

福建鑫钰新材料有限公司
年加工 10 万吨锆英中矿项目
辐射环境影响评价专篇
(公示版)

福建鑫钰新材料有限公司

2023 年 9 月

目 录

1 前 言	1
1.1 项目由来	1
1.2 评价结论	2
2 概述	3
2.1 编制依据	3
2.2 控制指标	4
2.3 福建省本底参考值	6
2.4 评价因子	6
2.5 评价范围	7
2.6 辐射环境保护目标	8
2.7 选址合理性	9
3 放射性源项分析	11
3.1 项目工程概况	11
3.2 工艺流程	19
3.3 放射性源项	22
4 辐射环境质量现状	34
4.1 调查内容及采用的仪器、方法	34
4.2 质量保证	35
4.3 监测布点	36
4.4 辐射环境现状调查结果	39
4.5 小结	45
5 辐射环境影响分析	46
5.1 厂址特征参数	46
5.2 放射性核素迁移途径	53
5.3 正常工况下气载流出物辐射环境影响分析	53
5.4 正常工况地表水辐射环境影响分析	70

5.5 地下水辐射环境影响分析	70
5.6 非正常工况辐射环境影响分析	71
5.7 服务期满辐射环境影响分析	75
6 辐射环境管理和辐射监测	76
6.1 辐射环境保护措施	76
6.2 辐射环境管理	84
6.3 辐射监测	87
6.4 辐射环境保护“三同时”验收	92
7 结论与建议	93
7.1 项目情况	93
7.2 辐射环境现状	93
7.3 辐射环境影响	94
7.4 辐射环境保护措施	95
7.5 辐射监测	99
7.6 结论	99

附件

附件 1 委托书

附件 2 备案证明

附件 3 项目原料及产品的核素检测分析报告

附件 4 类比项目检测报告（循环水）

附件 5 辐射现状监测报告

1 前 言

1.1 项目由来

随着国内锆钛资源的逐渐递减及相关行业的兴起，国内的锆钛资源已经无法满足国内的正常需求，需要从国外大批进口中矿及精矿。根据对资源、环保、运输、经济等条件的综合分析，福建鑫钰新材料有限公司拟在漳州市长泰区陈巷镇港园工业区，租用极光石制品有限公司的厂房及土地，用地面积约 22000m²，已建成建筑面积 9110.79m²，其中生产厂房建筑面积为 8937.65 m²，无新建厂房。从非洲、澳洲等地进口已经清洗过的中矿作为项目选矿原料，利用物理选矿法对进口中矿进行分选，分选锆英砂、石榴石、金红石、蓝晶石等。

福建鑫钰新材料有限公司（以下简称“鑫钰”）地位于漳州市长泰区陈巷镇港园工业区，占地面积 22000 平方米，总投资 8316.23 万元，项目于 2023 年 5 月经漳州市长泰区发展和改革局备案(闽发改备(2023)E070115 号,见附件 2)。建设性质属于新建。项目建成后年处理 10 万吨原料，年产蓝晶石 4.5 万吨、锆英砂 1 万吨、石榴子石 3 万吨、金红石 0.8 万吨、石英砂 0.5 万吨。其整体工艺采用重选法、电选法和磁选法选矿，工艺简单，成品矿产量大、尾矿数量少，对环境的污染较小。

根据《关于发布〈矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录〉的公告》（生态环境部公告 2020 年第 54 号）的规定，依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》环评类别为环境影响报告书（表）且已纳入《名录》，并且原料（锆钛矿）、中间产品、尾矿、尾渣或者其他残留物中铀（钍）系单个核素活度浓度超过 1 贝可/克（Bq/g）的矿产资源开发利用建设项目，建设单位应当组织编制辐射环境影响评价专篇，并纳入环境影响报告书（表）同步报批。本项目属于上述情况，所以本项目需编制辐射环境影响评价专篇。福建鑫钰新材料有限公司于 2023 年 5 月委托环评单位编制该项目的辐射环境影响评价专篇。接受委托后，我公司立即成立项目组，项目组人员赴现场开展环境现状调查、资料收集、现场检测和样品采集，在充分了解工艺流程，研读相关技术资料的基础上，对项目运

行、现有的环境影响进行了分析、评价，对存在的辐射防治措施有效性进行分析并提出整改要求。《福建鑫钰新材料有限公司年加工 10 万吨锆英中矿项目环境影响评价报告书》已与 2023 年 8 月召开专家评审会并通过会议，已提交《福建鑫钰新材料有限公司年加工 10 万吨锆英中矿项目环境影响评价报告书(报批稿)》于长泰县生态环境局，在此基础上我公司编制完成《福建鑫钰新材料有限公司建设项目辐射环境影响评价专篇》，并纳入环境影响报告书同步报批。

1.2 评价结论

经评价分析，项目在保证原料种类符合本评价要求、全面落实本报告提出的各项辐射防护措施的基础上，切实做到“三同时”，并在运行中严格落实管理和监测计划，从辐射环境保护角度出发，项目可行。

2 概述

2.1 编制依据

2.1.1 法律、法规

(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989 年 12 月 26 日颁布，2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起施行）

(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订）

(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）

(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年 4 月 29 日修订）

(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年 10 月 1 日起修订实施）中华人民共和国国务院令 第 682 号

(6) 《放射性废物安全管理条例》中华人民共和国国务院令 第 612 号

(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）部令 第 16 号（2021 年 11 月 5 日修正）

2.1.2 部门规章

(1) 《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》公告 2020 年第 54 号

(2) 《关于发布〈伴生放射性矿产资源开发利用项目环境影响报告书（表）的内容和格式〉的通知》（环监[1994]080 号）（参考其中关于辐射环境影响评价范围的条款）

(3) 《矿产资源开发利用辐射环境影响评价专篇格式与内容（试行）》（2015 年 1 月）

(4) 《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》（国环规辐射〔2018〕1 号）

2.1.3 技术规范及标准

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）
- (2) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）
- (3) 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）
- (4) 《稀土生产场所中放射卫生防护标准》（GBZ139-2019）
- (5) 《稀土工业污染物排放标准》（GB26451-2011）
- (6) 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）
- (7)《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）
- (8) 《建筑材料放射性核素限量》（GB6566—2010）
- (9) 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB 50325-2020）
- (10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
- (11) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）
- (12)《伴生放射性物料贮存及固体废物填埋处置辐射环境保护技术规范(试行)》（2020 年 4 月）
- (13) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）
- (14) 《核与放射事故干预及医学处置原则》（GBZ113-2006）
- (15) 《工业企业设计卫生标准》（GBZ1-2010）
- (16) 《电离辐射源与效应 UNSCEAR2000 卷 I 》
- (17)《伴生放射性矿开发利用环境辐射防护技术要求》（ T/BSRS025-2020）
- (18) 《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2022）

2.1.4 其他文件

- (1) 《年加工 10 万吨锆英砂蓝晶石项目可行性研究报告》
- (2) 《福建鑫钰新材料有限公司年加工 10 万吨锆英中矿项目环境影响评价报告书》

2.2 控制指标

1. 公众年有效剂量管理目标值

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中 11.4.3.2 款规定：“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%(即 0.1mSv/a~0.30mSv/a)的范围之内”。本项目取公众照射剂量限值的四分之一即 0.25mSv/a 作为场所周围人员及其他人员年有效剂量管理目标值。

2.工作人员剂量约束值

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均),20mSv/a”, 本项目取其四分之一即 5.0mSv/a 作为生产工作人员剂量约束值, 取其五分之一即 4.0mSv/a 作为管理工作人员剂量约束值。

3.氡浓度

工作场所的氡浓度: 由于锆钛行业无工作场所的氡浓度限值, 故本专篇参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中 3.1.3.2 节中 b) 条中: 1) 工作人员因工作需要或因与其工作直接有关而受到的氡的照射, 不管这种照射是高于或低于工作场所中氡持续照射情况补救行动的行动水平(见附录 H(提示的附录)); 2) 工作人员在工作中受到氡的照射虽不是经常的, 但所受照射的大小高于工作场所中氡持续照射情况补救行动的行动水平(见附录 H(提示的附录))。其中, 附录 H.2 工作场所中氡浓度控制, 即“工作场所中氡持续照射情况下补救行动的行动水平应在年平均活度浓度为 $500\text{Bq}^{222}\text{Rn}/\text{m}^3\sim 1000\text{Bq}^{222}\text{Rn}/\text{m}^3$ (平衡因子 0.4) 范围内。达到 $500\text{Bq}^{222}\text{Rn}/\text{m}^3$ 时宜考虑采取补救行动, 达到 $1000\text{Bq}^{222}\text{Rn}/\text{m}^3$ 时应采取补救行动”。

4.气载流出物控制指标参照执行《稀土工业污染物排放标准》GB26451-2011

目前没有该行业的气载流出物的控制标准, 本专篇参照执行《稀土工业污染物排放标准》(GB26451-2011), 具体标准值如下:

1) 现有企业和新建企业边界大气污染物浓度限值, 边界任何 1h 铀钍总量的平均浓度不超过 $0.0025\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2) 新建企业大气污染物排放浓度限值, 排放铀钍粉尘废气的排气筒不超过 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

5.事故工况下辐射防护限值

参照《核与放射事故干预及医学处置原则》（GBZ113-2006），从事干预时，除了抢救生命的行动外，必须尽一切合理的努力，将工作人员所受到的剂量保持在 100mSv 以下。从伴生矿企业辐射水平和实际辐射防护角度出发（根据经验值，本项目矿料表面放射性水平不超过 50 μ Gy/h，按照每次 8h 事故工况处理计，则最大 γ 外照射剂量为 0.3mSv），因此，保守考虑本项目取 1mSv 作为从事事故干预时工作人员的辐射防护限值。

6. 清洁解控指标：

《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011），对于含有不同天然放射性核素混合物的物料，应当要求其中每一种天然放射性核素的活度浓度均满足表 B.1 所列数值（免管浓度值小于 1 Bq/g）的要求。

2.3 福建省本底参考值

1. 氡浓度

室外氡浓度：本专篇参照《中国环境天然放射性水平》中福建福州地区室外空气中氡浓度范围值（1.5-214.2Bq/m³）控制。

2. 地下水中放射性本底水平和标准限值

根据《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995 年）中关于福建漳州地区地下水系天然核素浓度本底值 U: 0.05-1.62 μ g/L、Th: 0.05-0.13 μ g/L、²²⁶Ra: 4.3-63.6mBq/L，地下水执行《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中 III 类水体放射性指标限值（总 α 限值为 0.5Bq/L，总 β 限值为 1Bq/L）。

3. 土壤中放射性本底水平

根据《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995 年）中关于福建漳州地区土壤天然核素浓度本底值 ²³⁸U: 20-108Bq/kg, ²²⁶Ra: 47.8-190Bq/kg; ²³²Th: 18-134 Bq/kg。

2.4 评价因子

1、辐射环境现状评价核素因子

- (1) 大气环境评价核素：氡浓度、钍射气。
- (2) 地下水评价核素：U、²²⁶Ra、Th、总 α 、总 β 。

(3) 原料、产品等的评价核素： ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 的放射性比活度。

(4) 土壤的评价核素： ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 的放射性比活度。

(5) 环境 γ 辐射评价因子： γ 辐射空气吸收剂量率。

(6) 气溶胶： ^{210}Po 、 ^{210}Pb 、总 α 、总 β 。

2、辐射环境影响评价因子：

公众的年有效剂量。

2.5 评价范围

根据《关于发布〈伴生放射性矿物资源开发利用项目环境影响报告书（表）的内容和格式〉的通知》（环监[1994]080号）中的规定“对于矿石开采业，半径取 5km，对于矿产品加工业，半径取 0.5km”。目前对于辐射类项目的最新编制规范为《矿产资源开发利用辐射环境影响评价专篇格式与内容（试行）》（2015年 1 月），但该规范对于辐射类项目的评价范围没有进行明确规定，因此，本专篇仍参照《关于发布〈伴生放射性矿物资源开发利用项目环境影响报告书（表）的内容和格式〉的通知》（环监 1994]080 号）的要求，确定本项目辐射环境影响评价范围以项目最大排放点为中心，半径为 0.5km 的圆形区域，且根据后期报告预测可知，项目大气最大落地浓度为 130m，随着距离增加，辐射影响越小，故评价范围定为 0.5km 合理。为进行剂量估算，将半径为 0.5km 的圆划分为 22.5° 扇形段，以正北 N 向左各划分 11.25° 为起始段，共划分 16 个子区。

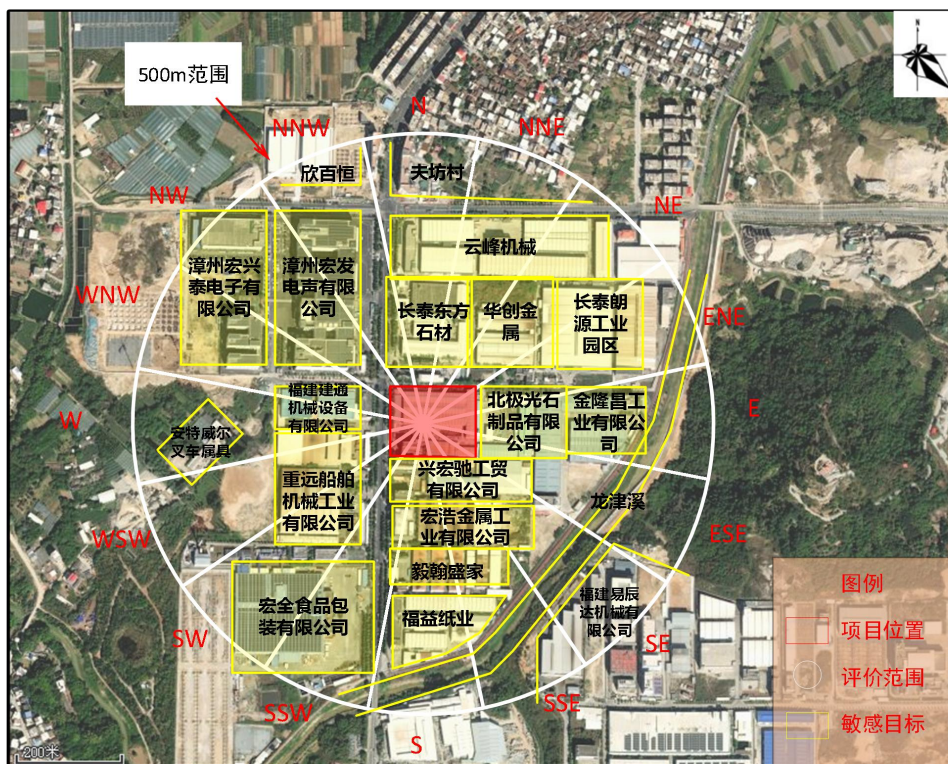


图 2.5-1 本项目评价范围及评价子区划分图

项目北侧为长泰东方石材，东侧紧邻北极光石制品有限公司，南侧紧邻兴宏驰工贸有限公司，西侧为重远船舶机械工业有限公司和福建建通机械设备有限公司。项目周边环境现状见下图。

项目北侧
项目西侧
项目南侧
项目东侧

图 2.5-2 项目周边环境图

2.6 辐射环境保护目标

本项目评价范围内共分布有 15 个企业，评价范围内辐射环境保护目标情况

请见下表。评价范围外距离最近居民点为夫坊村，约北侧 376m。

表 2.6-1 辐射保护目标一览表

类别	保护目标	敏感点	规模	相对方位 公众	公众到厂界最近距离 (m)	剂量管理目标 值
辐射 环境	评价 范围 内公 众等	华创金属	工厂(25人)	NNE	54	GB18871-2002 公众 0.25mSv/a 的 管理目标值
		长泰东方石材	工厂(16人)	N	19	
		北极光石制品有限公司	工厂(16人)	E	11	
		兴宏驰工贸有限公司	工厂(19人)	S	18	
		重远船舶机械工业有限公司	工厂(129人)	W	44	
		福建建通机械设备有限公司	工厂(22人)	W	38	
		漳州宏兴泰电子有限公司	工厂(126人)	NW	86	
		漳州宏发电声有限公司	工厂(1118人)	NW	86	
		云峰机械	工厂(39人)	E	227	
		长泰朗源工业园区	工厂(20人)	NE	142	
		福益纸业	工厂(15人)	S	274	
		宏浩金属工业有限公司	工厂(60人)	S	83	
		毅翰盛家	工厂(37人)	S	179	
		宏全食品包装有限公司	工厂(135人)	SW	261	
		金隆昌工业有限公司	工厂(11人)	E	117	
		福建易辰达机械有限公司	工厂(35人)	ES	316	
		安特威尔叉车属具	工厂(44人)	W	307	
		欣百恒	工厂(20人)	WNW	430	
		夫坊村	居民(30户)	N	376	

2.7 选址合理性

本项目位于漳州市长泰经济开发区的陈巷镇港园工业区，长泰经济开发区性

质定为：漳州市域重要的先进制造业基地之一，高科技产业园区。长泰经济开发区重点发展机械电子、造纸及纸制品、文体用品及日用品、建材、纺织服装、精细化工及塑料制品六类产业。项目周边企业主要包括华创金属、长泰东方石材、北极光石制品有限公司、兴宏驰工贸有限公司、重远船舶机械工业有限公司、福建建通机械设备有限公司、漳州宏兴泰电子有限公司、漳州宏发电声有限公司、云峰机械、长泰朗源工业园区、福益纸业、宏浩金属工业有限公司、毅翰盛家、宏全食品包装有限公司、金隆昌工业有限公司，不涉及放射性粉尘产生的企业，不会因为本项目的加入对周边敏感点产生叠加辐射影响。另外，1) 从对周边公众剂量角度分析：本项目预测结果显示，对食品厂的公众辐射剂量宏全食品包装有限公司为 0.014mSv/a ，低于公众个人有效剂量管理目标值 0.25mSv/a ；2) 从粉尘角度分析：本项目厂房和周边企业等均设置厂棚，且进口的原料和产品比重中，较难起尘，故产生无组织粉尘的概率很低，另外，本项目排气筒采用布袋除尘器处理，除尘效率可达 99.5% ，排放有组织粉尘量低，因此项目粉尘对周边企业的影响极低；3) 从外照射角度分析：根据其他类似伴生矿企业的经验分析，厂界周边环境的 γ 辐射剂量率均接近环境本底值，故项目对周边企业的 γ 外照射可忽略不计；4) 从辐射防护措施角度分析：从后续文本可知，本项目采取了生产用水防护措施、气载流出物的防护措施，原料和产品的堆存运输均在厂房内，且产品使用吨袋收集；采用集装箱或者货车内装吨袋的形式运输，避免矿料在运输道路的撒落；制定辐射防护管理制度，企业开展年度监测，监测对周边环境的影响等措施。综上，项目选址合理可行。

项目周边无居民居住点，均为园区内的工作场所，最近环境敏感目标为福建建通机械设备有限公司工作人员，距离本项目 38m ，根据计算辐射剂量估算，其工作人员公众个人有效剂量为 0.123mSv/a ，低于本项目场所周围人员及其他人员年有效剂量管理目标值 0.25mSv/a 。因此从辐射环境保护角度考虑，本项目选址合理。

3 放射性源项分析

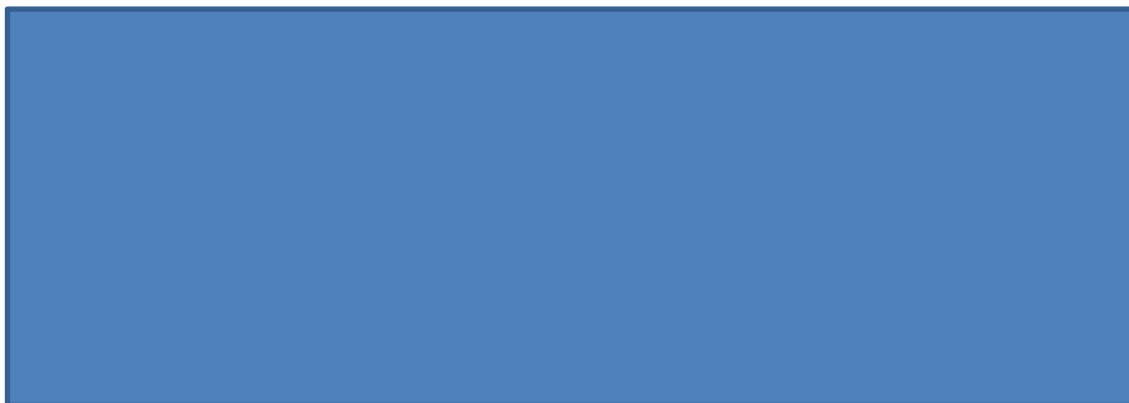
3.1 项目工程概况

3.1.1 拟建项目基本情况

建设单位：福建鑫钰新材料有限公司；

建设地点：项目位于漳州市长泰区陈巷镇港园工业区，项目地理位置示意图详见下图；

建设内容：年产蓝晶石 4.5 万吨、锆英砂 1 万吨、石榴子石 3 万吨、金红石 0.8 万吨、石英砂 0.5 万吨；



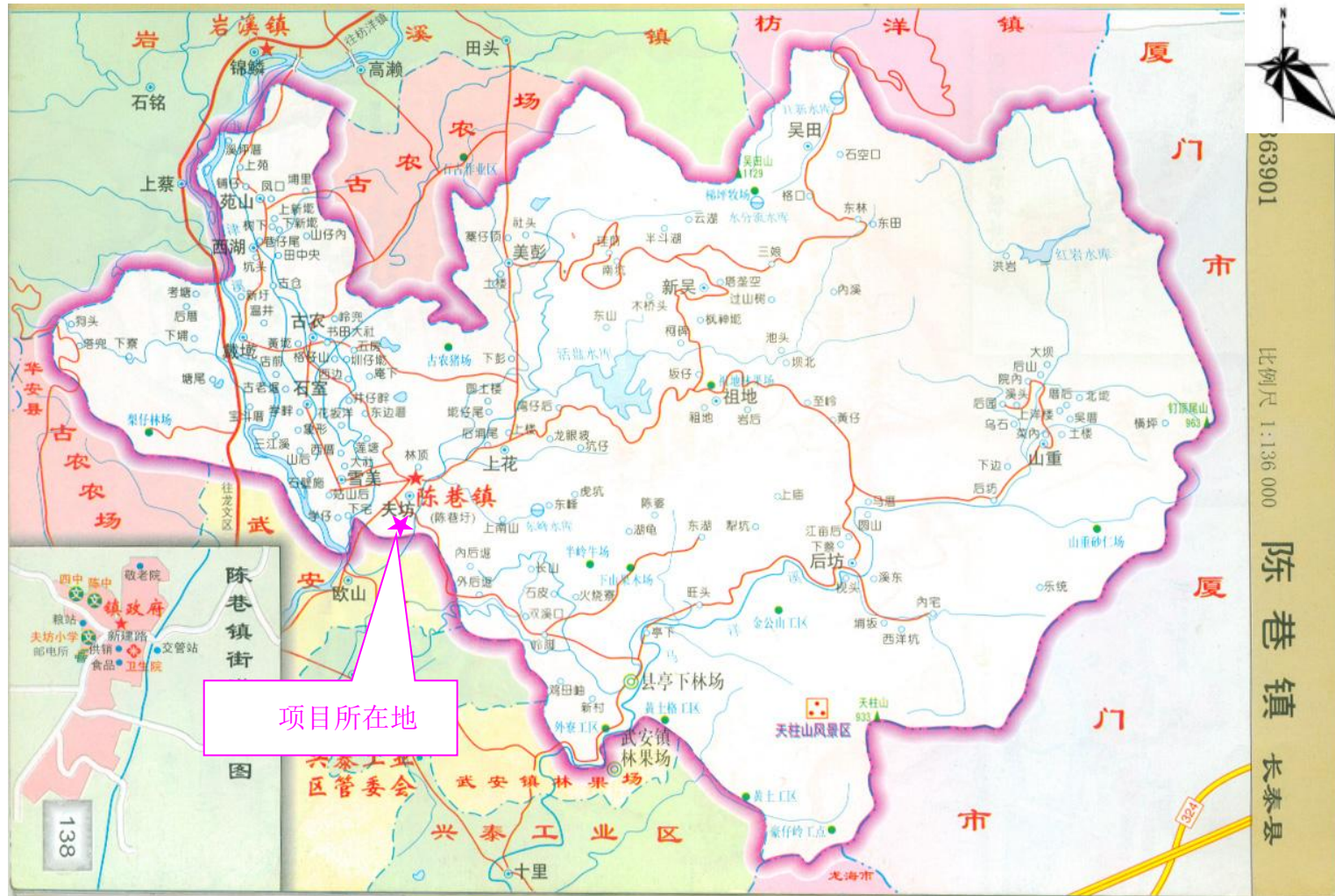


图 3.1-1 项目位置图

3.1.2 原料用量介绍

根据建设单位提供资料，项目锆英中矿来自于 [REDACTED] 的海滨砂矿，海滨砂矿矿物种类多，单体解离度高，颗粒均匀且含泥量少，不需要破碎筛分工序，项目原、辅材料消耗以及来源见下表。

表 3.1-1 项目原辅材料用量一览表

序号	名称	消耗量 (t/a)	来源
1	锆英中矿	100035.4486	国外采购

3.1.3 产品方案

项目年处理 10 万吨进口锆英中矿，产蓝晶石、锆英砂、石榴子石、金红石、石英砂等。项目产品方案见下表。

表 3.1-2 项目产品方案一览表

序号	产品名称	产量 (t/a)
1	蓝晶石	45000
2	锆英砂	10000
3	石榴子石	30000
4	金红石	8000
5	石英砂	5000

3.1.4 原料与产品的放射性检测结果

由于本项目未建成，无原料及产品选出，故本项目的原料和产品由业主提供了类似企业的原料和产品进行的放射性分析，分析结果见附件 3。项目原料和产品分析结果如下表。

表 3.1-3 项目原料及产品核素分析结果 (单位: Bq/kg)

项目	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th
锆英中矿	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
蓝晶石	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
锆英砂	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
石榴子石	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

项目	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th
金红石			
石英砂			

由上表可知，原料和产品中锆英中矿 ^{238}U 、锆英砂 ^{238}U 和 ^{226}Ra 和金红石 ^{238}U 超过 1 Bq/g，应该编制辐射专篇。上表结果用于进行后续的核素平衡计算及后续的预测计算。其中，核素平衡计算采用上表中平均值为基础进行计算，预测影响计算是采用上表中最大值进行预测。

3.1.5 工程组成

(1) 工程组成

项目主要包括主体工程、公辅工程、储运工程、环保工程组成。其中，主体工程主要包括车间、仓库等。项目具体建设内容详见下表。

表 3.1-4 项目建设内容情况表

类别	序号	装置/单元名称	工程内容及功能	备注
主体工程	1	螺旋、湿式磁选车间		
	2	摇床重选车间		
	3	脱水、烘干车间		
	4	电选磁选车间		
辅助工程	1	办公楼		
公用工程	1	供水	市政供水管网	
	2	供电	区域电网集中供给	
	3	排水	采用“雨污分流”制	
	4	供热	新增烘干机 2 台（一备一用），用于锆英砂、蓝晶石、石榴石、金红石等烘干，燃料燃烧烟气与物料直接接触	
	5	供气	天然气由供气公司供应，供气能力可满足本项目用气要求	
储运工	1	原料仓库	位于租赁厂区南侧	
	2	封闭池	分别位于螺旋、湿式磁选车间及厂区东北侧们，用于储存项目半成品	

程	3	成品仓库	租赁厂区西北侧厂房，设有锆英砂成品仓库、蓝晶石成品仓库、金红石成品仓库、石榴石成品仓库
环保工程	1	废气处理系统	1、烘干干燥废气：集气罩+布袋除尘器+15m 排气筒（DA001）排放；2、干燥出料废气：挡风遮罩+自然沉降+无组织排放；3、电选出料废气：挡风遮罩+自然沉降+无组织排放；4、磁电选出料废气：挡风遮罩+自然沉降+无组织排放；5、原料卸料扬尘：喷淋洒水+无组织排放；6、原料仓库扬尘：喷淋洒水+无组织排放；7、车辆运输扬尘：加盖篷布、合理装卸+喷淋洒水+无组织排放。
	2	废水处理系统	1、项目厂区实施雨污分流，厂区雨水收集后排入市政雨水系统；2、水磁选废水、摇床重选废水、过滤废水、螺旋分级废水经多级沉淀后上清液回用于生产；3、生活污水：采用三级化粪池预处理，日处理能力 20m ³ 。
	3	防噪设备	1、选用低噪声设备，并设置减振基础、安装消声装置等隔音降噪措施。 2、厂区内种植一定数量的乔木和灌木林，既美化环境又减轻声污染。
	4	固废处理处置方式	1、危险废物的收集、贮存设施，委托有资质单位处置，危废间位于厂房东北侧，面积约 5m ² ；2、一般固废回收利用或收集、贮存设施，设于厂房东北侧，面积约 10m ² ；3、沉淀池污泥、除尘器回收粉尘、废布袋、自然沉降扬尘外售物质回收部门综合利用；废润滑油、废润滑油空桶、含油抹布委托有危废处置资质单位处理；生活垃圾存放于垃圾桶，由环卫部门定期清运处置。
	5	事故风险防范系统	在天然气输送管道设置易燃气报警装置；雨污排放口应急切换阀门，废水事故应急池 1 座（容积 250m ³ ），重力自流原则；消防栓

(2) 生产设备

项目主要设备见下表。

表 3.1-5 项目主要设备一览表

序号	设备名称	数量	备注
1	摇床		
2	烘干机		
3	电选机		/
4	磁选机		/
5	湿式磁选机		/
6	螺旋溜槽		/
7	混料机		/
8	提升机		/
9	真空过滤机		/
10	振动筛		/
11	脱水机		/
12	电叉车		/
13	铲车		/

序号	设备名称	数量	备注
14	砂泵		/
15	空压机		/

3.1.6 项目总图布置

本项目厂区场地呈矩形地块，用地面积为 22000m²，厂区的平面布置方案分为：项目根据选厂地形，依次布置原料仓库、生产产区、公用工程区、办公生活区等。

原料场靠近厂区物流门附近，位于厂区南侧，利于进矿和堆存。依据工艺流程，依次布置原料仓库、重选车间、烘干车间、电选磁选车间、循环水池、办公区生活区等。

磁选、重选生产线流程与厂房 90° 垂直布置，磁选的生产线作业全部平行布置，设备选择基本相同，便于设备的检修管理，便于安排各个厂房的厂房高度。

磁选中先利用胶带将矿石输送至 10m 高度，然后各作业设备形成一定的高差，阶梯布置，利于矿物的自流分选，节约了能耗，且布置紧凑，节省了场地面积。生产线统一平行布置，有利于胶带接取同一种物料并转运，节省了胶带的数量。磁选中矿场与原料仓库平行布置，设计整齐合理，方便了仓库的管理和调度。同样，重选也采用了阶梯布置，方便了矿浆的自流和均匀分配。成品库就近布置于主要精矿产品的出口处，便于精矿干杂与精矿仓物料的协调统一。公用辅助工程靠近服务对象，缩短供电距离，以降低供电线路的损耗，选择能效高、能耗低的节能型设备，有效提高能源利用效率。

运输线路的布置已保证物流顺畅、径路短捷、不折返。人、货分流，避免运输繁忙的货流与人流交叉。应避免进出厂的主要货流与企业外部交通干线的平面交叉。道路设计满足区内各个功能区域的最佳衔接配合，避免迂回。工业企业的建筑物、构筑物之间及其与道路之间的防火间距，以及消防通道的设置，除应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）（2018 版）的规定外，还应符合国家现行有关标准的规定。在总平面上，已综合考虑朝向、风向

的关系，达到良好的自然通风，充足的日照；除此之外，还应综合考虑当地气候条件，选择受气候变化影响最小，从而有利于充分利用日照，以节省能源的利用。主要厂房总平面布置图见下图。

图 3.1-2 项目厂区平面布局图

3.2 工艺流程

项目选矿工艺流程采用螺旋→湿式强磁选→摇床→擦洗→脱水→烘干→电磁选的联合选矿工艺，首先对外购的锆英中矿通过螺旋溜槽分选去除中矿中的石英砂，再通过湿式磁选分离出石榴石；然后再经摇床进行重选，筛出锆英砂与金红石中矿、蓝晶石与金红石中矿；各种中矿干燥后采用干式磁选和电选联合工艺，选出石榴石、锆英砂、金红石、蓝晶石等。

（1）螺旋溜槽分选

螺旋溜槽是利用轻、重矿粒在沿螺旋斜面向下水流中所受的重力、惯性离心力、

水流作用力和槽面摩擦力等不同而进行分选。矿浆流在螺旋槽面上的运动分为两个方向的运动。一是绕螺旋槽垂直轴线捷转的、沿槽面向下的纵向流，称为主流；另一个是绕矿流自身某一平衡层旋转的横向流，称为横向环流或副流。纵向流上层流速大，下层流速小；横向环流上层向槽外缘，下层向槽内缘。矿粒在纵向主流和横向环流的综合作用下，由于密度、粒度、形状等的不同，而产生了沿螺旋槽纵向和横向运动速度的差异，向槽底沉降的早，晚和快、慢也不一样，因而产生了矿粒按密度和粒度的分层现象。分层是分选过程的第一阶段，在螺旋槽的第一圈后即基本完成。分层以后，轻矿粒在上层，受速度较大的纵向主流和方向超外缘为横向环流作用，沿扩展螺旋线逐步流向槽外缘；而处于下层的重矿粒受纵向主流的作用较小，在重力和方向朝内缘的横向环流推动下，逐渐沿着收敛的螺旋线移向内缘。

（2）湿式磁选、干式磁选

湿式磁选是指在锆英中矿加水调为 30%浓度的矿浆进行的磁选分离工艺，而干式磁选是指在矿砂被烘干后进行的磁选分选，湿式磁选、干式磁选的工艺原理一致。磁选是在磁选设备的磁场中进行的。对磁选设备设定一定的磁力参数，被选矿物进入磁选设备的选分空间后，受到磁力和机械力（包括重力、离心力等）的作用，磁性不同的矿粒受到不同的磁力作用，沿着不同的路径运动。由于矿粒运动的路径不同，所以分别在不同的出口分拣出，即得到磁性产品和非磁性产品，或磁性强的产品和磁性弱的产品。

(3) 摇床重选

重选，又称重力选矿，是指利用被选矿物颗粒的密度、粒度、形状等差异及其在

介质（水、空气或其他相对密度较大的液体中运动速率和方向的不同，使之彼此分离的选矿方法。摇床重选设备为摇床，由带有床条或沟槽的横向倾斜床面和传动机构组成，

摇床重选原理为：

1、在不导磁矿中加入水，形成矿砂浆，利用料泵将矿砂浆抽至位于车间中部高处的高位分矿器，再由高位分矿器经各导管分至各摇床的给矿口；

2、摇床传动装置使床面沿纵向作不对称往复运动，同时在摇床侧供给冲水，床面上的矿粒在自身重力、机械振动、冲水力和床条间涡流等的联合作用下松散、析离、分层、分带：上层矿粒比重小、粒度大，下层矿粒比重大、粒度小，上层矿砂浆流速快，故矿粒横向移动也较快；下层矿砂浆流速小，其中的矿粒因与床面摩擦受机械搬运力大，纵向移动速度大；不同粒度和比重的矿粒便由于在床面上运动轨迹不同而分离，最终在精矿端流入各自的导流槽并流向静置池。

(4) 电选

电选，全称电力选矿，是指在高压电场作用下，配合其他力场作用（如重力），利用矿物的导电性质的不同进行分选的方法

(5) 烘干

由于矿物含有一定的水分，摇床重选加入了水，为提高磁选、电选效率、降低产品含水率，需要对矿物进行烘干，本项目采用天然气烘干炉，矿物经输送带送入烘干机中，在烘干机内回旋烘干。

项目生产工艺流程图见下图。

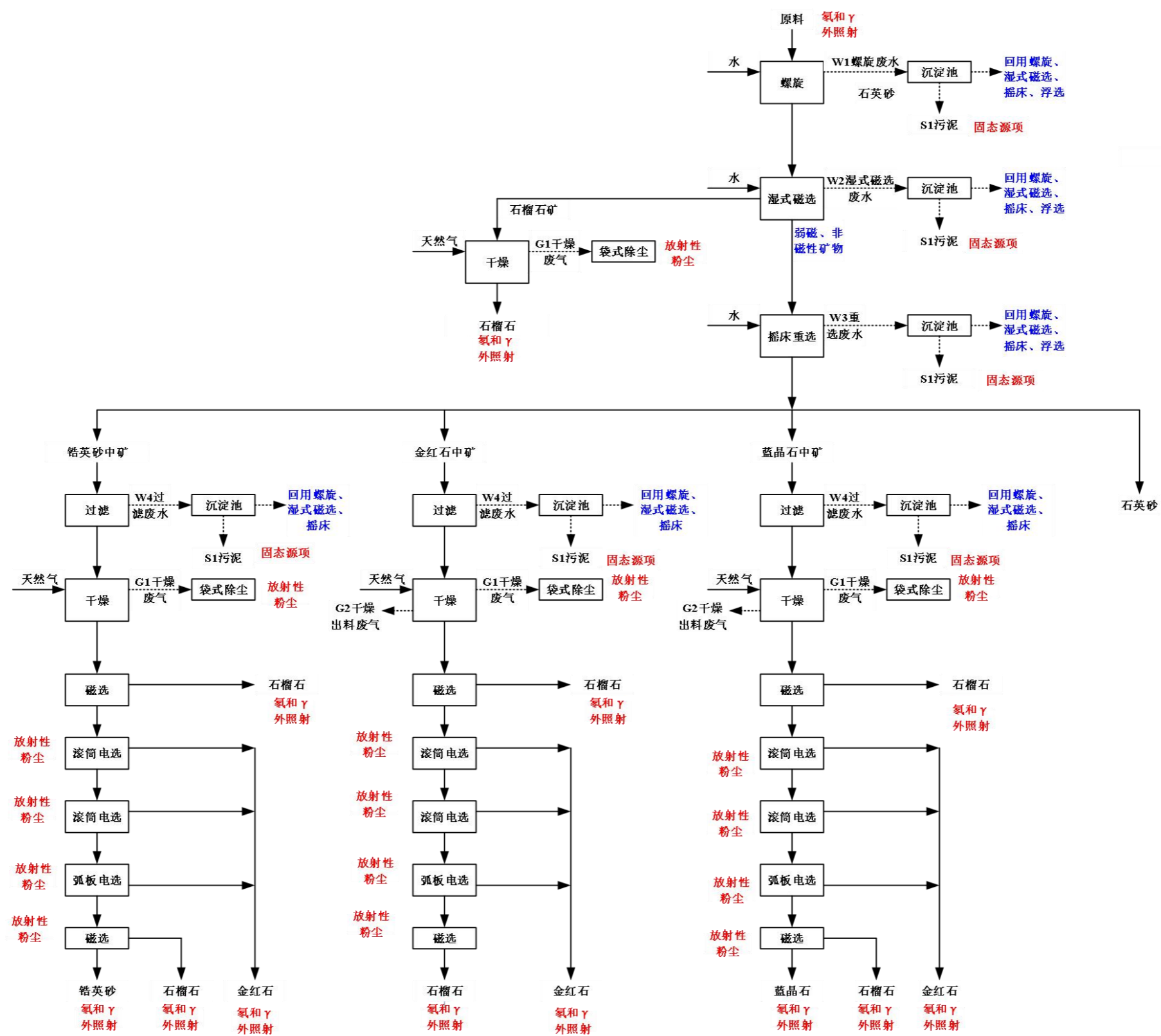


图 3.2-1 项目生产工艺流程图

3.3 放射性源项

3.3.1 项目物料平衡

物料平衡包括水平衡、物料平衡及核素平衡，按照全厂生产规模进行核算。水平衡及物料平衡内容摘自常规环评。

3.3.1.1 水平衡

项目水平衡情况见下图，项目总回用水为 2230.4 t/d，年回用水量为 669120 t/a。

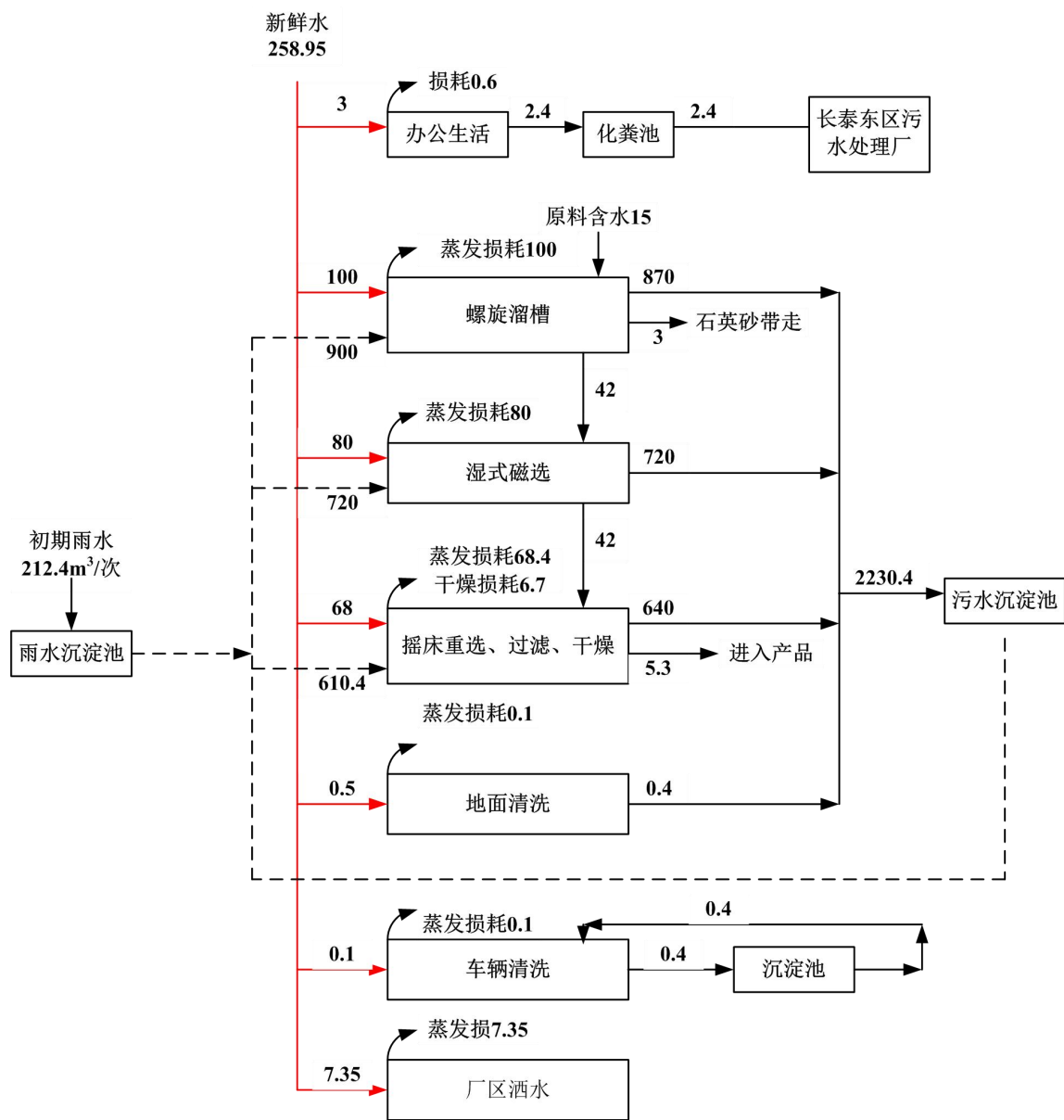


图 3.3-1 项目水平衡图 (单位: t/d)

3.3.1.2 工程物料平衡

项目年处理锆英中矿 100035.4486t/a，年产蓝晶石 4.5 万吨、锆英砂 1 万吨、石榴子石 3 万吨、金红石 0.8 万吨、石英砂 0.5 万吨。本项目的物料平衡见下表。

表 3.3-1 项目工程物料平衡表（单位：t/a）

序号	投入		序号	产出	
	物料名称	投入量		物料名称	产出量
1	锆英中矿	100035.4486	1	锆英砂	[REDACTED]
2			2	石榴石	
3			3	金红石	
4			4	蓝晶石	
5			5	石英砂	
6			6	干燥损耗（主要为水）	
7			7	沉淀污泥（绝干）	
8			8	粉尘有组织排放	
9			9	回收粉尘	
10			10	粉尘无组织排放	
11			11	自然沉降扬尘	
合计		100035.4486	合计		100035.4486

注：干燥损耗主要为进口原料（含水率 4.5%）与烘干产出的最终产品（含水率 2.5%）的含水量之差。

3.3.1.3 放射性核素平衡

根据矿石、石英砂的天然放射性核素比活度及投入及产生量，计算出天然放射性核素的迁移量如下表：

表 3.3-2 放射性核素平衡表

投入				产出				
项目	核素	比活度 (Bq/kg)	总活度 (Bq/a)	项目	核素	比活度 (Bq/kg)	总活度 (Bq/a)	备注
锆英中矿 (100035.4486t/a)	²³⁸ U			锆英砂 (10000t/a)	²³⁸ U			
	²²⁶ Ra				²²⁶ Ra			
	²³² Th				²³² Th			
				石榴子石 (30000t/a)	²³⁸ U			
			²²⁶ Ra					
			²³² Th					
				金红石 (8000t/a)	²³⁸ U			
			²²⁶ Ra					
			²³² Th					
				蓝晶石 (45000t/a)	²³⁸ U			
			²²⁶ Ra					
			²³² Th					
				石英砂 (5000t/a)	²³⁸ U			
			²²⁶ Ra					
			²³² Th					
				泥 (7.36t/a)	²³⁸ U			
			²²⁶ Ra					
			²³² Th					
				粉尘 (18.04t/a)	²³⁸ U			
			²²⁶ Ra					
			²³² Th					



合计	^{238}U		合计	^{238}U	
	^{226}Ra			^{226}Ra	
	^{232}Th			^{232}Th	

注：由于原料中含有一部分水分，在干燥过程中损耗的 2010t 主要为水分，而水分蒸发不带有放射性，故核素平衡未考虑干燥损耗的水的放射性水平，泥中的放射性核素根据表 3.3-10 类比获得，粉尘浓度为原料和产品的放射性核素的加权平均获得。



图 3.3-2 核素平衡图 (Bq/a)

3.3.2 气态源项

本项目放射性气载流出物主要是烘干炉有组织排放的含放射性核素粉尘以及含放射性核素衰变排出的含有氡及氡子体的放射性废气，由于本项目还未建成，故部分放射性气态源项数据通过计算获得。采用《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）中所给出的公式与参数来进行计算。根据标准的适用范围包括铀矿山和选冶厂的气态（载）源项的计算，也适用于其他矿山、选冶厂相应源项的计算，因此本项目选用该标准中的相关公式进行计算。

3.3.2.1 氡浓度

（1）释放的 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn

进口的原料中会释放 ^{222}Rn ，本计算较为保守，实际生产中，由于 ^{222}Rn 的半衰期仅为 4d，采用定期排风，也可以使绝大部分 ^{222}Rn 自然衰变，远小于下面计算出的排放量。由于厂区内均只进行物理选矿，原料和产品不会发生化学变化，矿料主要集中堆存在原料仓库和产品仓库，因此，本项目基与整个厂区内的原料和产品存在量进行厂内氡浓度和钍射气的源项计算。

1) ^{222}Rn 计算方法

原料：

原料年处理 100035.4486 吨，项目预计两个月周转一次原料，原料在厂区内经过物理选矿工序后产生锆英砂、金红石等产品，由于仅进行物理选矿，未发生化学变化，故厂内产生和释放的 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 的量是守恒的，本项目以原料中的量进行计算。其次，产品达到一定的量之后会外售，故在原料两个月周转一次的周期内，厂内产生和释放的 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 的量在不断减少。因此，本项目的 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 释放量和产生量以原料存在量 0.9 万吨计算。

^{226}Ra 总活度 = $100035.4486\text{t/a} \times 506.8\text{Bq/kg} \times 1000\text{kg/t} = 5.07\text{E}+10\text{Bq/a}$ ，项目预计两个月周转一次原料，则厂区存量为 $8.45\text{E}+9\text{Bq}$ ， ^{222}Rn 年产生量 $8.45\text{E}+9\text{Bq} \times 300\text{d/a} \times 86400\text{s/d} \times \lambda_{222\text{Rn}} = 4.60\text{E}+11\text{Bq/a}$ 。

根据《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），将矿石、废石、尾矿以任何形式堆置而排放 ^{222}Rn ，均属

堆置排放，如露天采场、矿石贮存、堆漫堆、废石场、尾矿库和堆浸尾渣堆的排放等。原料表面堆置排放 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 按下式计算：

$$S_{\text{PR}}=3.15\times 10^7\times A_t\times E_p \quad (3.3.2-1)$$

式中： S_{PR} ——原料堆置所导致 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 的年排放量， Bq/a ；

A_t ——原料堆存暴露面积， m^2 ；其中原料堆放面积 3600m^2 （堆放量为 0.9 万 t，高度为 4m，以锥形方式堆存）。

E_p —— ^{222}Rn 析出率， $\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

E_p 值按下式计算：

$$E_p=10^6\times C_n\times\rho_r\times E_n\times(\lambda_R\times W_p)^{1/2} \quad (3.3.2-2)$$

式中：

C_n ——原料 ^{226}Ra 的活度，单位为 Bq/g ，见表 3.1-3。

ρ_r ——矿石、尾渣堆置的松散密度， g/cm^3 ；其中，原料取 $3\text{g}/\text{cm}^3$ 。

E_n ——射气系数；根据吴慧山、梁树红等编著的《氡测量及实用数据》（原

λ_R ——衰变常数；其中，根据规范 EJ/T1090-1998 中， ^{222}Rn 取 $2.1\times 10^{-6}/\text{s}$ 、 ^{220}Rn 取 $1.25\times 10^{-2}/\text{s}$ 。

W_p ——扩散系数， m^2/s ；根据吴慧山、梁树红等编著的《氡测量及实用数

产品：

项目年产蓝晶石 4.5 万吨、锆英砂 1 万吨、石榴子石 3 万吨、金红石 0.8 万吨、石英砂 0.5 万吨均需存放在成品仓库内，合计 98000t/a。产品按照一个月转

同理，根据公式 2.4.2-1 和 2.4.2-2 可计算出产品排放 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 。

2) ^{220}Rn 计算方法

根据表 3.1-3, $C_{224\text{Ra}}/C_{226\text{Ra}} = C_{232\text{Th}}/C_{226\text{Ra}} = 313/506.8 = 0.6$

根据 UNSCEAR2000 附件 B, $Q(^{220}\text{Rn})/Q(^{222}\text{Rn}) = J_D(^{220}\text{Rn})/J_D(^{222}\text{Rn}) = (C_{224\text{Ra}}/C_{226\text{Ra}}) \cdot (\lambda_{220\text{Rn}}/\lambda_{222\text{Rn}})^{1/2} = 0.6 \times 77 = 47.6$ 。

$$Q(^{220}\text{Rn}) = 47.6 \times Q(^{222}\text{Rn})$$

以上式中：Q——释放量（Bq/a）；

J_D ——析出率 Bq/（ $\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）

λ_R ——衰变常数；

3) 计算结果

经计算，表面 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 析出率和释放量如下表所示。

表 3.3-3 矿料 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 析出率和释放量

项目	^{222}Rn			^{220}Rn		
	析出率 Bq/ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	释放量 Bq/a	释放量 Bq/s	析出率 Bq/（ $\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）	释放量 Bq/a	释放量 Bq/s
原料	数据已模糊处理					
产品						
合计						

3.3.2.2 放射性核素流出

本项目的放射性核素是通过颗粒物的形式流出，以烘干炉排气筒流出和无组织排放的扬尘形式流出。

(1) 放射性核素流出源强

本项目的放射性核素是通过颗粒物的形式流出，以烘干炉排气筒流出和无组织排放的扬尘形式流出。

项目拟建 1 台烘干炉，用于烘干重选后的物料。烘干炉废气均采用布袋除尘器处理，烟气经 15m 高的排气筒排放。烘干炉采用天然气为燃料，对物料进行烘干，烘干炉烘干物料中的水蒸气与燃烧的烟气通过同一套除尘措施后，通过同一个的排气筒排放至大气（源强内容引自《报告书》）。

表 3.3-4 废气有组织点源排放源强

排气筒	污染物类别	年运行时间 h	标况排气量 (Nm ³ /h)	产生情况			排气情况				处理效率
				产生浓度	产生速率	产生量	烟囱高度 (m)	浓度 (mg/m ³)	排放量		
				mg/m ³	kg/h	t/a			t/a	kg/h	
烘干炉排气筒	颗粒物										

由于本项目暂无铀钍浓度检测结果，故根据排气筒排放的颗粒物浓度，推算排气筒中铀钍粉尘含量，由于烘干的物料主要为产品锆英砂中矿、蓝晶石中矿和石榴子石中矿，因此排气筒中放射性核素水平以产品加权平均核素活度计。从而，根据颗粒物排放量和表 3.1-3 产品中的铀和钍核素水平加权平均值，推算废气有组织点源排放粉尘中铀钍含量如表 3.3-5，其中，核素活度和总含量之间的关系如下：

Bq/kg 的

表 3.3-5 废气有组织点源排放铀钍浓度计算结果

浓度 (mg/m ³)	²³⁸ U 核素水平 (Bq/kg)	²³² Th 核素水平 (Bq/kg)	U 核素水平 (mg/kg)	Th 核素水平 (mg/kg)	U 含量 (mg/m ³)	Th 含量 (mg/m ³)	U 和 Th 总量 (mg/m ³)

根据推算可知，本项目排气筒中铀钍粉尘浓度总和为 0.00073mg/m³，低于《稀土工业污染物排放标准》(GB26451-2011)中规定的“新建企业大气污染物排放浓度限值，排放铀钍粉尘废气的排气筒不超过 0.1 mg/m³”。

根据《年加工 10 万吨锆英中矿项目环境影响评价报告书》，确定本项目废气无组织面源排放源强见下表。

表 3.3-6 废气无组织面源排放源强

面源名称	排放工况	评价因子源强 (t/a)
		粉尘
干燥出料、电选进出料、磁选进出料	正常	[REDACTED]
卸料	正常	
原料仓库	正常	
运输	正常	
合计		

(2) 放射性核素年排放量

各排放源排放的颗粒物中含有放射性核素，因为各排放源属于不同的工序，排放的颗粒物中的核素比活度不尽相同，根据表 3.1-3，各排放源排放的颗粒物中核素比活度见下表。

表 3.3-7 各排放源排放的颗粒物中的核素比活度 (Bq/kg)

气载流出物排放点名称	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	备注
烘干炉排气筒	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	全厂仅一个烘干炉一个排气筒，排放的颗粒物主要为产品，颗粒物中的各项核素的比活度以产品中的核素比活度加权值（见表 3.1-3）来计
干燥出料、电选进出料、磁选进出料				排放的颗粒物主要为产品，颗粒物中的各项核素的比活度以产品中的核素比活度加权值（见表 3.1-3）来计
卸料				排放的颗粒物主要为产品，颗粒物中的各项核素的比活度以产品中的核素比活度加权值（见表 3.1-3）来计
原料仓库				排放的颗粒物主要为原料，颗粒物中的各项核素的比活度以原料中核素比活度（见表 3.1-3）来计
运输				排放的颗粒物包含原料和产品，颗粒物中的各项核素的比活度以原料和产品中加权平均核素比活度（见表 3.1-3）来计

根据上表，计算出的各项放射性粉尘核素的年排放量见下表。

表 3.3-8 各排放源排放的颗粒物中的核素年排放量 (Bq/a)

气载流出物排放点名称	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	备注
烘干炉排气筒	(b) (5)	(b) (5)	(b) (5)	排放的颗粒物主要为产品，颗粒物中的各项核素的比活度以产品中的核素比活度加权值（见表 3.1-3）来计
干燥出料、电选进出料、磁选进出料				排放的颗粒物主要为产品，颗粒物中的各项核素的比活度以产品中的核素比活度加权值（见表 3.1-3）来计
卸料				排放的颗粒物主要为产品，颗粒物中的各项核素的比活度以产品中的核素比活度加权值（见表 3.1-3）来计
原料仓库				排放的颗粒物主要为原料，颗粒物中的各项核素的比活度以原料中核素比活度（见表 3.1-3）来计
运输				排放的颗粒物包含原料和产品，颗粒物中的各项核素的比活度以原料和产品中加权平均核素比活度（见表 3.1-3）来计
合计				/

3.3.3 液态源项

1) 生产用水

根据《福建鑫钰新材料有限公司年加工 10 万吨锆英中矿项目环境影响评价报告书》的分析，本项目的选矿水循环使用，不外排。选矿循环水是原料经摇床重选，选出产品锆英砂、金红石、石英砂等后产生的，因此循环水的放射性水平主要与原料放射性水平有关，本项目原料放射性水平 ^{238}U 为 1013.9 Bq/kg、 ^{232}Th 为 313.0Bq/kg、 ^{226}Ra 为 506.8 Bq/kg。本专篇循环水池中选矿水的放射性水平，采用类比的方式分析，类比项目选取的是广西源丰达矿业有限公司（主要从事钛锆矿的选矿生产，年处理 48 万吨钛锆中矿，产品主要为钛精矿、锆英砂、金红石、锡矿、铁矿、独居石，通过烘干炉对毛矿、中矿进行干燥，采用磁选、电选、摇床重力选工艺，原料的放射性水平为 ^{238}U 为 1193.9 Bq/kg、 ^{232}Th 为 1562.4 Bq/kg、 ^{226}Ra 为 1472.5 Bq/kg，略高于本项目，保守考虑类比可行）和广西广保矿业有限公司（主要从事钛锆矿的选矿生产，年处理 10 万吨钛锆中矿，产品

主要为钛精矿、锆英砂、金红石、独居石，原料来自东南亚，使用烘干炉对毛矿、中矿进行干燥，采用磁选、电选、摇床重力选工艺），循环水放射性水平检测结果，检测报告见附件 4，类比项目的循环水的检测结果如下：

表 3.3-9 类比项目循环水核素分析结果

项目	U($\mu\text{g/L}$)	^{226}Ra (mBq/L)	Th($\mu\text{g/L}$)	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)
广西源丰达循环水					
广西广保循环水					

由上表可知，循环水中总 α 、总 β 的指标低于《污水综合排放标准》中的限值总 $\alpha < 1 \text{ Bq/L}$ ，总 $\beta < 10 \text{ Bq/L}$ ），工程产生的生产废水进入循环池，经沉淀澄清处理后排入废水处理回用系统循环使用，无放射性废水外排，对地表水环境影响较小。

2) 雨水

项目雨水量采用漳州气象局编制的暴雨强度计算公式：

$$q=2618.151(1+0.571\lg T_e)/(t+7.732)^{0.728} \dots\dots\dots (\text{式 } 3.3.3-1)$$

其中：

q:暴雨强度，升/公顷·秒

T_e : 重现期，取 1 年

t: 降雨历时，取 30 分钟

汇水面积：汇水面积为 10000m^2 （除综合楼、办公楼、回水池部分）

径流系数：取 0.8

则 30min 内的厂区初期雨水量为 212.4m^3 。

建设单位拟在厂房东南侧建有 1 个初期雨水池，总容积 800m^3 ，可以满足初期雨水收集要求。能满足初期雨水循环使用，经应急水池沉淀后用于生产使用，以降低用水成本，能满足一次初期雨水量。

本项目厂区采用雨污分流制，厂区道路、硬化地面等的初期雨水雨水管网收集至初期雨水池处理和暂存后，全部回用于选矿生产；而 30min 之后的洁净雨水优先暂存于初期雨水池后回用，多余的通过雨水管网外排。生产区建筑物天面设置找坡、天沟，收集到的天面雨水通过落水管汇入独立的雨水管网，该部分雨

水水质干净，可直接外排或回用。

厂区初期雨水经沉淀后用于摇床选矿补充水，不外排。

3.3.4 固态源项

本项目采购的原料来自国外进口，原料在国外已经过初步的清洗，只含有少量的泥砂，可作为建筑材料外售给建筑公司综合利用。本项目与福建文盛矿业有限公司泥进行类比（类比可行性：从事锆中矿的选矿生产，年处理 13 万吨锆中矿，产品主要为锆英砂、金红石、独居石，原料主要来自澳大利亚、非洲，通过烘干炉和晒干方式对锆中矿进行干燥，采用磁选、电选、摇床重力选工艺），类比项目泥核素含量见下表。

表 3.3-10 类比项目泥放射性核素检测结果

项目	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
泥				

由上表可知，泥中的天然性放射性核素的活动浓度均 <1 Bq/g，根据《伴生放射性物料贮存及固体废物填埋辐射环境保护技术规范(试行)》(HJ 1114-2020)泥无需进行辐射监管。

虽然，泥的年产量较低，且泥中的天然性放射性核素的活动浓度均 <1 Bq/g，无需进行辐射监管。但考虑到泥的放射性存在一定程度波动，这主要是由于原料（锆中矿）的特殊性，且原料放射性水平有所差别，泥的放射性水平也相应有所差别，故每批次石英砂外卖前需送有资质单位检验，确认其放射性水平。若石英砂放射性超过 1Bq/g，则回收利用，重新进入选矿程序，直至泥中的天然性放射性核素的达到外售标准。

4 辐射环境质量现状

4.1 调查内容及采用的仪器、方法

根据工程分析结果，参照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）相关要求，确定放射性环境现状调查内容，主要包括：

- (1) 厂界及周边保护目标环境 γ 辐射剂量率测量；
- (2) 周边保护目标环境空气： ^{222}Rn 及其子体；
- (3) 土壤取样及放射性核素分析： ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th ；
- (4) 地表水和地下水放射性水平测量： U 、 ^{226}Ra 、 Th 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 、总 α 和总 β ；
- (5) 气溶胶取样及放射性核素分析： ^{210}Po 、 ^{210}Pb 、总 α 、总 β 。

所采用检测方法见下表。

表 4.1-1 环境调查采用分析测量方法

监测类别	监测项目	依据的标准（方法名称）及编号（含年号）	检出限	单位	仪器名称及编号
电离辐射	氡	HJ 1212-2021 《环境空气中氡的测量方法》	4 (测定下限)	Bq/m ³	RAD7 α 能谱氡气检测仪 (F026)
	氡子体	EJ 378-1989 《铀矿山空气中氡及氡子体测定方法》	1.0	nJ/m ³	BWLM-PLUS-S 氡及其子体测量仪 (F135)
	环境 γ 辐射剂量率	HJ 61-2001 《辐射环境监测技术规范》	1	nGy/h	FH40G+FHZ672E-10 环境级 X- γ 剂量率仪 (F117)
空气气溶胶	钋-210	HJ 813-2016 《水中钋-210 的分析方法》（参考）	0.00001	Bq/m ³	ALPHA-DUD ORTEC 谱仪 (F184)
	铅-210	HJ/T 859-1994 《水中铅-210 的分析方法》（参考）	0.00002	Bq/m ³	KB-1000 微电脑颗粒物大流量采样器 (F211、F215)
	总 α 放射性	HJ 898-2017 《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》（参考）	0.00001	Bq/m ³	Kestrel 5500 手持气象仪 (F241)
	总 β 放射性	HJ 899-2017 《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（参考）	0.00001	Bq/m ³	LB770 流气式低本底 α 、 β 测量仪 (F137)
地表水及地下水	铀	HJ 700-2014 《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》	0.00004	mg/L	NexION300X 电感耦合等离子体质谱仪 (F001)
	钍		0.00005	mg/L	
	镭-226	GB 11214-1989 《水中镭-226 的分析测定》	0.002 (测定下限)	Bq/L	PC-2100 镭氡分析仪 (F103)

监测类别	监测项目	依据的标准（方法名称）及编号（含年号）	检出限	单位	仪器名称及编号
电离辐射	氡	HJ 1212-2021 《环境空气中氡的测量方法》	4 (测定下限)	Bq/m ³	RAD7 α能谱氡气检测仪 (F026)
	氡子体	EJ 378-1989 《铀矿山空气中氡及氡子体测定方法》	1.0	nJ/m ³	BWLM-PLUS-S 氡及其子体测量仪 (F135)
	环境γ辐射剂量率	HJ 61-2001 《辐射环境监测技术规范》	1	nGy/h	FH40G+FHZ672E-10 环境级 X-γ剂量率仪 (F117)
空气溶胶	钋-210	HJ 813-2016 《水中钋-210 的分析方法》（参考）	0.00001	Bq/m ³	ALPHA-DUD ORTEC 谱仪 (F184)
	铅-210	HJ/T 859-1994 《水中铅-210 的分析方法》（参考）	0.00002	Bq/m ³	KB-1000 微电脑颗粒物大流量采样器 (F211、F215)
	总α放射性	HJ 898-2017 《水质 总α放射性的测定 厚源法》（参考）	0.00001	Bq/m ³	Kestrel 5500 手持气象仪 (F241)
	总β放射性	HJ 899-2017 《水质 总β放射性的测定 厚源法》（参考）	0.00001	Bq/m ³	LB770 流气式低本底α、β测量仪 (F137)
	钋-210	HJ 813-2016 《水中钋-210 的分析方法》	0.001 (测定下限)	Bq/L	ALPHA-DUD ORTEC 谱仪 (F184)
	铅-210	HJ/T 859-1994 《水中铅-210 的分析方法》	0.01 (测定下限)	Bq/L	LB770 流气式低本底α、β测量仪 (F137)
	总α放射性	HJ 898-2017 《水质 总α放射性的测定 厚源法》	0.043 (测定下限)	Bq/L	
	总β放射性	HJ 899-2017 《水质 总β放射性的测定 厚源法》	0.015 (测定下限)	Bq/L	
土壤	铀-238	GB/T 11713-2015《高纯锆γ能谱分析通用方法》	/	Bq/kg	LBE5030 低本底宽能高纯锆γ谱仪 (F040)
	钍-232		/	Bq/kg	
	镭-226		/	Bq/kg	

4.2 质量保证

4.2.1 监测设备仪器及器材

1) 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) 为确保监测数据的准确可靠，在水样、土样的采集运输保存实验室分析和数据计算的全过程均按照《水质 样品的保存和管理技术规定》、《水质 采样技术指导》、《环境核辐射监测中土壤样品采集与制备的一般规定》及《辐射环

境监测技术规范》的要求进行；

3) 水样采集后用浓硝酸酸化到 pH 值为 1-2，水样、土样在实验室分析时采取密码平行样分析和空白分析等质控措施；

4) 所有监测及分析仪器均在有效检定期内，并参照有关计量检定规程定期校验和维护。

4.2.2 监测过程

监测过程要明确规定监测方法、选用的设备仪器和技术参数，保证监测项目满足要求。

对监测点位绘制位置示意图，做好监测过程中的记录。

4.2.3 监测环境和安全

对监测环境应进行考察，监测环境须无危害人体健康安全的因素，无影响监测结果的因素，如发现上述因素存在时应停止监测。

4.2.4 监测记录和标识

监测人员负责做好监测原始记录，包括监测部位示意图，布置图等。

监测记录清晰、准确，与实际相符。

监测记录与监测报告归档保存。

4.2.5 监测报告

监测完成后要及时出具监测报告。

监测报告的格式内容符合规范、标准或行业要求。

4.3 监测布点

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）相关要求，本专篇委托江西省地质局实验测试大队 2023 年 6 月 6 日至 10 日对项目厂址和厂界外进行辐射环境测量，监测布点见图 4.3-1 至 4.3-3。



图 4.3-1 项目周围环境监测点位图-1



图 4.3-2 项目周围环境监测点位图-2

4.4 辐射环境现状调查结果

辐射环境现状调查结果符合《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）相关要求，检测结果见监测报告（见附件 5）。

4.4.1 γ 剂量率

（1）布点原则

布点及检测方法根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》中相关要求，对项目厂区周边 0.5 公里范围内进行本底 γ 辐射剂量率监测。

（2）监测方案

表 4.4-1 项目周边环境及敏感点 γ 剂量率监测方案

监测项目	监测时间	监测设备	天气情况
γ 剂量率	2023 年 6 月 6 日	FH40G+FHZ67 2E-10 环境级 X- γ 剂量率仪 (F117)	阴, 26.8~33.7℃, 湿度 58.7~70.7%

（3）监测仪器

仪器名称：FH40G；

检定证书编号：2023H21-10-4580909001

检定证书有效期至：2024 年 5 月 17 日

FHZ672E-10 环境级 X- γ 剂量率仪（F117）

检定证书编号：2023H21-10-4580909002

检定证书有效期至：2024 年 5 月 17 日

（4）调查结果

周边环境及敏感点 γ 辐射剂量率水平调查报告见附件 5，结果见下表。

表 4.4-2 项目周边环境及敏感点 γ 辐射剂量率监测结果 (nGy/h)

编号	检测地点描述	点位编号	测量结果 \pm 标准偏差	备注
1	北侧居民点	X1		室外点
2	厂外西侧	X2		室外点
3	厂外北侧	X3		室外点
4	西侧农田土壤监测点	X4		室外点
5	北侧最近居民点土壤监测点	X5		室外点
6	厂内土壤监测点	X6		室外点
7	厂外西侧土壤监测点	X7		室外点
8	厂外南侧土壤监测点	X8		室外点
9	厂外南侧	X9		室外点
10	厂外东侧	X10		室外点
11	厂内气溶胶监测点	X11		室外点
12	对照点土壤监测点	X12		室外点

注：已扣除宇宙射线。

根据表中数据，项目周边环境中 γ 辐射剂量率范围为 [] 与福建省漳州地区 γ 辐射剂量率处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995， []）。

4.4.2 空气中 ^{222}Rn 和氡子体

（1）布点原则

布点及监测根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境空气中氡的标准测量方法》（GB/T 14582-93）要求，对项目周边 0.5 公里范围内及最近居民点的 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 和氡子体浓度进行监测。

(2) 监测方案

表 4.4-3 周边环境及敏感点空气 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 和氡子体监测方案

监测点	监测项目	监测时间	天气情况	监测设备
北侧居民点、厂外西侧、厂外北侧	氡浓度及氡子体	2023年6月6日至6月8日	阴、晴， 26.2~35.4℃，湿度 57.8-70.7%， 99.87~100.41kPa， 监测前一天未下雨 和刮大风	RAD7 α 能谱氡气检测仪（F026）、 BWLM-PLUS-S 氡及其子体测量仪（F135）

(3) 监测仪器

监测仪器：1) RAD7 α 能谱氡气检测仪（F026）

2) BWLM-PLUS-S 氡及其子体测量仪（F135）

(4) 结果及评价

根据现场测量，周边环境及敏感点中 ^{222}Rn 和氡子体浓度报告见附件 5，结果见下表。

表 4.4-4 周边环境及敏感点空气 ^{222}Rn 测量结果 (Bq/m^3)

序号	点位名称	采样点编号	空气中氡浓度 (Bq/m^3)	空气中氡子体 (nJ/m^3)
1	北侧居民点	D1		
2	厂外西侧	D2		
3	厂外北侧	D3		

以上结果可见，项目周边空气中 ^{222}Rn 浓度在 $5\sim 7\text{Bq}/\text{m}^3$ 范围内，氡子体浓度在 $9.6\sim 14.0\text{nJ}/\text{m}^3$ 范围内。厂界周边空气中氡浓度与《中国环境天然放射性水平》中福建福州地区室外空气中氡浓度范围值 ($1.5\text{-}214.2\text{Bq}/\text{m}^3$) 处在同一水平。

4.4.3 土壤核素

(1) 布点原则

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的要求，于 2023 年 6 月 9 日对项目建设场所及周围土壤进行了取样分析。

(2) 分析内容

厂址厂界周边表层 0-20cm 土壤： ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 。

(3) 结果及评价

周边环境及敏感点中土壤核素分析报告见附件 5，结果见下表。东侧农田土壤、北侧最近居民点、厂内土壤、厂外东侧土壤、对照点土壤、厂外南侧土壤

表 4.4-5 厂界及周边土壤核素结果（单位:Bq/kg）

序号	检测地点描述	监测点位编号	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	备注
1	厂内土壤	S1	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	
2	厂界外西侧土壤	S2				
3	厂外南侧土壤	S3				
4	厂外西侧农田土壤	S4				
5	厂外北侧最近居民点土壤	S5				
6	对照点土壤	S6				
福建漳州地区本底值						

由表可看出：对厂界及周边土壤样中的 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 进行采集分析，经分析土壤中天然核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{226}Ra 的含量与福建漳州地区本底值处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995）。

4.4.4 地表水

（1）布点原则

1) 地下水选点合理性

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》中的相关要求，需对周边地表水水源开展监测。而距离本项目最近河流为龙津溪，故本项目于 2023 年 6 月 10 日取龙津溪地表水水源作为本项目的辐射环境现状数据。

（2）分析内容

地下水：U、 ^{226}Ra 、Th、总 α 、总 β 、 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 。

（3）结果及评价

周边环境及敏感点中地下水分析报告见附件 5，结果见下表。

表 4.4-6 地下水放射性核素结果

项目	采样编号	U ($\mu\text{g/L}$)	^{226}Ra (mBq/L)	Th ($\mu\text{g/L}$)	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)	^{210}Po (Bq/L)	^{210}Pb (Bq/L)
龙津溪上游	SW1							
龙津溪下游	SW2							
福建九龙江本底值								

由表中数据可以看出：U、 ^{226}Ra 和 Th 浓度与福建九龙江水体放射性处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995）。地表水中总 α 和总 β 低于《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2022）放射性指标限值总 α 指导值为 0.5Bq/L，总 β 指导值为 1Bq/L）。 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量均接近或低于检出限。

4.4.5 地下水

（1）布点原则

1) 地下水选点合理性

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》中的相关要求，需对最近居民点井水水源开展监测。而距离本项目最近居民点为夫坊村，故本项目于 2023 年 6 月 10 日取夫坊村居民点井水水源作为本项目的辐射环境现状数据。

（2）分析内容

地下水：U、 ^{226}Ra 、Th、总 α 、总 β 、 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 。

（3）结果及评价

周边环境及敏感点中地下水分析报告见附件 5，结果见下表。

表 4.4-7 地下水放射性核素结果

项目	采样编号	U ($\mu\text{g/L}$)	^{226}Ra (mBq/L)	Th ($\mu\text{g/L}$)	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)	^{210}Po (Bq/L)	^{210}Pb (Bq/L)
厂区井水	GW1							
夫坊村居民点井水	GW2							
福建漳州地区本底值								

注：表中总 β 放射性监测结果已扣除钾-40 的 β 放射性；“<X”表示低于方法检出限，

其中“X”表示方法检出限。

由表中数据可以看出：U 和 ^{226}Ra 浓度与福建漳州地区水体放射性处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995）。Th 的活度浓度略高于当地本底值，项目周边无其他放射性企业运营，考虑是当地本底水平较高造成，后期项目正式运营，应重点监控关注地下水中的 Th 活度浓度。地下水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）指导值（标准中III类水体放射性指标总 α 放射性指导值为 0.5Bq/L，总 β 放射性指导值为 1Bq/L）， ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量均低于检出限。

4.4.6 气溶胶

（1）调查范围及布点

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关要求，核工业二三〇研究所于 2023 年 6 月 6 日至 6 月 10 日对项目周边进行了气溶胶取样分析。

（2）分析内容

气溶胶：总 α 、总 β 、 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 。

（3）监测布点

本项目周边环境气溶胶取样布点图 4.3-1。

（3）结果及评价

周边环境气溶胶核素分析报告见附件 5，结果见下表。

表 4.4-8 气溶胶核素分析结果（Bq/m³）

项目	^{210}Po	^{210}Pb	总 α	总 β	备注
厂区内气溶胶					

气溶胶主要采集自拟建厂区周边中，对气溶胶中的总 α 、总 β 、 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 进行分析，经分析气溶胶中总 α 低于检出限，总 β 接近于检出限，核素 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量相较于文献《气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量年变化趋势探究》中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量较低（由于无当地环境气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 参考值，故参照文献《气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量年变化趋势探究》（喻正伟等，2017 年）中气溶胶 ^{210}Po 浓度范围为 0.17-0.84 mBq/m³， ^{210}Pb 浓度范围为 0.8-3.8 mBq/m³）。

4.5 小结

1) γ 辐射剂量率: 项目周边环境 γ 辐射剂量率范围 [redacted], 与福建省漳州地区 γ 辐射剂量率处于同一水平 (《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995, 室外 61.5~399.1nGy/h)。

2) 氡浓度: 项目周边空气中 ^{222}Rn [redacted], 氡子体浓度 [redacted] 内。厂界周边空气中氡浓度与《中国环境天然放射性水平》中福建福州地区室外空气中氡浓度范围值 [redacted] 在同一水平。

3) 土壤: 土壤中天然核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{226}Ra 的含量与福建漳州地区本底值处于同一水平 (《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995)。

4) 地表水: U 、 ^{226}Ra 和 Th 浓度与福建九龙江水体放射性处于同一水平 (《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995)。地表水中总 α 和总 β 低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)放射性指标限值总 α 指导值为 0.5Bq/L, 总 β 指导值为 1Bq/L)。 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量均接近或低于检出限。

5) 地下水: U 和 ^{226}Ra 浓度与福建漳州地区水体放射性处于同一水平 (《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995)。 Th 的活度浓度略高于当地本底值, 项目周边无其他放射性企业运营, 考虑是当地本底水平较高造成, 后期项目正式运营, 应重点监控关注地下水中的 Th 活度浓度。地下水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)指导值 (标准中III类水体放射性指标总 α 放射性指导值为 0.5Bq/L, 总 β 放射性指导值为 1Bq/L), ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量均低于检出限。

6) 气溶胶: 气溶胶中总 α 低于检出限, 总 β 接近于检出限, 核素 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量相较于文献《气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量年变化趋势探究》中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量较低 (由于无当地环境气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 参考值, 故参照文献《气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量年变化趋势探究》(喻正伟等, 2017 年)中气溶胶 ^{210}Po 浓度范围为 0.17-0.84 mBq/m³, ^{210}Pb 浓度范围为 0.8-3.8 mBq/m³)。

5 辐射环境影响分析

5.1 厂址特征参数

5.1.1 地理位置

诏本项目位于漳州市长泰区陈巷镇港园工业区，厂址中心坐标 117°47'21.660"、北纬 24°39'9.110"，地理位置见图 3.1-1。

长泰县地处戴云山脉和漳州平原的过渡地带，属漳州市辖区，东临厦门市，西接华安县和漳州芗城区，南连漳州龙文区及龙海市（县级市），北与安溪县接壤，有省级公路和 324、319 国道、福诏高速公路与鹰厦铁路相连。长泰县城距闽南铁路枢纽漳州东站（郭坑）8km；距漳州市区 20km，漳州港 70km；距厦门港 56km，厦门航空港 50km；距泉州 120km，地理坐标为北纬 24°33'-24°54'，东经 117°36'-117°57'。

5.1.2 地形、地貌

诏安地形：长泰县地势由东、北、西三面的中山向中部和南部的河谷平原呈层状逐级降低，依次排列为中山—低山—丘陵—台地—平原，从而构成了北高南低向南开口的马蹄状地貌特征。境内丘陵山地面积约占 74.5%，谷地、台地、平原约占 17.5%，水面约占 9%。

地貌：长泰县以丘陵山地为主的多样性地形地貌特征：中南部龙津溪中下游河谷两侧为海拔 20m 以下的平原，是福建省最大的平原——漳州平原的组成部分。总面积 84.02km²，占全县总面积的 9.2%，其中珠浦村排涝站为全县最低处，海拔只有 7 m。平原两侧为海拔 20—50m 的台地，总面积 83.2km²，占全县总面积 9.12%，是全县村庄主要分布区。东部、北部和西部多为海拔 500m 以上的山峰有 29 座，最高峰吴田山海拔 1128.7m。山地与台地之间为海拔 50-500m 的丘陵，总面积 364.16km²，占全县总面积的 39.9%，在各种类型中比重最大。此外，在山地和丘陵中还散布着大小山间谷盆 29 个，总面积 64.16km²，占全

县总面积的 7.03%。

5.1.3 气候与气象

长泰县是地处北回归线附近，是较为典型的南亚热带海洋性季风气候：

(1) 气候温暖，冬无严寒，夏无酷暑。长泰县冬季较温暖、夏季较凉爽，气温年、日差较小。最冷月（一月）平均气温 12.6℃，最热月（七月）平均气温 28.6℃，全年平均气温 21℃。

(2) 日照充足，热量丰富，无霜期长。长泰县中南部地区多年平均日照时数为 2000 小时左右，年平均太阳辐射总量达 127.8 千卡/cm²，大于 10℃活动积温达 7400℃左右，全年无霜期 328 天（霜日仅 6~8 天）。

(3) 降水丰沛，但时空分布不均匀。中南部年平均降水量 1500mm 左右，北部山地迎风坡达 1750mm，个别达 2000mm 以上。年降水量有 75%以上集中在春夏两季，秋冬两季降水量较小，而且降水量的年际变化也较大。年平均相对湿度 78~83%。

(4) 地面风场

根据长泰县气象站近 30 年地面观测资料，（长泰县气象站 东经 117° 45' 32.09"，北纬 24° 37' 14.23"），该地区常年静风频率为 16.7%，主导风向为 ESE，年平均频率 41.2%（含 E、ESE、SE）。四季风向除静风外，冬季主导风向为 ESE，频率 19%；春季为 ESE，频率 22%；夏季以 S 最多，频率 10%；秋季 ESE 和 SE 相当，分别为 15%和 14%。全年平均风速 1.7m/s，除静风外平均风速约 3m/s。

长泰地区常年风频和风速表如下。

表 5.1-1 诏安地区常年风频和风速表

时间	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
1 月	3.9	5.3	6.6	5.0	3.7	4.3	9.7	10.2	6.0	6.1	5.0	4.4	5.1	4.6	3.4	4.6	12.3
2 月	4.1	4.1	6.2	4.0	3.4	5.0	11.8	12.3	6.9	5.0	5.8	4.8	4.8	5.9	3.4	3.3	12.1
3 月	3.9	3.8	6.5	4.0	3.7	7.3	11.2	10.3	7.2	5.0	5.2	4.4	5.0	6.1	3.9	3.4	10.2
4 月	5.0	5.3	6.5	4.5	3.6	6.8	12.1	11.5	6.0	5.8	4.5	3.9	4.2	5.3	3.3	3.0	10.7
5 月	4.2	5.5	7.4	4.7	4.2	8.3	10.7	11.6	6.1	4.7	4.5	3.6	3.6	4.5	3.2	4.1	10.2
6 月	4.8	6.2	8.7	6.5	5.4	12.4	12.3	9.1	4.8	4.0	4.1	2.7	3.1	4.2	2.9	3.1	9.3
7 月	4.8	6.4	10.3	5.5	5.7	12.2	11.4	6.8	4.5	4.2	4.5	4.2	3.9	4.3	2.6	2.9	7.7
8 月	5.8	7.5	9.0	4.9	5.7	11.1	8.0	6.2	4.8	3.9	5.0	4.3	4.4	3.9	4.2	3.4	7.5
9 月	6.7	7.8	9.4	5.3	5.7	9.1	8.2	5.8	4.9	4.2	4.6	3.1	4.0	5.7	4.2	4.5	8.9
10 月	7.2	7.1	11.7	5.7	6.0	7.8	6.9	6.3	4.4	4.3	4.5	3.5	3.6	5.2	3.1	3.6	9.6
11 月	5.1	7.4	9.3	5.6	5.2	6.3	5.9	6.5	5.1	5.4	6.2	4.8	5.5	5.8	3.5	4.0	11.9
12 月	5.1	4.9	9.8	5.0	3.9	5.0	6.3	7.2	5.1	6.0	7.2	4.6	6.0	4.9	4.0	4.6	12.8
全年 (%)	4.9	5.7	8.3	4.8	4.3	7.6	9.9	8.5	5.5	4.8	5.1	4.3	4.6	4.9	3.4	3.7	9.9
风速 (m/s)	1.45	1.52	1.47	1.29	1.37	2.23	2.36	2.26	1.69	1.56	1.56	1.61	1.65	1.44	1.27	1.32	/

5.1.4 水文

长泰县主要河流龙津溪、高层溪、马洋溪和坂里溪4条，都属山地性河流，流程短、落差大、水流急，水量丰富而季节变化明显。河谷形态多呈串珠状，水能丰富便于开发。流经当地的主要河流为龙津溪。龙津溪是九龙江北溪的支流，发源于安溪县境内的佛耳山南麓，自北向南流经安溪县的西坪、龙涓、虎丘及长泰县的枋洋、岩溪、武安等乡镇，在长泰县洛滨汇入九龙江北溪，流域总面积907km²，河道全长80km，河道平均坡降5.5‰，是长泰县最大的河流。该溪水量充沛，多年平均面降雨量1688mm，平均径流深为945mm，多年平均流量为27.2m³/s，径流总量8.57亿m³，径流变差系数CV=0.30。龙津溪是长泰主要水源地，在龙津溪武安镇上游处设有长泰水厂取水口，取水口处位于长泰大桥上游大约500m处。

龙津溪在洛滨村与九龙江北溪汇合进入九龙江北溪，据调查，在汇合口上下游的九龙江北溪河段上还有多处取水口，主要有漳州二水厂位于九龙江北溪，于龙津溪汇入口上游约1.4km处；漳州糖厂取水口于龙津溪汇入口下游约5km处；厦门市水厂北引取水口位于龙津溪汇入口下游约11km处。

长泰县有地下水资源 1.485 亿 m³，水质较好。表现为矿化度低（0.102-0.193g/L），矿物质含量小于1g/L，碱度和盐度小于4-15毫克当量/升。全县地下水的分布情况如下：

①沟谷洼地水文地质区（海拔250m以下）为松散岩类孔隙水，多年平均总储量为915万m³/年，属于富水区，水位埋深1-3m，常见涌水量约为98-268吨/日。

②丘陵地水文地质区（海拔250-500m）为风化网状岩类孔隙、裂隙水，多年平均中储量5356万m³/年，属于贫水区，水位深埋5m左右，常见涌水量10吨/日。

③中低山水文地质区（海拔500m）为块状夹层岩类裂隙小，多年平均总储量3579万m³/年，属最贫乏水质。

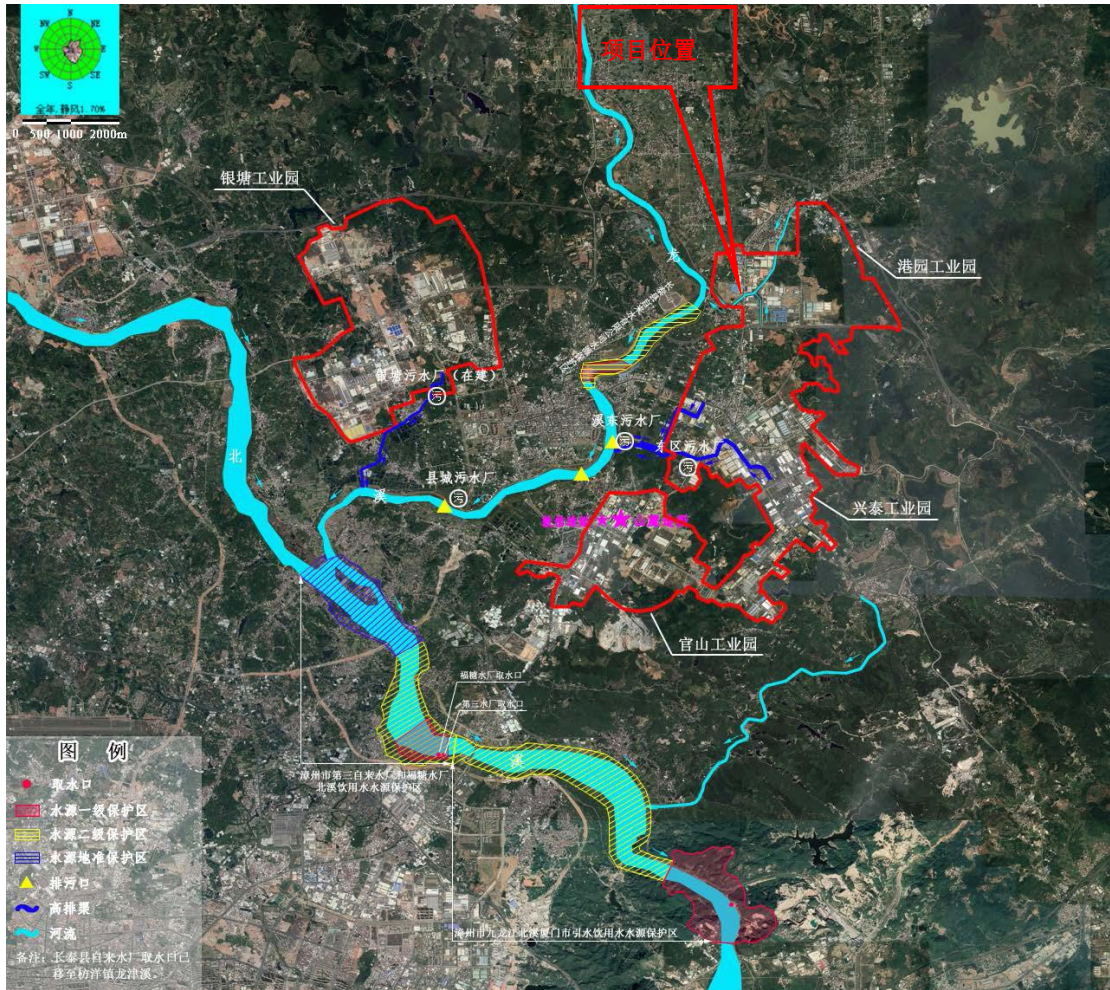


图 5.1-1 地表水系及水环境敏感目标图

5.1.5 地下水

场长泰县有地下水资源1.485亿m³，水质较好。表现为矿化度低（0.102g/L~0.193g/L），矿物质含量小于1g/L，碱度和盐度小于4毫克当量/升~15毫克当量/升。全县地下水的分布情况如下：（1）沟谷洼地水文地质区（海拔250m以下）为松散岩类孔隙水，多年平均总储量5915万m³/年，属于富水区，水位埋深1m~3m，常见涌水量约98t/d~268t/d。（2）丘陵台地水文地质区（海拔250m~500m）为风化网状岩类孔隙、裂隙水，多年平均总储量5356万m³/a，属于贫水区，水位埋深5m左右，常见涌水量10t/d。（3）中低山水文地质区（海拔500m）为块状夹层岩类裂隙小，多年平均总储量3579万m³/年，属最贫乏水区。

此外，全县有地下热水出露（温泉）5处，年总流量38.5万m³，水温50℃左

右，水质较好，是开发养殖、保健疗养、旅游、休闲和温室农业的理想之地。

5.1.6 人口分布

长泰县地处厦、漳、泉三地市结合部位，全境面积 912.7km²，辖 6 个乡镇（场）、1 个省级经济开发区、1 个市级生态旅游区和 1 个市级工业区，分别为：武安镇、岩溪镇、陈巷镇、枋洋镇、坂里乡、国营古农农场、长泰经济开发区、马洋溪生态旅游区、林墩工业区。常住人口 20 万人，其中农业人口 16.7 万人，占常住人口的 83.5%；外来人口 13 多万人。

本项目位于漳州市长泰县，项目区域 500m 评价范围内主要为企业的员工，均为成年人，工作人员约 2015 人。

表 5.1-2 0.5km 范围内各子区人口分布情况

子区半径	年龄组	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合计
0~0.5km	婴儿	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	幼儿	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	少年	52	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	成年	328	37	30	112	312	43	67	54	468	12	188	61	126	64	86	42	2114
合计		395	54	30	112	312	43	67	54	468	12	188	61	126	64	86	42	2114

5.2 放射性核素迁移途径

本项目工艺流程为物理分选，由于本项目不排放放射性废水，无液态源项。此外，由于本项目周边区域基本属于工业区，项目周边无养殖用地，周边公众所用食物均来自外购，所以，本评价不分析食入内照射。

因此气态照射途径主要为空气浸没外照射、地表沉积外照射、吸入内照射。在本评价中，考虑到矿尘浸没与沉积所致公众的有效剂量相对于吸入放射性核素途径所致有效剂量小很多，因此，评价中忽略其外照射有效剂量贡献，主要考虑吸入内照射的影响。

5.3 正常工况下气载流出物辐射环境影响分析

本次辐射环境影响评价的基本评价指标是以拟建厂区中心为中心点的公众最大个人有效剂量当量。评价方法以模式计算为主，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，利用预测模型及软件完成个人有效剂量的估算，并对设施所致最大个人剂量进行分析。基于偏保守原则，所有源项按源强最大时考虑。

考虑到原料来源的波动性会导致进口的原料中的放射性核素比活度存在一定的波动范围，基本上在 0.1Bq/g-4Bq/g 区间进行波动，从保守角度考虑，本专篇按照原料核素比活度区间的上限值进行辐射环境影响分析。

5.3.1 气载流出物对公众的辐射影响估算

5.3.1.1 剂量估算公式

根据公众所接受的放射性照射途径，本次公众个人有效剂量估算公式可以简化为：

$$D=D_r+D_{Rn}+D_h\dots\dots\dots\text{（式 5.3.1-1）}$$

式中： D ——公众照射有效剂量，mSv/a；

D_r ——外照射有效剂量，mSv/a；

D_{Rn} ——氡吸入所致内照射有效剂量，mSv/a。

D_n ——第 i 种核素吸入所致内照射有效剂量， mSv/a 。

本次项目辐射环境评价中，公众所受到的放射性外照射主要表现为矿尘的浸没照射以及沉积在地表的矿尘所致的外照射。由于其量微乎其微，外照射剂量转换因子很小（对于 ^{238}U 地表沉积为 $5.5 \times 10^{-19} Sv/(S \cdot Bq/m^2)$ ，空气浸没照射 $4.4 \times 10^{-18} Sv/(S \cdot Bq/m^2)$ ），难以获得重矿砂微尘沉积的相关参数。在评价中，考虑到矿尘浸没与沉积所致公众的有效剂量相对于吸入放射性核素途径所致有效剂量小很多，因此，评价中忽略其外照射有效剂量贡献。

5.3.1.2 吸入 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 所致个人有效剂量当量 (D_{Rn})

根据大气烟羽模型，使用 AERSCREEN 软件预测距离厂区边界不同距离产生的氡浓度，估算模型参数选择如下：

表 5.3-1 估算模型参数

参数		取值
城市/农村选项	城市/农村	城市
	人口数（城市选项时）	-
最高环境温度/ $^{\circ}C$		40.9 $^{\circ}C$
最低环境温度/ $^{\circ}C$		-2 $^{\circ}C$
土地利用类型		城市
区域湿度条件		湿润气候
是否考虑地形	考虑地形	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	地形数据分辨率/m	90
是否考虑岸线熏烟	考虑岸线熏烟	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
	岸线距离/km	/
	岸线方向/ $^{\circ}$	/
平均释放高度（m）		10

氡的排放源强见下表。

表 5.3-2 氡的排放源强

源项中心坐标/°		源项海拔高	源项长度 /m	宽度 /m	与正北向夹角 /°	面源有效排放高度 /m	年排放小时数/h	排放工况	氡析出率 Bq/ (m ² ·s)
东经	北纬								

根据 AERSCREEN 软件中的 AERSCREEN 模型预测，距离厂界不同距离处的大气落地浓度如下表，其中最大落地浓度为 130m 处，该处氡浓度的贡献值为 2.0 Bq/m³，随着距离的增加，氡浓度逐渐减小 500m 处的氡浓度贡献值为 1.05Bq/m³，几乎与本底水平接近，因此本项目评价范围为 0.5km 可行。

表 5.3-3 气载流出物所致各敏感点空气中氡浓度小时浓度贡献值 (C_{Rn})

序号	敏感点	方位	距离厂界最近距离 (m)	预测落地浓度 Bq/m ³
1	华创金属	NNE	54	
2	长泰东方石材	N	19	
3	北极光石制品有限公司	E	11	
4	兴宏驰工贸有限公司	S	18	
5	重远船舶机械工业有限公司	WSW/SW	44	
6	福建建通机械设备有限公司	W	38	
7	漳州宏兴泰电子有限公司	NW	86	
8	漳州宏发电声有限公司	NW	86	
9	云峰机械	E	227	
10	长泰朗源工业园区	NE	142	
11	福益纸业	S	274	
12	宏浩金属工业有限公司	S	83	
13	毅翰盛家	S	179	
14	宏全食品包装有限公司	SW//SSW	261	
15	金隆昌工业有限公司	E	117	
16	福建易辰达机械有限	ES	316	

序号	敏感点	方位	距离厂界最近 距离 (m)	预测落地浓度 Bq/m ³
	公司			
17	安特威尔叉车属具	W	307	
18	欣百恒	WNW	430	
19	夫坊村	N	376	
20	最大落地浓度	/	130	

计算公众的剂量公式:

$$D_{Rn} = g_{Rn} \cdot t \cdot C_{Rn} \dots \dots \dots \text{(式 5.3.1-3)}$$

式中: D_{Rn} ——吸入 ²²²Rn 内照射剂量, Sv/a;

g_{Rn} ——吸入 ²²²Rn 剂量转换因子, 2.44×10^{-9} Sv/ (Bq·h·m⁻³) (参数取自 GB18871—2002);

t ——时间, 由于周边敏感点均为工厂, 无长期居住居民, 考虑到周边工厂工人采用换班制或仅昼间工作, 故取 2400h (300*8h);

C_{Rn} ——环境中空气中 ²²²Rn 浓度, Bq/m³;



本项目考虑了风频对氡和钍射气浓度的影响, 周边公众所在方位为风频方向的下风向, 如长泰东方石材位于项目的东侧, 属于风频西风的下风向, 故风频考虑以西风计。氡和钍射气 (²¹²Pb) 吸入所致内照射有效剂量估算结果如下:

表 5.3-4 气载流出物所致氡和钍射气各公众的个人剂量

序号	敏感点	方位	$C_a(x)$ Bq/m ³	修正前个人 剂量 mSv/a	风频 (%)	个人剂量 mSv/a
1	华创金属	NNE	1.32	2.51E-02	2	8.04E-03
2	长泰东方石材	N	1.12	2.13E-02	1	3.41E-03
3	北极光石制品有限公司	E	1.05	2.00E-02	4	1.28E-02
4	兴宏驰工贸有限公司	S	1.12	2.13E-02	1	3.41E-03
5	重远船舶机械工业有限公司	WSW	1.32	2.51E-02	1	4.02E-03
6	福建建通机械设备有限公司	W	1.32	2.51E-02	20	8.04E-02
7	漳州宏兴泰电子有限公司	NW	1.75	3.33E-02	7	3.73E-02
8	漳州宏发电声有限公司	NW	1.75	3.33E-02	7	3.73E-02
9	云峰机械	E	1.62	3.08E-02	4	1.97E-02
10	长泰朗源工业园区	NE	1.99	3.79E-02	4	2.42E-02
11	福益纸业	S	1.42	2.70E-02	1	4.32E-03
12	宏浩金属工业有限公司	S	1.75	3.33E-02	1	5.33E-03
13	毅翰盛家	S	1.85	3.52E-02	1	5.63E-03
14	宏全食品包装有限公司	SW	1.42	2.70E-02	3	1.30E-02
15	金隆昌工业有限公司	E	1.99	3.79E-02	4	2.42E-02
16	福建易辰达机械有限公司	ES	1.38	2.63E-02	3	1.26E-02
17	安特威尔叉车属具	W	1.40	2.66E-02	20	8.53E-02
18	欣百恒	WNW	1.29	2.46E-02	13	5.11E-02
19	夫坊村	N	1.34	2.55E-02	1	4.08E-03
20	最大落地浓度 (最大风频下风向)	W	2.00	3.81E-02	20	1.22E-01

氡和钍射气 (^{212}Pb) 吸入所致子区个人剂量最大值 0.122mSv/a, 低于公众年有效剂量管理目标值 0.25mSv/a。

5.3.1.3 公众吸入放射性核素所致有效剂量 (D_h)

吸入所致内照射的放射性核素主要为 ²³²Th、²³⁸U、²²⁶Ra，吸入放射性核素所致有效剂量可按下式计算：

$$D_h = C_{\pm} \times f_i \times t \times R \times G_i \times 10^{-6} \dots\dots\dots \text{(式 5.3.1-4)}$$

式中：D_h——吸入再悬浮核素 i 所致内照射剂量，Sv/a；

C_±——吸入该厂排放的粉尘浓度，mg/m³，具体数值见表 5.3-7；

f_i——吸入矿尘第 i 种核素比活度浓度，核素活度取原料和产品的加权平均值，具体为 ²³²Th 334 Bq/kg，²³⁸U 1009 Bq/kg，²²⁶Ra 538 Bq/kg；

t——每年停留时间，h；

R——空气摄入速率，m³/h，取值见表 5.3-4；

G_i——第 i 种核素吸入剂量转换系数（考虑空气动力学直径 5μm），SV/Bq，取值来自《实用辐射安全手册》（从惠玲主编）中的表 3-13，取值见表 5.3-5。

表 5.3-5 成员空气摄入量 (R) (m³/h)

年龄组	小于 1 岁	1~2 岁	2~7 岁	7~12 岁	12~17 岁	>17 岁
摄入量	0.3	0.48	0.66	0.84	1.02	1.20

表 5.3-6 成员摄入该厂所排矿尘待积有效剂量转换系数 (G_i) (SV/Bq)

核素	公众成员年龄组	
	>17 岁	
²³² Th	2.5×10 ⁻⁵	
²³⁸ U	8.0×10 ⁻⁶	
²²⁶ Ra	3.5×10 ⁻⁶	

1) 矿尘浓度预测 (C_±)

根据 3.3.1 确定的源项参数具体见表 3.3-4 和表 3.3-6，选用 AERSCREEN 模型进行估算分析，可计算出该项目排放的粉尘随距离分布的地面浓度，计算结果如下表所示。

表 5.3-7 项目粉尘排放地面浓度随距离分布情况

敏感点	距离厂界最近距离 (m)	有组织预测落地浓度 (mg/m ³)	无组织预测落地浓度 (mg/m ³)	合计浓度 (mg/m ³)
华创金属	54	5.31E-03	7.07E-05	5.38E-03
长泰东方石材	19	4.50E-03	3.26E-05	4.53E-03
北极光石制品有	11	4.22E-03	8.26E-06	4.23E-03
兴宏驰工贸有限	18	4.50E-03	3.26E-05	4.53E-03
重远船舶机械工	44	5.31E-03	7.07E-05	5.38E-03
福建建通机械设	38	5.31E-03	7.07E-05	5.38E-03
漳州宏兴泰电子	86	7.05E-03	2.15E-04	7.27E-03
漳州宏发电声有	86	7.05E-03	2.15E-04	7.27E-03
云峰机械	227	6.55E-03	1.31E-04	6.68E-03
长泰朗源工业园	142	8.01E-03	1.83E-04	8.19E-03
福益纸业	274	5.72E-03	1.13E-04	5.83E-03
宏浩金属工业有	83	7.05E-03	2.15E-04	7.27E-03
毅翰盛家	179	7.48E-03	1.48E-04	7.63E-03
宏全食品包装有	261	5.72E-03	1.13E-04	5.83E-03
金隆昌工业有限	117	8.01E-03	2.05E-04	8.22E-03
福建易辰达机械	316	1.38E+00	0.00E+00	5.68E-03
安特威尔叉车属	307	1.40E+00	0.00E+00	5.77E-03
欣百恒	430	1.29E+00	0.00E+00	5.26E-03
夫坊村	376	5.39E-03	8.80E-05	5.48E-03
最大落地点	130	8.08E-03	2.17E-04	8.30E-03

2) 吸入放射性核素所致公众剂量估算结果 (D_h)

选用表 3.1-3 中锆英砂、金红石等天然放射性核素比活度水平数据, 以及表 5.3-5 和表 5.3-6 中剂量计算相关参数, 估算出正常工况下公众成员通过吸入途径所摄入最大核素量以及最大个人有效剂量, 由于周边敏感点除夫坊村外, 其他公众均为企业工作人员, 年龄均大于 17 岁, 故除夫坊村以外, 企业考虑 17 岁以上公众, 估算结果如下表所示。

表 5.3-8 吸入粉尘所致公众个人最大有效剂量估算结果 (>17 岁) (D_h)

敏感点	距离厂界最近距离 (m)	剂量 (mSv/a)
华创金属	54	8.51E-04
长泰东方石材	19	7.17E-04
北极光石制品有限公司	11	8.55E-04
兴宏驰工贸有限公司	18	7.17E-04

敏感点	距离厂界最近距离 (m)	剂量 (mSv/a)
重远船舶机械工业有限公司	44	8.51E-04
福建建通机械设备有限公司	38	8.51E-04
漳州宏兴泰电子有限公司	86	1.15E-03
漳州宏发电声有限公司	86	1.15E-03
云峰机械	227	1.06E-03
长泰朗源工业园区	142	1.30E-03
福益纸业	274	9.23E-04
宏浩金属工业有限公司	83	1.15E-03
毅翰盛家	179	1.21E-03
宏全食品包装有限公司	261	9.23E-04
金隆昌工业有限公司	117	1.30E-03
福建易辰达机械有限公司	316	8.98E-04
安特威尔叉车属具	307	9.12E-04
欣百恒	430	8.32E-04
最大落地点	130	1.31E-03

表 5.3-9 吸入粉尘所致公众个人最大有效剂量估算结果 (夫坊村) (D_n)

年龄组	小于 1 岁	1~2 岁	2~7 岁	7~12 岁	12~17 岁	>17 岁
夫坊村	2.17E-04	3.47E-04	4.77E-04	6.06E-04	7.36E-04	8.66E-04

综合表 5.3-8 和表 5.3-9 项目粉尘颗粒物排放所致公众成员最大个人年附加有效剂量出现在最大落地点 130m 处的 17 岁以上成人, 为 0.0013mSv/a, 满足本次评价所提出的 0.25mSv/a 的公众年有效剂量管理目标值。

5.3.1.4 外照射剂量

(1) γ 辐射剂量率外照射剂量估算公式

本项目 γ 辐射剂量率外照射对工作人员产生的有效剂量采用中涉及的剂量估算模式进行估算:

$$He = D_{\gamma} \times t \times K \times 10^{-3} \dots \dots \dots \text{(式 5.3.1-5)}$$

式中: He —为有效剂量当量, mSv/a;

D_{γ} —为环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

t —表示该种情况下的年工作总小时数, h/a;

K —为空气中吸收剂量换算为有效剂量当量的转换因子, 本项目取 0.7,

单位为 Sv/Gy。

以成品仓库 γ 辐射剂量率 2.28 $\mu\text{Gy/h}$ （值为类比福建文盛项目成品仓库表面实测值）计算其对居民点 γ 辐射剂量率的附加影响。

敏感点 γ 辐射剂量率估算公式：

$$D_{ri} = \frac{D_r}{r^2} \dots \dots \dots \text{（式 5.3.1-6）}$$

式中： D_{ri} —— γ 辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

r ——车间离考查点距离，m。

表 5.3-10 吸入粉尘所致公众个人最大有效剂量估算结果 (D_h)

敏感点	距离厂界最近距离 (m)	γ 辐射剂量率附加值 ($\mu\text{Gy/h}$)	居留时间 (h)	γ 辐射剂量率附加值剂量 (mSv/a)
华创金属	54	7.82E-04	2400	1.31E-03
长泰东方石材	19	6.32E-03	2400	1.06E-02
北极光石制品有限公司	11	1.88E-02	2400	3.17E-02
兴宏驰工贸有限公司	18	7.04E-03	2400	1.18E-02
重远船舶机械工业有限公司	44	1.18E-03	2400	1.98E-03
福建建通机械设备有限公司	38	1.58E-03	2400	2.65E-03
漳州宏兴泰电子有限公司	86	3.08E-04	2400	5.18E-04
漳州宏发电声有限公司	86	3.08E-04	2400	5.18E-04
云峰机械	227	4.42E-05	2400	7.43E-05
长泰朗源工业园区	142	1.13E-04	2400	1.90E-04
福益纸业	274	3.04E-05	2400	5.10E-05
宏浩金属工业有	83	3.31E-04	2400	5.56E-04
毅翰盛家	179	7.12E-05	2400	1.20E-04
宏全食品包装有限公司	261	3.35E-05	2400	5.62E-05
金隆昌工业有限公司	117	1.67E-04	2400	2.80E-04

敏感点	距离厂界最近距离 (m)	γ 辐射剂量率附加值 ($\mu\text{Gy/h}$)	居留时间 (h)	γ 辐射剂量率附加值剂量 (mSv/a)
福建易辰达机械有限公司	316	2.28E-05	2400	3.84E-05
安特威尔叉车属具	307	2.42E-05	2400	4.06E-05
欣百恒	430	1.23E-05	2400	2.07E-05
夫坊村	376	1.61E-05	8760	9.89E-05
最大落地点	130	1.35E-04	2400	2.27E-04

由上表可知,距离最近的北极光石制品有限公司因项目仓库产生的外照射影响较低,最高为 0.0317mSv/a ,满足本次评价所提出的 0.25mSv/a 的公众年有效剂量管理目标值。

5.3.1.5 公众辐射剂量估算

公众辐射剂量计算式:

$$D = D_r + D_{Rn} + D_h \dots \dots \dots \text{(式 5.3.1-4)}$$

由表 5.3-3 和表 5.3-7 可以看出, D_{Rn} 最大值为 0.122mSv/a , D_h 为 0.0013mSv/a , D_r 最大值为 0.0326mSv/a 。综合计算,项目所致公众成员最大个人年有效剂量出现在 17 岁以上成人,最大点位为 W 方位的 130m 处,该处是福建建通机械设备有限公司,为 0.123mSv/a ,满足本次评价所提出的 0.25mSv/a 的公众年有效剂量管理目标值。

表 5.3-11 公众个人最大有效剂量估算结果 (D) (mSv/a)

序号	公众	氡浓度 (mSv/a)	吸入放射性核素 (mSv/a)	外照射剂量 (mSv/a)	合计
1	华创金属	8.04E-03	8.51E-04	1.31E-03	1.02E-02
2	长泰东方石材	3.41E-03	7.17E-04	1.06E-02	1.47E-02
3	北极光石制品有限公司	1.28E-02	8.55E-04	3.17E-02	4.53E-02
4	兴宏驰工贸有限公司	3.41E-03	7.17E-04	1.18E-02	1.59E-02
5	重远船舶机械工业有限公司	4.02E-03	8.51E-04	1.98E-03	6.85E-03

6	福建建通机械设备有限公司	8.04E-02	8.51E-04	2.65E-03	8.39E-02
7	漳州宏兴泰电子有限公司	3.73E-02	1.15E-03	5.18E-04	3.90E-02
8	漳州宏发电声有限公司	3.73E-02	1.15E-03	5.18E-04	3.90E-02
9	云峰机械	1.97E-02	1.06E-03	7.43E-05	2.09E-02
10	长泰朗源工业园区	2.42E-02	1.30E-03	1.90E-04	2.57E-02
11	福益纸业	4.32E-03	9.23E-04	5.10E-05	5.30E-03
12	宏浩金属工业有限公司	5.33E-03	1.15E-03	5.56E-04	7.03E-03
13	毅翰盛家	5.63E-03	1.21E-03	1.20E-04	6.96E-03
14	宏全食品包装有限公司	1.30E-02	9.23E-04	5.62E-05	1.40E-02
15	金隆昌工业有限公司	2.42E-02	1.30E-03	2.80E-04	2.58E-02
16	福建易辰达机械有限公司	1.26E-02	8.66E-04	3.84E-05	1.35E-02
17	安特威尔叉车属具	8.53E-02	1.31E-03	4.06E-05	8.66E-02
18	欣百恒	5.11E-02	8.32E-04	2.07E-05	5.19E-02
16	夫坊村	4.08E-03	8.66E-04	9.89E-05	5.05E-03
17	最大落地点	1.22E-01	1.31E-03	2.27E-04	1.23E-01

5.3.2 职业人员剂量估算

本项目在整个生产过程中，工作人员主要是受到原料、中间产品和产品中放射性核素的 γ 外照射和吸入氡、吸入放射性核素所致有效剂量当量。本项目气载放射性流出物辐射环境影响预测，根据 IAEA 和 ICRP 剂量计算模式中剂量模式和参数，具体模式与参数详见附录。

5.3.2.1 剂量估算模式

(1) γ 辐射剂量率外照射剂量估算公式

本项目 γ 辐射剂量率外照射对工作人员产生的有效剂量采用中涉及的剂量估算模式进行估算：

$$He = D_{\gamma} \times t \times K \times 10^3 \dots\dots\dots \text{(式 5.3.2-1)}$$

式中：He—为有效剂量当量，mSv/a；

D_{γ} —为环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

t—表示该种情况下的年工作总小时数，h/a；

K—为空气中吸收剂量换算为有效剂量当量的转换因子，本项目取 0.7，

单位为 Sv/Gy。

(2) 吸入氡有效剂量估算公式

$$D_{Rn}^a = T \cdot C_{Rn} \cdot DF_{Rn} \dots\dots\dots \text{(式 5.3.2-2)}$$

式中：

C_{Rn} ——²²²Rn 浓度，Bq/m³；

T ——受照时间，h；

DF_{Rn} ——²²²Rn 及其子体剂量转换因子，根据 GB18871—2002 附表 B，取 $3.11 \times 10^{-9} \text{mSv/Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(3) 吸入放射性核素所致有效剂量估算公式

见 5.3.1.3 节公式和参数。

5.3.2.2 职业人员辐射剂量估算

本项目各车间人员外照射、氡浓度和放射性粉尘吸入时间按如下原则计算：

①电磁选车间中电磁选设备采用自动化生产设备，工作人员主要是用运输物料或产品时会进入车间内，受到外照射，每班受照射时间为 3h，年工作 300d 计，即年受照射时间为 600h；

②摇床车间摇床设备也采用自动化生产设备，但是考虑到摇床车间工作人员需要调整摇床挡板的位置，每班受照射时间为 2h，年工作 300d 计，即年受照射时间为 600h。

③烘干车间内采用自动化生产设备，工作人员主要是检查烘干炉工况时会进入车间内，受到外照射，每班受照射时间为 2h，年工作 300d 计，即年受照射时间为 600h。

④螺旋溜槽采用自动化生产设备，但是考虑到工作人员需要查看生产设备，交替在车间内巡视，平均每人在车间内巡视 3h，年工作 300d 计，即年受照射时间为 900h。

其中，氡浓度、钍射气和吸入粉尘，电磁选和摇床车间内的照射时间按照每天 8h 计，年工作 300d 计，即年受照射时间为 2400h。

(1) γ 辐射剂量率外照射剂量估算

为满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中要求，该厂运输外聘有资质单位承担，不设放射性物品运输岗位。本项目职业工作人员主要包括摇床工序工作人员、电磁选工序工作人员。本项目职业人员的工作场所基本属于开放式或者半开放式，与类比项目对应的工作场所通风情况一致，且类比项目与本项目均属于沿海城市，常年风速均达到 1.7m/s 以上，故工作场所辐射水平通过类比海拓γ辐射剂量率获得可行。

1) 类比项目γ辐射空气吸收剂量率监测结果

类比项目基本情况：海南海拓矿业有限公司（以下简称“海拓”）位于文昌市东路镇约亭工业区。该项目已经委托核工业二三〇研究所编制了辐射环境影响评价专篇并已批复（文号：琼环函[2020]364号）。生产工艺：生产工艺与本项目基本相同，均为采用重选、干式磁选和电选联合工艺选出钛精矿、锆英砂、金红石、独居石等产品。生产规模：年加工 50 万吨钛锆矿项目，大于本项目生产规模。原料来自澳大利亚、东南亚、非洲。核工业二三〇研究所于 2019 年 7 月 5 日和 2021 年 3 月 10 日对海南海拓的γ辐射空气吸收剂量率进行了现场监测，检测报告见附件 4，监测工况和检测结果见下表。

表 5.3-12 海南海拓γ辐射空气吸收剂量率监测工况

监测场所	监测项目	监测时间	天气情况	监测设备	监测时的工况与本项目的类比可行性
[Redacted Content]					
			雨		大于本项目，类比可行。

类比项目各车间的 γ 剂量率检测结果如下。

表 5.3-13 海南海拓矿业有限公司生产场所及操作工位 γ 辐射剂量率检测结果
($\mu\text{Gy/h}$)

编号	检测点描述	γ 辐射剂量率(最大值) ($\mu\text{Gy/h}$)	与本项目对应的操作工位
1	电磁选车间西北位锆英砂投料口旁	[REDACTED]	电磁选车间进料口操作工位
2	摇床车间东南侧投料口表面		螺旋、湿式磁选车间投料口
3			摇床车间投料口操作工位
4	烘干车间西侧		脱水、烘干车间操作工位

2) 确定本项目的源项

本项目与类比项目的车间名称不同，表 5.3-13 中已经将本项目车间操作工位与类比项目车间和操作工位的对应关系进行了分析，在此基础上，确定本项目正常生产时各车间及操作工位的 γ 辐射剂量率如下表。

表 5.3-14 根据类比各车间正常生产时操作工位 γ 辐射剂量率水平 ($\mu\text{Gy/h}$)

编号	工作场所描述	检测结果
1	电磁选车间进料口操作工位	[REDACTED]
2	螺旋、湿式磁选车间投料口	
3	摇床车间投料口操作工位	
4	脱水、烘干车间操作工位	

3) 计算

本项目工作人员外照射剂量按照公式 (5.3.2-1) 计算，则工作人员所受外照射有效剂量见下表。

表5.3-15 工作人员所受外照射有效剂量估算一览表

编号	工作场所操作工位	γ 辐射剂量率	工作时间	外照射有效剂量
		$\mu\text{Gy/h}$	h	mSv/a
1	电磁选车间进料口操作工位	2.11	600	8.86E-01
2	螺旋、湿式磁选车间投料口	2.17	900	1.37E+00
3	摇床车间投料口操作工位	2.17	600	9.11E-01
4	脱水、烘干车间操作工位	0.85	600	3.57E-01

注：* γ 辐射剂量率选取表5.3-14每个测量地点（工作场所）的最高值进行计量估算。

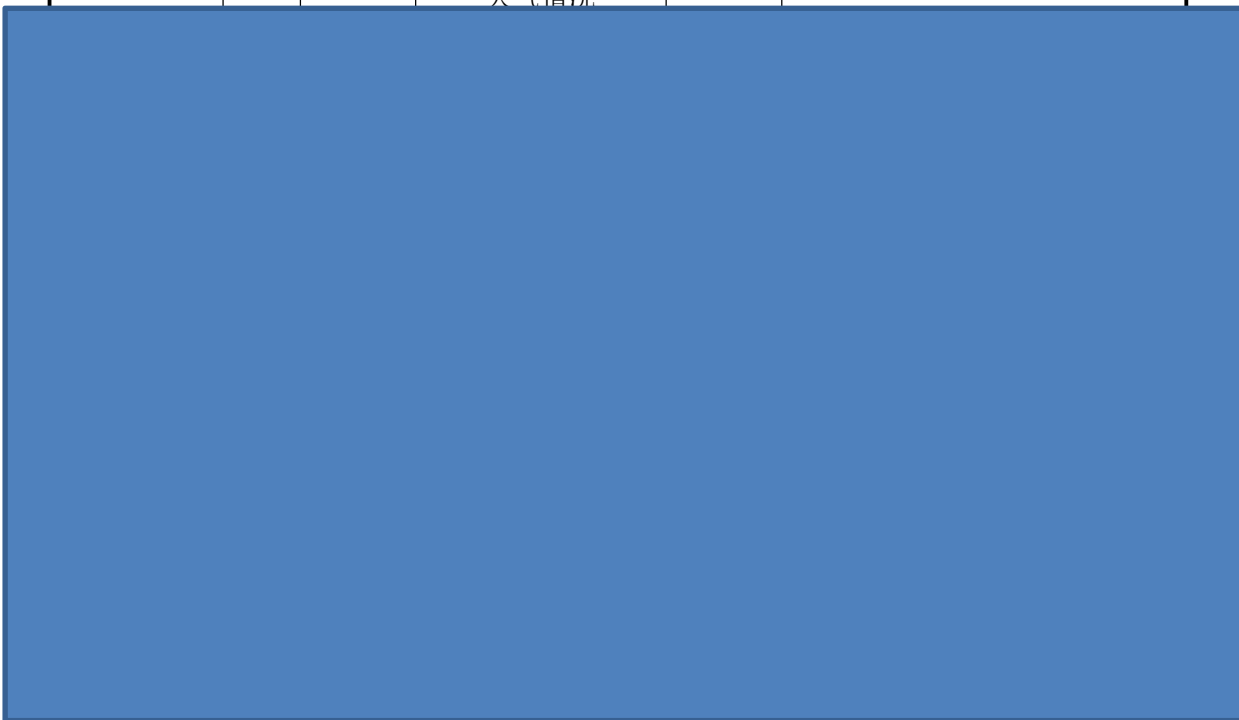
(2) 吸入氡和钍射气有效剂量估算

1) 类比项目氡浓度监测结果

核工业二三〇研究所于 2019 年 9 月 11 日和 2021 年 3 月 10 日对海南海拓的氡浓度进行了现场监测，检测报告见附件 4，监测工况见下表。

表 5.3-16 海南海拓氡浓度监测工况

监测场所	监测	监测时	天气情况	监测设	监测时的工况与本项目的类比
------	----	-----	------	-----	---------------



	度	11 日	雨		为 0.0 万 Bq/m ³ ，类比项目大于本项目，类比可行。
--	---	------	---	--	--

根据现场监测，类比项目生产场所的氡浓度检测结果见下表。

表 5.3-17 海南海拓矿业有限公司生产场所氡浓度测量结果 (Bq/m³)

类比项目监测点编号	监测点名称	氡浓度	对应本项目的车间操作工位
D9	锆英电磁选车间	[Redacted]	电磁选车间进料口操作工位
D10	1 号原材料堆场		螺旋、湿式磁选车间投料口
D12	摇床车间		摇床车间投料口操作工位
D13	成品仓库		脱水、烘干车间操作工位

根据表中数据，项目生产场所内空气中氡浓度为 20~43Bq/m³。

2) 确定本项目的源项

本项目与类比项目的车间名称不同，表 5.3-17 中已经将本项目车间与类比项目的车间的对应关系进行了分析，在此基础上，本项目各车间正常生产时的氡浓度如下表。

表 5.3-18 根据类比各车间操作工位正常生产时的氡浓度水平 (Bq/m³)

编号	工作场所内操作工位描述	氡浓度
1	电磁选车间进料口操作工位	32
2	螺旋、湿式磁选车间投料口	20
3	摇床车间投料口操作工位	37
4	脱水、烘干车间操作工位	43

3) 计算

本项目工作人员吸入氡有效剂量按照式 5.3.2-2 计算。工作人员吸入氡有效剂量估算见下表，由于海南海拓项目未进行钍射气的监测，故按照 5.3.1.2 节中的计算公式，根据氡浓度计算钍射气的浓度。

表5.3-19 工作人员吸入氡和钍射气有效剂量估算一览表

编号	工作场所操作工位	氡测量值	钍计算值	时间	氡和钍射气有效剂量
		Bq/m ³	Bq/m ³		h
1	电磁选车间进料口操作工位	32	72	2400	7.76E-01
2	螺旋、湿式磁选车间投料口	20	45	2400	4.85E-01
3	摇床车间投料口操作工位	37	83	2400	8.98E-01
4	脱水、烘干车间操作工位	43	97	2400	1.04E+00

注：氡浓度以表5.3-18车间浓度计算。

(3) 吸入放射性核素所致有效剂量估算

本项目工作人员吸入放射性核素所致有效剂量按照式 5.3.1-4 计算，由于项目整个处于一个大车间内，车间内部无隔断，内设螺旋、湿式磁选区域、摇床重选区域、脱水、烘干区域、电选磁选区域，则工作人员吸入放射性核素所致有效剂量估算见下表。

表5.3-20 工作人员吸入放射性核素所致有效剂量估算一览表

序号	工作场所操作工位	核素	放射性比活度	吸入粉尘中核素所致剂量 (mSv/a)		工作场所粉尘浓度	时间
			Bq/kg	单个核素所致剂量	合计		
1	生产车间内	²³² Th	334.0	1.36E-03	2.97E-03	0.564	2400
		²³⁸ U	1009.0	1.31E-03			
		²²⁶ Ra	538.0	3.06E-04			

注：①工作场所粉尘浓度引用《遂溪县华晨矿业有限公司伴生放射性海滨砂矿选矿项目环境影响报告书》干选车间监测源强TSP约为0.529mg/m³~0.564mg/m³，选取0.564mg/m³作为本项目生产车间粉尘浓度。类

比可行性如下：1) 原料与产品：本项目与遂溪县华晨矿业有限公司均采用进口的海滨砂作为原料，通过重选、干燥、磁选等工艺生产锆英砂、金红石、钛精矿等产品。2) 生产工艺：均采用重选、干燥、电选磁选等工艺。车间的颗粒物浓度均主要来自物料在干选过程中产生的扬尘。

②在穿戴好个人防护用品后（如戴口罩等），工作人员吸入粉尘浓度按工作产生粉尘浓度的10%计算。

(4) 职业人员辐射剂量估算

结合以上计算结果，本项目工作人员个人辐射剂量估算见下表。

表5.3-21 工作人员个人辐射剂量估算一览表

序号	工作场所描述	个人辐射剂量 (mSv/a)			
		外照射	空气氡和钍射气子体	放射性核素(粉尘)	合计
1	电磁选车间进料口操作工位	8.86E-01	7.76E-01	2.97E-03	1.66E+00
2	螺旋、湿式磁选车间投料口	1.37E+00	4.85E-01	2.97E-03	1.86E+00
3	摇床车间投料口操作工位	9.11E-01	8.98E-01	2.97E-03	1.81E+00
4	脱水、烘干车间操作工位	3.57E-01	1.04E+00	2.97E-03	1.40E+00

注：吸入放射性核素（粉尘）所致有效剂量均按照生产车间所致有效剂量计算。

从表 5.3-21 估算结果中可知，本项目工作人员个人辐射剂量最大值出现在螺旋、湿式磁选车间投料口工作人员，个人有效剂量为 1.86mSv/a，小于本项目的管理限值 5mSv/a。且主要为外照射的影响，故项目厂房内应确保通风后进入车间内，做好个人防护，并佩戴个人剂量片和剂量报警仪进入，尽量降低工作人员外照射。

5.3.3 “三关键”分析

本项目评价范围内，放射性核素照射途径主要通过气态流出物照射，无放射性废水外排，生产废水渗透至地下水可能性小，液态途径的照射极小，通过 5.3.1 节正常情况下气载流出物的辐射环境分析结果，本项目关键居民组为所致公众成员最大个人年有效剂量出现在 17 岁以上成人，因此，项目所致公众成员最大个人年有效剂量出现在 17 岁以上成人，为 W 方位的福建建通机械设备有限公司，为 0.123mSv/a，关键核素为氡，关键照射途径为氡吸入所致内照射。

5.4 正常工况地表水辐射环境影响分析

项目运营期间，生产区域封闭，生活用水通过其他管道单独隔离，厂区产生的废水经沉淀处理后循环使用，做到不外排。另外鉴于项目所在地降雨量较大，项目设有雨水收集系统，将降水通过雨水收集系统收集到雨水池中，雨水池作为雨水池、应急池、消防池使用。一般强度降雨很难形成地表径流，雨水通常被蒸发、下渗、吸收等消耗掉，只有大暴雨时，大量雨水短时间内汇集，才会形成地表径流，从而产生对地表冲刷。当遇到暴雨时露天堆场、道路和部分空地的污染物和泥沙被冲洗下来，使得径流雨水中含有一定浓度的污染物。大暴雨时部分淋滤水可能进入雨水收集系统。原矿及石英砂均有防尘网覆盖，对雨水收集系统的雨水进行合理利用。

雨水收集系统容量合理性论证

一般强度降雨很难形成地表径流，雨水通常被蒸发、下渗、吸收等消耗掉，只有大暴雨时，大量雨水短时间内汇集，才会形成地表径流，从而产生对地表冲刷。当遇到暴雨时，地面的污染物和泥沙被冲洗下来，使得径流雨水中含有一定浓度的污染物，主要为悬浮物。为此，建设单位对项目范围内的雨水进行收集和处理，并进行回用，以补充生产用水。

根据前述 3.3.3 节的分析，降雨历时取 30 分钟，则初期雨水量为 212.4m^3 。本项目雨水池设计容量约 800m^3 ，完全满足雨水的降雨量。

因此本项目对周边地表水系影响较小。

5.5 地下水辐射环境影响分析

5.5.1 源头控制措施

1) 控制原料和产品堆放淋滤水量

原料堆存在原料仓库内，石英砂均存放在石英砂仓库，厂内除绿地外，均采取水泥硬化处理，不产生固体废物淋滤液。

2) 生产用水渗漏防护措施

根据前面工程分析可知，类比项目循环水池选矿废水监测指标中，总 α 为

0.49Bq/L，总 β 为 0.38Bq/L，均低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类水质标准和《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2022）的要求。故即使循环水下渗或外排至地下水环境或外环境中，仍能满足标准要求，而本项目选矿生产废水可直接循环利用，不外排，且项目循环水池均做好水泥硬底化、防渗透措施，定期检查项目周边水井的放射性水平，因此，选矿废水对地下水产生的影响较小。

5.5.2 分区防控措施

将本项目分为 2 个防渗分区：重点防渗区位：污染地下水环境的物料泄漏后，不容易被及时发现和处理的区域。本项目重点防渗区主要包括废水管道、污水沉淀池、危废间、事故废水池、初期雨水池。一般防渗区：指裸露于地面的生产功能单元，污染地下水环境的物料泄漏后，容易被及时发现和处理的区域。本项目一般防渗区主要包括生产车间（摇床车间、成品仓库、原料仓库以及电选、磁选车间）等区域。

表 5.5-1 项目厂区地下水防渗分区划分一览表

序号	防治区分区	装置名称	防渗区域	防渗要求
1	重点污染防治区	危废间	地面及四周墙裙	等效黏土防渗层 Mb \geq 6.0m, K \leq 1 \times 10 $^{-7}$ cm/s
		污水沉淀池、事故废水池、 初期雨水池	底部和四周	
		废水管线、事故废水管线、 初期雨水管线	管壁	
2	一般污染防治区	生产车间（摇床车间、成品 仓库、原料仓库以及电选、 磁选车间）	地面	等效黏土防渗层 Mb \geq 1.5m, K \leq 1 \times 10 $^{-7}$ cm/s
3	简单防渗区	厂区运输道路及其余厂区地 面	/	水泥硬化

项目地下水污染防治区域均采取严格的污染防治措施，可有效降低项目污染地下水环境的可能性。

5.6 非正常工况辐射环境影响分析

5.6.1 除尘系统失效的辐射环境影响分析

结合上述分析，本项目可能发生最严重的非正常工况为烘干炉除尘系统由于

设备故障或人为操作失误导致完全失效，外排粉尘对浓度及总量增加可能对环境及公众造成影响。

当除尘系统失效时会导致设备逐渐堵塞，然后自动控制系统会进行连锁控制，停止排风系统。排风停止后，对除尘系统进行检修，排除故障或失误后恢复正常运行。保守考虑除尘系统完全失效 1h 后自动控制系统开始识别堵塞，发挥作用，则粉尘未经处理直接排放的时间为 1h。非正常工况下核素排放量见下表。

表 5.6-1 非正常工况核素排放量一览表

除尘设施	核素	粉尘浓度 (mg/m ³)	粉尘排放量 (m ³ /h)	持续时间 (h)	核素比活度 (Bq/kg)	核素总活度 (Bq)	排放量 (Bq)
------	----	------------------------------	------------------------------	-------------	------------------	---------------	-------------

由上表可知，除尘系统失效的非正常工况下，各核素排放量均较少，而正常工况下，公众最大个人剂量为 0.123mSv/a。类比可知，非正常工况下所致公众最大个人剂量为 5.1×10^{-3} mSv/次，远低于非正常工况下公众最大个人剂量值控制指标（1mSv/次），不会对周围环境和公众产生明显辐射影响。运行中加强对设备的维护和操作，强化工作人员的防范意识，能够有效避免非正常工况的发生。即使发生废气净化系统完全失效的工况，自动控制系统会进行连锁控制，采取停止生产、立即检修等措施，可减缓非正常工况产生的辐射影响。

5.6.2 产品吊装撒漏风险

本项目生产工艺上，利用吨袋收集产品。然而，由于机械碰撞因素，仍有可能发生小概率吊装撒漏事故。且锆英砂放射性核素比活度较高，应严防锆英砂的吊装撒漏事故。

为预防撒漏事故的发生，减缓其辐射环境影响，提出以下防范、控制措施：

- ①加强作业人员业务技术培训，熟练掌握装置操作，减小事故发生概率。
- ②每天进行吊装前，应检查吊装装置是否存在问题，吊装安全性和稳定性是否完好。
- ③定期对吊装装置进行维修与维护，确保仪器处于良好的工作状态。

④发生吊装撒漏事故时，应立即在车间现场设置警戒线，防止无关人员进入；安排专人进行干法清扫收集，将其妥善运至其暂存场所，事故处理完毕后解除警戒。

⑤由于锆英砂放射性核素比活度较高，锆英砂储存场所应进行放射性标识，防止无关人员接近，以减少对人不必要照射。

5.6.3 运输过程中的风险

为满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中要求，本项目原料进入国内港口后，使用汽车运输至本项目厂址内，成品一般使用汽车运输至下游企业。从港口码头运输至厂区运输过程中的安全责任主体为鑫钰公司，发生运输风险时，由鑫钰公司主要负责，控制风险的发生，及时处置风险事故现场，产品的运输风险责任主体为下游企业。

运输过程设置合理的原料及产品（特别是锆英砂）运输路线，原料和产品（特别是锆英砂）运输前应该进行严密包装，货物装车后应及时封闭车辆。并选择风险控制信用较好的运输单位进行原料和产品的运输，定期对运输汽车进行维修和保养、提高驾驶人员安全意识，防止极端交通事故发生，以避免对沿线道路及周边环境形成放射性污染，在车上常备有应急物品，包括防护口罩、防护手套、护目镜等防护用品。

运输工作人员应接受相关辐射防护措施等方面的培训：

- （1）避免事故发生的方法和程序；
- （2）应急响应信息以及如何利用这些信息；
- （3）各种放射性物品的危害和如何防止受到这些危害，必要是包括人员防护服和防护设备的使用；
- （4）发生放射性物质以外释放时立即采取的程序，包括相关的应急响应程序和要遵守的人员防护程序。

一旦在运输原料及产品期间发生事故时，需要启动应急响应程序。当原料及产品（特别是锆英砂）发生撒漏、外逸时，应立即疏散无关人群，佩戴口罩，避免对物料的吸入内照射，尽快将撒漏的物料安全装至运输车内，最后确保环境中

无遗留的原料及产品（特别是锆英砂）；若车辆发生事故，应疏散无关人群，立即调派其他运输车辆将事故车辆内的物料转移。

5.6.4 废水沉淀水池渗漏或者泄露事故

选矿废水泄漏，主要为循环沉淀池垮塌时生产废水事故排放。由于项目设有循环沉淀池、事故应急池和初期雨水池。循环水池 5850m³、沉淀池 1924 m³、事故应急池 250m³、初期雨水池 800m³，当循环沉淀池发生事故时将选矿废水抽至应急池，环境风险不大。

5.6.5 制定应急预案

针对本项目可能引发的各环境风险，项目建设单位应制定相应的环境风险应急预案，并按“三同时”要求，作为验收材料在环保验收检查中落实。对照《建设项目环境风险评价技术导则》，本项目应急预案主要内容和要求如下表所示。

表 5.6-2 本项目突发性风险事故应急预案主要内容和要求

序号	项目	内容及要求
1	危险源情况	选矿废水泄漏；原料或产品撒漏；除尘系统失效
2	应急计划区	厂区
3	应急组织	厂区负责人——负责现场全面指挥 专业救援队伍——负责事故控制、救援和善后处理
4	应急状态分类 应急响应程序	规定环境风险事故的级别及相应的应急状态分类，以此制定相应的应急响应程序
5	应急设施设备 与材料	雨衣、沙袋、防水隔膜等器材
6	应急环境监测 及事故后评估	由专业人员对环境风险事故现场进行应急监测，对事故性质、严重程度等所造成的环境危害后果进行评估，吸取经验教训以免再次发生事故，为指挥部门提供决策依据
7	应急状态中止	事故现场：规定应急状态终止秩序；事故现场善后处理，恢复生产
8	记录和报告	准备并形成环境风险事故应急处理有关材料

5.7 服务期满辐射环境影响分析

本项目服务期满后处理处置范围包括污染建构筑物、废旧设备和器材的拆除解体及清洗去污、以及土壤的安全处置。具体处理处置措施如下：

1) 厂房及有关建构筑物，采用去污或拆除处置措施。即对厂房墙面地面进行表面污染监测，当其表面污染水平满足标准要求可根据实际需求进行使用；不满足标准要求，采用物理、化学方法进行去污，待去污完成监测达标后，根据实际需求进行使用或拆除后送垃圾填埋场处置。

2) 对设备进行表面污染监测，当其表面污染水平满足标准要求，可作为普通设备重复利用。表面污染水平较高的设备，采用物理、化学去污方法进行去污，去污后满足标准要求重复利用。

3) 对土壤进行采样分析，若满足标准要求，则原地留置，超过国家标准产生的放射性污染土壤按照国家相关要求妥善处置。

通过采取以上措施，本项目服务期满后受放射性污染的设施、场地能得到妥善的处理处置，处理处置过程不会对周围环境产生不利影响；同时，服务期满后放射性源项也随之关闭、消失，不再产生含放射性物质，不会对周围环境产生不利影响。

6 辐射环境管理和辐射监测

6.1 辐射环境保护措施

基于辐射防护“可合理达到的尽量低水平”的原则，为达到辐射环境保护的要求，公司已采取如下环保对策和措施。

6.1.1 生产用水循环利用措施

1) 生产用水

因项目只是进行物理选矿，不加药剂，污染物不溶出。沉淀池中矿砂是否有足够的沉淀时间是回用水水质的保证的关键。

① 沉淀池中矿砂沉淀时间

沉淀池矿砂的沉淀时间可以采用溢流中最大颗粒的自由沉降速度可以根据斯托克斯公式计算： $u_0 = 5450 \times (\rho_T - 1) \times d^2$ (式6.1.1-1)

式中： μ_0 —溢流中最大颗粒的自由沉降速度，cm/s；

d —溢流中允许的最大固体颗粒直径，cm，脉石矿物最大颗粒约10 μ m；

ρ_T —拟截留矿物的密度，g/cm³，石英砂为2.5t/m³（石英砂的密度2.5~2.8t/m³）；

根据上式计算得， $u_0 = 5450 \times (2.5 - 1) \times (10 \times 10^{-4})^2 = 0.008175$ (cm/s)

沉淀池的深度5m，砂子在沉淀池中完成沉淀时间 $t = 500 / 0.008175 = 15.93$ h。

② 沉淀池中废水循环时间

本项目设有循环沉淀池，沉淀池的设计参数见下表所示。

表 6.1-1 项目选矿循环水池建设情况一览表

名称	面积 (m ²)	深度 (m)	容积 (m ³)	年处理循环水 量 (m ³)	年处理时 间 (h)	循环周期 (h)
循环沉淀池	1170	5	5850	669120	300×24	62.95

根据该设计，矿砂在循环沉淀池中换一次水的时间（62.95h）大于沉淀时间（15.93h）。故该项目循环周期内有足够的时间进行沉淀。

此外，根据3.3.3节中液态流出物分析可知，本项目的选矿废水是可以循环使用的，不排入外环境。

6.1.2 气载流出物的防护措施

由于铀钍等核素是随着颗粒物排放到粉尘中去，所以做好颗粒物的减排工作就是减少了气载流出物的排放。本项目采取的颗粒物防治措施如下：

1) 烘干炉废气治理措施

本项目设有 1 套烘干炉（燃料为天然气）对湿矿进行烘干，烘干烟气中主要含颗粒物、二氧化硫和氮氧化物，其中二氧化硫和氮氧化物来自天然气燃烧，因此烘干烟气主要针对颗粒物设置处理措施，烘干烟气经布袋除尘器处理后通过 15m 高排气筒排至室外。

2) 烘干炉废气达标排放分析

本项目通过表 3.3-5 计算可知，项目排气筒的铀钍粉尘浓度总和为 0.00073mg/m³，低于《稀土工业污染物排放标准》（GB26451-2011）中规定的“新建企业大气污染物排放浓度限值，排放铀钍粉尘废气的排气筒不超过 0.1 mg/m³”。故拟建项目通过排气筒流出的铀、钍粉尘能达标排放。

2) 无组织排放粉尘治理措施

根据 AERSCREEN 软件预测厂界粉尘浓度为 0.00419 mg/m³，根据粉尘浓度中的铀钍含量推算厂界无组织排放量如下。

表 6.1-2 厂界排放铀钍浓度计算结果

浓度 (mg/m ³)	²³⁸ U 核 素水平 (Bq/kg)	²³² Th 核 素水平 (Bq/kg)	U 核素水 平 (mg/kg)	Th 核素 水平 (mg/kg)	U 含量 (mg/m ³)	Th 含量 (mg/m ³)	U 和 Th 总量 (mg/m ³)
0.00419	1009	334	81.17	82.59	0.00000 03	0.00000 03	0.00000 07

注：铀钍核素活度以全厂所有矿料加权平均计，1 mg/kg 的总 U 含有 12.43 Bq/kg 的 ²³⁸U，1 mg/kg 的总 Th 含有 4.044 Bq/kg 的 ²³²Th。

根据推算可知，本项目厂界中铀钍粉尘浓度总和为 $0.0000007\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于《稀土工业污染物排放标准》（GB26451-2011）中规定的“新建企业边界大气污染物浓度限值，边界任何 1h 铀钍总量的平均浓度不超过 $0.0025\text{mg}/\text{m}^3$ ”。

项目采取如下控制无组织粉尘的措施：

a) 原料仓库扬尘、卸料扬尘

项目原矿含水率较高，在仓库临时堆存，含水率逐渐变低。且项目原料仓库设置洒水抑尘设备，定期洒水控制抑尘，可有效减少扬尘的产生。

b) 烘干炉干燥出料口，磁选机、电选机进出料口

通过在进出料口设置挡风遮罩，将烘干炉、磁选机、电选机设在厂房内，可有效减轻风力扬尘且通过降低落料高度，可有效减少扬尘的产生。

c) 运输扬尘

运送车辆在运输时不得装载过满，采取加盖篷布等措施，且运输车辆需定期检查，如有破损及时修补，以免矿砂洒落，造成二次扬尘，且在运输路线设置洒水装置，每天视天气情况对矿区道路进行洒水。特别是在干旱季节洒水抑尘。

3) 为防止工作场所空气中粉尘污染，该公司应加湿作业和湿式清扫，以此满足环保要求。

4) 在储存和转运过程中，加强对原材料储存和运输日常管理，运输时采用《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）要求配备的符合要求的运输车，用纤维袋分装后装车。

6.1.3 地下水辐射防护措施

6.1.3.1 源头控制措施

1) 控制原料和产品堆放淋滤水量

原料堆存在原料仓库内，产品均堆存在仓库内，厂内除绿地外，均采取水泥硬化处理，不产生固体废物淋滤液。

2) 生产用水渗漏防护措施

根据前面工程分析可知，类比项目循环水池选矿废水监测指标中，总 α 为 $0.49\text{Bq}/\text{L}$ ，总 β 为 $0.38\text{Bq}/\text{L}$ ，均低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）

III 类水质标准和《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2022）的要求。故即使循环水下渗或外排至地下水环境或外环境中，仍能满足标准要求，而本项目选矿生产废水可直接循环利用，不外排，且项目循环水池均做好水泥硬底化、防渗透措施，定期检查项目周边水井的放射性水平，因此，选矿废水对地下水产生的影响较小。

6.1.3.2 分区防控措施

将本项目分为 2 个防渗分区：重点防渗区位：污染地下水环境的物料泄漏后，不容易被及时发现和处理的区域。本项目重点防渗区主要包括废水管道、污水沉淀池、危废间、事故废水池、初期雨水池。一般防渗区：指裸露于地面的生产功能单元，污染地下水环境的物料泄漏后，容易被及时发现和处理的区域。本项目一般防渗区主要包括生产车间（摇床车间、成品仓库、原料仓库以及电选、磁选车间）等区域。

6.1.3.3 地下水辐射防护达标分析

鉴于本项目未建成，在地下水辐射防护措施的基础上，通过类比广西源丰达矿业有限公司确定本项目地下水辐射水平，类比项目的原料均为锆钛矿，生产工艺均为重选、磁选、电选等工艺进行物理选矿，类比可行，类比项目检测结果如下。

表 6.1-3 广西源丰达矿业有限公司地下水放射性核素分析结果

项目	U _{天然} ($\mu\text{g/L}$)	²²⁶ Ra(mBq/L)	Th($\mu\text{g/L}$)	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)
----	-------------------------------------	--------------------------	-----------------------	-------------------	------------------

表 6.1-4 确定本项目地下水放射性核素分析结果

项目	U _{天然} ($\mu\text{g/L}$)	²²⁶ Ra(mBq/L)	Th($\mu\text{g/L}$)	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)
----	-------------------------------------	--------------------------	-----------------------	-------------------	------------------

从上可知，地下水中 U_{天然}、²²⁶Ra、Th 与福建漳州地区水体放射性属于同一水平，地下水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）限值（标准中III类水体放射性指标总 α 放射性限值为 0.5Bq/L，总 β 放射性限值为 1Bq/L），故拟建项目能满足通过采取本项目的辐射防护措施后，地下水中各项辐射指标均能达标。

6.1.4 固态源项的处理措施

泥的年产量较低，且泥中的天然性放射性核素的活动浓度均 $<1\text{ Bq/g}$ ，无需进行辐射监管。但考虑到泥的放射性存在一定程度波动，这主要是由于原料（锆中矿）的特殊性，且原料放射性水平有所差别，泥的放射性水平也相应有所差别，故每批次石英砂外卖前需送有资质单位检验，确认其放射性水平。若石英砂放射性超过 1 Bq/g ，则回收利用，重新进入选矿程序，直至泥中的天然性放射性核素的达到外售标准。本项目泥暂存于封闭池内。

6.1.5 工作场所通风管理措施

在项目工作场所应常年保持窗户和门窗开启状态，项目整个处于一个大车间内，车间内部无隔断，内设螺旋、湿式磁选区域、摇床重选区域、脱水、烘干区域、电选磁选区域。厂房顶棚上配置通排通风气楼，以确保厂房内空气流通。由于项目不涉及高放射性的原料和产品，放射性水平相对较低，故进行自然通风辅助机械通风即可实现降低场所内氡浓度。厂房内设 42 台风机，排气直径 $\phi 500$ ，功率 180W，风量 $5000\text{ m}^3/\text{h}$ ，故整个厂房内可实现一小时换气 21 万立方米。后期项目正式运行时，定期监测运行期间的氡浓度水平，检验通过机械通风和自然通风共同作用，实现降低场所内的氡浓度的效果。

6.1.6 原料和产品的储存及管理

根据《伴生放射性物料贮存及固体废物填埋处置辐射环境保护技术规范（试行）》相关要求，对锆英砂、金红石、石榴子石和蓝晶石的仓库外的明显部位设置电离辐射标志，对锆英砂、金红石、石榴子石和蓝晶石进行分类贮存，并加强管理，防止物料流失，禁止无关人员进入。

建立锆英砂、金红石、石榴子石和蓝晶石贮存台账制度，由专人做好日常登记和管理工作，并详细记录物料出入情况。

原料和产品仓库容积计算如下：

表 6.1-5 不同仓库的堆存面积

仓库	面积 (m ²)	有效容积 (m ³)	可贮存量 (t)	周转次数 (次/年)
原料仓库	1650	4950	14850	7
蓝晶石成品库	975	2925	8775	5
金红成品库	1170	3510	10530	1
石榴石成品库	1170	3510	10530	3
锆英成品库	975	2925	8775	1

注：有效容积为堆高 5m，并除去仓库过道间隙外，以 0.6 计。

贮存和管理应满足《伴生放射性物料贮存及固体废物填埋辐射环境保护技术规范(试行)》(HJ-1114-2020)中的相关要求

表 6.1-6 本项目伴生放射性物料/产品与相关规范的符合性分析

序号	HJ-1114-2020 中的相关要求	本项目实际情况	符合性
1	伴生放射性物料应与其他物料分区贮存	本项目原料均贮存在原料仓库，不同产品堆存在不同的产品仓库，不与其他物料等混合贮存。	符合
2	伴生放射性矿开发利用单位应贯彻执行国家和行业颁发的有关法律法规和标准，提供所必需的人力、物力等保障措施；建立辐射环境管理机构，配备专业技术人员与管理人员；建立辐射环境管理岗位责任制度、教育培训制度、报告制度等	公司建立了辐射管理机构，由法人代表担任主要负责人。同时根据本厂运行情况制定了辐射安全培训制度、个人剂量管理制度、辐射环境年度例行监测制度、工作人员辐射防护管理制度等。	符合
3	贮存设施应根据企业总平面布置等相关要求，尽量布置在远离人群活动的地方	本项目产品库位于厂区北侧，办公楼位于西南侧，因此该区域人员活动较少，且与周围长时间停留的环境敏感点相离较远。	符合
4	贮存设施应采取实体隔离措施，防止无关人员进入	本项目产品库为钢架结构，平时无无关人员进入。	符合
5	贮存设施应进行清污分流，防止雨水进入；物料可能产生渗水的应设置地沟等渗水收集系统，渗水应进行回收利用或处理后达标排放	产品库均为独立建筑，不会受雨水淋滤影响。厂区生产车间区域雨水经集水沟进入沉淀池回用于生产工序。生产车间区域地面已全部硬化，防止生产废水污染地下水。项目生产废水经集水沟进入回用水池，经沉淀池沉淀后回用于生产工序，不外排。	符合
6	贮存设施应进行防腐防渗设计，防渗性能应不低于渗透系数为 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 、厚度为 2m 的粘土层的防渗效果。	地面为水泥地面并进行了防渗处理，产品库和原料仓库均为水泥地面硬化处理。	符合
7	物料贮存应采取防尘、抑尘措施，防止物	原矿及产品堆存在厂内，均采	符合

序号	HJ-1114-2020 中的相关要求	本项目实际情况	符合性
	料逸散	取水泥硬化处理	
8	贮存设施边界明显部位应设置电离辐射标志，并加强管理，防止无关人员进入。	本项目仓库设有电离辐射警示标识，由专人管理	符合
10	固体废物贮存台账应结合实际情况注明名称、来源、数量、剂量率值、入库日期、出库日期及接收单位名称等信息。	本项目产品均设有台账，进出库房均进行登记	符合

6.1.7 物料吊装装卸风险防护措施

本项目生产工艺上，利用吨袋收集产品。然而，由于机械碰撞因素，仍有可能发生小概率吊装撒漏事故。且锆英砂放射性核素比活度较高，应严防锆英砂的装卸撒漏事故。

为预防撒漏事故的发生，减缓其辐射环境影响，提出以下防范、控制措施：

- ①加强作业人员业务技术培训，熟练掌握装置操作，减小事故发生概率。
- ②每天进行装卸前，应检查装卸装置是否存在问题，吊装安全性和稳定性是否完好。
- ③定期对吊装装置进行维修与维护，确保仪器处于良好的工作状态。
- ④发生装卸过程撒漏事故时，应立即在车间现场设置警戒线，防止无关人员进入；安排专人进行干法清扫收集，将其妥善运至其暂存场所，事故处理完毕后解除警戒。
- ⑤由于锆英砂放射性核素比活度较高，锆英砂储存场所应进行放射性标识，防止无关人员接近，以减少对人不必要照射。

6.1.8 车辆运输风险防护措施

为满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中要求，本项目原料进入国内港口后，使用汽车运输至本项目厂址内，成品一般使用汽车运输至下游企业。从港口码头运输至厂区运输过程中的安全责任主体为鑫钰公司，发生运输风险时，由鑫钰公司主要负责，控制风险的发生，及时处置风险事故现场，产品的运输风险责任主体为下游企业。

运输过程设置合理的原料及产品（特别是锆英砂）运输路线，原料和产品（特

别是锆英砂) 运输前应该进行严密包装, 货物装车后应及时封闭车辆。并选择风险控制信用较好的运输单位进行原料和产品的运输, 定期对运输汽车进行维修和保养、提高驾驶人员安全意识, 防止极端交通事故发生, 以避免对沿线道路及周边环境形成放射性污染, 在车上常备有应急物品, 包括防护口罩、防护手套、护目镜等防护用品。

运输工作人员应接受相关辐射防护措施等方面的培训:

- (1) 避免事故发生的方法和程序;
- (2) 应急响应信息以及如何利用这些信息;
- (3) 各种放射性物品的危害和如何防止受到这些危害, 必要是包括人员防护服和防护设备的使用;
- (4) 发生放射性物质以外释放时立即采取的程序, 包括相关的应急响应程序和要遵守的人员防护程序。

一旦在运输原料及产品期间发生事故时, 需要启动应急响应程序。当原料及产品(特别是锆英砂) 发生撒漏、外逸时, 应立即疏散无关人群, 佩戴口罩, 避免对物料的吸入内照射, 尽快将撒漏的物料安全装至运输车内, 最后确保环境中无遗留的原料及产品(特别是锆英砂); 若车辆发生事故, 应疏散无关人群, 立即调派其他运输车辆将事故车辆内的物料转移。

6.1.9 辐射防护管理措施

本项目除采取上述污染防治设施以外, 建设单位还制定了以下辐射防护管理制度和措施, 主要包括:

1) 个人防护工作: 给员工配备的个人的劳保防护用品(如工作服、手套, 口罩等); 为了减少放射性物质进入体内的机会, 不在车间内吸烟, 不在车间内进餐; 经常注意修剪指甲、剪短头发, 以免积存放射性物质; 还应注意保护皮肤的清洁完整。

在工作中, 皮肤受了损伤, 应及时清洗, 妥善包扎, 以防感染化脓或放射性物质由伤口进入体内。设立员工换衣区, 上班后换上工作专用工作服和鞋, 下班之后立即沐浴, 工作服等用品不允许带出厂外。

合理优化职工人数和工作时间，尽量减少员工与放射性物料的接触时间，对所受照射剂量超过 5mSv/a 的工作人员调整至其他剂量较小的工作岗位。

2) 指定专人负责进行放射性 γ 辐射定点巡检，按期进行监测和风险评价，发现异常时，应及时找出原因并予以处理。

3) 工作人员上岗前需进行辐射安全环保知识培训，定期组织辐射安全环保知识学习和考试。

4) 工作时严格按操作规程操作。

5) 为了防止放射性物质通过消化道或其它途径进入体内，严禁在放射工作场所吸烟、进食和存放食物。

6) 对于锆英砂，建立完备进出台账业务，对于具体数量和去向将有完整记录。

6.2 辐射环境管理

6.2.1 管理机构及管理制度

在项目建设期、运行后为了确保辐射环境保护设施的完好运行及环保措施的有效实施，该公司建立了各车间岗位负责制的环境管理机构，由主管生产的领导直接负责。各生产车间、污水处理站、原料及产品仓库等主要岗位，设置兼职的环保员，负责对环保设施进行定期维护保养。对污染物排放情况进行监督检查，同时要做好记录，建立排污档案。保证生产过程中，含放射性的“三废”安全处置，使工作人员人员及环境中的居民所受剂量为本底水平。

针对项目的特点在非放管理制度建立的基础上，考虑项目为伴生矿利用开发项目的特殊性，各岗位的操作规程及制度均须张贴上墙。建立健全相关的岗位规章制度及应急预案，确保建设项目在建设、运行过程中环境的安全。

6.2.2 人员辐射管理

6.2.2.1 辐射工作人员安排

本项目涉及辐射相关的工作人员中生产工作人员 50 人，管理岗位工作人员 10 人。不同岗位工作人员情况见下表。

表 6.2-1 涉及辐射工艺中不同岗位工作人员情况表

序号	工作岗位	人数	工作制度	每班工作时间 h	车间内工作时间 h	辐射剂量约束值 (mSv/a)	备注	
1	管理人员	10	一班制	8	0	4	根据《放射工作人员健康要求及监护规范卫生健康标准》(2020 年版)，管理人员属于放射工作人员：受聘用全日、兼职或临时从事放射工作的任何人员，考虑到管理人员未全年进入生产场所内开展生产工作，故取 4.0mSv/a 作为管理工作人员剂量约束值	
2	电磁选车间操作岗	15	三班制	8	3	5	采用自动化生产设备，工作人员主要是运输物料或产品时会进入车间内，受到外照射，每班受照射时间为 2h	
3	摇床车间操作岗	15	三班制	8	2	5	采用自动化生产设备，但是考虑到工作人员需要经常调整摇床挡板位置，每班设置 2 人，交替在车间内巡视，平均每人在车间内巡视 4 个小时调整摇床挡板位置	
4	烘干车间操作岗	10	三班制	8	2	5	采用自动化生产设备，工作人员主要是检查烘干炉工况时会进入车间内，受到外照射，每班受照射时间为 2h	
5	螺旋、湿式磁选车间筛分及溜槽岗	10	三班制	8	3	5	采用自动化生产设备，但是考虑到工作人员需要查看生产设备，每班设置 3 人，交替在车间内巡视，平均每人在车间内巡视 3 个小时	
合计		60					/	

6.2.2.2 辐射工作人员管理

(1) 对厂内接触伴生矿生产的工作人员进行相关知识的学习和培训，加强该类人员的自我保护和环境保护意识。

(2) 接触放射性矿物、含放射性废物的工作人员，每年进行体检，车间的工作人员工作时佩戴防尘面具。

(3) 原料仓库、仓库设有专职人员进行管理，定期及时清理和打扫库房和库区，防止含放射性的原料及成品散落，造成局部环境污染。

(4) 此外，针对辐射工作人员的个人防护制定了辐射防护管理制度：①进出工作场所佩戴个人剂量报警仪；②为了减少放射性物质进入体内的机会，不在车间和仓库内吸烟，不在车间和仓库内进餐；③经常注意修剪指甲、剪短头发，以免积存放射性物质，还应注意保护皮肤的清洁完整，工作完毕需及时清洗，换洗衣服，防止放射性残留；④配备个人劳保防护用品；⑤佩戴个人剂量片；⑥全体员工应建立职业健康档案；⑦对身体条件不符合生产岗位的要调整其工作岗位；⑧合理优化职工人数和工作时间，尽量减少员工与放射性物料的接触时间，对所受照射剂量超过 5mSv 的工作人员调整至其他剂量较小的工作岗位；⑨工作岗位人员工作时应佩戴个人剂量计。

6.2.3 日常环保管理要求

本项目设有多项环保设施（含辐射防护措施），在平时运营时需做好管理，具体管理要求见下表。综合分析，项目拟采取的各辐射防护措施具有可行性。

厂内矿料在运输过程中会有撒落，由于产品均使用吨袋包装，故仅在原料和中矿矿料运输过程中会产生撒落现象。当发生大量矿料撒落时，应及时清扫，对收集的撒落矿料进行后续工序的处置：如原料进湿磁选工序，中矿进螺旋选矿、摇床和电磁选工序等。另外，每天清扫地面，将撒落的少量矿料收集一起，堆存在电磁选车间内，划定一个区域专门储存撒落的矿量，切勿与其他普通生活垃圾和固体废物混合在一起，当撒落的矿料堆存到一定量时，进入原料湿磁选工序，重新选矿，回收利用。

表 6.2-2 辐射防护设施管理要求一览表

工程组成	工程名称	工程规模	材质及配套要求效果	设备维护
气载流出物控制措施	物料干燥	1 台烘干炉	布袋除尘器处理后 15m 排气筒排放	每半月巡检
	原料矿、成品及石英砂	设置专门的堆存库	禁止露天堆放，原料和成品设置专门的仓库	每月巡检
	道路扬尘	-	经常对厂区道路进行清扫及洒水降尘	每天巡检
液态流出物控制措施	循环沉淀池	5850m ³	能满足正常选矿要求、循环水不外排，水泥硬底化，且循环水与雨水收集做到雨污分流。	每半月巡检，每半年采样送检
	初期雨水池	800m ³	能满足初期雨水容纳要求	每半月巡检
	事故应急水池	250m ³	能满足应急要求	每半月巡检
地下水辐射防护措施	监测井水	1 个	设于厂区内	每半年采样送检
	循环沉淀池、摇床车间、物料沥水池、事故应急池	/	水泥硬底化、防渗透	每月巡检
物料储存管理措施	原料矿、成品及石英砂	设置专门的堆存库	门上张贴电离辐射标志、进出台账设置	每月巡检
固废污染防治措施	泥	/	暂存于封闭池内，处置时检测其放射性	处置时检测其放射性
其他放射性防治措施	辐射监测仪	1 台	便携式γ剂量率仪、表面污染监测仪	每年送检
	个人剂量计	根据工作人数配置	正常使用，每个季度送有资质单位检查	每季度送检

6.3 辐射监测

6.3.1 监测目的和要求

1. 监测目的

(1) 判断伴生放射性矿开发利用活动造成的以气体、气溶胶、粉尘或液体等形态排入环境的通常情况下可在环境中得到稀释和弥散的放射性物质是否达

标排放；

(2) 掌握活动期间辐射环境质量，积累辐射环境水平数据，掌握辐射环境质量的变化趋势，总结辐射环境的变化规律，了解辐射环境水平是否异常，为辐射环境管理提供依据。

2. 监测要求

- (1) 应编制环境辐射监测方案，并向社会公开；
- (2) 环境辐射监测方案可根据活动期间的变化、监测经验和数据的积累进行调整；
- (3) 流出物监测方案要考虑伴生铀/钍元素的种类和工艺特点等因素；
- (4) 辐射环境监测方案除要考虑伴生铀/钍元素的种类外，还要考虑环境特征、周围居民点和其他敏感点；
- (5) 辐射环境监测的点位应包括监测范围内辐射环境本底调查的点位。

6.3.2 物料监测

根据《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》，制定物料监测计划，本项目物料监测计划见下表。

表 6.3-1 物料监测计划

介质	采样点或监测点	监测项目	频次	备注
固体	原料	^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th	进口时，不定期抽样监测	
	锆英砂		外售时，不定期抽样监测	
	泥		每批次处置时检测	

6.3.3 流出物监测

根据《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》，制定流出物监测计划，本项目流出物监测计划见下表。

表 6.3-2 流出物监测计划

介质	采样点或监测点	监测项目	频次	备注
废气	烘干炉的排气筒、最大风频下风向 500m 内	U、Th	1 次/半年	两次监测的间隔时间应不少于 3 个月
空气	厂内各车间	^{222}Rn 和 ^{220}Rn 及其子体	1 次/年	/

6.3.4 辐射环境监测

根据《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》，制定辐射环境监测计划，本项目辐射环境监测计划见下表。

表 6.3-3 辐射环境监测计划

介质	采样点或监测点	监测项目	频次	备注
空气	北侧居民点	^{222}Rn 及其子体	1 次/半年	两次监测的间隔时间应不少于 3 个月
	厂外西侧			
	厂外北侧			
	对照点			
陆地 γ	北侧居民点	γ 辐射空气吸收剂量率	1 次/半年	
	厂外西侧			
	厂外北侧			
	西侧农田土壤监测点			
	北侧最近居民点土壤监测点			
	厂内土壤监测点			
	厂外西侧土壤监测点			
	厂外南侧土壤监测点			
	厂外南侧			
	厂外东侧			
	厂内气溶胶监测点			
对照点土壤监测点				
地表水	龙津溪上游	U、 ^{226}Ra 、Th	1 次/半年	如果有汇入支流，在汇入口的前后均需取样
	龙津溪下游			
地下水	厂区井水	U _{天然} 、 ^{226}Ra 、Th	1 次/年	由于本次地下水中 Th 的活度

介质	采样点或监测点	监测项目	频次	备注
	夫坊村居民点井水			浓度略高于本底水平，后期应重点监控关注
土壤	厂内土壤	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra、Th	1 次/年	包括排气口最大落地点附近的土壤
	厂界外西侧土壤			
	厂外南侧土壤			
	厂外西侧农田土壤			
	厂外北侧最近居民点土壤			
	对照点土壤			
底泥	同地表水取样点	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra、Th	1 次/半年	

6.3.5 监测仪器及相关配备

企业可依托本企业人员、场所、设备开展监测或委托具有相应资质的机构进行监测。

建设单位可配备 X-γ 剂量率监测仪，和放射性表面污染检测仪，并安排专门的辐射工作人员落实监测计划，定期监测工作场所墙壁、地面、工作台和设备及产品包装外表面污染。

6.3.6 监测布点图

周边环境计划监测布点见 4.3 章节监测布点图。

6.3.7 应急监测

事故应急监测项目、监测点位、监测频度，根据事故发生的性质、时间、地点、可能污染范围等因素，及时进行有关项目追踪监测，取得事故现场监测数据和有关资料，进行事故评价，并将结果汇报相关管理机构。

6.3.8 质量保证

监测质量保证是环境监测计划的必不可少的重要组成部分,为了保证监测数据准确可靠,监测过程严格执行《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021),以保证获得的测量结果和评价结论使当时的和以后的主管部门和使用部门确信是正确的。

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。

6.4 辐射环境保护“三同时”验收

竣工验收内容见下表，竣工时验收监测参照 6.3.2 至 6.3.4 节内容。

表 6.4-1 辐射环境保护“三同时”验收内容

项目	措施	具体内容
液态流出物	各类物料（包括石英砂）的沥水池、循环沉淀池、事故应急池划定为重点防渗区；摇床车间、成品仓库、原料仓库以及电选、磁选车间为一般防渗区	重点防渗区：不低于渗透系数为 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 、厚度为 6m 的黏土层防渗性能； 一般防渗区：等效黏土防渗层 $M_b \geq 1.5\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$
产品存放	设置锆英砂、金红石、蓝晶石、石英石成品的专门暂存场所	锆英砂、金红石、蓝晶石、石英石在车间选出后直接袋装转运至仓库
气载流出物辐射防护措施	烘干炉废气治理措施	烘干炉烟尘采用布袋处理后通过 15m 高排气筒排放
	无组织排放粉尘治理措施	设置仓库，不露天堆放，围墙、厂棚、绿化等
	储存和转运措施	运输时采用《放射性物品安全运输规程》要求配备的专用运输车，用纤维袋分装后装车，并用塑料膜覆盖，防止洒落和对运输沿线的污染
辐射管理	辐射监测仪器	配备便携式 γ 剂量率仪、表面污染监测仪
	个人剂量管理	进行常规个人剂量监测，并对个人监测结果逐个记录存档；公司全体员工应建立职业健康档案
	锆英砂、金红石、蓝晶石、石英石储运管理	建立完备进出台账业务，对于具体数量和去向将有完整记录

7 结论与建议

7.1 项目情况

福建鑫钰新材料有限公司地位于漳州市长泰区陈巷镇港园工业区，占地面积占地面积为 22000m²，总投资 8316.23 万元，整体项目于 2023 年 8 月经漳州市长泰区发展和改革局备案（闽发改备〔2023〕E070115 号，见附件 2）。项目建成后年处理 10 万吨锆中矿，年产蓝晶石 4.5 万吨、锆英砂 1 万吨、石榴子石 3 万吨、金红石 0.8 万吨、石英砂 0.5 万吨。其整体工艺采用重选法、电选法和磁选法选矿，工艺简单。

7.2 辐射环境现状

1) γ 辐射剂量率：项目周边环境 γ 辐射剂量率范围为 117nGy/h~156nGy/h，与福建省漳州地区 γ 辐射剂量率处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995，室外 61.5~399.1nGy/h）。

2) 氡浓度：项目周边空气中 ²²²Rn 浓度在 5~7Bq/m³ 范围内，氡子体浓度在 9.6~14.0nJ/m³ 范围内。厂界周边空气中氡浓度与《中国环境天然放射性水平》中福建福州地区室外空气中氡浓度范围值（1.5-214.2Bq/m³）处在同一水平。

3) 土壤：土壤中天然核素 ²³⁸U、²³²Th 和 ²²⁶Ra 的含量与福建漳州地区本底值处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995）。

4) 地表水：U、²²⁶Ra 和 Th 浓度与福建九龙江水体放射性处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995）。地表水中总 α 和总 β 低于《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2022）放射性指标限值总 α 指导值为 0.5Bq/L，总 β 指导值为 1Bq/L）。²¹⁰Po 和 ²¹⁰Pb 的含量均接近或低于检出限。

5) 地下水：U 和 ²²⁶Ra 浓度与福建漳州地区水体放射性处于同一水平（《中国环境天然放射性水平》国家环保局 1995）。Th 的活度浓度略高于当地本底值，项目周边无其他放射性企业运营，考虑是当地本底水平较高造成，后期项目正式

运营，应重点监控关注地下水中的 Th 活度浓度。地下水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）指导值（标准中Ⅲ类水体放射性指标总 α 放射性指导值为 0.5Bq/L，总 β 放射性指导值为 1Bq/L）， ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量均低于检出限。

6)气溶胶：气溶胶中总 α 低于检出限，总 β 接近于检出限，核素 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 的含量相较于文献《气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量年变化趋势探究》中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量较低（由于无当地环境气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 参考值，故参照文献《气溶胶中 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 含量年变化趋势探究》（喻正伟等，2017 年）中气溶胶 ^{210}Po 浓度范围为 0.17-0.84 mBq/m³， ^{210}Pb 浓度范围为 0.8-3.8 mBq/m³）。

7.3 辐射环境影响

1) 项目选矿废水不外排，并采取了有效的防渗措施，不会对周围地下水环境造成辐射影响。

2) 当泥中的天然性放射性核素的活动浓度均 $<1\text{ Bq/g}$ ，无需进行辐射监管，若石英砂放射性超过 1Bq/g ，则回收利用，重新进入选矿程序。

3) 本项目关键居民组为所致公众成员最大个人年有效剂量出现在 17 岁以上成人，因此，项目所致公众成员最大个人年有效剂量出现在 17 岁以上成人，为 W 方位的福建建通机械设备有限公司，为 0.123mSv/a ，关键核素为氡，关键照射途径为氡吸入所致内照射。本项目工作人员个人辐射剂量最大值出现在螺旋、湿式磁选车间投料口工作人员，个人有效剂量为 1.86mSv/a ，小于本项目的管理限值 5mSv/a 。且主要为外照射的影响，故项目厂房内应确保通风后进入车间内，做好个人防护，并佩戴个人剂量片和剂量报警仪进入，尽量降低工作人员外照射。

经预测，正常情况下，全厂原料及产品所致的公众个人最大有效剂量均小于公众年有效剂量管理目标值，非正常情况下，公众最大个人剂量远低于非正常情况下公众最大个人剂量值控制指标，辐射环境影响较小。

7.4 辐射环境保护措施

7.4.1 生产废水处理措施

选矿摇床重选用水取自循环水池。经摇床重选后，物料与循环水流入对应沉淀池，其中金红石、锆英砂、金红石、石英砂分别用砂泵随水抽进积矿斗或沥水池，沥出水分。所有回收水经水沟流至沉淀池，经沉淀除泥沙后，再进入循环水池回用。

7.4.2 气载流出物的防护措施

1) 烘干炉废气治理措施

本项目设有 1 套烘干炉（燃料为天然气）对湿矿进行烘干，烘干烟气中主要含颗粒物、二氧化硫和氮氧化物，其中二氧化硫和氮氧化物来自天然气燃烧，因此烘干烟气主要针对颗粒物设置处理措施，烘干烟气经布袋除尘器处理后通过 15m 高排气筒排至室外。

2) 无组织排放粉尘治理措施

a) 原料仓库扬尘、卸料扬尘

项目原矿含水率较高，在仓库临时堆存，含水率逐渐变低。但矿料比重较大，风力不大时不易起尘。且项目原料仓库设置洒水抑尘设备，定期洒水控制抑尘，可有效减少扬尘的产生。

b) 烘干炉干燥出料口，磁选机、电选机进出料口

通过在进出料口设置挡风遮罩，将烘干炉、磁选机、电选机设在厂房内，可有效减轻风力扬尘且通过降低落料高度，可有效减少扬尘的产生。

c) 运输扬尘

运送车辆在运输时不得装载过满，采取加盖篷布等措施，且运输车辆需定期检查，如有破损及时修补，以免矿砂洒落，造成二次扬尘，且在运输路线设置洒水装置，每天视天气情况对矿区道路进行洒水。特别是在干旱季节洒水抑尘。

3) 为防止工作场所空气中粉尘污染, 该公司应加湿作业和湿式清扫, 以此满足环保要求。

4) 在储存和转运过程中, 加强对原材料储存和运输日常管理, 运输时采用《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019) 要求配备的符合要求的运输车, 用纤维袋分装后装车。

7.4.3 地下水辐射防护措施

7.4.3.1 源头控制措施

1) 控制原料和产品堆放淋滤水量

原料堆存在原料仓库内, 产品均堆存在仓库内, 厂内除绿地外, 均采取水泥硬化处理, 不产生固体废物淋滤液。

2) 生产用水渗漏防护措施

根据前面工程分析可知, 类比项目循环水池选矿废水监测指标中, 总 α 为 0.49Bq/L, 总 β 为 0.38Bq/L, 均低于《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) III 类水质标准和《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022) 的要求。故即使循环水下渗或外排至地下水环境或外环境中, 仍能满足标准要求, 而本项目选矿生产废水可直接循环利用, 不外排, 且项目循环水池均做好水泥硬底化、防渗透措施, 定期检查项目周边水井的放射性水平, 因此, 选矿废水对地下水产生的影响较小。分区防控措施

① 将本项目分为 2 个防渗分区: 废水沉淀池、各沉淀池为重点污染防治区; 其他区域为简单防渗区。

② 采用合理的施工方法、选用质量过关的建筑材料、防渗材料进行本项目的施工; 根据厂区地下水污染防治区域的划分, 项目采取不同的地下水防治措施。重点污染区采取严格的基础防渗措施, 渗透系数 $\leq 10^{-7}$ cm/s; 简单防渗区防渗技术要求为进行地面硬化。

项目地下水污染防治区域均采取严格的污染防治措施, 可有效降低项目污染地下水环境的可能性。

7.4.4 产品的储存及管理措施

根据《伴生放射性物料贮存及固体废物填埋处置辐射环境保护技术规范（试行）》相关要求，对蓝晶石、锆英砂、石榴子石和金红石的仓库外的明显部位设置电离辐射标志，对蓝晶石、锆英砂、石榴子石和金红石进行分类贮存，并加强管理，防止物料流失，禁止无关人员进入。

建立蓝晶石、锆英砂、石榴子石和金红石贮存台账制度，由专人做好日常登记和管理工作，并详细记录物料出入情况。

7.4.5 物料吊装装卸风险防护措施

本项目生产工艺上，利用吨袋收集产品。然而，由于机械碰撞因素，仍有可能发生小概率吊装撒漏事故。且锆英砂放射性核素比活度较高，应严防锆英砂的装卸撒漏事故。

为预防撒漏事故的发生，减缓其辐射环境影响，提出以下防范、控制措施：

- ①加强作业人员业务技术培训，熟练掌握装置操作，减小事故发生概率。
- ②每天进行装卸前，应检查装卸装置是否存在问题，吊装安全性和稳定性是否完好。
- ③定期对吊装装置进行维修与维护，确保仪器处于良好的工作状态。
- ④发生装卸过程撒漏事故时，应立即在车间现场设置警戒线，防止无关人员进入；安排专人进行干法清扫收集，将其妥善运至其暂存场所，事故处理完毕后解除警戒。
- ⑤由于锆英砂放射性核素比活度较高，锆英砂储存场所应进行放射性标识，防止无关人员接近，以减少对人不必要照射。

7.4.6 运输风险防护措施

为满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中要求，本项目原料进入国内港口后，使用汽车运输至本项目厂址内，成品一般使用汽车运输至下游企业。从港口码头运输至厂区运输过程中的安全责任主体为鑫钰公司，发生运

输风险时，由鑫钰公司主要负责，控制风险的发生，及时处置风险事故现场，产品的运输风险责任主体为下游企业。

运输过程设置合理的原料及产品（特别是锆英砂）运输路线，原料和产品（特别是锆英砂）运输前应该进行严密包装，货物装车后应及时封闭车辆。并选择风险控制信用较好的运输单位进行原料和产品的运输，定期对运输汽车进行维修和保养、提高驾驶人员安全意识，防止极端交通事故发生，以避免对沿线道路及周边环境形成放射性污染，在车上常备有应急物品，包括防护口罩、防护手套、护目镜等防护用品。

运输工作人员应接受相关辐射防护措施等方面的培训：

- （1）避免事故发生的方法和程序；
- （2）应急响应信息以及如何利用这些信息；
- （3）各种放射性物品的危害和如何防止受到这些危害，必要是包括人员防护服和防护设备的使用；
- （4）发生放射性物质以外释放时立即采取的程序，包括相关的应急响应程序和要遵守的人员防护程序。

一旦在运输原料及产品期间发生事故时，需要启动应急响应程序。当原料及产品（特别是锆英砂）发生撒漏、外逸时，应立即疏散无关人群，佩戴口罩，避免对物料的吸入内照射，尽快将撒漏的物料安全装至运输车内，最后确保环境中无遗留的原料及产品（特别是锆英砂）；若车辆发生事故，应疏散无关人群，立即调派其他运输车辆将事故车辆内的物料转移。

7.4.7 辐射防护管理措施

本项目除采取上述污染防治设施以外，建设单位还制定了以下辐射防护管理制度和措施，主要包括：

- 1) 个人防护工作：给员工配备的个人的劳保防护用品（如工作服、手套，口罩等）；为了减少放射性物质进入体内的机会，不在车间内吸烟，不在车间内进餐；经常注意修剪指甲、剪短头发，以免积存放射性物质；还应注意保护皮肤的清洁完整。

在工作中，皮肤受了损伤，应及时清洗，妥善包扎，以防感染化脓或放射性物质由伤口进入体内。设立员工换衣区，上班后换上工作专用工作服和鞋，下班之后立即沐浴，工作服等用品不允许带出厂外。

公司全体员工应建立职业健康档案；对身体条件不符合生产岗位的要调整其工作岗位；合理优化职工人数和工作时间，尽量减少员工与放射性物料的接触时间，对所受照射剂量超过 5mSv/a 的工作人员调整至其他剂量较小的工作岗位。

2) 指定专人负责进行放射性 γ 辐射定点巡检，按期进行监测和风险评价，发现异常时，应及时找出原因并予以处理。

3) 工作人员上岗前需进行辐射安全环保知识培训，定期组织辐射安全环保知识学习和考试。

4) 工作时严格按操作规程操作。

5) 为了防止放射性物质通过消化道或其它途径进入体内，严禁在放射工作场所吸烟、进食和存放食物。

6) 对于石榴子石、蓝晶石、锆英砂和金红石，建立完备进出台账业务，对于具体数量和去向将有完整记录。

7.5 辐射监测

根据《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》（国环规辐射〔2018〕1号），企业应于每年2月1日前编制完成上年度环境辐射监测年度报告，并向社会公开。企业环境辐射监测发现流出物排放超标的，应立即停止排放，分析原因，并向省级生态环境主管部门报告。

7.6 结论

综上所述，经评价分析，项目在保证原料种类符合本评价要求、全面落实本报告提出的各项辐射防护措施的基础上，切实做到“三同时”，并在运行中严格落实管理和监测计划，从辐射环境保护角度出发，项目可行。