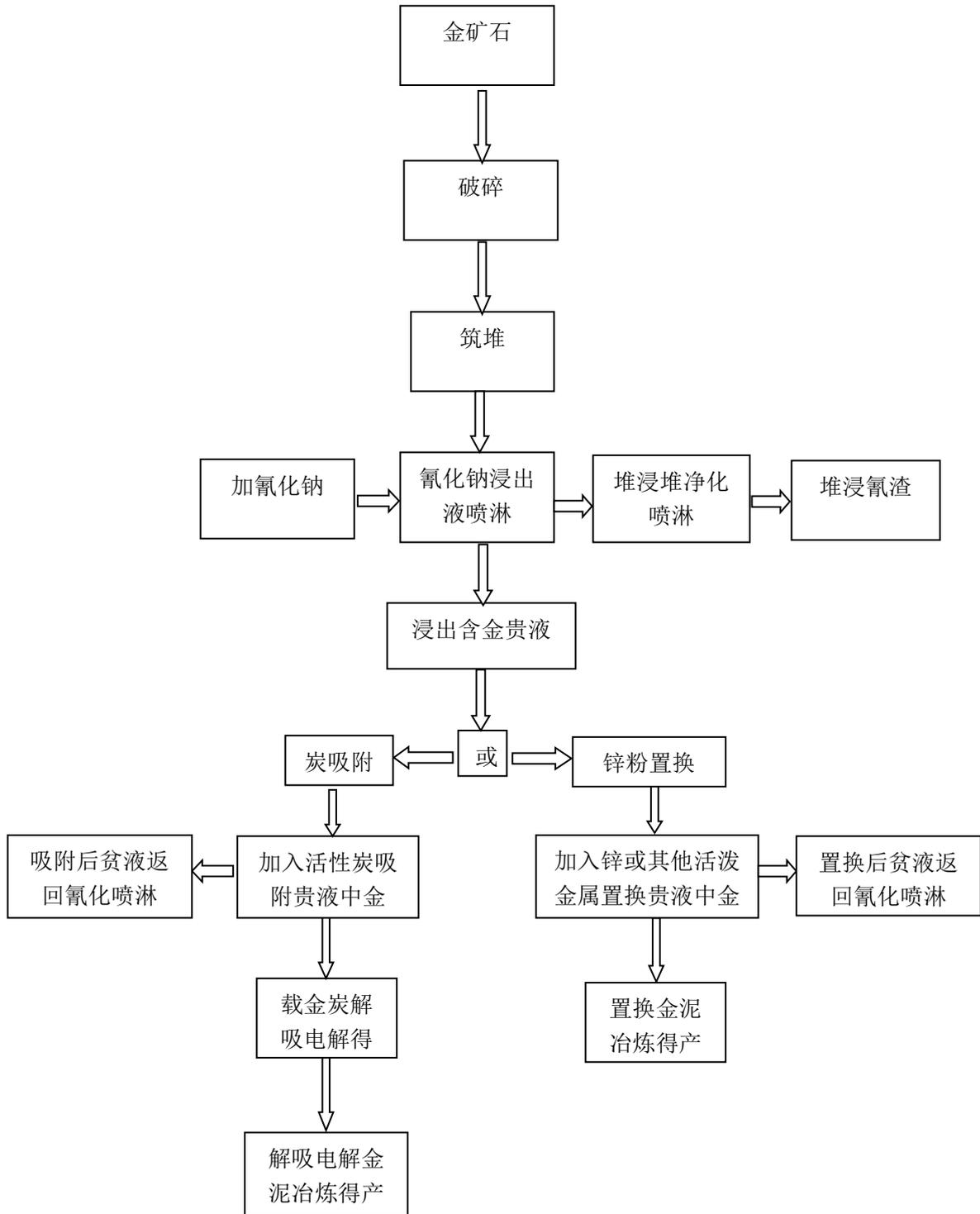


图 3.7 氰化堆浸工艺流程示意图

据统计，全国黄金行业每年氰化尾渣产生量约 1 亿吨（含低品位氰化堆浸渣约 7000 万吨），其中金冶炼氰渣占约 10%，金采选氰渣约占 90%。国内主要省份的氰渣产生情况分布如下图所示。

各省氰渣产生量占比 (%)

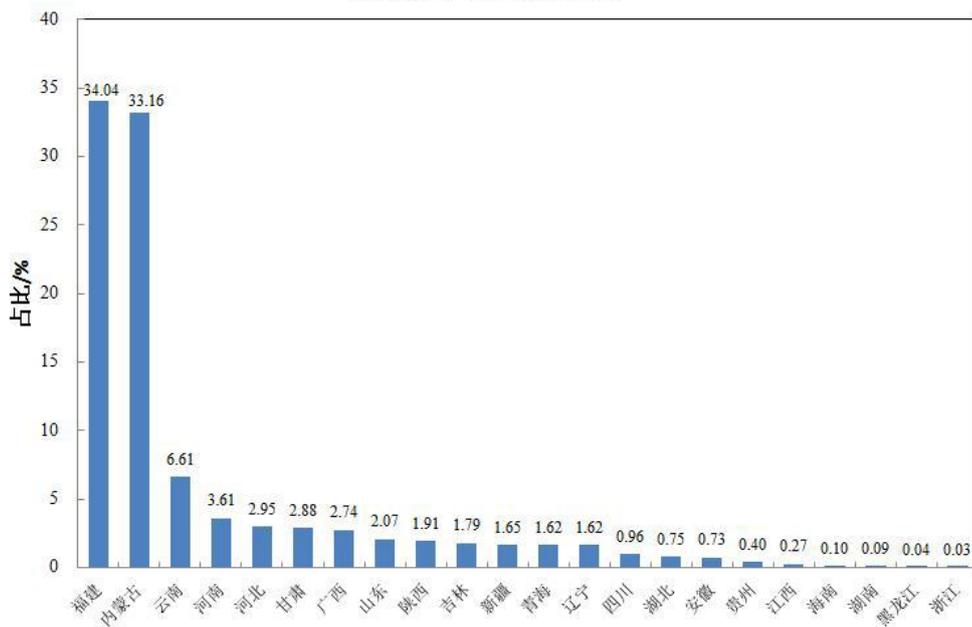


图 3.8 氰化产生量全国分布示意图

根据氰化工艺不同，氰渣的利用处置类型也不尽相同。国内现有黄金生产企业含氰废渣处置场（尾矿库），基本是按照《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》中的 II 类场进行设计、建设。部分黄金生产企业含氰废渣处置场（尾矿库），按照环境影响评价报告书及其批复的要求进行设计、建设。如：有的尾矿库防渗层是按照《危险废物贮存污染控制标准》中的要求进行设计建设，有的是按一般固废 I 类场要求进行设计建设。

表 3.6 氰渣的利用处置类型

序号	行业惯用名称	工艺名称	产生工段	利用处置环节
1	氰化尾渣	金矿石氰化	氰化工段	金矿石氰化尾渣应进入尾矿库、堆浸场关闭作业处置和利用
2	氰化尾渣	金精矿氰化	氰化工段	金精矿氰化尾渣可进入尾矿库处置和利用
3	堆浸尾渣	堆浸氰化	氰化工段	堆浸氰化尾渣应原地关闭作业处置

3.3.3 国内氰渣环境管理

3.3.3.1 氰渣处置

目前没有专门针对氰渣污染控制的规范和标准，已有的氰渣处置主要参考如下标准：

- 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599—2001）
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597—2001）
- 《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB30485—2013）
- 《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》（HJ662—2013）
- 《尾矿库环境风险评估技术导则（试行）》（HJ740—2015）
- 《黄金行业清洁生产评价指标体系》

国内现有黄金生产企业含氰废渣处置场（尾矿库），基本是按照《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》中的 II 类场进行设计、建设。部分黄金生产企业含氰废渣处置场（尾矿库），按照环境影响评价报告书及其批复的要求进行设计、建设。如：有的尾矿库防渗层是按照《危险废物贮存污染控制标准》中的要求进行设计建设，有的是按一般固废 I 类场要求进行设计建设。近年来，国家发布了一系列新的环保法律法规和标准，对黄金行业氰渣的管理要求日益严格，执法力度不断加大。此外，因缺少处理处置的污染控制标准，部分资源化利用产品无法销售，严重影响了氰渣的综合回收生产。

根据《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599—2001）中 5.2 I 类场的其他要求“应优先选用废弃的采矿坑、塌陷区。”虽然国家鼓励尾矿回填，但是我国也没有出台针对尾矿回填方面的相关环境保护标准。

3.3.3.2 氰渣污染控制标准

1) 含氰废水的排放标准

工矿企业排放的污染物分为两类，第一类污染物是指能在环境或动植物体内蓄积，对人体健康产生长远不良影响的有害物质，取样一律在车间或车间处理设施排放口；第二类污染物是指长远影响小于第一类的有害物质，取样在排污单位排放口。氰化物属于第二类污染物，必须按照国家制定的排放标准控制其排放浓度。排放标准规定的排放浓度是指利用国家规定的监测方法所测出的浓度。如农田灌溉和渔业水质中氰化物含量指总氰化物含量，工业废水排放标准中氰化物最高允许浓度是指总氰化物的浓度，即用中华人民共和国国家标准 GB7486-87 中规定方法测定的浓度。渔业水质要求总氰化物最高允许浓度为 0.005mg/L，农田灌溉用水与工业“三废”排放标准也一样，最高允许浓度为 0.5mg/L。我国生活饮用水和地下水水质要求一样，氰化物含量指易释放氰化物含量，最高允许浓度为 0.05mg/L，易释放

氰化物用中华人民共和国国家标准 GB7487-87 中规定方法测定的浓度。目前 GB7486 和 GB7487 检测方法已合并成 HJ484。

世界各国对氰化物的排放标准也不一样，例如：美国规定饮用水中的氰化物控制在 0.2mg/L；日本合乎要求的水质标准氰化物为 0.01mg/L；英国饮用水中氰化物最大允许浓度为 0.2mg/L；前苏联颁发的防止地表水被污染的规定中指出，日常饮用水中，氰化物允许含量 0.1mg/L，日常养鱼水中氰化物允许含量为 0.5mg/L；法国饮用水中氰化物最大允许浓度要求检不出。

4 本标准制订的必要性分析

4.1 固体废物精细化管理需求

随着黄金矿产资源的日趋减少，氰化尾渣已成为宝贵的二次资源。如国内大多数金精矿氰化企业采用浮选工艺处理氰化尾渣综合回收有价元素；对于难处理金精矿氰化尾矿，一般每吨含金 5 克左右，大大高于金矿石，具有进一步回收金及其他金属的价值；含氰尾渣综合回收高硫精矿制酸我国已经有很多应用案例，黄金行业近年来投入了大量资源开展氰渣综合利用的回收有价元素技术开发和工程建设，目前已经形成了一定技术储备和规模处理处置能力；黄金行业的氰渣中不同程度的含有硅酸盐、碳酸盐和其他金属及非金属矿物，这些在黄金行业被视为废物的矿物经过加工，可用来生产生态水泥。

由于现阶段针对含氰废渣环境无害化管理缺乏系统的研究，含氰废渣处理处置过程中的风险特征不明，风险控制的节点也不清楚，无法实施科学有效的污染控制，处理处置缺乏有效的污染控制。而另一方面，由于固体废物污染特性和管理机关理解的差异，目前氰渣处置及综合利用回收过程往往遵循从严管理的原则，导致处置成本提高和缺乏有效的处置途径等问题产生。此外，因缺少处理处置的污染控制标准，部分资源化利用产品无法销售，严重影响了氰渣的综合回收生产。

为了切实实施国家环保法律法规和标准，迫切需要专门制订《黄金行业氰渣污染控制技术规范》，为加强黄金行业氰渣处置、利用和运输过程的管理和控制氰渣全过程管理的环境风险具有重大意义。

4.2 标准制订目标

本标准本着保护地下水和促进清洁生产为目的，在对国内外黄金行业氰渣管理现状和发展进行深入分析并充分吸收现有研究成果的基础上，对氰渣在贮存、运输、脱氰处理、处置

和利用过程中的污染控制管理提出详细的要求，在确保黄金行业氰渣环境风险管理的前提下，促进其安全运行和产业正常发展。

5 标准主要技术内容

5.1 适用范围

本标准规定了黄金行业金矿石氰化、金精矿氰化、氰化堆浸过程产生的氰渣在贮存、运输、脱氰处理、利用和处置过程中的污染控制及环境监管要求。本标准适用于黄金行业氰渣在贮存、运输、脱氰处理、利用和处置过程中的污染控制管理以及与黄金行业氰渣有关项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、清洁生产审核。黄金行业金矿石氰化、金精矿氰化、氰化堆浸工艺产生的废水处理污泥，其贮存、运输、脱氰处理、利用和处置过程的污染控制技术要求参照本标准执行。

5.2 规范性引用文件

本部分为黄金行业氰渣在贮存、运输、脱氰处理、处置和利用过程中避免造成环境污染提出了所需要遵循的相关环境保护标准和文件。这些标准和文件的有关条文将成为本标准的组成部分。本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

5.3 术语和定义

本部分为执行本标准制定的专门的术语和对容易引起歧义的名词进行的定义。本标准为首次制定。以下行业术语的定义主要来自黄金采选及冶炼过程的通行术语，环保术语的定义主要参照了其他标准规范的通行术语。

5.3.1 氰渣 cyanide leaching residue

本条定义了氰渣为含金物料经氰化浸出、固液分离后获得的固体物料，并根据氰渣产生来源，将氰渣分为金矿石氰化尾渣、金精矿氰化尾渣、堆浸氰化尾渣。

5.3.2 金矿石氰化尾渣 gold ores cyaniding tailings

本条定义了金矿石氰化尾渣是以未经选别作业的金矿石或经选别作业金矿石的尾矿为原料，经碎磨、预处理后，采用氰化浸出提取金后的氰渣。

5.3.3 金精矿氰化尾渣 gold concentrate cyaniding tailings

本条定义了金精矿氰化尾渣是以经选别作业的金矿石为原料，经再磨、预处理后，采用氰化浸出提取金后的氰渣。

5.3.4 堆浸氰化尾渣 heap the cyanide tailings

本条定义了堆浸氰化尾渣是以金矿石为原料，利用氰化物渗入矿堆提取金后的氰渣。

5.3.5 氰化尾矿浆 cyanide tailings pulp

本条定义了氰化尾矿浆为金矿石、金精矿经氰化浸出提取金及有价元素后的固液混合物。

5.3.6 脱氰处理 decyanation treatment

根据氰化物脱氰处理的方式，将脱氰处理定义为采用物理、化学、生物、自然降解等方法对氰渣及氰化尾矿浆中含有的氰化物进行处理，达到相关利用或处置标准的过程。

5.3.7 氰渣回填 cyanide residue backfilling

本条首次定义了回填的环保概念，即对氰渣进行脱氰处理后，充填至采空区或回填至露天采坑的活动，包括井下充填和露天回填。

5.3.8 泌出液 backfilling bleeding water

回填料在输送到回填地点沉降或凝固形成充填体时析出的液体。

5.3.9 易释放氰化物 easily liberatable cyanide 与 3.10 总氰化物 total cyanide

根据 HJ 484《水质 氰化物的测定 容量法和分光光度法》和 5085.3《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》附录 G 明确了易释放氰化物与总氰化物的区别。

5.3.10 淋洗 leacheating

从堆浸工艺的特点，定义淋洗为堆浸喷淋结束后，对浸堆进行喷淋清洗和消毒以降低浸堆中氰化物浓度的工艺环节。

5.3.11 倒堆作业 heaping residue transfer

堆浸氰化提取金结束后，为继续使用堆浸场，对堆浸氰化尾渣进行淋洗处理达到一定标准后，将堆浸氰化尾渣转换场地的活动。

5.3.12 强化自然降解法 enhanced natural degradation method

在特定的地区，氰化尾矿浆经固液分离后达到特定的含水率和氰化物浓度，通过翻堆、晾晒、推平、碾压等操作，在自然条件下，利用光、物理、化学、微生物等作用降低其中氰化物等污染物浓度的方法。

5.3.13 新建尾矿库 new disposal site

本标准实施之日后，环境影响评价文件获批准的新建、改建和扩建的尾矿库。

5.3.14 现有尾矿库 existing tailing pond

本标准实施之日前，已建成投入使用或环境影响评价文件已获批准，但仍未闭库的尾矿库。

5.3.15 洗涤率 washing rate

经固液分离和洗涤作业后,氰化尾矿浆去除的总氰化物质量与氰化尾矿浆初始总氰化物质量之比,其中氰化尾矿浆去除的总氰化物质量等于氰化尾矿浆初始液相和固相的总氰化物质量减去处理后固相中总氰化物的质量。洗涤率的计算公式见附录 B。

5.4 氰渣利用和处理处置技术

本部分包括按照产生源对氰渣的利用和处置进行规定及氰渣利用和处置的适用技术。

5.4.1 根据编制组的调研结果,金矿石氰化尾渣、堆浸氰化尾渣以及金精矿氰化尾渣可以按照以下方式进行利用处置:

- a) 金矿石氰化尾渣应进入尾矿库、堆浸场关闭作业处置和利用;
- b) 堆浸氰化尾渣应原地关闭作业处置;
- c) 金精矿氰化尾渣可进入尾矿库处置场和利用。

5.4.2 氰渣利用和处置技术的选择应考虑金矿石性质、生产工艺特征和国家及地方环境保护标准要求,并应首先进行试验后再确定工艺,防止产生二次污染。氰渣利用和处置适用技术选择可以参考表 5.1。

表 5.1 氰渣利用和处置适用技术

序号	利用处置类别	适用技术 ^a
1	金矿石氰化尾渣尾矿库处置	臭氧氧化法、固液分离洗涤法、过氧化氢氧化法、生物法、因科法、降氰沉淀法、强化自然降解法 ^b 、淋洗-应急处理法
2	金精矿氰化尾渣尾矿库处置	压榨-洗涤-“3R-O”法、固液分离洗涤法、酸化回收法、Cott's 酸法、WAST 法、高温水解法、降氰沉淀法、3R-O 法、淋洗-应急处理法
3	堆浸处置	过氧化氢氧化法、氯氧化法、生物法、淋洗-应急处理法
4	回填利用	固液分离洗涤法、臭氧氧化法、过氧化氢氧化法

^a脱氰处理技术说明见附录 A。
^b强化自然降解法适用于年降雨量小于 300 mm 且蒸发强度大于 1500 mm 的区域。

5.5 氰渣环境管理一般技术要求

5.5.1 原则规定了新建处置场的选址要求。

5.5.2 从职业健康的角度出发,对于作业场所的粉尘、噪声和空气中的氰化物浓度提出标准要求。

5.5.3 从节约水资源的角度出发,提出氰渣脱氰处理过程中产生的废水应优先返回工艺流程循环利用,但是同时规定了如需外排应满足国家、行业及地方的废水排放标准。

5.5.4 从防止产生二次污染的角度出发,提出脱氰处理车间应采取水泥硬化等防渗(漏)

措施，设防渗（漏）事故池。并对事故池有效容积提出了要求。

5.5.5 企业内部临时贮存的氰渣其氰化浓度较高，从风险管理的角度出发，企业内部临时贮存应满足危险废物贮存标准的相关要求。但是不同于一般的危险废物对于防风的规定，由于氰渣中的氰化物容易在空气中自然降解，因此，临时贮存设施建设应满足通风、自然光降解的需求。考虑到氰化物环境风险，要求氰渣的临时贮存其他要求应符合 GB 18597 相关规定。

5.6 氰渣运输污染控制技术要求

5.6.1 对于金矿石氰化企业以及金精矿氰化企业，氰渣通常有两种方式排入尾矿库。一是在企业内压滤后通过车辆或传送带排入，另外一种是通过管路输送至尾矿库压滤车间。本条对于通过管路输送到尾矿的方式提出外部应有防渗（漏）设施或应急池，可以防止事故发生时意外泄露。

5.6.2 对于企业外部运输氰渣提出管理要求，一是单独运输，同时要采取防扬尘、防雨、防渗（漏）措施；为防止意外散落，本条还对装载的氰渣应低于运输车辆厢体顶端提出要求；考虑到氰渣一般运输量庞大，本条还规定了汽车运输可采用的车辆类型；此外考虑到操作中的职业安全，本条还对氰渣装卸、转运作业场所的粉尘及空气中氰化物浓度提出要求；考虑到运输过程中运输路线的重要性（降低环境风险）本条还规定了企业外运氰渣时应选择应避开水源地、名胜古迹等环境敏感点。

5.6.3 由于矿山企业大都位于偏远地区，一些生产企业的选冶车间与尾矿库距离非常远。这些车间与尾矿库虽然都属于同一个法人，但是对于氰渣的运输不可避免的要经过一些周边的村庄及道路。对于这种条件情况，本条对于运输过程中经过行政划分的村庄、道路时，即使属于企业内运输，规定其仍应按照企业外运输的第 6.2 的相关要求执行。

5.7 氰渣尾矿库处置污染控制技术要求

5.7.1 规定了氰渣进入新建尾矿库处置时，尾矿库的建设、运行、闭库应满足 AQ2006 的技术要求。

5.7.2 规定了尾矿库处置氰渣时必须采用防渗设计，同时规定了防渗最低要求，即相当于渗透系数 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 和厚度 1.5 m 的粘土层的防渗性能。

本研究在对 10 家企业进行现场资料调研中，对于采用防渗性能相当于渗透系数 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 和厚度 1.5 m 的粘土层的尾矿库，其周边地下水质量较好，采用这种防渗可以有效防护地下水污染事件的发生。

5.7.3 规定了当采用高密度聚乙烯（HDPE）膜复合衬层进行防渗时，HDPE 厚度不小于

1.0 mm，并满足 CJ/T 234 规定的技术指标要求。同时要求 HDPE 膜铺设过程中要对 HDPE 膜下介质进行目视检测，确保平整性，确保没有制造瑕疵以及没有遗留尖锐物质与材料。HDPE 膜焊接过程中，应满足 CJJ 113 相关技术要求。在施工完毕后，需要对 HDPE 膜进行完整性检测。

本条主要参考了现行生活垃圾填埋场污染控制标准及危险废物填埋污染控制标准的相关要求。对填埋场的建设而言，最为重要的是隔离垃圾渗滤液与环境的联系，也就是说防渗是至关重要的。根据全国十几个在建填埋场的调研发现，土工膜实际上是非常脆弱的材料，除了土工膜制造时的自身缺陷外，不管是在施工阶段还是在填埋场的运营阶段，土工膜受到破坏的几率是非常高的。在填埋场人工衬层铺设期间，由于机械或人为的不规范操作会使衬层破损并且在接缝处容易留下孔隙。在运营期间，由于地基不均匀下陷、缩性形变、机械破损、化学腐蚀等原因引起渗漏。早在 1978 年，美国环境总署就报道过所有的垃圾填埋场都会渗漏。据报道，意大利的 25 个填埋场平均每英亩有 6.2 个漏洞，其中大于 100 平方厘米的 320 个漏洞 (Colucci 和 Lavagnolo, 1995)；美国每英亩的防渗层中有 9~11 个漏洞 (Laine 和 Darilek, 1993)；加拿大和法国的 11 个单土工膜衬层的填埋场中每英亩有 0.82 个漏洞 (Rollin et al., 1999 年)。如果这些漏洞不及时被发现修补，垃圾渗滤液将会透过孔隙进入地下水和土壤，成为新的污染源。



图 5.1 某堆浸场防渗层完整性检测



图 5.2 防渗层破损情况

根据编制单位在对特定企业开展防渗层完整性检查过程中，发现采用 HDPE 防渗时，同样存在施工造成的渗漏（图 5.1~5.2）。考虑到环境风险，必须要求采用 HDPE 膜作为防渗材料时，应在施工结束后对其进行完整性检测。

5.7.4 规定了可以进行尾矿库处置氰渣及氰化尾矿浆浸出液中有害成分污染控制限值并要求浸出液应根据 HJ/T 299 制备。

表 5.2 规定了标准实施日起，氰渣及氰化尾矿浆排入新建尾矿库执行的限值。

表 5.2 氰渣及氰化尾矿浆排入新建尾矿库污染控制限值

序号	控制项目	限值要求/(mg/L)	检测方法
1	总氰化物 (以 CN ⁻ 计)	5	GB 5085.3 附录 G
2	易释放氰化物 (以 CN ⁻ 计)	4	HJ 484
3	总铜	100	HJ 751、HJ 752、HJ 766、HJ 781
4	总铅	5	HJ 766、HJ 781、HJ 786、HJ 787
5	总锌	100	HJ 766、HJ 781、HJ 786
6	总砷	5	HJ 702、HJ 766、GB/T 15555.3
7	总汞	0.1	HJ 702、HJ 766、GB/T 15555.1
8	总银	5	GB 5085.3 附录 C、D、HJ 766、HJ 781

表 5.2 中的限值采用了风险评估计算，以保护地下水为目标，计算尾矿中主要污染物的吸附衰减系数。目前我国地下水环境的健康风险评价主要基于水质指标监测，并应用美国环境保护署推荐使用的健康风险评价模型展开，该方法不仅监测工作量大而且不能完整的反映某一特定点处（如取水井）污染物浓度随时间的变化。地下水水质预测模型则能解决此问题，国外较为通用的有 MODFLOW 和 MT3D。MODFLOW 和 MT3D 模型可用有限差分法精确

模拟含水层中溶质的三维运移，但却不能很好的模拟包气带中溶质的迁移转化情况。尾矿库中污染组分浸出通过包气带运移至含水层所造成的污染可视为点源定通量连续注入，采用 EPACMTP 模型（渗滤液迁移转化复合模型）可用于处理该类型污染对地下水的影响，为两个过程：（1）污染物从土壤解吸进入土壤液相，（2）液相中污染物向下迁移进入含水层后到达受体水井，见图 5.3。

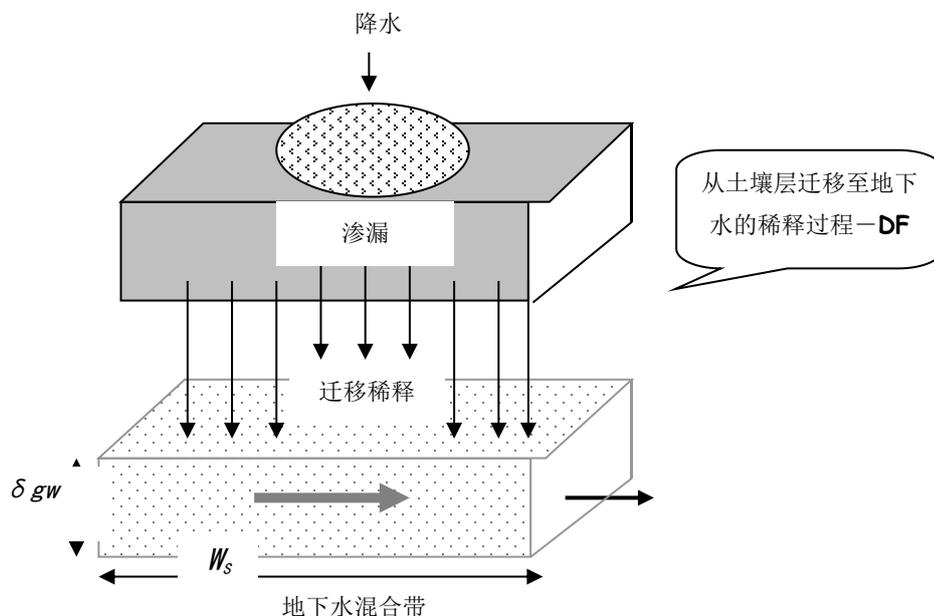


图 5.3 污染物渗滤稀释过程模型简图

$$DF = \frac{C_{soil}}{C_{GW}} = \left[\frac{LDF}{\rho_b} \right] \times \frac{L_1}{L_2} \quad (1)$$

$$\left[\frac{\rho_b}{\theta_{ws} + K_d \rho_b + H' \theta_{as}} \right]$$

LDF 为土壤渗滤层到地下水的迁移系数，计算方法如下：

$$LDF = 1 + \frac{U_{GW} \delta_{GW}}{I_f W_s} \quad (2)$$

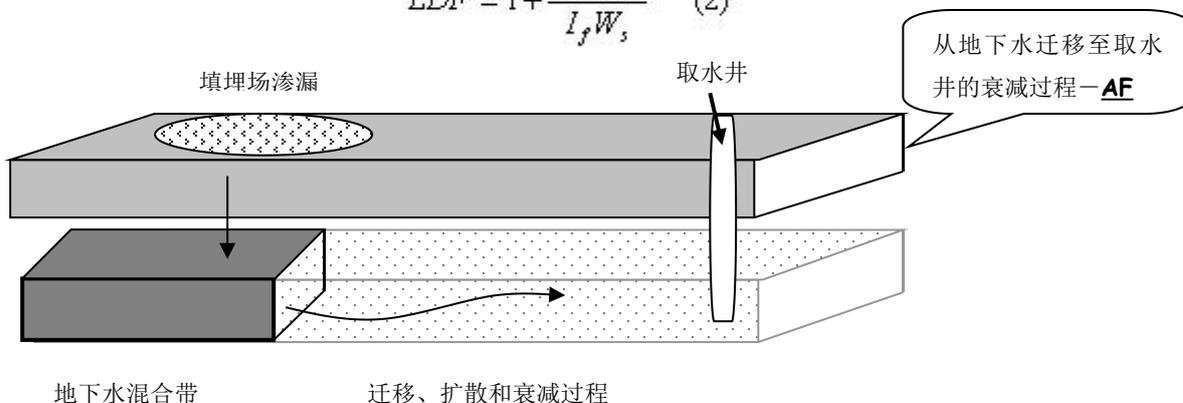


图 5.4 污染物进入地下水概念模型

$$AF = \frac{C_{ML}}{C_{we11}} = \frac{1}{\exp\left[\frac{L_{GW}}{2a_x} \left(1 - \sqrt{1 + 4 \frac{D_s a_x}{v_{coc}}}\right)\right]} \times \operatorname{erf}\left(\frac{W}{4\sqrt{a_y L_{GW}}}\right) \times \operatorname{erf}\left(\frac{D}{2\sqrt{a_z L_{GW}}}\right)$$

该过程有以下假设：

- 污染源为无限源；
- 污染物在整个区域均匀分布；
- 从地表到地下水的土壤均受到污染；
- 非饱和带不存在化学或生物降解；
- 污染物的土/水平衡分配是瞬时、线性的；
- 受体水井在污染源的边缘且在污染羽中；
- 含水层松散、非承压；
- 含水层均匀且各项同性；
- 含水层中污染物无衰减（吸附或降解）；
- 场地中无 NAPLs。

(1) 过程一：污染物从土壤解吸进入土壤液相

污染物从土壤解吸进入土壤液相的过程采用三相平衡模拟，对于无机物采用公式(3-1)，

对于有机物采用公式(3-2)：

$$c_w = c_t \times \frac{\rho_d}{\theta_w + H' \times \theta_a + \rho_d \times K_d} \quad (3-1)$$

$$c_w = c_t \times \frac{\rho_d}{\theta_w + H' \times \theta_a + \rho_d \times K_{oc} \times f_{oc}} \quad (3-2)$$

式中：

c_w ——土壤孔隙水中污染物含量，mg/L；

c_t ——土壤中污染物总含量，mg/kg；

ρ_d ——土壤干容重，g/cm³；

θ_w ——土壤中水的体积含量，无量纲；

θ_a ——土壤中空气的体积含量，无量纲；

H' ——污染物亨利常数，无量纲，对于除汞以外的重金属， H' 为零；

K_d ——污染物土-水分配系数，L/kg；

K_{oc} ——污染物有机碳-水分配系数，L/kg；

f_{oc} ——土壤有机碳含量，无量纲。

其中，三相平衡理论是建立在以下假设基础上的：

- 污染源为无限源，污染物不存在挥发或降解损失；
- 吸附量与污染物浓度呈线性关系(该假设对于大多数污染物来说在低浓度时有效，随着污染物浓度增加，等温吸附将不再是线性关系)；
- 系统处于吸附平衡状态(假设土壤和孔隙水中污染物浓度处于平衡水平)；
- 吸附-解吸附是可逆的。

(2) 过程二：液相中污染物向下迁移进入含水层后到达受体水井

土壤中污染物浸出穿过土壤和地下水经历了一系列物理、化学和生物过程，使得最终到达受体的污染物浓度降低。该过程包括在土壤和含水层介质中的吸附、化学转化（如水解、沉淀）、生物降解、稀释等，污染物浓度降低的整个过程可用稀释衰减稀释（Dilution/Attenuation Factor, DAF）表示。

$$DAF=DF \times AF$$

本标准采用 ASTM E 1739 推荐的模型参数来计算地下水稀释衰减系数：

表 5.3 主要参数意义及参考值

序号	代号	英文名称	中文名称	单位	参考值
常数					
1	L_{GW}	Down gradient flow distance from the source of contamination to the water supply well	污染源到取水点的坡度距离	meters	200
2	W	Source width respectively	水体宽度	meters	50
3	D	Source depth respectively	水体深度	meters	5
4	α_x	Longitudinal groundwater dispersivities	地下水径向距离	meters	$0.1 L_{GW}$
5	α_y	Transverse groundwater dispersivities	地下水横向距离	meters	$0.033 L_{GW}$
6	α_z	Vertical groundwater dispersivities	地下水垂直距离	meters	$0.005 L_{GW}$
物质特性参数					
6	D_g	First order decay constant	优先常数	day ⁻¹	0（重金属）
7	v_{coc}	Contaminant retarded velocity	污染物滞留时间	meter/day	0.029

DAF 的计算过程主要参数包括尾矿库的高度，地下水厚度以及地下水埋深。采用

EPACMTP 模型计算时，这些参数主要采用了现场调研数据，并考虑不利条件。本计算过程中尾矿库高度值为 100m，地下水埋深 3m，地下水厚度 10m。通过计算， $DAF=80$ 。给 DAF 计算值一个保险系数 25%，即得到排入尾矿库的污染物控制限值为地下水标准限值的 100 倍。

考虑到现有尾矿库运行管理水平，对氰渣排入现有尾矿库入场要求提出具体的时间要求。2019 年 3 月 31 日前，氰渣及氰化尾矿浆排入现有尾矿库执行表 3 规定的限值。与表 5.2 相比，仅仅少了易释放氰的污染控制限值要求。2019 年 4 月 1 日起，氰渣及氰化尾矿浆排入现有尾矿库执行表 2 规定的限值。

5.7.5 规定了氰渣或氰化尾矿浆排入尾矿库后，其产生的渗滤液或上清液应优先回用于生产。

5.7.6 考虑了我国西北等干旱地区可以利用人工翻堆、阳光暴晒等条件在尾矿库对氰渣进行自然降解。要求是年均降雨量小于 300mm 且蒸发强度大于 1500mm 的区域。根据这些区域黄金氰化企业生产现状，产生的氰渣经过压滤干排入尾矿库（一般含水率小于 22%），由于区域蒸发量较大，氰渣中的水分很快被晒干，没有渗滤液生成，如图 5.5、图 5.6 和图 5.7 所示。

图 5.5 为此区域的某典型黄金行业氰渣的堆存现状照片，从中可见，堆存表面的氰渣已非常干涸，经取样测含水率，在 3.15%~12.37%之间。图 5.6 为堆存氰渣内部的照片，从中可见，氰渣经堆存和压实后，非常坚实，经取样测含水率，在 8.47%~15.43%之间。图 5.7 为堆存氰渣坡底和尾矿库渗滤液收集池的照片，经过长期观测，氰渣坡底和尾矿库除下雨时的雨水（非渗滤液），一直处干涸状态。



图 5.5 西北干旱地区某典型黄金氰化生产企业氰渣堆存现状



图 5.6 西北干旱地区某典型黄金氰化生产企业氰渣内部堆存现状



图 5.7 西北干旱地区某典型黄金氰化生产企业尾矿库坡下与渗滤池干旱状况

为验证氰渣在自然情况下，氰化物降解状况，如图 5.8 所示，以新鲜尾矿渣为原样，平铺于尾矿库内，铺层厚度 20cm，划区域每天采集表面样品，如图 5.9 所示，测定其中氰化物的变化情况，试验结果见表 5.4。



图 5.8 西北干旱地区某典型黄金氰化生产企业氰渣自然降解试验现场



图 5.9 西北干旱地区某典型黄金氰化生产企业氰渣自然降解试验现场取样

从表 5.4 试验结果可知，在西北干旱地区黄金生产氰渣中的水分不仅蒸发较快，氰渣中的氰化物自然降解也相对较快，特别是易释放氰化物，在一周内的降解率达到 90%以上。另外，针对不同氰化物含量的氰渣进行的降解比较试验，如图 5.10 所示。

表 5.4 西北干旱地区某典型黄金氰化生产企业氰渣自然降解试验结果

时间(d)	含量 (mg/kg)		毒浸出液 (mg/L)		含水率(%)	天气情况
	易释放氰化物	总氰化物	易释放氰化物	总氰化物		
1	20.19	31.40	3.12	4.94	20.45	晴, 19~34℃
2	9.26	23.31	1.04	2.60	13.21	晴, 20~36℃
3	3.69	15.25	0.78	2.23	10.15	晴, 19~35℃
4	1.66	13.39	0.35	1.54	9.62	晴, 15~31℃
5	1.75	12.32	0.31	1.35	9.25	晴转多云, 14~29℃
6	1.11	8.95	0.17	1.47	9.34	晴, 16~33℃
7	1.09	7.22	0.13	1.22	8.67	晴, 19~35℃
8	0.65	4.65	0.07	1.05	8.42	晴转多云, 15~27℃

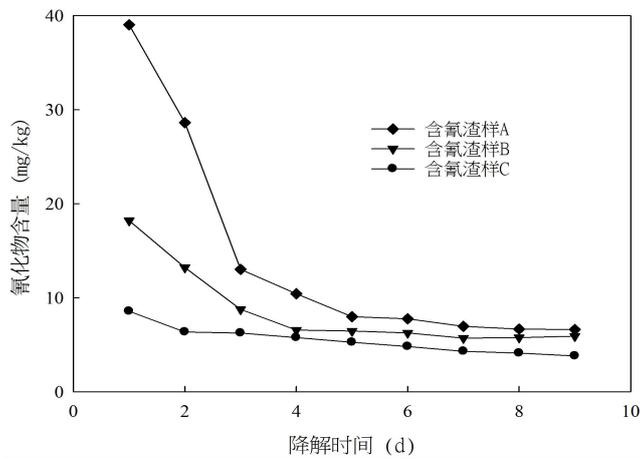


图 5.10 氰渣中氰化物含量随时间变化曲线

从图 5.10 可知，氰渣中氰化物含量随时间增长而降低，其降解规律符合一级动力学 $C=C_0e^{-kt}$ 模式。通过不同氰化物含量氰渣间的对比，氰化物含量高的氰渣在试验初期降解速率较高，而后期逐渐趋于平缓。由于自然气候条件下，有四季气候的差别，温度是四季差别的重要特征，且是影响氰化物降解的因素之一，因此，考察了温度对氰渣中氰化物降解效果的影响，试验在室内通过恒温槽进行，试验结果见图 5.11。

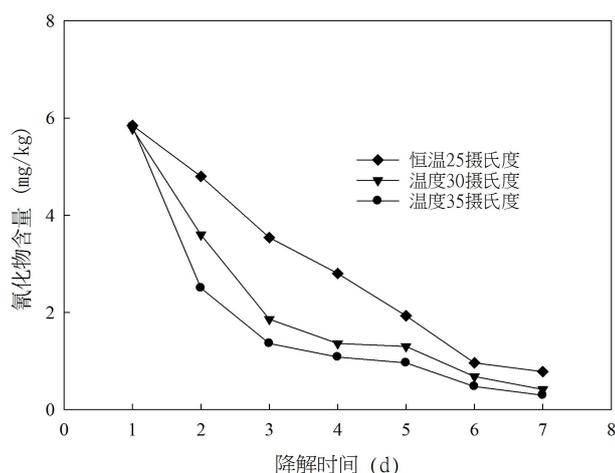


图 5.11 氰渣中氰化物含量随温度变化曲线

从图 5.11 可见，氰渣中氰化物含量随温度增长而降低，其降解规律符合一级动力学 $C=C_0e^{-kt}$ 模式。另外，通过比较不同温度条件下氰渣中氰化物含量的变化情况可知，在较高温度条件下，氰渣中氰化物降解速度较快。

为研究西北干旱地区黄金生产氰渣自然降解的共性现象，编制组调研了西北干旱地区其他两家黄金氰化生产企业，发现氰渣有共同的上述自然降解特征。另外，为考察氰渣自然降解堆存后，氰渣中氰化物的变化情况，对西北干旱地区某典型黄金氰化生产企业不同堆存时间的氰渣进行了取样分析，如表 5.5 所示。

表 5.5 自然降解堆存后不同时间氰渣毒性浸出液中氰化物浓度

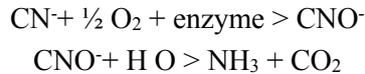
采样地点	样品编号	尾矿库处置时间	CN _T (mg/L)
1#皮带	GF17XDHJ3-5#	新排放	4.68
2#皮带	GF17XDHJ3-6#	新排放	3.85
刚落地样	GF17XDHJ3-7#	新排放	4.05
2#库南	GF17XDHJ3-2#	2~3 年	0.010
2#库西	GF17XDHJ3-4#	2~3 年	0.011
1#库南	GF17XDHJ3-1#	5 年以上	0.004L
1#库东	GF17XDHJ3-3#	5 年以上	0.004L

表 5.5 毒性浸出试验说明, 氰渣中的氰化物降解速度较快, 如图 5.12 所示, 在近 200 m 的皮带输送过程中, 氰渣毒浸出液中氰化浓度就下降了 17.73%。



图 5.12 氰渣输送皮带

氰渣中氰化物含量随尾矿库处置时间的延长而显著下降, 处置 2~3 年的氰渣, 毒性浸出液中氰化物浓度仅 0.010~0.011 mg/L; 处置 5 年以上的氰渣, 毒性浸出液中氰化物浓度已低于检测限 (0.004 mg/L) 以下。说明在尾矿库处置过程中氰渣中的氰化物也会随时间的延长也逐渐降解。氰化物自然降解的反应如下:



氰渣的自然降解是受光照、温度、水分、氧含量等诸多因素影响的, 为提高氰渣自然降解的效果, 需要有较强的光照、较高的气温和氧含量等条件, 因此, 为了保证氰渣强化自然降解的效果, 需要对氰渣进行翻堆、碾压、晾晒等日常作业, 且要求对氰渣进行分层晾晒, 根据企业现场铺堆作业现状, 结合氰渣自然降解效果, 要求每层厚度不超过 500 mm, 晾晒时间不得低于 20 天。

由于人工控制的强化自然降解效果受到氰渣中氰化物浓度、作业程序的影响较大, 本条还针对氰渣强化自然降解入场浓度提出污染控制要求, 主要控制污染物为易释放氰化物, 并对作业面空气中 HCN 浓度、作业层厚度、晾晒时间提出具体要求。这些要求可以有效防止企业以自然降解的名义将含氰废渣超标堆放至尾矿库。

5.8 氰渣堆浸处置污染控制技术要求

5.8.1 是堆浸处置的一般性要求, 氰渣堆浸工艺的建设、运行和关闭作业应满足《氰化堆浸提金工艺安全生产技术规范》的要求。

5.8.2 基于堆浸工艺的特点, 要求堆浸场应进行防渗设计, 不仅是生产工艺的需要还是加强环境管理的需要。考虑到堆浸与尾矿库建设的相似性, 防渗要求参照尾矿库防渗等级的

要求。

5.8.3 根据调查，许多堆浸场开始采用 HDPE 膜进行防渗。根据我国现有的法律法规要求，本条规定采用 HDPE 膜时应符合《垃圾填埋场用高密度聚乙烯土工膜》 CJ/T 234 要求。

5.8.4 规定了堆浸工艺结束后，堆浸尾渣可以在原地关闭作业，但是要求关闭作业后应持续对渗滤液进行处理。

5.8.5 规定倒堆是堆浸氰化提取金一个生产周期结束后，为继续使用堆浸场，对堆浸氰化尾渣进行淋洗处理达到一定标准后，将堆浸氰化尾渣转换场地的活动。堆浸尾渣倒堆是目前比较常见的作业方式，本条对倒堆的作业程序进行了规定，并对封场渗滤液处理及排放提出相关要求。同时要求淋洗液应达到地表水质量要求时才能进行倒堆作业。

5.8.6 规定了如果金矿石氰化尾渣、金精矿氰化尾渣进入堆浸场进行原地关闭作业的需满足标准文本第 7.4 条表 2 污染控制限值的要求。

5.9 氰渣利用污染控制技术要求

5.9.1 根据编制组的前期研究成果，从防止带来新的二次污染的要求出发，要求不应采用因科法、氯氧化法和降氰沉淀法对回填料进行脱氰处理。本条还规定了回填料脱氰工艺要求和回填料体的污染控制限值，即回填料体的浸出标准达到地表水质量标准。由于易释放氰降解快，参考美国饮用水标准 0.2 mg/l，将易释放氰化物限值规定为 0.2 mg/l。同时也规定了当回填料至防渗设计的露天采坑时，这种条件下应按照尾矿库处置的要求进行环境污染控制管理。

氰渣回填料符合国家的相关政策，也是国家鼓励的重要尾矿利用技术。但是目前我国仍缺乏针对尾矿回填料的污染控制要求，特别是氰渣回填料污染控制要求。自 1887 年氰化法应用于提取金银以来，由于回收率高、对矿石适应性强、成本低、就地产金而广泛地应用于黄金行业。目前，世界黄金产量的 80%以上是采用氰化提金技术获得的。美国、欧洲、加拿大和澳大利亚等发达国家脉石金矿提金工艺均采用氰化法，因此，国外对氰渣的处置和利用起步较早，并纷纷制定标准或规范对其进行有效控制。国际氰化物管理协会《国际氰化物管理规范》中规定氰化尾渣液相中弱酸可分解氰化物（WAD）浓度不超过 50 mg/L 时可以堆存处置，渗滤液直接排放至地表水时 WAD 的浓度不得超过 0.5 mg/L，但同时也规定堆存场地需进行防渗漏管理，以保证场地所在地及下游地下水中 WAD 的浓度不超出当地地下水环境质量标准。美国加州在采空区进行回填料，要求浸出液、尾矿在排放废物前必须满足以下标准：液相：易释放氰化物：0.2 mg/L；总氰化物：1.0 mg/L。澳大利亚 2007 年编制出台了《尾矿库管理手册》，重点讨论了尾矿管理体系和加强管理的相关技术，同时规定氰化尾渣液相中

WAD 浓度低于 50 mg/L 时可以堆存于尾矿库中。

对于采用氰化尾渣进行脱氰后充填采空区，一些发达国家金矿企业已实现了工程化应用。据调查，澳大利亚有顶峰金矿、卡若纳·贝勒金矿、深成岩金矿、阿格纽金矿等采用含氰尾矿进行井下充填，以顶峰金矿为例，含氰尾矿充填砂浆含氰浓度在低于 50 mg/L 的情况下，可以进行井下采空区充填作业，其渗出液（泌水）经矿井涌水稀释后能够达到澳大利亚环保标准。南非的 Savuka、Tau Tona 和 Mponeng 矿山等采用含氰尾矿进行井下充填。编制组前期研究结果同样表明：

- 氰化尾渣采用固液分离洗涤和臭氧氧化+降氰沉淀法工艺处理后，氰化尾矿液相中的污染物浓度能达到国家《污水综合排放标准》的一级要求。
- 氰化尾渣采用固液分离洗涤+臭氧氧化工艺、压滤调浆+臭氧氧化法+固液分离洗涤工艺和固液分离洗涤+臭氧氧化法+降氰沉淀法+双氧水氧化法工艺处理后，氰化尾矿浆液相中的各污染物浓度均能达到国家《污水综合排放标准》的一级要求。
- 氰化尾渣采用上述各工艺进行脱氰处理，处理后氰化尾渣浸出毒性均能达到第 I 类一般工业固体废物的要求。

编制组针对矿浆脱氰处理达到《污水综合排放标准》中的一级标准要求，浸出毒性达到《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB 18599-2001）中的第 I 类一般工业固体废物要求后氰化尾渣进行地面模拟充填试验。实验包括向 300 型混凝土搅拌机中依次加入一定质量的脱氰处理后氰渣（含水率约 10%）、325 水泥和清水，灰砂比 1:4，质量浓度：55%。充填浆体在混凝土搅拌机中搅拌 3~5 min 后充入 500×500×500mm 模具中，静置养护 28 天，充填浆体制模过程见图 5.13。固化后的模拟充填体进行毒性浸出试验，毒性浸出试验结果详见表 5.6。



充填模具组装

灌注砂浆密封

图 5.13 充填浆体制模过程图

表 5.6 模拟充填体的毒性浸出试验结果

指标	CN _T	CN _F	Cu	Hg	Pb	Zn	As	Cl	SO ₄ ²⁻
1#充填体 mg/L	0.004L	0.004L	0.01L	0.00025	0.017L	0.0624	0.00182	5.36	26.5
2#充填体 mg/L	0.004L	0.004L	0.01L	0.00020	0.017L	0.0439	0.00090	3.34	55.9
3#充填体 mg/L	0.004L	0.004L	0.01L	0.00018	0.017L	0.0256L	0.00062	2.63	32.9
4#充填体 mg/L	0.004L	0.004L	0.01L	0.00020	0.017L	0.0256L	0.00072	2.90	45.3
地下水III 级标准 mg/L	0.05	—	1.0	0.001	0.05	1.0	0.05	250	250

固化后模拟充填体毒性浸出试验结果表明,各充填体浸出液总氰化物浓度均在检出限以下。回填试验形成的充填体放置采用塑料膜套筒进行密封,并对密封空间内空气中的HCN气体采用泵吸式气体检测报警仪(型号HL-2A)进行监测,结果显示HCN气体浓度低于设备检出限,说明经脱氰处理后的氰渣进行回填时,不会向周围环境释放HCN气体,即不会对周围环境空气造成污染。

5.9.2 水泥窑协同处置氰渣污染控制技术要求主要参考了水泥窑协同处置固体废物污染控制标准以及《水泥窑协同处置危险废物经营许可证审查指南》。其中,对于窑尾烟室/分解炉的加料要求进行了规定。

根据编制组前期开展的生料磨实验研究,含氰废渣中的氰化物会与潮湿的空气或CO₂气体反应生产HCN。水泥窑烟气中含有一定浓度的水蒸气和CO₂,因此当黄金冶炼废渣从生料磨投加时,其中的氰化物会转变为HCN排入大气。

表 5.7 黄金冶炼废渣、入窑生料、窑灰及烟气中的氰化物(CN⁻)(g/h)

黄金冶炼废渣	入窑生料	窑灰	烟气
793	29	5	922

表 5.7 显示了平衡状态下,单位时间内由黄金冶炼废渣和入窑生料带入水泥窑内的氰化物(CN⁻)、随窑灰在水泥窑内循环的氰化物(CN⁻)以及由烟气排出水泥窑的氰化物(CN⁻)。由于出磨生料中未发现氰化物,因此可以认为,黄金冶炼废渣中的氰化物在生料磨中已全部转变为HCN进入烟气,烟气中的少量(约1%)HCN在除尘器内冷凝在窑灰上,绝大部分

(约 99%) 排入大气，而入窑生料中的氰化物则全部来源于返窑窑灰，这部分氰化物在预热器内也将全部挥发进入烟气。氰化物在水泥窑的迁移规律可用图 5.14 表示。

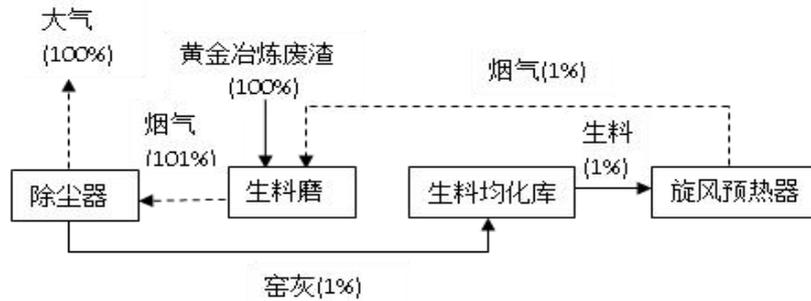


图 5.14 氰化物在水泥窑内的迁移规律

根据分解炉试验研究，对出磨生料、入窑生料、窑灰和熟料中的易释放态氰化物和总氰化物含量进行分析，结果分别如表 5.8 和表 5.9。

表 5.8 固体样品中易释放态氰化物（以 CN⁻计，mg/kg）

项目	空白测试		含氰废渣试烧测试		
	第 1 次	第 2 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次
出磨生料	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
入窑生料	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
窑灰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
熟料	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

注：n.d.表示未检出，即小于检出限 0.01mg/kg。

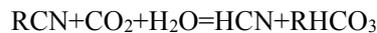
表 5.9 固体样品中总氰化物（以 CN⁻计，mg/kg）

项目	空白测试		含氰废渣试烧测试		
	第 1 次	第 2 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次
出磨生料	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
入窑生料	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
窑灰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
熟料	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

注：n.d.表示未检出，即小于检出限 0.01mg/kg。

在分解炉中，固态氰化物（以 RCN 表示）会与潮湿的空气或 CO₂ 气体反应生产 HCN，水泥窑烟气中含有一定浓度的水蒸气和 CO₂，因此当含氰废渣投入水泥窑时，其中的部分

CN⁻会转变为 HCN，HCN 在水泥窑的温度区间内为气态，因此生产的 HCN 将进入水泥窑烟气，反应方程式如下：



另一方面，固态氰化物和气态 HCN 中的氰根（CN⁻）在水泥窑分解炉内的高温氧化环境下会发生分解，反应方程式如下：



未分解的固相 CN⁻将残留在熟料中，未分解的气相 CN⁻（即 HCN）将通过水泥窑烟气排入大气。

由表 5.8 和 5.9 可以看出，出磨生料、入窑生料、窑灰、熟料中均未检测出 CN⁻。协同处置含氰废渣时，烟气是水泥窑内未分解氰化物的唯一环境释放源，未分解的氰化物以气态 HCN 的形式排入大气。利用 CN⁻的焚毁去除率（DRE）表示氰化物在水泥窑内的分解程度，DRE 采用下式计算：

$$\text{DRE} = 1 - \frac{C_g \times V_g}{C_w \times R_w}$$

其中：

C_g 为水泥窑窑尾烟气中的 CN⁻浓度，mg/m³；

V_g 为水泥窑窑尾烟气流量，m³/h；

C_w 为含氰废渣中 CN⁻含量，mg/kg；

R_w 为含氰废渣的投加速率，kg/h。

根据表 5.8 和表 5.9，可计算氰化物在水泥窑内的 DRE 平均为 95.96%，在此条件下，按照氰化尾渣最高浓度 1500mg/kg 计算，以日产熟料 3200t 的水泥窑计算，其每小时排气量约 380000m³，投加速率按照 3t/小时，其排气中的 HCN 浓度计算可得约 0.48mg/m³，远小于大气综合排放标准值 1.9 mg/m³，考虑到氰渣添加比例不应对水泥窑熟料造成影响，规定对于其最大投加比例设定参照了相关标准为小于 15%。此外，氰渣水泥窑协同处置的其他要求还应满足 GB 30485、HJ 662 的相关要求。

5.9.3 规定了氰渣利用产品的污染控制技术要求。

5.9.3.1 要求主要借鉴了财政部与国家税务总局联合下发的《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》，即鼓励含氰废渣作为生产建材。同时，基于各地发布的工业废渣生产建材的管理经验，本条规定了利用氰渣作为生产水泥、陶粒等建材的原料时，除应满足相应建材制品中对原料的要求外，氰渣根据 HJ/T 299 制备浸出液中总氰化物浓度不得高于 4 mg/L。

5.9.3.2 规定了利用氰渣作为有色金属、稀贵金属、黑色金属冶炼的替代原料时，除应符合国家标准、行业标准、地方标准以及行业通行产品质量标准要求外，其总氰化物含量不得高于 1500mg/kg 的限值要求。氰化尾渣由于矿石性质及采用的提金工艺流程不同，含有价金属及矿物的性质、种类、含量也均有不同。大多数黄金矿山采用浮选、重选工艺处理氰化尾渣。

(1) 氰渣利用依据及途径

1) 山东 JCL 金矿始建于 1966 年，是采选氰冶综合配套的全国黄金行业领先企业，国土资源部首批绿色矿山试点单位，多金属回收示范园区，采用优先混合浮选铅锌-硫酸脱氰活化-铜硫分离的流程，使氰化生产形成了“金精矿-氰化-氰化尾渣-回收多元素-废水循环利用”的生态产业链。

JCL 金矿年利用氰渣 660000 吨，年产铅精矿 5940 吨、铜精矿 9900 吨、硫精矿 37560 吨，每年能够创造营业收入 2840 万元，同时每年为国家创造税收 885.19 万元，工艺流程具体如下：氰化尾渣经一段加入硫酸进行酸化，酸化时间约为 4 小时，终点 pH 值在 6.0~6.5 左右，酸浸后的矿浆进行浮选铅锌混合精矿，浮尾再打入酸化槽加入硫酸继续酸化，即二次酸化，时间约为 8 小时，酸化后矿浆浮选铜精矿。酸化过程的氰化氢气体，通过管道及引风机收集至尾气吸收处理系统，采用碱性贫液进行喷淋吸收，吸收后液返回到氰化流程。氰化尾渣经选矿工序浮选后分别得到铅锌精矿浆、铜精矿浆和硫精矿浆，铅锌精矿浆、铜精矿浆和硫铁矿浆直接进浓密机固液分离，分离后去尾渣过滤车间，各浓密机溢流及过滤滤液均作为浮选前调浆水返回系统。压滤后的铅锌精矿、铜精矿及硫精矿直接进渣场，使用汽车运输，作为金属冶炼替代原料和生产硫酸的替代原料。

2) 山东 ZK 企业也采用浮选氰渣回收工艺，年处理氰渣 25 万吨，回收铜 878 吨，铅 559 吨、锌 659 吨、氰化钠 57 吨。

3) 山东 HJL 企业从氰化尾渣中回收铜、铅、锌、硫多元属，年利用氰渣 420000 吨，年产高硫铁精矿 200000 吨、铅精矿 12000 吨、铜精矿 12000 吨，取得了显著的经济效益和社会效益。

4) 福建 SQS 金矿氰化尾渣处理工艺采用“含氰中矿—加药、加压、加温脱氰—水解—处理后的中矿浮选黄铁矿”。利用游离氰易氧化，络合氰难氧化的特点，在压力、温度、脱氰络合剂、氧化剂、造孔药剂的多重作用下，脱氰效果大大提高，通过中试和试验室验证检测，脱氰效果好。通过多次中试试验，在温度 180℃，压力在 10 kg 下，经 12 小时以上的水解，处理前：总氰化物 2280~3450 mg/kg、易释氰化物 969~1560 mg/kg，处理后：总氰

化物 1.7~34.5 mg/kg、易释放氰化物 0.8~3.46 mg/kg。每年利用氰渣约 1 万吨，每年可生产 3244 吨高品位硫精矿，同时约可回收 16 kg 黄金，80 kg 金属银，可达到减量排放，又带来可观的经济效益。

5) 云南 BY 公司是一个以铁、金、铜为主要矿种，集采矿、选矿、冶炼为一体的云南省最大的多金属黄金矿山。目前采用露天采矿、金矿石氰化-磁选联合工艺选矿，年生产黄金约 5 吨，白银 35 吨，铁精矿 80 万吨，年总产值近 15 亿元。2015 年生产黄金 6006.83 kg，白银 35218.73 kg，磁铁 10.07 万吨，褐铁 81.44 万吨。日处理能力为全国之最，产量位居全国十大黄金矿山第五位。

6) 河北 DL 是一家日处理 3000 吨金矿石的氰化企业，氰渣采用磁选回收铁精粉。

(2) 氰渣利用作为替代原料中氰化物含量调研

经编制组现场取样分析可知氰渣利用回收铜精矿、铅精矿、锌精矿、铅锌混合精矿、硫铁矿、铁精矿中总氰化物含量见表 5.10~表 5.15，氰渣利用回收替代原料中氰化物含量统计表见表 5.16。

表 5.10 氰渣利用回收铜精矿中氰化物含量

分析状态	分析成分	铜精矿 1	铜精矿 2	铜精矿 3	铜精矿 4	铜精矿 5
固体含量	总氰化物 (mg/kg)	364	286	424	688	503

表 5.11 氰渣利用回收铅精矿中氰化物含量

分析状态	分析成分	铅精矿 1	铅精矿 2	铅精矿 3	铅精矿 4	铅精矿 5
固体含量	总氰化物 (mg/kg)	210	151	162	434	294

表 5.12 氰渣利用回收锌精矿中氰化物含量

分析状态	分析成分	锌精矿 1	锌精矿 2	锌精矿 3	锌精矿 4	锌精矿 5
固体含量	总氰化物 (mg/kg)	683	744	625	467	467

表 5.13 氰渣利用回收铅锌混合精矿中氰化物含量

分析状态	分析成分	铅锌精矿 1	铅锌精矿 2	铅锌精矿 3	铅锌精矿 4	铅锌精矿 5
固体含量	总氰化物 (mg/kg)	588	350	696	573	639

表 5.14 氰渣利用回收硫铁精矿中氰化物含量

分析状态	分析成分	铁硫精矿 1	铁硫精矿 2	铁硫精矿 3
固体含量	总氰化物 (mg/kg)	216	235	232

表 5.15 氰渣利用回收铁精矿中氰化物含量

分析状态	分析成分	铁精矿 1	铁精矿 2	铁精矿 3	铁精矿 4	铁精矿 5
固体含量	总氰化物 (mg/kg)	1268	1321	1284	1537	1320

表 5.16 氰渣利用回收替代原料中氰化物含量统计表

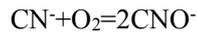
固体含量 总氰化物 (mg/kg)	<1500	<1200	<1000	<800	<500
合格样品数量/总计样品数量	40/43	31/43	28/43	28/43	15/43
合格样品占比	93.02%	72.09%	65.12%	65.12%	34.88%

(3) 氰渣利用过程特征污染物氰化物高温分解原理

氰渣利用途径主要包括用作铜精矿、铅精矿、锌精矿、混合铅锌精矿、铁精矿、硫铁矿、硫精矿等在下流利用过程首先需 850℃ 以上的高温氧化熔炼、焙烧、烧结或球团氧化处理，其中的特征污染物氰化物分解原理如下：

● 氰化物高温氧化焚烧

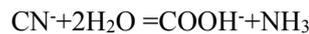
氰渣中氰化物在高温，有氧化剂存在发生分解，原理如下：



研究认为氰化物在 850-900℃，氰化氢几乎全部分解，但温度过高 N₂ 被氧化为 NO_x。

● 氰化物高温水解氧化

氰渣在高温焚烧过程同时发生水解反应，反应机理如下：



氰化物的水解反应温度 (850℃~1000℃)，氰化物分解率 99%，氰渣中氰化物 95% 在高温时挥发进入气相，气态因高温氧化焚烧或高温水解氧化，特别是在温度高于 850℃ 时，有充足氧气情况下，分解率 99% 以上。

(4) 氰渣利用回收过程中环境风险及污染控制措施

● 氰渣利用回收过程中环境风险识别

氰渣利用回收替代原料全过程中氰化物对环境的风险主要存在运输（见本标准相关章节）、贮存及后续火法冶炼或制酸焙烧过程。

氰渣在利用前及回收替代原料在临时贮存过程存在的环境风险有：氰渣或回收替代原料中氰化物溢出威胁人员或周边动物生命健康；氰渣或回收替代原料在贮存过程因雨水使氰渣中的污染物迁移至水中污染地表或地下水，或直接进入地表水；扬尘等。

氰渣利用回收替代原料在后续利用工艺过程中环境风险主要有含氰化物的硫精矿及重金属挥发溢出威胁人员或周边动物生命健康，过程中三废处理不当造成的环境污染。

● 贮存风险评估及污染控制措施

由于氰渣利用前及氰渣回收的替代原料有一定的毒性，临时贮存有一定的环境风险。同时本标准编制期间调研了 2 家氰渣利用企业，均建有氰渣贮存场（大棚），先利用铲车、钩机等设备将氰渣翻倒晾晒，降低其水分和氰化物含量，晾晒前含水率为 20%左右，晾晒后含水率降低到 15%左右。氰渣翻倒晾晒还可大幅度降低氰化物含量，去除效率高达 54.72%。氰渣在贮存过程因含盐量高，表面固化板结不易扬尘。氰渣或替代原料一般为弱碱性，氰化物很少溢出，但与酸性物质混合时会有氰化物溢出。含硫氰渣暴露在空气，特别是有水时，在微生物作用下加速自然酸化，易释放出 HCN 溶出重金属。因而要求氰渣利用前及氰渣回收的替代原料临时贮存设施建设应满足通风、自然光降解的需求，临时贮存的其他要求应符合 GB 18597 相关规定。

● 利用过程风险评估及污染控制措施

对于氰渣利用回收的替代原料在贮存过程挥发的氰化氢气体对环境风险以铜精矿为列，进行氰化物含量环境可接受限值的计算评估：

铜精矿中氰化物含量限值计算公式如下：

$$C_m = I_m * Q / [(1-B) * A]$$

其中：

C_m ，铜精矿中氰化物含量，mg/kg；

I_m ，氰化氢风险控制指标，mg/m³，原料堆场贮存过程氰化氢风险控制指标参照《工作场所所有害因素接触职业接触限值》（GBZ 2.1—2007）工业场所中氰化物容许浓度为 1mg/m³ 确定；

Q ，生产单位铜精矿工艺排放气量，m³/kg，以《有色金属冶炼行业排污许可证申请与核发技术规范 铜冶炼（征求意见稿）》，为依据确定：原料制备系统 9000m³/t 铜产品，铜精

矿铜含量在 20~30%，按 30%计，生产单位铜精矿原料制备系统工艺排放气量即 30000m³/t 铜精粉；

A，下游生产中氰渣回收铜精粉所占原料比例，%。2016 年中国精铜产量为 844 万吨，黄金行业回收的铜精粉不超过 10 万吨，仅占铜冶炼行业的产量的 2%左右。工信部 2014 年 4 月 28 日发布了《铜冶炼行业规范条件》指出，新建和改造利用铜精矿和含铜二次资源的铜冶炼企业，冶炼能力须在 10 万吨/年及以上，黄金行业最高氰渣回收铜精粉 9900 吨/年，折铜产量 2000 吨/年，任何一家铜冶炼企业都是将这部分作为不足 2%原料的配料使用，A 值按 2%计；

B，排放气体中气体氰化物消解率，%。按最不利条件氰渣回收铜精粉中的氰化物未分解，全部都挥发至环境空气中，B 值确定为 0%。

详细计算表见表 5.17：

表 5.17 铜精矿中氰化物含量限值计算参数表

序号	原料下游工艺	含量 %	工艺名称	温度 °C	占比	最低气量(吨产品) m ³	氰化物(释放)分解率	排放标准 mg/m ³	气量(吨产品) m ³	Cm 值 mg/kg
1	铜精矿原料堆场贮存	20~30	临时贮存	室温	2%	9000	0%	1.0	30000	1500

经推算得出 Cm 值为 1500 mg/kg，本规范要求氰渣利用前及氰渣回收的替代原料中氰化物含量限值为 1500 mg/kg 即 0.15%。

5.9.3.3 为防止企业简单以副产品备案来规避废物在利用过程中的环境监管，规定了利用氰渣作为生产硫酸的替代原料时，除应符合国家标准、行业标准、地方标准以及行业通行产品质量标准要求外，其按照 HJ/T 299 制备的浸出液还应满足表 5.18 的要求，并应符合以下规定：

表 5.18 生产硫酸的替代原料时氰渣中污染控制限值

序号	控制项目	限值要求/(mg/L)	检测方法
1	总氰化物(以 CN 计)	10	GB 5085.3 附录 G
2	总砷	5	HJ 702、HJ 766、GB/T 15555.3
3	总汞	1	HJ 702、GB/T 15555.1

a) 氰渣作为替代原料生产硫酸应直接加入制酸焙烧炉，或者经浮选在富集硫后加入制酸焙烧炉。再浮选硫工艺过程需采取封闭措施，并配置废水及废气处理设施(包含氰化氢气体处理装置)；

b) 接收企业应满足《产业结构调整指导目录（2011年本）》修正版中关于硫铁矿制酸的相关要求。

9.3.4 条要求企业内部临时贮存设施建设应满足通风、自然光降解的需求，临时贮存的其他要求应符合《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597—2001）相关规定。运输应符合本标准第 6.2、6.3 条的要求。

5.10 环境应急与风险防控

5.10.1 为原则要求，要求企业应制定氰渣收集、贮存、运输、脱氰处理、利用和处置等全过程中的引起突发环境事件的应急预案。尾矿库处置企业应按照《尾矿库风险评估技术导则（试行）》及《尾矿库环境应急预案编制指南》的要求编制尾矿库应急预案，定期开展环境风险评估工作，并进行定期演练。

5.10.2 为职业卫生和氰化物中毒后的解毒要求，对于有氰化氢气体产生的封闭作业场所应满足 GBZ 2.1 要求，应设有氰化氢等气体浓度监测及报警仪器（装置），并配备氰化物中毒急救相关医药用品。

5.10.3 为防止突发事故造成渗漏，本条规定氰化车间、氰渣脱氰处理车间要求设置应急池。

5.10.4 考虑到暴雨造成渗滤液产量突然增大，对处置场周边环境带来安全隐患，本条要求氰渣处置场下游应设置渗滤液收集池及应急处理设施。

5.11 监测要求

5.11.1 为一般性要求，企业应按照有关法律和 HJ 819 等规定，建立企业监测制度，制定监测方案，对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并按照信息公开管理办法公布监测结果。

5.11.2 为规范性要求，企业应对氰渣脱氰处理效果进行自行监测，并对采样点位的设置进行了规定。

a) 尾矿库处置的氰渣采样点位应设置在进入尾矿库之前的生产车间或脱氰处理车间排口；

b) 达到 9.1.3 要求的氰渣回填利用的企业，应在充填 28 天后的充填体中取样，连续作业的每月取样一次，非连续作业每批次取样一次；

c) 达到 9.1.7 要求的氰渣利用的企业，氰渣采样点位应设置在进入露天采坑之前的生产车间或脱氰处理车间排口。

5.11.3 条为有效防范氰渣尾矿库及堆浸处置场对于地下水的环境风险，本条对氰渣处置

场的地下水监测提出具体要求。

5.11.3.1 要求新建氰渣处置场投入使用之前，企业应监测地下水背景值；

5.11.3.2 要求新建尾矿库、堆浸场应根据场地水文地质条件，以及反映地下水水质变化为原则，布设地下水监测系统；

5.11.3.3 对地下水监测频率提出具体要求，并规定发现地下水异常时，企业的应急管理要求；

5.11.3.4 对处置场地下水监测因子进行了规定，规定运行企业根据矿石性质提出，必须具有代表性。特征污染物测定项目为：总氰化物、易释放氰化物、总铜、总铅、总锌、总砷、总汞。常规测定项目及检测方法按照 GB/T 14848 执行；

5.11.3.5 规定地方环境保护行政主管部门应对地下水水质进行监督性监测，频率不少于每年两次（丰、枯水期）。

6 与国外主要标准的比较

6.1 尾矿处置要求比较

表 6.1 防渗结构要求与国外主要国家的标准对比

国家	主要防渗结构	主要指标	
		渗透系数 cm/s	黏土厚度
美国爱德华州	人工衬层	$\leq 1 \times 10^{-7}$	$\geq 0.3\text{m}$
美国科罗拉多州	黏土衬层	$\leq 1 \times 10^{-6}$	双层
本标准	人工衬层	$\leq 1 \times 10^{-7}$	$\geq 0.5\text{m}$

在对表 6.1 中美国相关州的尾矿防渗层结构要求进行比较后得出，对于压实粘土层的渗透系数要求限值小于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

6.2 尾矿处置污染物控制限值比较

表 6.2 美国各州对氰化堆浸、尾矿库处置和回填的要求

州名	处理标准	回填/联合处置
加利福尼亚州	浸出液、尾矿在排放废物前必须满足以下标准： 液相： ● 易释放氰化物：0.2 mg/L； ● 总氰：1.0 mg/L。 固相： ● 可溶性易释放氰化物 0.5 mg/L； ● 可溶性总氰 2.5 mg/L； ● 总氰 10.0 mg/L。	在采空区进行回填
科罗拉多州	标准限值基于当地实际情况由专家确定。即根据当地环境水体质量、水体特征以及用水量，出流量特	与其他采矿操作相同。（成本估算需要将

	征等确定氰和金属含量。	脱氰工艺考虑在内)
爱达华州	在处置或排放尾矿浆前，易释放氰或自由氰以及其他在生产过程中产生的污染物浓度需要满足： ● 基于处置方式，处置地点，以及地表水和地下水污染潜势由专家确定的污染物需要削减的程度； ● pH 满足 6.5~9 区间； 季节性关停需要将水平衡纳入考虑范围。	需要有永久封场计划和封场后的管理措施。在再利用方面对氰化物没有特殊要求。
蒙大拿州	不允许氰化废水排入州内水体。 金属矿山开垦行动：由专家进行判别； 根据水环境质量标准限制。	与其他矿山操作相同，
内华达州	堆体需要被持续洗涤，直至出水达到： ● 易释放氰 0.2 mg/L； ● pH 值在 6~9 之间； ● 剩余固体利用 Meteoric Water Mobility Test 进行检测。 尾渣（原浸出液）： ● 对于没有排水和收集系统的尾矿库，固体必须使用 Meteoric Water Mobility Test 进行检测	污泥，堆浸固体在封堆到复垦前必须使用 Meteoric Water Mobility Test 进行检测。 复垦与其他采矿操作相似
南加利福尼亚州	根据专家确定限值。 目前标准：自由氰 0.2 mg/L	封堆属于复垦的必要组成部分。
南达科塔州	堆浸： 废矿可以转移当出水或孔隙水达到以下标准： ● 易释放氰<0.5 mg/L； ● pH 在 6.5~8.5 之间； ● 所有其他参数达到目前州立标准或环境浓度； ● 出水氰化物需从堆体底部采样；	与其他采矿操作相同

表 6.3 尾矿处置入场标准限值与国外主要国家标准对比 (mg/L)

污染控制指标	中国	美国	欧盟
总氰化物	5	10	10
易释放氰化物	4	0.5	/

从上述比较中可以看出，氰化物处置场污染物控制限值与发达国家基本一致，是现有的污染控制技术可以达到的。

7 制订标准后的技术经济和环境效益分析

7.1 经济效益分析

7.1.1 氰渣运输

按照本标准中 6.2 相关要求运输，运行成本可降低三分之二，运输成本为 0.5 元/t·每公

里。本标准既可对氰渣运输环节进行污染风险控制，又可降低企业氰渣运输成本，使企业可接受。

7.1.2 氰渣尾矿库处置

实施本规范后需要重点增加氰渣入库脱氰处理设施的建设费用。目前我国需要进行氰渣入场处置的黄金生产企业有 140 多家，年处置量 2500 万吨，每吨/日脱氰处理和应急处理设施投资费用为 3 万元，脱氰处理投资费用为 20 亿元，本标准执行前运行成本为 50 元/吨（含尾矿库），本标准执行后运行成本为 70 元/吨（含尾矿库），年运行成本增加 5 亿元。

氰渣入库处置的新增运行成本主要是氰渣脱氰处理成本，根据长春黄金研究院多年的研究数据，达到本规范要求的入场标准，每吨氰渣脱氰处理成本约 15~25 元。

7.1.3 氰渣回填利用

氰渣是黄金行业的特征固体废物，虽然在技术上开发出制砖、建筑砂浆等技术，由于重量大、运输费用高、市场半径大，导致氰渣的利用率一直较低，已严重影响了黄金行业氰化尾渣利用方面的发展。我国每年产生 1.3 亿吨危险废物，其中黄金生产过程中产生的氰化尾渣量达 1 亿吨，因此，氰化尾渣已成为我国环境保护危险废物管理工作中的重点难题。与此同时，地下资源井工开采带来的地表沉陷问题日益剧增，而大量尾矿的地表处置也长期威胁着人类的生存发展，进一步加剧生态环境恶化，同时尾矿库泄露事故引发的区域水体面源污染频繁发生。因此，将氰化尾渣用于采空区回填是黄金矿山氰化尾渣资源化、提高资源利用率、保护地表环境和远景资源的一个重要手段。通过回填，不但能在回收矿产资源时使矿山获得良好的经济效益，而且能够有效地提高资源利用率，并且减少对自然环境的破坏，促进资源、环境、安全、经济的协调发展。

目前，国外发达国家已有许多金矿生产企业将氰化尾渣脱氰后用于采空区充填的工程案例，尽管近年来我国在氰化尾渣的资源化利用方面取得了一定的进展，特别是脱氰处理方面已达到国际先进水平，但由于受国家法律法规和标准制约，氰化尾渣用于采空区回填一直没有得到发展。如通过本标准开展氰化尾渣回填，黄金矿山氰化尾渣运行成本降低 40 元/吨（尾矿库处置 70 元/吨-回填 40 元/吨），每年节省 10 亿元运行成本，并降低大量土地使用面积（尾矿库占地面积）和大幅度缩小采空区地质灾害隐患。

7.1.4 综合利用

（1）作为水泥、陶粒等建材原料

在我国，水泥窑协同处置固体废物是固体废物处置的一种重要形式，我国提倡和鼓励水

水泥窑协同处置固体废物，针对水泥窑协同处置固体废物污染防治，制订并颁布了一系列的污染防治技术政策、环境保护标准及技术规范，包括《水泥窑协同处置固体废物污染防治技术政策》、《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》、《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》、《水泥窑协同处置固体废物技术规范》等。

在我国，氰渣水泥窑协同处置生产水泥是氰渣处置的一种重要形式。目前我国建筑业处于不断发展中，对水泥的需求量有增无减，这无疑为利用尾矿生产水泥提供了一个良好契机。编制组前期研究结果表明含氰尾矿替代部分水泥原料是可行的，气态氰化物的消解率均在98%以上，排放气体中的氰化物浓度满足《大气污染物综合排放标准》及《工作场所有害因素职业接触限值》的要求。

目前，氰渣一般按危险废物进行水泥窑协同处置，对氰渣进行水泥窑进行协同处置必须有相应的危废处置资质。但有资质的水泥厂较少，这就造成了氰渣的产生量大，但需求量小的供需矛盾，本规范的制订通过对氰渣规范化管理，有利于平衡市场氰渣综合利用生产水泥的供需矛盾。

（2）利用产品

金矿石都伴生有银、铜、铅、锌、硫等多种有价元素。氰化工艺往往只注重金的回收，伴生元素的回收率普遍较低，造成资源浪费。随着黄金矿产资源的日趋减少，氰化尾渣已成为宝贵的二次资源。如何经济有效地回收氰化尾渣中的金、银、铜、铅、锌、硫、铁等多种有价元素，已成为国内外黄金矿山技术研发重要内容。这不仅能变废为宝，产生经济效益，而且能减少对环境的污染，产生良好的社会效益。

回收有价元素主要来自于金精矿氰渣，根据国内开展的工作实践，金精矿氰渣的综合利用主要是通过浮选、重选后得到铜精矿、铅精矿、锌精矿、混合铅锌精矿、硫精矿和硫铁矿等，浮选后的为低品位的精矿。

对于难处理金精矿氰化尾矿，一般每吨含金5克左右，大大高于金矿石，具有进一步回收金及其他金属的价值。氰渣氯化焙烧是将这类含氰废渣与氯化剂一起加热，使金、银、铜、等金属氯化生成具有挥发性的物质升华并捕集于烟尘和洗液中，然后通过湿法冶金从中分步回收这些金属。氰渣氯化焙烧适于难处理含氰废渣综合回收金、银等有价资源，1100℃度焙烧，停留时间60分钟以上，可将氰化物分解破坏，对重金属也有一定固化作用，同时综合回收金银等。

含氰尾渣综合回收高硫精矿制酸我国已经有很多应用案例，如山东某公司产生的硫精矿经浮选工艺富集后，产生的高硫精矿进行制酸，年产硫酸40万吨。该公司产生的高硫精矿

采用沸腾炉焙烧制酸，工艺运行稳定。制酸过程中产生制酸尾气通过多级吸收塔吸收后，废气及废水达到《硫酸工业污染物排放标准》标准要求。此外，采用该工艺除了回收氰化物外，处理澄清液时，亚铁氰化物、绝大部分铜、部分锌、银、铅可通过沉淀工序以沉淀物 CuSCN 、 AgSCN 、 $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 、 $\text{Pb}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 等形式从废液中分离出来，这部分含氰废水处理污泥主要以硫氰化亚铜为主，可作为有色冶炼企业替代原料使用。

综上所述，黄金行业近年来投入了大量资源开展氰渣综合利用产品的技术开发和工程建设，目前已经形成了一定技术储备和规模处理处置能力，氰渣的资源化利用技术和最终处置技术均得到了较好发展。按照年利用氰渣 25 万吨计算，可回收铜 878 吨，铅 559 吨、锌 659 吨，总投资约 3500 万元的，每年产生经济效益高达 8000 多万元，经济效益巨大。

7.2 环境效益分析

7.2.1 本标准通过规范了黄金行业氰渣的环境管理要求，提高了氰渣利用和处置污染控制要求，并对尾矿库、堆浸及回填过程的污染防治技术手段提出了要求，环境效益突出。

7.2.2 本标准通过对氰渣运输环节进行了规范，减少氰渣运输过程中对环境的污染风险及人体健康的影响。涉及运输的氰渣绝大部分具有综合利用价值，作为下游企业的替代原料进行综合回收，既减少了堆存压力、减少尾矿库泄漏风险，又可提高矿山综合利用率，社会效益显著。