

年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛 项目技改工程

辐射环境影响评价专篇 (公示稿)

建设单位：广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司

编制单位：广西博环环境咨询服务有限公司

编制时间：二〇二四年九月

辐射专篇评审意见修改说明

序号	评审意见	修改说明
1	“概述”应放在目录之后，与其它内容成为一体，现场照片可分别插入相应章节。	已修改，见 P1-4 页；图片已经插入各个章节
2	P11，（1）本项目属于伴生放射性矿（采选、冶炼）项目，根据《关于进一步加强重金属污染防治的意见》（环固体〔2022〕17 号），本项目不属于重点行业”，而按《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》第二条 本办法适用于除铀（钍）矿外所有矿产资源开发利用活动中原矿、中间产品、尾矿（渣）或者其他残留物中铀（钍）系单个核素含量超过 1 贝可/克（Bq/g）的企业。其他企业可参照执行。第三条 设区的市级以上生态环境主管部门应当根据《重点排污单位名录管理规定（试行）》（环办监测〔2017〕86 号）将上述企业纳入重点排污单位名录。	已修改，见 P3 页
3	P2（23）“《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》（广西壮族自治区环境监测中心站 1992 年）”。更换为“《中国环境天然放射性水平》，原子能出版社，2023 版”更合适。	已修改，见 P6 页
4	P3-4，“1.2.1 剂量限值”本项目仅涉及公众吗？是否有职业工作人员？若有，则应补充工作人员的剂量限值。	已修改，见 P7-8 页
5	P6 “评价核素”的表达应规范正确，如：“氡及其子体”氡及其子体，空气中铀钍用浓度，如 mg/m ³ ，水中为含量或浓度，如 μg/L，其他为比活度；	已修改，见 P10 页

6	P7 评价范围按 HJ61-2021 5.4 伴生放射性矿开发利用执行即可，没必要按核设施调查布点，工作量太大且意义不大。但应考虑建设前和投运后不同阶段，考虑厂区边界、最近居民点、厂外烟羽最大浓度落点处、主导风下风向等即可	已修改，见 P11-12 页
7	P12，“表 2.1-2 技改工程建设内容”中“危险固体废物”一栏的“危废暂存库”准备存何种危险固废？	已修改，见 P17 页，主要存放废油桶。
8	P24，“图 2.1-4 人造金红石生产工艺流程图及伴生放射性产污节点图”及后面类似图表等中的“伴生放射性”说成天然放射性更准确，另：入仓直到产品的各环节都应该有外照射，有矿料开放环节都应考虑氡-222。后面类似图表等中分析描述都应认真核实修改	已修改，见 P21-31 页
9	P30“表 2.1-4 生产物料伴生放射性检测结果”中的“弱磁矿、导磁锆英”（难道还有强磁矿、非导磁锆英？）等都应该规范表述，并统一校核整个专篇类似不规范表述	已修改，见 P34 页，修改为锆英
10	P30-31.类比性分析应另成小节，并补充完善可类比性分析，如：类比对象的工艺、设备、生产规模、原料来源等因素都需要认真分析	已修改，见 P36 页
11	P33“表 2.1-9 煤灰渣分选后物料伴生放射性核素比活度检测结果”数据表达应规范、有效位数取值统一，其它类似表格都应认真校核；此表后注“注： ^{232}Th 的分析结果是通过测量其衰变子体 ^{228}Ac 而得出。”按照 HJ61-2021 7.2.2 辐射环境监测方法的标准，应优先选用生态环境主管部门发布的环境监测专用的环境标准；没有环境标准的，使用适合的	这部分内容见附件 5-3,《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》物料的放射性分析，数据完全引用检测机构出具的报告，检测方法全部引用报告中的方法。检测时间为 2021 年，当时可使用该方法。

	国家标准；没有国家标准的，选用适合的其他部门行业标准，或适合的国际标准。如果某监测方法只有测量标准，还需补充完善现场采样/监测的采样方法、点位布设、监测频次、环境条件、运行工况等规范性内容，以作业指导书等文件形式予以规范。按规范中表 15，矿料中 Th-232 标准方法是能谱法；水中 Th 标准方法是分光光度法”	
12	专篇及附件均中未见到有关车间或其它工作场所粉尘（无组织排放）监测的说明，P35 及专篇中“无组织排放废气”（P35）指什么？数据来源？	数据引自常规环评报告，无组织废气主要指颗粒物。
13	P35-36“物料平衡”所列各表中固相、液相和气相简单混合相加是否合适？	已修改，见 P44-46 页
14	P40-51“2.1.5.3 放射性核素平衡”各图表中数据严丝合缝，固相无泼洒、无沉积？液相无蒸发、无跑冒滴漏？气相无逸散、无粉尘、无挥发？集气装置、无组织排放、有组织排放居然放射性为零？不可思议。	已修改，见 P44-46 页
15	P52“2.2.1 气载流出物”是否考虑运输、车间内部进出料及包装过程的粉尘、烟气中的飞灰？“氡子体”的数据来源？	已修改，见 P50 页
16	P52-53“(1) 氡及其子体”小节中核素母体高的地方子体低，母体低的地方子体高，应该给出简要解释	场所氡浓度已经补充监测，见附件 7
17	P54“项目生产场所 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果”应补充弱磁矿的生产及贮存场所的监测	弱磁矿 γ 辐射空气吸收剂量率已经补充监测，见附件 7
18	评价中涉及放射性监测都应监测应按 HJ61-2021 规定实施，统一给出监测方案、质量控制（方法和参数、人员？监测条件？采样设备、采样要求和	附件 4-1，附件 5-1，附件 5-2 上面已经详细说明

	采样量？监测设备的校准和检定？生产状态等，确保数据有效性？	
19	P61 “类比分析可行性见表 2.1-8” 该表不是可类比性分析	已修改，见 P54 页
20	P66-68,无组织排放应包含弱磁矿（独居石）、锆英砂等重要工作场所	已修改，见 P58 页
21	P69 何措施保证只收集初雨？如何保证措施有效性？连续降雨怎么办？如何防止洪溢？	已修改，见 P41 页
22	P71, “在风机选型时，应考虑一定的余量，使烟罩周围形成一定的负压”，应在此明确，“一定的余量”是多大？是否落实、可行？	已修改，见 P64 页
23	P71 “本项目厂内循环水均不与生产物料直接接触，” 工艺水可分为酸性和基本中性分别怎样循环？	已修改，见 P65 页
24	P72,（1）还原弱磁矿的储存与管理” 此处是重要的放射性工作场所，不但无监测数据，应补充说明防护措施合理可行？如防护屏蔽（墙、顶、门），通风换气、是否有及集气设施、双人双锁等安保措施、工作人员的分类管理等；“导磁锆英”也是一个放射性水平较高的点，应根据监测数据分析是否参照独居石库的防护管理	已修改，见 P66 页
25	P73,明确此项目的固体废物，此类选矿工艺的特点是天然核素大都逐步浓集于各级各类产品和副产品中，真正的固体废物只有少量泥浆和尾砂，主要成分是二氧化硅等。其放射性水平甚至低于当地土壤的平均水平，可作为建筑材料的辅料或填充料而再次利用	已修改，见 P67 页
26	P74, “含量不满足外售协议接收标准，即为固体废物。” 这里的弱磁矿物应该是独居石，是锆英砂类系列产品中放射性最	已修改，见 P69 页

	<p>强的种类，是一种轻稀土类矿物。虽然其品位有高有低，但无论品位高低都不能将其视为固废</p>	
27	<p>P75，“煤灰渣分选出的还原弱磁矿具有一定的伴生放射性”还原弱磁矿不是从煤灰渣中分选出来的，明确暂存库满足《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）中哪些设计要求。这是必须明确的重点措施</p>	<p>已修改，见 P69 页</p>
28	<p>P83，按照 HJ61-2021，5.4.2 矿物资源利用中的辐射环境监测对原料和产品测量其表面γ辐射空气吸收剂量率，必要时，测量其天然放射性核素含量。因此，“3.2 辐射环境质量现状分析”出现重大漏项。此漏项可能对源项分析、污染途径及影响分析、关键人群判断和防护措施可行性产生重大影响</p>	<p>已修改，见 P80-81 页，已经进行补充监测，数据见附件 7。</p>
29	<p>第四章 辐射环境影响分析，在相关法规中，本项目仅属于伴生矿的选矿类项目，既不属于核设施、也不是铀矿山或水冶厂。调查监测或影响分析按 HJ61-2021 规定执行即可，不必盲目扩大</p>	<p>已修改，见 P95 页。</p>
30	<p>P108，“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，无放射性废水产生，循环冷却水不外排；循环冷却水渗透至地下水可能性小，液态途径的照射极小。”从此段看，本专篇有照抄某核设施报告书的嫌疑。个人觉得：本项目的关键途径应该是有关车间或工艺环节的外照射，以及无组织排放的矿物粉尘、氡及子体、气溶胶等；关键核素是天然 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra；关键人群是有关车间工人</p>	<p>已修改，见 P108 页</p>

31	P111 “窑头冷却窑和窑尾冷却窑的循环冷却水”是什么？之前只字未提，请认真统一校核； “本项目无放射性固体废物产生，粉煤灰中各伴生放射性核素比活度均低于 1Bq/g，作为一般工业固体废物处置。故本项目固体废物对环境影响较小。”前面提到的尾砂呢？粉煤灰即使作为一般工业固废，也需要在总报告书相关章节中补充其相关内容	已修改，见 P109 页
32	P112，认真核实“表 5.2-1 项目流出物监测计划表”，监测项目和频次按国环规辐射〔2018〕1 号《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）》，一年一次即可	已修改，见 P111 页

备注：补充修改详见报告下划线内

目录

第一章 前言	1
1.1 项目背景	1
1.2 项目特点	2
1.3 环境影响评价的工作过程	3
1.4 评价结论	4
第二章 概述	5
2.1 编制依据	5
2.1.1 国家法律、法规和规章	5
2.1.2 技术导则与技术规范	5
2.1.3 其他依据	6
2.2 控制指标	7
2.2.1 剂量限值	7
2.2.2 放射性评价标准	8
2.3 评价核素	10
2.4 评价范围	10
2.5 项目周围敏感点和保护目标	11
第三章 放射性源项分析	14
3.1 工程概况	14
3.1.1 项目基本情况	14
3.1.2 放射性污染建设子项	18
3.1.3 放射性污染源分布情况	32
3.1.4 放射性核素走向	33
3.1.5 物料平衡	38
3.2 项目放射性分析	41
3.2.1 气载流出物	41
3.2.2 循环水放射性水平	49
3.2.3 项目尾砂放射性水平	51

3.2.4 小结	51
3.3 “以新带老”措施	53
3.3.1 现有项目存在问题	53
3.3.2 “以新带老”措施及效果	53
3.4 辐射防护措施	54
3.4.1 气载流出物防护措施	54
3.4.2 厂区内循环水辐射防护措施	55
3.4.3 地下水辐射防护措施	55
3.4.4 生产物料辐射防护措施	56
3.4.5 固体废物辐射防护措施	57
3.4.6 运输风险辐射防护措施	57
3.4.7 辐射防护管理措施	58
3.5 弱磁矿外售依托可行性分析	59
3.5.1 外售还原弱磁矿概况	59
3.5.2 依托企业概况	59
3.5.3 还原弱磁矿作为副产品可行性分析	60
3.5.4 还原弱磁矿混合复选可行性分析	61
第四章 辐射环境质量现状	63
4.1 辐射环境质量现状调查	63
4.1.1 监测目的	63
4.1.2 监测依据	63
4.1.3 监测布点原则	63
4.1.4 监测方案	63
4.1.5 质量保证及质量控制	64
4.1.6 监测方法及仪器	67
4.1.7 监测条件	70
4.2 辐射环境质量现状分析	70
4.2.1 γ 辐射空气吸收剂量率	70
4.2.2 ^{222}Rn 及其子体浓度	71

4.2.3 地下水	72
4.2.4 土壤	73
4.2.5 小结	73
第五章 辐射环境影响分析	75
5.1 厂址特征参数	75
5.1.1 气候与气象	75
5.1.2 水文	79
5.1.3 人口分布	80
5.1.4 食谱	81
5.2 正常工况气载流出物辐射环境影响分析	83
5.2.1 公众剂量估算	84
5.2.2 职业人员剂量估算	89
5.3 正常工况地表水辐射环境影响分析	93
5.4 地下水辐射环境影响分析	93
5.5 “三关键”分析	93
5.6 非正常工况辐射环境影响分析	94
5.6.1 除尘系统失效的辐射环境影响分析	94
5.6.2 产品吊装撒漏风险	94
5.6.3 运输过程中的风险	95
5.6.4 循环水池渗漏或泄露事故	95
5.7 固体废物辐射环境影响分析	95
5.8 服务期满辐射环境影响分析	96
第六章 辐射环境管理和辐射监测	97
6.1 辐射环境管理	97
6.2 流出物监测	97
6.3 物料监测	97
第七章 结论与建议	98
7.1 项目概况	98
7.2 政策符合性分析	98

7.3 辐射防护措施结论	99
7.3.1 气载流出物	99
7.3.2 厂区内循环水	99
7.3.3 地下水	99
7.3.4 生产物料	99
7.3.5 固体废物	100
7.3.6 运输风险	100
7.4 环境现状及影响预测结论	100
7.4.1 环境现状评价结论	100
7.4.2 辐射环境影响预测结论	101
7.5 结论与建议	101
7.5.1 结论	101
7.5.2 建议	102
附录 辐射环境影响评价模式与参数	103
1. 气态途径	103
1.1 大气扩散中连续地面点源的浓度公式:	103
1.2 在静风条件下不利于污染物的扩散	103
1.3 扩散参数的选择	104
1.4 放射性衰变校正因子	104
2. 剂量估算模式与参数	104
2.1 气载途径	104
2.2 液态途径	105

附图:

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 项目总平面图布置图
- 附图 3 厂区外辐射现状监测点位布置图
- 附图 4 厂区内辐射现状监测点位布置图
- 附图 5 项目分区防渗图

附件：

附件 1 环评委托书

附件 2 企业变更通知书

附件 3 项目备案证明

附件 4-1 辐射环境监测报告（新厂）

附件 4-2 辐射环境监测报告（老厂）

附件 5-1 样品放射性分析检测报告（新厂）

附件 5-2 样品放射性分析检测报告（新厂）

附件 5-3 样品放射性分析检测报告（老厂）

附件 6 弱磁矿销售协议

附件 7 辐射环境监测报告（新厂）—补充监测

第一章 前言

1.1 项目背景

钛铁矿和金红石是制造金属钛、制造钛白粉以及电焊条焊药的主要原料。由于钛白粉具有折射率高、白度高、亮度高、化学稳定性好、覆盖能力强等特性，大量用于造纸、塑料、油漆等工业。钛铁矿和金红石用来生产金属钛，可以制造各种钛合金。此外，钛铁矿和金红石可以生产陶瓷电容器、机电换能器、玻璃纤维等。

2013 年 8 月，广西防城港华晨矿业有限公司委托北海市碧蓝环境保护服务有限公司编制完成《广西华晨矿业有限公司年产 8 万吨还原钛及年产 20 万吨钛精矿技改扩建项目环境影响报告书》，2013 年 11 月 13 日广西壮族自治区环保厅对该项目环评予以批复（桂环审〔2013〕259 号）。2018 年 11 月，广西防城港华晨矿业有限公司在年产 8 万吨还原钛及年产 20 万吨钛精矿技改扩建项目的基础上改扩建为年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛技改扩建项目，由重庆大润环境科学研究院有限公司编制完成《年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛技改扩建项目环境影响报告书》，并于 2019 年 1 月 3 日获防城港市行政审批局批复，文号：防审批市政交通环保〔2019〕3 号文，以下简称“原环评”。2019 年 9 月 26 日，广西防城港华晨矿业有限公司名称变更为广西粤桥新材料科技有限公司（见附件 6）。2020 年 8 月 19 日，广西粤桥新材料科技有限公司内部决定，成立广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司来管理“新厂”，因此“新厂”项目建设单位由广西粤桥新材料科技有限公司变更为广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司，即为广西粤桥新材料科技有限公司的分公司。

“原环评”批复的现有工程于 2019 年 2 月开始建设，2023 年 1 月现有工程建成并试运营，2023 年 1 月开始启动验收工作，并于 2023 年 5 月完成竣工环境保护验收。“原环评”批复的产品规模为年产人造金红石 15 万吨、还原钛铁矿 8 万吨、锆英砂 3.45 万吨、天然金红石 1.95 万吨、煤质活性炭 2.83 万吨、氧化铁

红 5.67 万吨，根据现有工程实际建设情况，计划建设的煤质活性炭生产线未建。

根据目前市场需求，对现有工程产出的副产品锆英砂提高了品质要求，同时为进一步提高企业赢利能力，现有工程未建的煤质活性炭生产线继续建设。本技改工程依托现有工程，技改内容为：利用现有厂区，新增建设酸浸车间及配套设备，新增 1 条锆英酸酸浸提品生产线，对产出的副产品锆英砂进行技改深加工，提高锆英砂产品品质。同时，本次技改项目做以下生产建设调整：①调整活性炭车间建设位置和平面布置，增加建设煤质活性炭生产工序及配套环保设施，对还原车间煤灰渣分选工序产生的矿煤灰进一步加工，新增产出副产品煤质活性炭。②选矿流程新增选出金红中矿（副产品），且分离出放射物料导磁锆英（副产品）。③还原车间煤灰渣分选流程新增选出放射性物料还原弱磁矿（副产品）。项目于 2023 年 9 月 21 日获得了港口区工业与信息化局的备案，备案代码为：2309-450602-07-02-914896（见附件 3）。

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，项目须进行环境影响评价。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版），项目属于“五十五、核与辐射，171、伴生放射性矿（采选、冶炼）”项目，应当编制环境影响评价报告书。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），广西粤桥新材料科技有限公司属于第一批伴生放射性矿开发利用企业。本项目新增副产品导磁锆英砂、还原弱磁矿中 ^{232}Th 含量超过 1Bq/g ，属于原矿、中间产品、尾矿（渣）或者其他残留物中铀（钍）系单个核素含量超过 1Bq/g 的矿产资源开发利用项目。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》（公告 2020 年 第 54 号）的有关规定，该项目应由建设单位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。

现有项目自 2011 年备案以来仅进行了常规环评的编制和审批，未开展辐射环境影响评价，故本专篇的评价内容包括对现有已建成的生产设备设施以及拟技改项目设备设施的流出物的放射性检测、周边环境的辐射监测及辐射环境影响分析。

1.2 项目特点

（1）按照《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》第

二条 本办法适用于除铀（钍）矿外所有矿产资源开发利用活动中原矿、中间产品、尾矿（渣）或者其他残留物中铀（钍）系单个核素含量超过 1 贝可/克（Bq/g）的企业。其他企业可参照执行。第三条 设区的市级以上生态环境主管部门应当根据《重点排污单位名录管理规定（试行）》（环办监测〔2017〕86 号）将上述企业纳入重点排污单位名录，本项目属于伴生放射性矿（采选、冶炼）项目。根据《关于进一步加强重金属污染防控的意见》（环固体〔2022〕17 号），本项目不属于重点行业，不需要明确重金属污染物排放总量及来源；

（2）优化选矿流程，新增产出金红中矿（副产品），且分离出放射物料导磁锆英（副产品）；

（3）优化还原车间的煤灰渣分选工序，分离出放射性物料还原弱磁矿（副产品）。

（4）增加建设锆英砂酸浸车间及配套设备，对产出的副产品锆英砂增加一道深加工提品工序，进一步提高锆英砂产品品质；

（5）调整活性炭车间建设位置和平面布置，增加建设煤质活性炭生产工序及配套环保设施，对还原车间煤灰渣分选工序产生的矿煤灰进一步加工，新增产出副产品煤质活性炭；

（6）项目技改后全厂大气污染物排放总量仍在现行排污许可范围内；

（7）项目技改后碳排放强度/防城港市碳排放强度小于 1，碳排放为正面影响；

（8）项目技改后新增的导磁锆英砂、还原弱磁矿的伴生放射性核素比活度超过免管限值 1Bq/g，对区域环境有一定的辐射影响。项目新增放射物料导磁锆英存放点、还原弱磁矿存放点，为专用密闭仓库，可减少产品辐射影响。

1.3 环境影响评价的工作过程

依据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》的有关要求，广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司委托我公司开展年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛项目技改工程项目环境影响评价工作。我公司接受委托后立即组织有关专业技术人员开展环境状况调查和收集相关资料，进行环境影响因素识别与评价因子筛选，明确了评价重点与环境保护目标，确定工作等级、评价范围和评价标准，制定了工作方案；

根据工作方案,项目组对评价范围进行了现场勘查。通过对项目周围的自然环境、社会环境进行调查评价以及项目的工程情况进行详细的调查分析,并在此基础上预测和分析项目对周围环境的影响程度、范围,分析和论证项目采取的环境保护措施以及在技术上的可行性、合理性以及处理效果,从环境保护的角度论证项目的合理性。同时,本着“达标排放”、“清洁生产”等原则,提出切实可行的环保措施和防治污染对策,并完成项目初稿的编制。在建设单位完成项目公众参与工作后,本报告对公众参与过程中公众提出的意见进行认真分析并给出是否采纳的意见及理由。整合上述工作成果,编制完成环境影响评价文件。

1.4 评价结论

广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛项目技改工程项目在全面落实本报告提出的各项辐射防护措施的基础上,本项目的运营,不会明显增加当地环境的污染负荷,不会对周围敏感点造成明显影响,评价范围内公众成员因本项目增加的年有效剂量满足相关标准要求,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。

第二章 概述

2.1 编制依据

2.1.1 国家法律、法规和规章

- (1)《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日实施);
- (2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2016 年修订, 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第二次修正);
- (3)《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020 年 4 月修订);
- (4)《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日实施);
- (5)《建设项目环境保护管理条例》(国务院令 682 号, 2017 年 11 月 1 日实施);
- (6)《放射性物品运输安全管理条例》(国务院令 562 号, 2010 年 1 月 1 日施行);
- (7)《放射性废物安全管理条例》(国务院令 612 号, 2012 年 3 月 1 日施行);
- (8)《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, 2021 年 1 月 1 日起施行);
- (9)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 版)》(生态环境部部令 第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行);
- (10)《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(2024 年 2 月 1 日实施);
- (11)《国家危险废物名录(2021 年版)》(生态环境部令第 15 号, 2021 年 1 月 1 日起施行);
- (12)《广西壮族自治区生态环境厅关于发布广西壮族自治区伴生放射性矿开发利用企业名录(第一批)的通告》(桂环通告〔2020〕2 号)。

2.1.2 技术导则与技术规范

- (1)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);
- (2)《核辐射环境质量评价一般规定》(GB 11215-89);
- (3)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);
- (4)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);

- (5)《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002);
- (6)《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019);
- (7)《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566-2023);
- (8)《稀土生产场所中放射防护标准》(GBZ 139-2019);
- (9)《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011);
- (10)《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002);
- (11)《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017);
- (12)《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022);
- (13)《污水综合排放标准》(GB 8978-1996);
- (14)《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB 23727-2020);
- (15)《铀矿冶辐射环境监测规定》(GB 23726-2009);
- (16)《中国环境天然放射性水平》(国家环境保护局, 1995);
- (17)《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB 27742-2011);
- (18)《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);
- (19)《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);
- (20)《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);
- (21)《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);
- (22)《2021 年全国辐射环境质量报告》(中华人民共和国生态环境部);
- (23)《中国环境天然放射性水平》, 原子能出版社, 2023 版。

2.1.3 其他依据

2.1.3.1 相关规划依据

- (1)《防城港经济技术开发区总体规划》(2018 年);
- (2)《防城港市城市总体规划(2008~2025 年)》;

2.1.3.2 项目环评主要依据

- (1) 环境影响评价委托书;
- (2) 企业变更通知书;
- (3) 《广西防城港华晨矿业有限公司年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛技改扩建项目报告书》(重庆大润环境科学研究院有限公司, 2018 年 11 月);
- (4) 《防城港市行政审批局关于广西防城港华晨矿业有限公司年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛技改扩建项目环境影响报告书的批复》(防审批市政交通环保〔2019〕3 号);
- (5) 《年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛技改扩建项目水文地质勘察报告》(广西地科勘查工程有限公司, 2017 年 11 月);
- (6) 建设单位提供的项目其他资料。

2.2 控制指标

2.2.1 剂量限值

1. 公众剂量约束值

正常工况公众剂量约束值: 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中第 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~0.3mSv) 的范围之内。” 结合本项目企业性质, 生产还原钛铁矿 (属伴生放射性矿采选、冶炼), 参照《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB 23727-2020) 中相关规定, 本项目取 0.3mSv 作为公众成员的年剂量约束值。

非正常工况公众剂量约束值: 依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中 11.4.3.3 款规定: “如果剂量约束已超过 1mSv/a, 并且为进一步减小持续照射而采取技术性措施的经济代价太大, 则在这类情况下应采用行政手段对持续照射进行有组织的控制”。因此, 本项目取 1mSv/a 作为场所周围人员及其他人员非正常工况公众剂量约束值。

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 作为工作人员年剂量约束值。

2.2.2 放射性评价标准

2.2.2.1 辐射环境质量标准

(1) 现场 γ 辐射空气吸收剂量率

根据《中国环境天然放射性水平》(原子能出版社, 2023 版), 广西壮族自治区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率在 11.0~304.3nGy/h 范围内, 广西壮族自治区原野 γ 辐射空气吸收剂量率范围为 10.7~238.7nGy/h, 本专篇要求, 项目周围保护目标室内 γ 辐射空气吸收剂量率在 11.0~304.3nGy/h 范围内, 室外 γ 辐射空气吸收剂量率在 10.7~238.7nGy/h 范围内。

(2) 氡及其子体浓度评价标准

工作场所氡浓度:

根据《电离辐射防护与放射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中附录 H2 款规定: “工作场所中氡持续照射情况下补救行动水平是在平均活度为 500~1000Bq/m³ 范围内, 达到 500Bq/m³ 宜考虑采取补救行动, 达到 1000Bq/m³ 应考虑采取补救行动。”本项目工作场所氡浓度以不超过 500Bq/m³ 为标准。工作场所氡子体潜能浓度参照《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB 23727-2020) 中导出浓度剂量约束值 5.4 μ J/m³ 为标准。

附近居民点空气中氡浓度(公众照射):

厂区外氡及其子体浓度根据《中国环境天然放射性水平》中全国城市空气中氡平均浓度变化范围值 3.3~40.8Bq/m³, 子体潜能浓度均值为 15.4~114nJ/m³ 控制。

(3) 地表水、地下水放射性评价标准

① 地表水

由于地表水环境质量标准暂无放射性指标限值, 地表水参照执行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022) 放射性指标限值(总 α ≤0.5Bq/L, 总 β ≤1Bq/L, U 限值为 0.03mg/L, ²²⁶Ra 限值为 1Bq/L)。

② 地下水

根据《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) 表 1 地下水质量常规指标及限值中相关要求:

“III类水质放射性指标总 α ≤0.5Bq/L、总 β ≤1.0Bq/L”。

根据《中国环境天然放射性水平》(原子能出版社, 2023 版), 广西壮族自

治区农村井水中 U 含量为 0.05~0.83 $\mu\text{g/L}$ 、Th 含量为<0.02~0.14 $\mu\text{g/L}$ 、 ^{226}Ra 含量为<1.1~80.3 mBq/L 。

本项目评价地下水总 α 、总 β 放射性活度浓度，以总 $\alpha\leq 0.5\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 1.0\text{Bq/L}$ 为标准，总 U、总 Th、 ^{226}Ra 与对照点及广西壮族自治区农村井水中放射性核素水平比较。

(4) 土壤放射性评价标准

根据《中国环境天然放射性水平》(原子能出版社, 2023版), 防城港市(广西壮族自治区钦州地区)土壤中放射性核素 ^{238}U 含量为 11~151 Bq/kg , ^{232}Th 含量为26.1~182 Bq/kg , ^{226}Ra 含量为 18.9~102 Bq/kg 。

本项目土壤评价时, 与广西防城港市(钦州地区)及对照点土壤中放射性水平进行对比, 查明环境质量是否发生显著变化, 有无异常情况发生。

2.2.2.2 流出物排放标准

(1) 气载流出物控制标准

① 铀、钍排放浓度限值

参照《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011), 具体标准值如下:

现有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/m^3 。

② 厂界环境空气中铀、钍浓度限值

厂界环境空气中铀、钍浓度限值参照执行《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011), 具体标准值如下:

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 mg/m^3 。

(2) 液态流出物控制标准

本项目厂区内有初期雨水池、还原循环水池、选矿循环水池、铁红水池和锆英酸液池, 初期雨水用作还原循环水池的补水, 不外排; 还原循环水池、选矿循环水池、铁红水池和锆英酸液池内循环水均循环使用, 不外排。生活污水排入园区污水处理厂, 故本项目无液态流出物。

2.2.2.3 豁免水平

根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》(GB 27742-2011)

中相关要求：①表 B.1 天然放射性核素免管浓度值中要求：“天然放射性核素免管浓度值为 1Bq/g”；②“6.1 天然放射性核素，6.1.1 在申报免管的活动的正当性得到确认的前提下，凡是涉及物料中天然放射性核素的活度浓度小于或等于表 B.1 所列数值的活动，通常无需进行辐射防护监管。6.1.2 对于物料被掺入其照射因子较大的建材（住宅、办公室等用途）使用的情况，即使当其天然放射性活度浓度小于免管浓度时，仍然需要确保最终产品满足相关标准的要求。6.1.3 当物料中天然放射性核素的活度浓度大于表 B.1 所列数值时，应有审管部门根据剂量评估结果等因素决定，（GB 18871-2002）中规定的相关审管要求中，哪些要求应当得予满足。”

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），涉及锆及氧化锆、铌/钽、锡、铝、铅/铋、铜、铁、钒、钼、镍、锗、钛、金的开采、选矿和冶炼生产的工业活动，原矿、中间产品、尾矿（渣）或者其他残留物中铀（钍）系单个核素含量超过 1Bq/g 的均不能够豁免。

2.3 评价核素

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《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）编制说明和相关标准，结合工程性质、生产工艺与污染物排放特点，确定本项目评价核素如下：

（1）大气环境评价因子：环境 γ 辐射空气吸收剂量率；空气中氡及其子体；空气中 U、Th 浓度、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 、总 α 、总 β 比活度；废气中铀、钍活度浓度。

（2）地表水、地下水评价因子：U、Th 浓度、 ^{226}Ra 、总 α 、总 β 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 比活度。

（3）原料、产品、尾渣等评价因子： ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 放射性活度浓度。

（4）土壤评价因子： ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 放射性活度浓度。

2.4 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 3km，对于矿产品加工业，半径取 0.5km”。本项目属于矿产品加工业，结合该项目非放环评的大气环境影响评价范围，确定本项目辐射环境影响评价范围以厂区中心点为中心，半径为 0.5km 的圆形区域。为进行剂量估算，在评价半径为 0.5km 划分同心圆，再将这些同心圆划分为 22.5°扇形段，以正北 N 向左右各划分 11.25°为起始段，共划分 16 个子区，详见图 2.4-1。

2.5 项目周围敏感点和保护目标

经现场调查，评价范围内全年主导风为北风，项目区及附近无任何一级保护的文物古迹、自然保护区，区域附近无风景名胜區、森林公园、饮用水源地等特殊需要保护的敏感目标。评价范围内辐射环境保护目标情况主要为评价范围内的居民以及本项目的职业人员，详见表 2.5-1。

表 2.5-1 辐射保护目标一览表

环境要素	保护目标	序号	敏感点名称	相对方位	距离 (m)	人数	备注
辐射环境	公众	1	中车	NW	150	120	公众成员 0.3mSv 的 年剂量约束值
		2	沙港	SE	140	70	
		3	广西金源镍业有限公司	S	100	150	
		4	防城港越洋化工有限公司	N	100	70	
		5	广西川金诺化工有限公司	ENE	350	120	

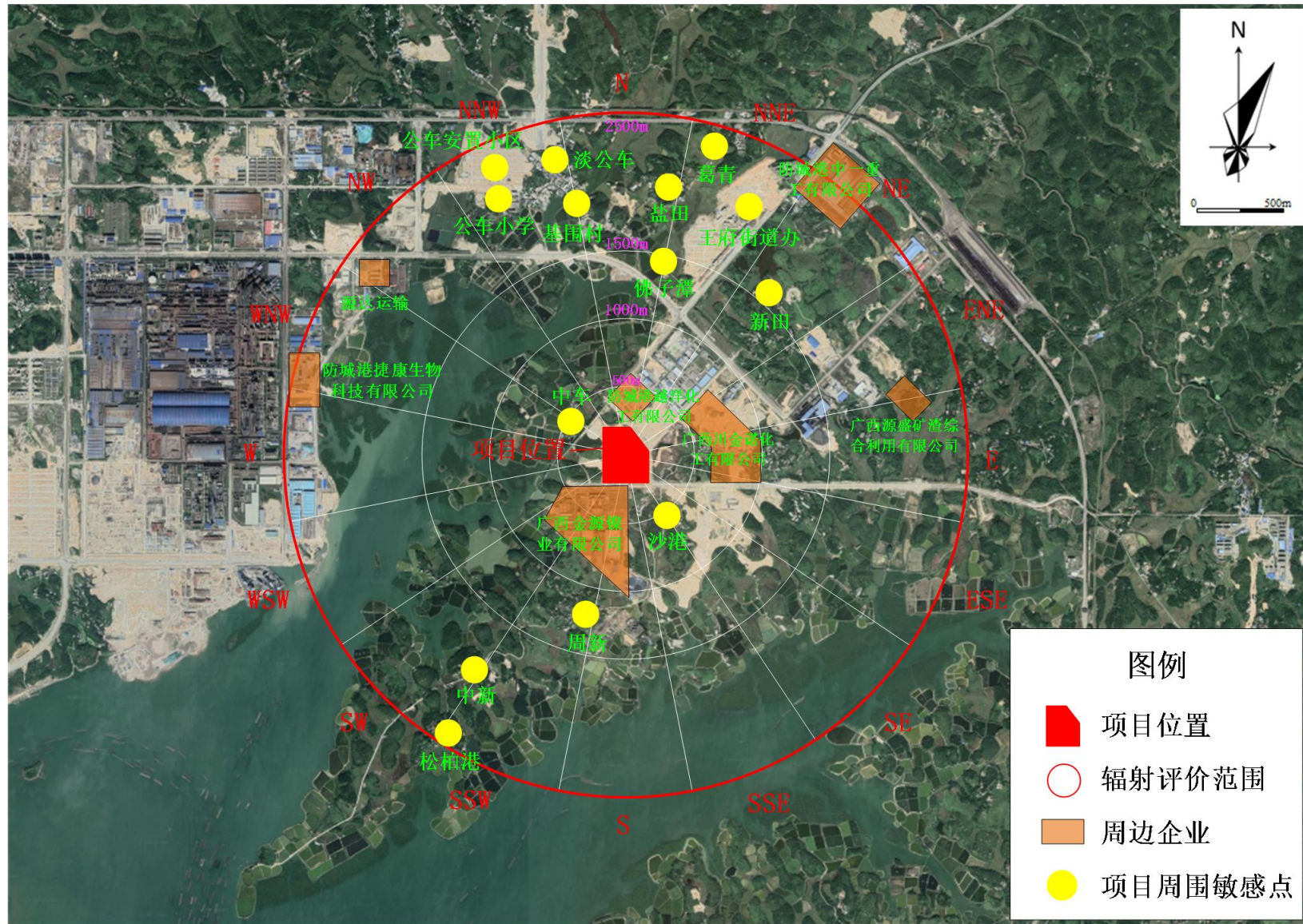


图 2.4-1 本项目评价范围及周围敏感点分布图

第三章 放射性源项分析

3.1 工程概况

3.1.1 项目基本情况

项目名称：年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛项目技改工程。

建设单位：广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司。

建设地点：广西防城港大西南临港工业园 B 区。

项目性质：改建。

专篇的评价内容：

1) 对现有已建成的生产设施的流出物进行放射性检测，对现有厂区周边进行辐射环境监测，分析已建成的生产设施的辐射影响是否满足国家要求。

2) 将现有工程和技改工程作为整体，从整体上预测其辐射环境影响，分析辐射防护措施是否满足要求，并提出辐射管理要求和辐射监测计划。

技改工程的基本情况和建设内容见表 3.1-1 和表 3.1-2 所示。

表 3.1-1 技改工程基本情况

项目名称	年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛项目技改工程
建设单位	广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司
建设性质	改建
建设地点	广西防城港大西南临港工业园 B 区榕木江大街与洲尾路交叉口西 100 米路北
占地面积	110086.0m ²
主要建设内容及规模	利用现有厂区，新增建设锆英酸浸车间及配套设备，对副产品—锆英砂进行技改深加工，提高锆英砂产品品质。
总投资	600 万元，其中环保投资 450 万元，占总投资比例为 75%
劳动定员	现有工程劳动定员 200 人，本次技改工程新增劳动定员 38 人
工作制度	四班三转制，年工作 300 天，每天 24 小时

表 3.1-2 技改工程建设内容

类别	主体生产装置		技改工程实际建设内容
主体工程	选矿车间	湿式磁选区	占地 5451m ² (69×79m)，框架结构，1F，H=9m。布置有钛毛矿的湿式磁选工序，包括高梯度磁选机、振动筛、螺旋溜槽、斜板浓密机等设备
		干选区	占地 4226.5m ² (53.5×79m)，框架结构，1F，H=9m。布置有锆中矿的烘干和后续电选磁选工序，包括烘干筒，强磁选机、电选机和提升机等设备
		金红锆英仓库	占地 7307.5m ² (92.5×79m)，框架结构，1F，H=9m。布置有金红石、锆英砂等产品堆放区域及还原钛铁矿的掺和包装工序，包括还原钛铁矿成品料斗、包装机
	钛矿仓库		占地 9343.35m ² (121.5×76.9m)，钢架结构，1F，H=9m。布置有钛精矿输送系统，包括钛精矿仓、磁选机、提升机等设备
	煤仓库		占地 4806.25m ² (62.5×76.9m)。钢架结构，1F，H=9m
	还原车间		占地 2776.8m ² (106.8×26m)，钢筋混凝土、排架结构，2F，H=20m。布置有还原钛铁矿生产系统及配套环保设施，包括还原回转窑、冷却筒、鼓风机、布袋除尘器、脱硫塔等设备
	磁选车间		占地 676m ² (26×26m)，钢筋混凝土、排架结构，3F，H=24m。布置有还原钛铁矿的筛分、磁选及本次环评新增的矿煤灰分选工序，包括磁选机、圆筒筛、整形机、风选机、提升机等设备
	锈蚀车间		2 个。1#锈蚀车间占地 3055 m ² (不规则)，框架结构，2F，H=20m；2#锈蚀车间占地 3354m ² (129×26m)，框架结构，1F，H=9m，布置有人造金红石的锈蚀、烘干、酸洗等工序，包括锈蚀槽、振动筛、真空带滤机、酸洗槽、酸雾吸收塔等
	锆英砂酸浸车间		占地 1032.5m ² (59×17.5m)，钢架结构，1F，H=9m。布置有锆英砂的酸洗工序，包括酸洗槽、振动筛、真空带滤机等
	余热发电区		取消，不再建设
	活性炭车间		占地 3311m ² (43×77m)，钢架结构，1F，H=9m。布置有粉状煤质活性炭研磨、包装生产线
	人造金红石仓库		占地 3364.9m ² (43.7×77m)，钢架结构，1F，H=9m
	铁红车间		占地 4388.07m ² (不规则)，钢架结构，1F，H=9m
储运工程	综合产品仓库		取消，不再建设
	临时堆场		取消，不再建设
	盐酸罐区		占地 200m ² (20×10m)，砖混结构，布置 2 个 330m ³ 盐酸储罐
辅助工程	氧气中转站		占地 256m ² (16×16m)，配 2 个 50m ³ 液氧罐及配套系统
	配电房		占地 385m ² (22×17.5m)，框架结构，2F，H=11m
	操作室		占地 350m ² (20×17.5m)，框架结构，2F，H=12m
	风机房		2 个。1#风机房占地 280m ² (16×17.5m)，框架结构，1F，H=6m。2#风机房占地 648m ² (36×18m)。钢架结构，1F，H=6m
	办公楼		1 栋，占地 768m ² (48×16m)。框架结构，4F，H=16.2m
	综合楼		1 栋，占地 714m ² (42×17m)。框架结构，6F，H=19.5m
	员工之家		占地 272m ² (16×17m)，框架结构，5F，H=16.2m
公用工程	给水		自来水，来自园区供水管网
	排水		厂区初期雨水收集进入初期雨水池经三级沉淀池沉淀后用于生产；生活污水经三级化粪池处理后排入园区污水处理厂
	供电		由园区供电管网供电

类别	主体生产装置	技改工程实际建设内容
	消防水	1 个选矿回水池 3480m ³ 及 1 个容积 13400m ³ 的集水池，总容积 16880m ³ ，可作为消防用水储存池。
环保工程	酸雾处理	锈蚀槽产生的锈蚀废气分别经 4 套“1 级水喷淋+1 级碱喷淋”净化后，由 1 根高 35m 排气筒（DA003）和 1 根 25m 排气筒（DA018）排放。
	布袋除尘	钛中矿烘干废气经旋风除尘器+布袋除尘器净化后，由高 20m 排气筒排放（DA001）；钛中矿磁选废气和钛精矿矿仓废气共用一个布袋除尘器，净化后由高 20m 排气筒排放（DA002）；锆中矿烘干废气和锆英砂干选废气经旋风除尘器+布袋除尘器净化后，由高 15m 排气筒排放（DA017）；煤仓废气经布袋除尘器净化后，由高 20m 排气筒排放（DA009）；1#、2#还原回转窑窑尾罩废气经换热器后，共用一个布袋除尘器，净化后经高 21m 排气筒排放（DA015）；窑头罩废气经换热器后，共用一个布袋除尘器，净化后经高 27m 排气筒排放（DA016）；1#还原钛铁矿磁选废气经布袋除尘器净化后，由高 24m 排气筒排放（DA011）；2#还原钛铁矿磁选废气经布袋除尘器净化后，由高 25m 排气筒排放（DA005）还原钛铁矿包装废气经布袋除尘器净化后，由高 15m 排气筒排放（DA006）；人造金红石烘干废气经旋风除尘器+文丘里除尘器净化后，由高 20m 排气筒排放（DA012）；1#人造金红石包装废气（包装机）经布袋除尘器净化后，由高 20m 排气筒排放（DA013），2#人造金红石包装废气（装卸）经布袋除尘器净化后，由高 15m 排气筒排放（DA007）；锆英砂烘干废气、包装废气经旋风除尘器+布袋除尘器净化后，由高 15m 排气筒排放（DA008）；1~3#粉煤灰研磨废气分别经布袋除尘器净化后，由高 18m 排气筒排放（DA004、DA014、DA019）。
	回转窑烟气脱硫	2 台回转窑配套 2 台电脉冲布袋除尘器，共用 1 套脱硫系统和 1 根 34m 烟囱（DA010）。
	初期雨水池	原总容积为 13000m ³ 的 2 个锈蚀循环水池改造：1 个初期雨水收集池，容积约 2236 m ³ 。
	洗涤三级沉淀池	无
	还原工艺水池	原总容积为 13000m ³ 的 2 个锈蚀循环水池改造：1#还原工艺水池 2764m ³ ，2#还原工艺水池 2380 m ³
	锈蚀工艺水池	原容积为 2740 m ³ 应急池改造：1 个锈蚀工艺水池，容积为 1080m ³
	铁红池	原容积为 2695m ³ 洗涤废水三级沉淀池改造：1#铁红池 624m ³ 、2#铁红池 650m ³ 、3#铁红池 1000m ³
	回收液池	1 个回收液池，容积 1248m ³
	选矿废水三级沉淀池	1 个选矿回水池，容积 3480m ³ （室内）
	选矿循环水池	1 个集水池，容积 13400m ³
	化粪池	新增 1 个 2#化粪池，容积 30m ³
	事故应急池	原容积为 3382.5m ³ 初期雨水池改造：1 个 2144m ³ 1#事故应急池，且新增 1 个 484m ³ 2#事故应急池， <u>同时消防水池也可以作为事故应急池。</u>
	固废	一般工业固体废物
		1 个一般固废暂存库，占地 7.2m×4m；尾砂暂存池 1 个（400m ³ ）

类别	主体生产装置		技改工程实际建设内容
	处置措施	危险固体废物	危废暂存库 <u>(主要存放废油桶)</u> ，占地 7.2m×3m
	辐射物料存放措施	放射性物料	导磁锆英存放点，占地 17m×7.3m 还原弱磁矿存放点，占地 12.1m×12.3m

3.1.2 放射性污染建设子项

本项目建设包括选矿工序、还原工序、锈蚀工序、酸浸提品工序、活性炭工
序共 5 个主要部分。项目总工艺流程图见图 3.1-1。

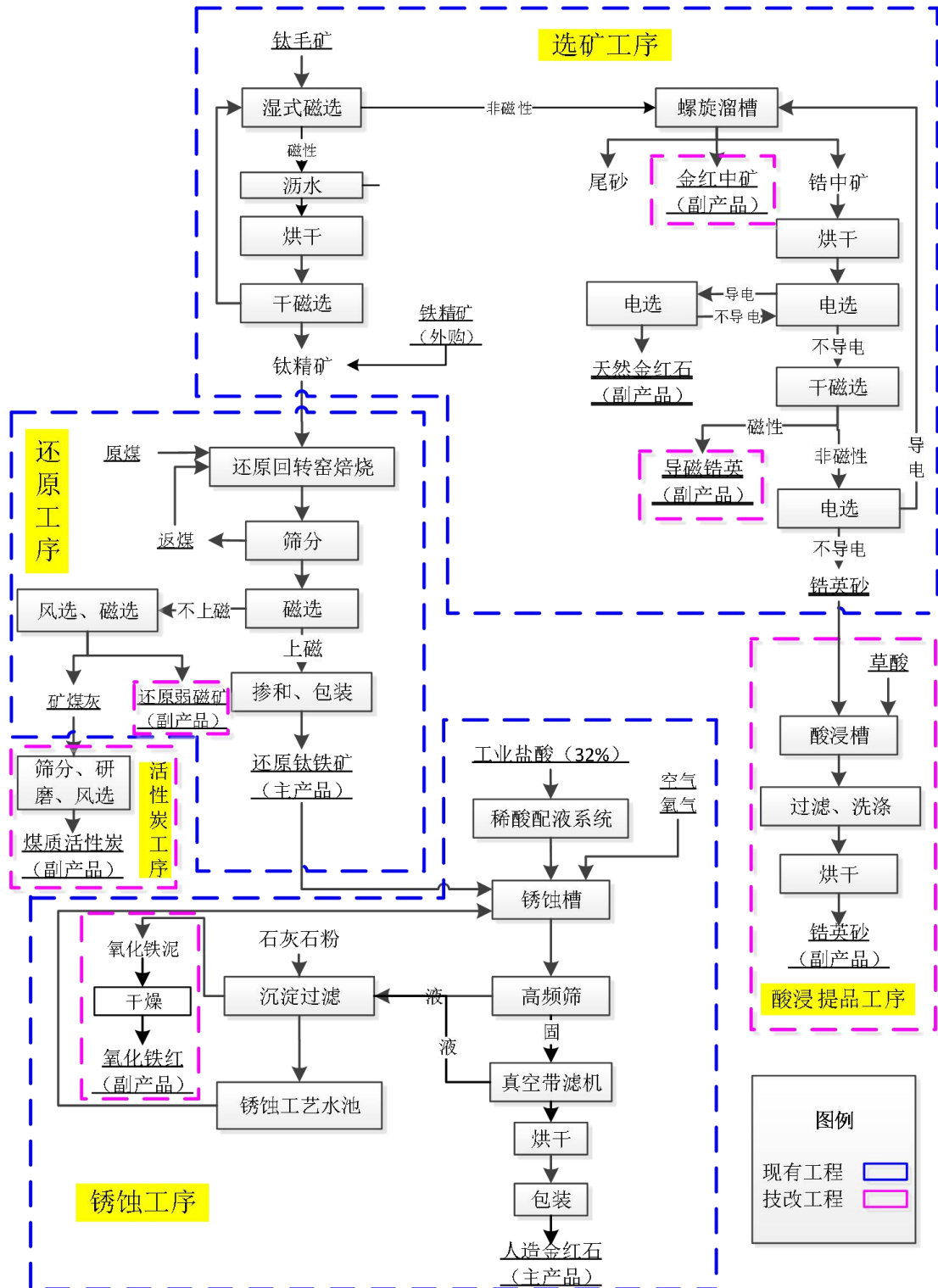


图 3.1-1 项目总工艺流程

3.1.2.1 选矿生产工艺

选矿工艺流程简述：主要利用钛精矿、锆英砂、金红石的物理性质不同（主要是导电性及磁性）而进行选分，钛铁矿是导电性和有磁性，锆英砂是非导电性和无磁性，金红石是导电性和无磁性。选矿工艺流程包括：粗选、螺旋溜槽重力分选、烘干、电选、干磁选等工序。

（1）粗选

本项目毛矿含铁量为 7.55% 左右，采用湿式磁选机进行粗选，将湿钛精矿磁选出来，产生的不上磁的钛矿砂抽送至湿式弱磁矿磁选进行下一步分选。

粗选过程中，选矿水经沉淀后循环使用不外排，无液态流出物。可能的伴生放射性污染有：①钛毛矿的伴生放射性核素外照射；②伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射。

（2）螺旋溜槽重力分选

湿式弱磁矿磁选后，再进入螺旋溜槽将不上磁的矿浆进行重力分选。将矿砂与水一起送入螺旋溜槽内进行分选，借助于固体粒大小不同，比重不同，因而在液体中的沉降速度不同的原理，矿砂中的沙砾浮游在水中成溢流出，粗矿粒沉于槽底，由螺旋推向上部排出。从而实现矿砂分离。尾砂随尾水流入尾砂沉淀池，经三级沉淀后上清液回用于选矿工艺。螺旋溜槽重选出来的可分选出锆英、金红石中矿和尾矿砂，中矿经烘干后进入选矿车间进行选别。

螺旋溜槽分选过程中，选矿废水流入选矿水池，经沉淀后回用，不外排，无液态流出物。故本过程中无伴生放射性污染。

（3）烘干

使用烘干筒对湿钛中矿、锆英、金红石中矿进行烘干，烘干后含水率约为 0.5%，烘干筒燃料为天然气，天然气消耗量约为 4.0m³/t（矿）。天然气由园区配套泵站经管道供给，供给压力 0.2~0.4MPa。项目区内不设天然气储罐或调压站。天然气直接经管道接入烘干机燃烧室，燃烧室由配套鼓风机提供助燃空气。天然气在燃烧室燃烧后的烟气温度为 500℃，在除尘风机的作用下进入烘干机筒体。烘干完成的物料含水降至约 0.5%，进入出料端的收料箱，并由收料箱底部

出料口排至下一工序。

烘干过程中，可能的伴生放射性污染有：烘干过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

（4）电选

金红石为导体，锆英砂为非导体，项目电选分为金红石电选和锆英砂电选。主要用到的设备为 $\phi 165 \times 1500$ 双辊低、高压电选机和弧板式电选机。

当矿砂经过磁选机后进入电选机，通过给矿槽加料到转动中的辊筒（接地极）表面，随着辊筒旋转而进入电晕区（分选锆英砂和金红石时，电选机的辊筒转速分别调整为 300~500 转/分，250~300 转/分），电晕电流使所有的矿粒（导体和非导体）均得到负电荷。导体矿粒由于与辊筒之间的接触电阻小，其电荷经辊筒很快地传走，在机械力的作用下，抛离辊筒，进入尾矿斗中（导电矿粒），非导电矿粒与辊筒之间接触电阻大，不易将电荷传走，由于电场力的作用吸附在辊筒表面，随着辊筒的转动带到辊筒后部，被卸毛刷刷下，收集到精矿斗中（非导电矿粒）。半导体矿粒或未能充分放电的导体矿粒落入中矿斗中（半导体矿粒）。

经电选机分选出的矿砂进入弧板式电选机进行进一步精选。弧板式电选机采用双排四层结构，每层都有接地弧形溜板（无锈钢制），其上部安装一弧状带高压静电板（铝板制），此电极板固定不动（但可调），在接通高压静电后，矿物经下矿板溜至接地弧板进入高压电场区，导电矿物被感应而带电，吸向电极，但由于受到重力作用，故它的运动轨迹不同于非导体矿而从前方排出，非导体矿也受到电场作用，但不会被吸引而进入下层再分选，复选三次直至矿产品合格。尾矿则经收集后销售给粤桥矿业。

电选过程中，可能的伴生放射性污染有：①产品中伴生放射性核素外照射；②产品中伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射；③电选过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

（5）干磁选

电选后的钛中矿送入辊式弱磁选机进行磁选，对不上磁的矿砂进行剔除。不上磁的矿砂送入电选工序。

项目选矿工艺主要为利用钛精矿、锆英砂、金红石的物理性质不同（主要是导电性及磁性）而进行选分，钛铁矿是导电性和有磁性，锆英砂是非导电性和无

磁性，金红石是导电性和无磁性。

干磁选过程中，可能的伴生放射性污染有：①伴生放射性核素外照射；②伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射；③干磁选过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

选矿生产工艺流程及天然放射性产污节点见图 3.1-2

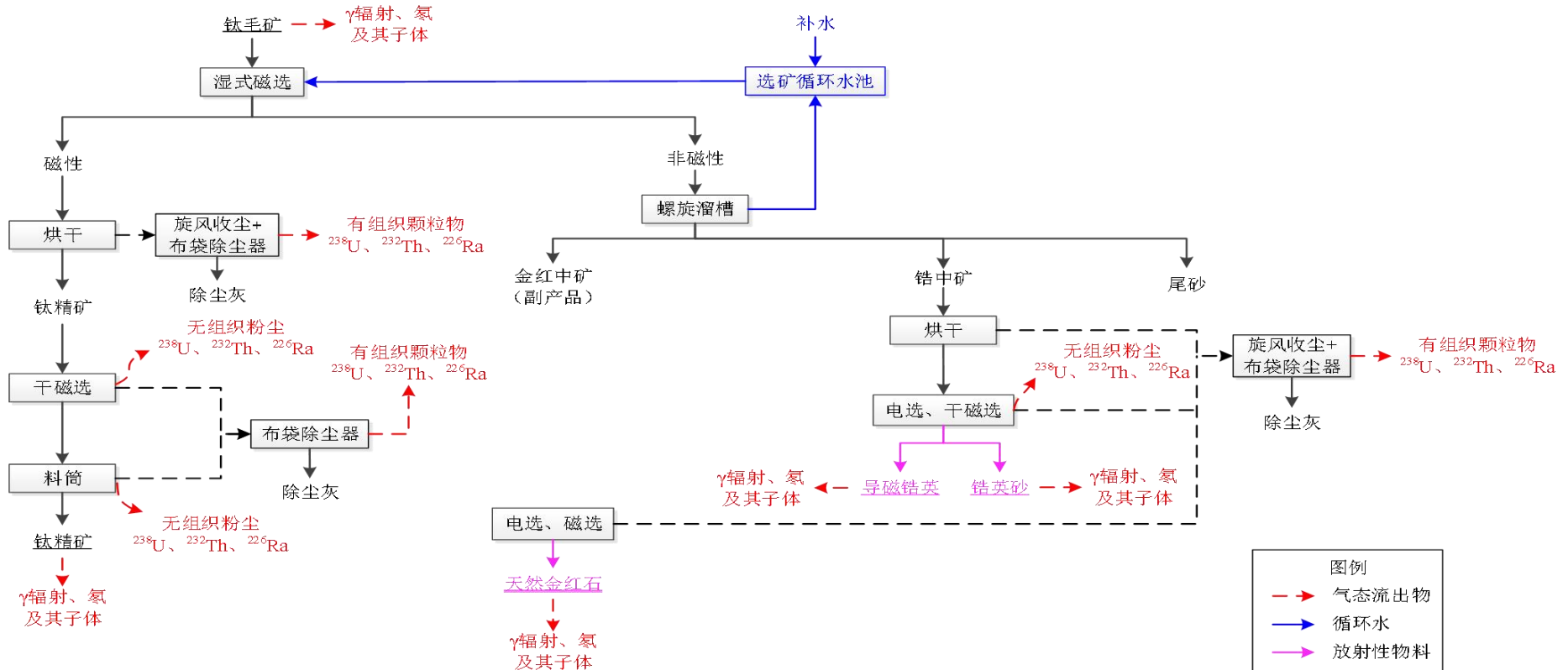


图 3.1-2 选矿生产工艺流程图及天然放射性产污节点图

3.1.2.2 还原钛铁矿生产工艺

还原钛铁矿生产工艺流程中，可能涉及伴生放射性污染的建设子项有：

(1) 配料

钛精矿为砂矿，备料不需要破碎，可直接使用。原煤经破碎到 12mm 左右后筛分，<8mm 作为窑头喷煤，8~12mm 作为窑尾覆盖煤。为减少二氧化硫的排放，类比现有项目所采用的脱硫工艺，本项目在配料时加入石灰石粉作为脱硫剂，石灰石添加量约为煤的 2.0%。钛铁矿、覆盖煤及石灰石粉均用提升机提升至矿仓、煤仓或石灰石仓内，仓底安装有螺旋给料器，通过调节螺旋给料器转速调节煤矿配比。覆盖煤与钛精矿的配比一般为 3：10。

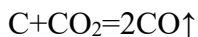
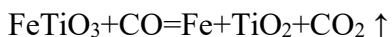
配料过程中，可能的伴生放射性污染有：①钛精矿的伴生放射性核素外照射；②伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射；③配料过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

(2) 焙烧还原

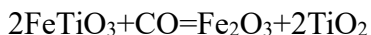
钛精矿主要成分是 $\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 或 FeO ，在高温（600~700℃）条件下， Fe_2O_3 及 FeO 与煤产生的 CO 发生还原反应， Fe_2O_3 及 FeO 变成 Fe，钛铁矿变成还原钛铁矿。

窑头喷煤与从窑身上分布的风管喷入的空气接触发生氧化燃烧产生热量使窑温上升到 600~700℃，覆盖在矿层上面的煤颗粒发生不完全燃烧，产生 CO，CO 与 Fe_2O_3 及 FeO 发生反应使钛铁矿变成还原钛铁矿。

主要反应：



次要反应：



FeO 是产品还原钛铁矿需要控制的成分，一般要求 <12%，本项目控制在 10%。

还原窑采用的是连续进料，钛铁矿和大颗粒煤均从窑尾加入，小颗粒煤及煤粉从窑头加入，还原后的物料从窑头下料管进入冷却窑。

石灰石在高温时分解： $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$ ；

生成氧化钙吸收硫燃烧生成的 CaSO_3 ： $\text{CaO} + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3$ 。

焙烧还原过程中，可能的伴生放射性污染有：焙烧还原过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

（3）密闭冷却

经还原后的物料从回转窑窑头进入冷却窑窑头，冷却窑两头密封防止空气进入使物料再氧化冷却窑筒体外壁喷冷却水强制冷却。经过冷却筒出来的物料被冷却到 60°C 以下，进入除碳工序。冷却水池设置在冷却筒底部，通过环绕车间的水沟冷却后再循环利用。

密闭冷却过程中，无废气排放口，冷却窑筒体外壁喷循环冷却水，冷却水不与物料接触，故本过程中无伴生放射性污染。

（4）筛分

经冷却筒冷却后的还原钛铁矿与未完全燃烧的煤颗粒混合料利用斗式提升机送至滚筒筛将未完全燃烧的粗颗粒煤筛出，粗颗粒煤返回循环使用。

筛分过程中，可能的伴生放射性污染有：筛分过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

（5）磁选

利用滚筒式磁选机将滚筒筛筛下料进行磁选分离，将上磁的还原钛铁矿与不上磁小颗粒煤筛分开，还原钛铁矿可直接作为一种产品或送入储料仓作为锈蚀法人造金红石生产原料。物料重复筛分、磁选步骤后，再进入储料仓。

磁选过程中，可能的伴生放射性污染有：磁选过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

（6）掺和

为控制产品粒度并保证其成分均匀，最后要将不同粒径的进行掺和。

掺和过程中，可能的伴生放射性污染有：①伴生放射性核素外照射；②伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射；③掺和过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

还原钛铁矿生产工艺流程及天然放射性产污节点见图 3.1-3。

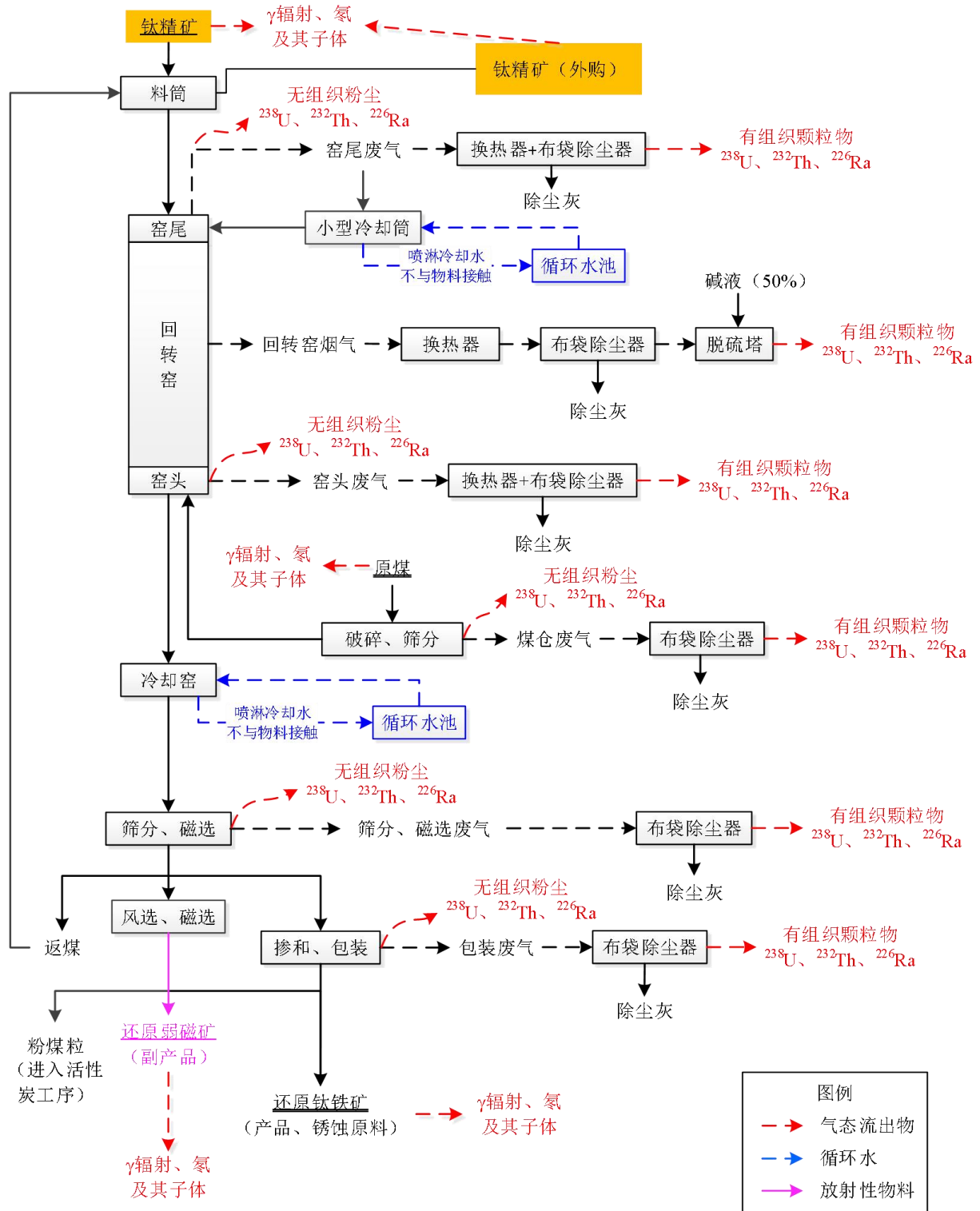


图 3.1-3 还原钛铁矿生产工艺流程图及天然放射性产污节点图

3.1.2.3 人造金红石工艺流程

(1) 电化学锈蚀

将还原钛铁矿及锈蚀液加入搅拌锈蚀槽内，同时利用罗茨风机鼓入高压空气，使还原钛铁矿在弱酸性及有氧条件下产生电化学锈蚀反应，将还原钛铁矿中金属

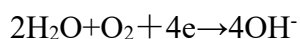
铁变成水合氧化铁，从而提高二氧化钛含量，即获得人造金红石。

锈蚀液一般含 1~1.5% 左右氯离子，由锈蚀液及酸浸液后洗涤前期的氯离子浓度相对较高的洗涤水及浓盐酸配置而成，通过回收利用洗涤水可大大减少盐酸的使用量，既节约了成本，又可避免对环境产生污染。

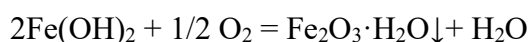
锈蚀过程是一个电化学腐蚀过程，是在含 1~1.5% 左右氯离子溶液的电解质溶液中进行。锈蚀是放热反应，温度可升高到 80℃。还原钛铁矿颗粒内的金属铁微晶相当于原电池的阳极，颗粒外表相当于阴极。在阳极，Fe 失去电子变成 Fe^{2+} 离子进入溶液：



在阴极区，溶液中的氧接受电子生成 OH^- 离子：



颗粒内溶解下来的及锈蚀液内带入的 Fe^{2+} 离子，沿着微孔扩散到颗粒外表面的电解质溶液中，同时通入空气使之进一步氧化生成水合氧化铁细粒沉淀：



根据业主提供的资料显示，锈蚀过程铁的浸出率约为 98%。

电化学锈蚀过程中，可能的伴生放射性污染有：电化学锈蚀过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

（2）旋流分离

电化学锈蚀过程所生成的水合氧化铁粒子粒径特别小，一般只有几个到十几个微米。根据它与还原钛矿（粒径较大）的物性差别，先利用旋流器将人造金红石与水合氧化铁泥浆分离，再经过高频筛分离，分离后钛铁矿表面附着的水合氧化铁及氯离子，需要进行洗涤，前期洗涤液由于含氯离子浓度较高，回收用于配制盐酸溶液。后期洗涤水经三级沉淀处理后回用于洗涤工序循环使用，也可经中和后作为密闭冷却工序冷却水的补充水。

沉积物主要为氧化铁泥，收集后用于生产氧化铁红。

旋流分离过程中，洗涤液返回锈蚀工艺水池，循环使用不外排，故本过程中无伴生放射性污染。

（3）真空带虑

用真空带虑机将水合氧化铁泥浆进行过滤，得到的氧化铁泥用于制造氧化铁

红。锈蚀液返回原有工序再利用。

真空带虑过程中，循环使用不外排，无伴生放射性核素排放，故该过程无伴生放射性污染。

（4）烘干

洗涤、压滤后人造金红石含水率约为 6~8%，采用烘干筒进行干燥至含水率约为 0.5%，干燥加热燃料采用天然气。天然气消耗量约为 4m³/t（人造金红石）。

烘干过程中，可能的伴生放射性污染有：烘干过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

（5）包装

干燥后的人造金红石的半成品经检验合格、掺和均匀后包装入库即为锈蚀法人造金红石成品。

包装过程中，可能的伴生放射性污染有：①人造金红石中伴生放射性核素外照射；②伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射；③包装过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

人造金红石生产工艺流程及天然放射性产污节点见图 3.1-4。

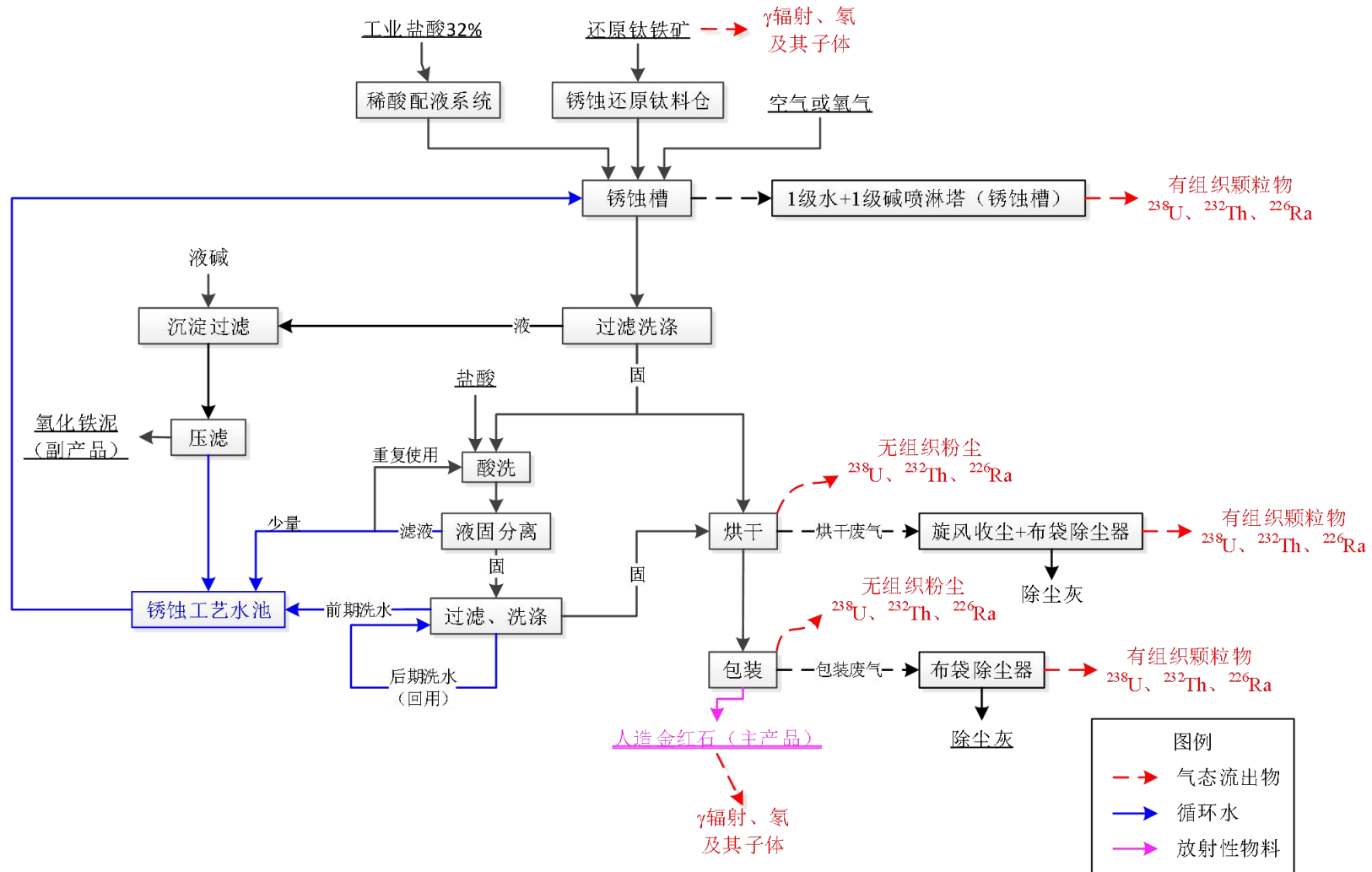


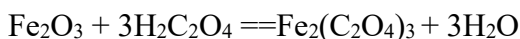
图 3.1-4 人造金红石生产工艺流程图及天然放射性产污节点图

3.1.2.4 锆英砂提品工艺流程

锆英砂提品主要是通过酸浸去除锆英砂中的三氧化二铁，以提高锆英砂的品质。

(1) 锆英砂酸洗

当选矿工序产出锆英砂含铁较高时，需要进行酸洗提品，去除锆英砂中的三氧化二铁，以提高锆英砂的品质。酸洗采用草酸除铁，反应浓度为 4%~7%，反应温度控制在 65℃，反应时间约 3 小时，反应液固比 1.2:1，通过搅拌加快反应。草酸与三氧化二铁反应，生成可溶的络合物 $[\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ ，最终通过水洗将其清洗干净，主要反应如下：



酸浸过程中，可能的伴生放射性污染有：酸浸过程中随着废气颗粒物排放到空气中的天然放射性核素，外照射及吸入内照射。

(2) 过滤、洗涤

酸洗后的锆英砂采用带式过滤机进行过滤、洗涤，滤液收集后大部分重复酸洗。前期洗涤水浓度高，可回用于酸洗液配置，后期洗涤水重复洗涤使用。

过滤、洗涤过程中，滤液大部分返回酸浸槽循环使用，少量回用于锈蚀工序，不外排，故该过程天然生放射性污染。

(3) 烘干

洗涤后锆英砂含水率约为 3~5%，采用烘干筒干燥至含水率约为 0.5%，干燥加热燃料为天然气，消耗量约为 3m³/t。烘干废气采用旋风收尘器+布袋除尘器净化后，经 1 根 15m 高排气筒（DA008）排放。

烘干过程中，可能的伴生放射性污染有：烘干过程中随着废气颗粒物排放到空气中的天然放射性核素衰变产生的氡及其子体，外照射及吸入内照射。

(4) 包装

干燥后的锆英砂包装即为高品质锆英砂产品。包装过程设有集气罩，负压收集的含尘废气经布袋除尘器净化，再与锆英砂烘干废气共用 1 根 15m 高排气筒（DA008）排放。

包装过程中，可能的伴生放射性污染有：①锆英砂中伴生放射性核素外照射；②伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射；③包装过程中随着废气

颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

锆英砂提品生产工艺流程及天然放射性产污节点见图 3.1-5。

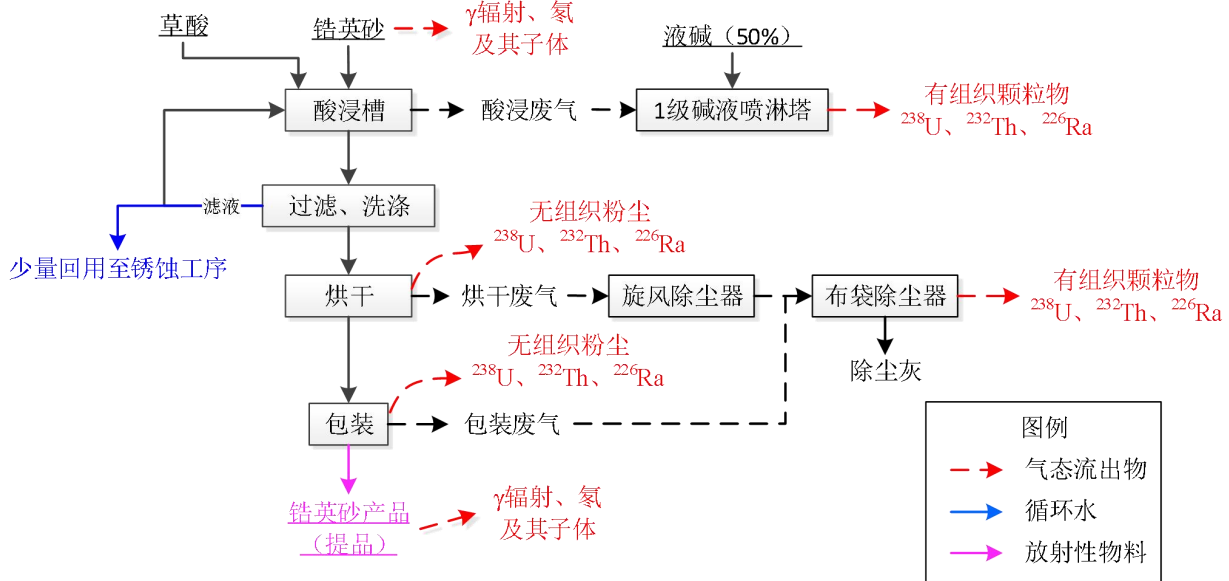


图 3.1-5 锆英砂提品生产工艺流程图及天然放射性产污节点图

3.1.2.5 煤质活性炭生产工艺流程

还原回转窑磁选得到的矿煤灰用气力输送至活性炭车间，采用立式磨机磨成粉状煤质活性炭，磨碎后的煤质活性炭需过 200 目筛，粒径过大的炭粒返回磨机磨碎，合格炭粒包装后即成为煤质活性炭。

研磨、包装等各产尘点均设有集气罩，负压收集的含尘废气采用 3 套布袋除尘器净化后，分别经 1 根 18m 高排气筒（DA004）、1 根 18m 高排气筒（DA014）、1 根 18m 高排气筒（DA019）排放。

煤质活性炭生产过程中，可能的伴生放射性污染有：①煤质活性炭中伴生放射性核素外照射；②伴生放射性核素衰变产生的氡及其子体，吸入内照射；③磨碎、包装过程中随着废气颗粒物排放到空气中的伴生放射性核素，外照射及吸入内照射。

煤质活性炭生产工艺流程及天然放射性产污节点见图 3.1-6。

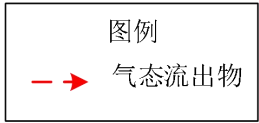


图 3.1-6 煤质活性炭生产工艺流程图及天然放射性产污节点图

3.1.3 放射性污染源分布情况

技改工程依托现有工程的建设内容，无新建构筑物，其中弱磁矿暂存库和危废暂存库均利用现有构筑物改造。技改工程总平面布置图及污染源分布见图 3.1-7。

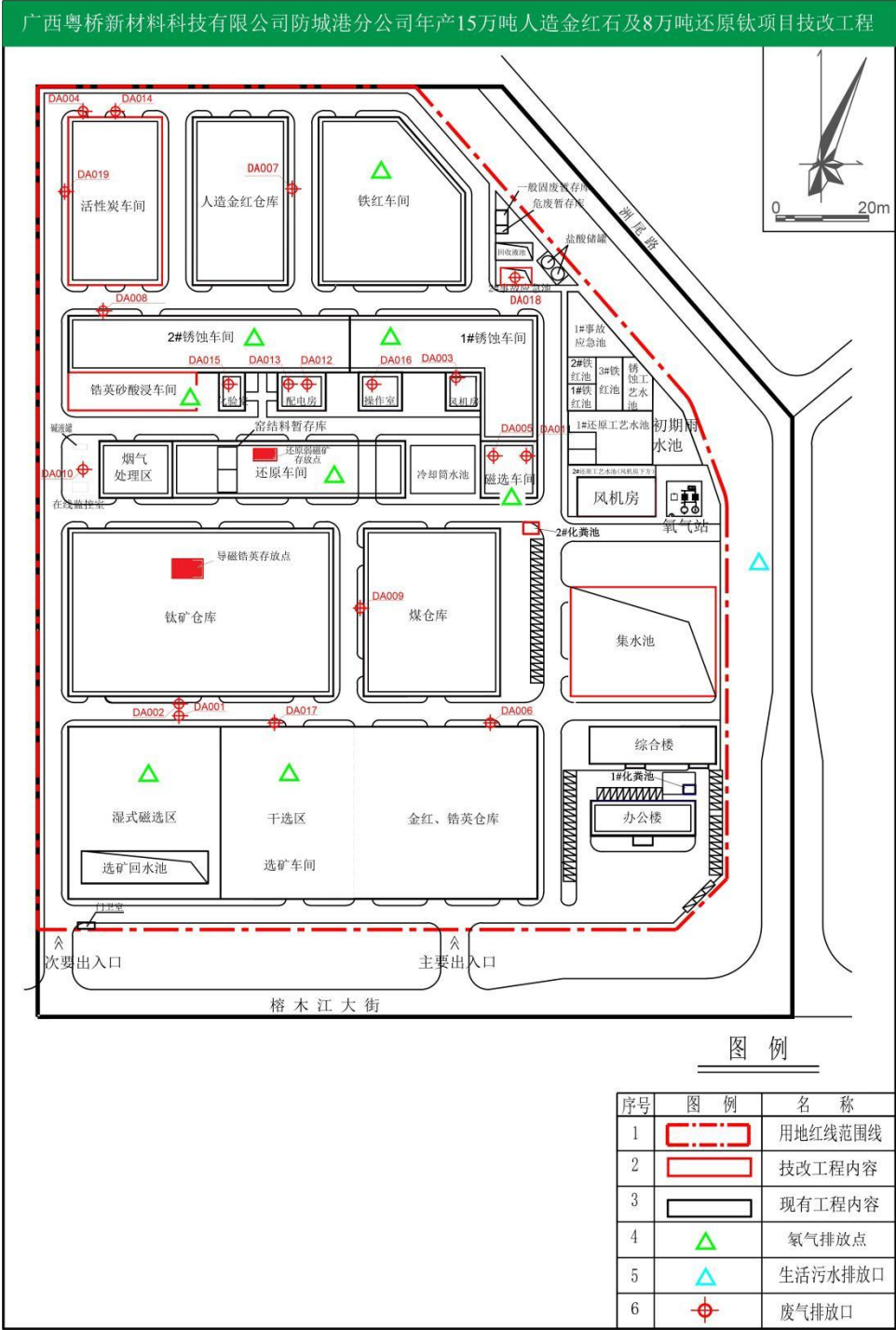


图 3.1-7 项目总平面图布置图及污染源分布

3.1.4 放射性核素走向

3.1.4.1 原料及产品组成

本项目原辅料消耗及产品、尾渣产出情况见表 3.1-3。

表 3.1-3 原料消耗及产品、尾渣产出情况一览表

物料	名称	重量（万 t/a）
原辅料	钛毛矿（干基）	30.00
	钛精矿	19.60
	烟煤	13.00
产品、尾渣	金红中矿	3.90
	还原钛铁矿	8.00
	锆英砂（提品）	5.00
	导磁锆英	0.10
	天然金红石	0.88
	人造金红石	15.00
	氧化铁红	7.61
	煤质活性炭	2.83
	尾砂	2.10
	还原弱磁矿	0.40

注：表格仅列出原料、产品、尾渣数量，未列出烟气、水份等数量。

3.1.4.2 现有项目生产物料的放射性检测结果

本项目分三次对厂区现有的原料、产品、尾渣的伴生放射性核素活度浓度进行检测分析，检测报告见附件 4-1、附件 5-1 附件 5-2，分析结果见表 3.1-4。

表 3.1-4 生产物料伴生放射性检测结果

略

由表 3.1-4 可知, 本项目锆英砂中 ^{226}Ra , 弱磁矿中的 ^{232}Th , 钛毛矿中的 ^{226}Ra 和 ^{232}Th , 导磁锆英中的 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{210}Po 和 ^{238}U 活度浓度超过免管限值 1Bq/g, 需编制辐射环境影响评价专篇。

由于本项目尚未正常稳定运行, 原料、产品、尾渣等场址内仅有部分, 已有原料、产品、尾渣已取样检测, 选矿工艺流程的原料、产品、尾渣的伴生放射性核素比活度与其他同类型选矿工艺项目进行类比, 还原钛铁矿工艺流程的原料、产品、尾渣的伴生放射性核素比活度类比《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》的检测结果, 其它流程的产品、尾渣、废水已取样检测。

本项目前段选矿工艺与广西广保矿业有限公司、广西源丰达科技资源科技有限公司的生产工艺相同, 故本辐射专篇选矿工艺原料、产品及尾砂伴生放射性核素比活度类比其分析结果, 类比分析可行性见表 3.1-5, 类比分析结果见表 3.1-6。

表 3.1-5 选矿工艺物料中伴生放射性核素类比分析可行性

类比项目	广西广保	广西源丰达	本项目选矿
项目类型	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	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	从事钛毛矿的选矿生产, 年处理钛毛矿 30 万吨, 产品主要为钛铁精矿、锆英砂、金红石
原料来源	东南亚	东南亚	东南亚、非洲、澳大利亚
生产工艺	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	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	根据铁含量选择干选、湿选, 采用磁选、电选、螺旋溜槽重力选工艺

由表 3.1-5 可知, 本项目选矿工艺流程的原料来源及生产工艺与类比项目相似, 具有可类比性。

表 3.1-6 物料中伴生放射性核素比活度分析结果

物料	类比企业	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra
钛毛矿 (原料)	广西广保	868	694	975
	广西源丰达	768.4	1162.9	668.2
	平均值	818.2	928.5	821.6
钛毛矿	本项目	475	2409	1224
钛铁精矿 (产品)	广西广保	142.7	346.7	304.0

物料	类比企业	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra
	广西源丰达	172.2	725.2	141.6
	平均值	157.45	535.95	222.8
钛铁精矿	本项目	71.1~79.5	625	178
锆英砂（产品）	广西广保	7418.2	1168.2	7229.0
	广西源丰达	7267.8	1600.6	6811.8
	平均值	7343	1384.4	7020.4
锆英砂	本项目	341~453	607~620	2484~2866
金红石（产品）	广西广保	1243.0	1785.7	1390.9
	广西源丰达	3909.0	1514.6	2840.0
	平均值	2576	1650.15	2115.45
天然金红石	本项目	388	769	980
尾砂	广西广保	29.3	47.1	22.6
	广西源丰达	68.6	101.1	78.3
	平均值	48.95	74.1	50.45
尾砂	本项目	65.4	92.1	54.9
注：1、通过类比数据，并结合本辐射专篇取样分析结果，取类比数据平均值（根据本辐射专篇取样分析结果适当调整）进行核素平衡计算； 2、偏安全考虑，取类比数据最大值进行辐射环境影响分析。				

本项目还原钛铁矿工艺流程与《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》相同，故本项目还原钛铁矿工艺流程中原料、产品、尾渣中伴生放射性核素比活度类比其分析结果，类比分析可行性见表 3.1-7，类比分析结果见表 3.1-8。

表 3.1-7 还原钛铁矿工艺物料中伴生放射性核素类比分析可行性

类比项目	广西粤桥年产 6 万吨还原钛铁矿项目	本项目还原钛铁矿工艺
项目类型	从事还原钛铁矿生产，还原钛铁矿年产量 6 万吨	从事还原钛铁矿生产，还原钛铁矿年产量 30.7 万吨，8 万吨作为产品外售，剩余 22.7 万吨作为原料进入人造金红石生产工艺流程。
原料来源	东南亚、非洲、澳洲	本项目选矿钛精矿产品、东南亚、非洲、澳洲
生产工艺	通过钛精矿和煤在回转窑中混合，利用煤将钛精矿还原，并通过筛分、磁选得到还原钛铁矿	通过钛精矿和煤在回转窑中混合，利用煤将钛精矿还原，并通过筛分、磁选得到还原钛铁矿
主要设备	回转窑	回转窑
生产规模	6 万吨	8 万吨

由表 3.1-7 可知，本项目原料为钛毛矿经过选矿工艺生产出钛精矿，同时加入部分外购钛精矿作为原料进入还原工序，《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》项目直接使用外购钛精矿作为原料进入还原工序，两个项目在还原工序生产工艺完全相同，仅年产量不同，伴生放射性核素由原料进入产品、尾渣中的比例相同，外排伴生放射性核素通过外排颗粒物的量进行等比例放大，故本项目还原钛铁矿生产工艺流程与类比项目具有可类比性。

《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》的原料、产品、尾渣的伴生放射性核素比活度检测结果见表 3.1-8，检测报告见附件 5-3。

**表 3.1-8 《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》
生产物料伴生放射性检测结果**

略

副产品分选后的粉煤灰、弱磁矿、还原钛铁矿三种物料，分析检测报告详见附件 5-3，检测结果见表 3.1-9。

**表 3.1-9 《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》
煤灰渣分选后物料伴生放射性核素比活度检测结果**

略

注： ^{232}Th 的分析结果是通过测量其衰变子体 ^{228}Ac 而得出。

结合本辐射专篇对原料、产品、尾渣中伴生放射性核素比活度检测结果，本次评价原料、产品、尾渣中伴生放射性核素比活度取值见表 3.1-10。

表 3.1-10 本项目原料、产品、尾渣中伴生放射性核素比活度取值

物料名称	放射性核素比活度 (Bq/kg)					备注
	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{210}Po	^{210}Pb	
钛毛矿	275	694	821.6	/	/	按类比数据取值
钛精矿（外购）	75.3	708	200	48.6	62	两种来源取平均
烟煤	6.43	4.25	5.16	/	/	按类比数据取值
还原钛铁矿	<23.3	361	104	2.70	<26.9	实测数据
锆英砂	453	620	2480	/	/	实测数据

物料名称	放射性核素比活度 (Bq/kg)					备注
	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb	
导磁锆英	1629	34122	5550	2255	579	实测数据
天然金红石	388	769	980	/	/	实测数据
人造金红石	73.8	473	172	4.28	<10.0	实测数据
氧化铁红	<12.5	339	91.7	2.20	<32.8	实测数据
煤质活性炭	40.7	47.6	38.8	/	24.3	按类比数据取值
尾砂	65.4	92.1	54.9	8.12	55.9	实测数据
金红中矿	416	507	731	134	281	实测数据
还原弱磁矿	337	2600	673	/	/	实测数据
注：与类比数据比较，钛毛矿本次监测数据偏大，按类比数据适当取值。						

3.1.5 物料平衡

3.1.5.1 物料平衡

技改项目物料平衡表见表 3.1-11，物料平衡图见图 3.1-8。

表 3.1-11 技改后全厂物料平衡表 单位：t/a（引自常规环评报告书）

略
略

图 3.1-8 技改项目物料平衡图

3.1.5.2 水平衡

本项目技改后全厂总用水量为 $15982.21\text{m}^3/\text{d}$ ，其中新水量为 $545.74\text{m}^3/\text{d}$ ，循环回用水量 $15409.74\text{m}^3/\text{d}$ ，工业用水重复利用率为 96.4% 。

本项目供水仍利用现有工程给水系统。项目位于大西南临港工业园，园区内生活用水水源为广西防城港北投水务有限公司，由企沙水厂和港口区水厂联合调度供水。工业用水水源为防城港市群峰水利供水有限公司，主要是取水库水加压供水，拥有工业用水加压站两座，即新兴加压站和斋公坡加压站，其中新兴加压站现状规模 $6\text{万 m}^3/\text{d}$ ，取水水源为三波水库和长岐引水渠补给。项目用水量仅占区域供水量的很小一部分，区域供水规模能够满足项目用水需求。给水从园区市政道路引市政水管引至厂区内，在厂区内形成环形的供水管网，以服务整个项目所有职工、食堂、办公和厂房使用。技改工程对现有厂房进行改造，新增锆英砂酸浸车间，主要新增用水为锆英砂酸浸生产用水和新增生活用水。技改工程全厂新鲜用水量变化见常规环评报告书表 2.2-9。

全厂实行清污分流、污污分流、雨污分流的排水方式，分为生产废水系统，生活污水系统和初期雨水收集系统。

（1）生产废水系统

全厂生产废水主要为选矿废水、脱硫废水、酸雾吸收塔废水、冷却窑的循环冷却水和酸洗废水。其中选矿废水汇入选矿三级沉淀池，经沉淀后回用；脱硫废水循环使用，不外排；循环冷却水经地沟汇入循环水池沉淀后回用，不外排；酸雾吸收塔废水和酸洗废水循环使用，不外排。

（2）初期雨水收集及雨水系统

根据查阅相关资料，防城港市尚无暴雨强度公式公布，参考《防城港大西南临港工业园控制性详细规划环境影响报告书》

暴雨强度类比采用防城港东兴市暴雨强度公式计算，公式如下：

$$q = \frac{1217[1 + 0.0685(\lg P)^2]}{(t + 5)^{0.439} P^{-0.159}}$$

式中：q——暴雨强度（升/秒·公顷）；

P——重现期，取 2 年；

t——降雨历时，分钟（取 90 分钟）；

式中：q——暴雨强度（升/秒·公顷）；

依据上述公式计算得项目暴雨强度为 $q=185.19\text{L/s} \cdot \text{hm}^2$ 。

项目厂区初期雨水量计算公式为：

$$Q=q \cdot F \cdot \Psi \cdot T$$

式中，Q——初期雨水排放量；

q——设计暴雨强度($\text{L/s} \cdot \text{hm}^2$)；

F——汇水面积(hm^2)，企业生产、仓储区总面积 $F=7.7 \text{hm}^2$ 。

Ψ ——径流系数，取为 0.9；

T——为收水时间，min。参考《化工建设项目环境保护工程设计标准》（GB/T 50483-2019）：“初期雨水宜取一次降雨初期 15min~30min 雨量”，本项目取 15min。

依据上述公式计算得厂区生产、仓储区前 15min 初期雨水量为 $1155.03 \text{m}^3/\text{次}$ 。项目设置有 1 个 2236m^3 的初期雨水收集池，可满足要求。

根据现场勘察，部分初期雨水混入冷却循环水系统，即还原车间生产区雨水混入冷却循环水系统，同时冷却循环池部分露天。采用上述暴雨强度和初期雨水量计算公式计算混入冷却循环系统的初期雨水量。还原车间以及露天部分冷却循环水池总面积约 3467.8m^2 ，经计算，该部分初期雨水量为 $52.02 \text{m}^3/\text{次}$ ，混入冷却循环水池，回用于冷却循环系统。剩余 $1103.1 \text{m}^3/\text{次}$ 的初期雨水排入初期雨水池收集，收集的初期雨水经沉淀后，回用于冷却循环水池补充用水。此外，本项目设置 1 个容积为 13400m^3 的集水池，可收集中后期清净水，雨水用于生产补水，多余部分外排入园区雨水管网。

（3）生活污水系统

生活污水经化粪池处理达到园区污水处理厂纳管标准后，排入园区污水处理

厂。项目水平衡情况见常规环评报告书表 2.2-10，水平衡图见常规环评报告书图 2.2-1。

3.1.5.3 放射性核素平衡

技改后项目伴生放射性核素平衡表见表 3.1-12，伴生放射性核素平衡图见图 3.1-9、图 3.1-10、图 3.1-11。

根据伴生放射性核素平衡表及本项目生产物料伴生放射性检测结果，原料钛毛矿中的放射性核素将向还原弱磁矿、锆英砂（提品）、金红中矿、人造金红石中、导磁锆英、还原钛铁矿等产品中富集。

表 3.1-12 伴生放射性核素平衡表

略

略

图 3.1-9 伴生放射性核素平衡图（选矿工序）

略

图 3.1-10 伴生放射性核素平衡图（还原工序）

略

图 3.1-11 伴生放射性核素平衡图（锈蚀工序）

3.2 项目放射性分析

本项目已建成并进行工序试运行，为了有针对性的反映项目现状的辐射影响情况，本项目委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站于 2021 年 7 月 13 日、2021 年 7 月 14 日、2021 年 8 月 5 日、2022 年 1 月 27 日、2022 年 5 月 12 日、2024 年 7 月 1-2 日对本项目伴生放射性污染源进行检测分析，检测结果详见附件 4-1，附件 5-1，附件 5-2，附件 7。

3.2.1 气载流出物

项目气载流出物主要是选矿工序、还原工序、锈蚀工序中排出的含铀、钍核素的气溶胶，以及原料、产品、尾渣等物料中的伴生放射性核素衰变的氡及氡子体，以及物料，产品在运输、烘干、包装过程的粉尘释放。

（1）空气中氡浓度

现状监测时，对相应车间和仓库进行空气中氡浓度监测。根据现场监测结果，附件 7，本项目生产场所氡及其子体潜能浓度监测结果详见表 3.2-1。

表 3.2-1 本项目场所周围环境现状空气中氡浓度监测结果

略

根据表 3.2-1 可知，本项目生产场所内空气中氡浓度低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的相应限值范围，同时满足本次评价提出的工作场所氡浓度不超过 500Bq/m³ 的标准。

类比《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》氡及其子体监测结果，检测报告见附件 4-2。

表 3.2-2 粤桥年产 6 万吨还原钛铁矿项目生产场所氡浓度监测结果

略

根据类比项目生产场所氡浓度监测结果可知，生产场所内空气中氡浓度范围为 18.2~49.1Bq/m³，最大氡浓度为 49.1Bq/m³。工作场所中氡浓度低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的相应限值范围，同时满足本次评价提出的工作场所氡浓度不超过 500Bq/m³ 的标准。

（2） γ 辐射空气吸收剂量率

项目生产场所 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果详见表 3.2-3。

表 3.2-3 项目生产场所 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

略

注：1、测量周围环境时，仪器探头距离地面高度约 1m，余同；

2、表中的监测结果已扣除仪器对宇宙射线的响应值，室内建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.9，原野、道路取 1，余同。

3、弱磁矿暂存库监测数据见附件 7，其他点位监测数据见附件 4-1。

由表 3.2-3 可知，本项目生产场所 γ 辐射空气吸收剂量率为 60.9~156nGy/h。

项目厂界四周环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果详见表 3.2-4。

表 3.2-4 项目厂界四周环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

略

由表 3.2-4 可知，项目厂界四周环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 67.6~87.2nGy/h。

（3）企业厂界四周气溶胶中铀、钍浓度

本项目监测期间，已处于试生产阶段，为了解项目现状对周边环境的辐射影响，对厂界四周气溶胶中的铀、钍浓度、²¹⁰Pb、²¹⁰Po、总 α 、总 β 放射性活度浓度进行了监测，监测结果见表 3.2-5。

表 3.2-5 厂界周围气溶胶放射性监测结果

略

由表 3.2-5 可知，项目厂界四周气溶胶中铀浓度范围为 1.09~14.1ng/m³，厂界西侧铀平均浓度最大，为 14.1ng/m³，现有项目厂界四周气溶胶中钍浓度范围为 0.829~3.49ng/m³，厂界西侧钍平均浓度最大，为 3.49ng/m³，厂界西侧铀、钍总量的平均浓度最大，为 17.59ng/m³；厂界四周气溶胶中总α活度浓度范围为 0.220~0.571mBq/m³，总β活度浓度范围为 0.325~0.770mBq/m³，²¹⁰Po 活度浓度范围为 0.059~0.190mBq/m³，²¹⁰Pb 活度浓度范围为 0.612~0.657mBq/m³。

综上所述，厂界西侧气溶胶中 1h 铀钍总量的平均浓度最大，为 17.59ng/m³，满足《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）中规定的“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 0.0025mg/m³”的要求。

根据《2021 年全国辐射环境质量报告》（中华人民共和国生态环境部），2021 年，广西壮族自治区气溶胶中天然放射性核素监测结果为 ²¹⁰Pb 活度浓度范围为 0.39~3.8mBq/m³，²¹⁰Po 活度浓度范围为 0.09~1.2mBq/m³，可知，本项目厂界气溶胶中 ²¹⁰Pb、²¹⁰Po 活度浓度在广西壮族自治区本底范围之内。

（4）排气筒流出的铀、钍粉尘

本项目排放废气中的铀、钍浓度，类比《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》50m 排气筒排放的铀、钍浓度，类比分析可行性见表 3.1-7 排放废气中的铀、钍浓度见表 3.2-6。

表 3.2-6 排放废气铀、钍浓度

项目	采样地点	采样日期	放射性核素活度浓度	
			U (ng/m ³)	Th (ng/m ³)
类比项目	DA005 排气筒	2021.7.14	11.1	148
本项目	排气筒	/	14.8	197.3
备注：类比项目产能为 6 万 t/a，本项目还原钛铁矿产量为 8 万 t/a，本项目取值在类比数据基础上进行等比例扩大。				

由表 3.2-6 可知，本项目排放废气的铀、钍粉尘浓度分别为铀：14.8ng/m³，钍：197.3ng/m³，铀、钍粉尘浓度总和为 212.1ng/m³，即 2.12×10⁻⁴mg/m³，满足

《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）中规定的“现有企业大气污染物排放浓度限值，排放铈钍粉尘废气的排气筒不超过 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ”的要求。

（5）放射性核素流出量

有组织废气颗粒物中伴生放射性核素的流出量，根据常规环评报告书废气污染源项分析，本项目有组织废气污染源源强见表 3.2-7。

表 3.2-7 本项目有组织废气污染源源强一览表

污染源		污染物	排放量 t/a	排放口
选矿工序	钛中矿烘干废气	颗粒物	10.41	DA001
		SO ₂	2.29	
		NO _x	15.18	
	钛中矿磁选废气和钛精矿矿仓废气	颗粒物	3.86	DA002
	锆中矿烘干废气和锆英砂干选废气	颗粒物	3.35	DA017
		SO ₂	3.23	
		NO _x	0.57	
	合计		38.89	
还原工序	煤仓破碎废气	颗粒物	4.03	DA009
	回转窑烟气	颗粒物	14.56	DA010
		SO ₂	42.12	
		NO _x	36.92	
	窑尾废气	颗粒物	3.27	DA015
	窑头废气	颗粒物	4.23	DA016
	1#还原钛铁矿筛分、磁选废气	颗粒物	4.03	DA011
	2#还原钛铁矿筛分、磁选废气	颗粒物	1.87	DA004
	还原钛铁矿包装废气	颗粒物	13.76	DA006
	合计		124.79	
锈蚀工序	2#锈蚀废气	HCl	2.87	DA003
	4#锈蚀尾气	HCl	1.02	DA018
	人造金红石烘干废气	颗粒物	3.42	DA012
		SO ₂	2.37	
		NO _x	9.98	
	人造仓库装卸废气	颗粒物	0.84	DA007
	人造金红石包装废气	颗粒物	1.66	DA013
合计		22.16		
煤质活性炭工序	1#研磨、筛分、包装废气	颗粒物	3.29	DA014
	2#研磨、筛分、包装废气	颗粒物	4.80	DA019
	3#研磨、筛分、包装废气	颗粒物	5.90	DA020
	合计		13.99	
锆英砂酸浸工序	锆英砂烘干废气及包装废气	颗粒物	1.45	DA008
		SO ₂	0.8	
		NO _x	7.92	
	合计		10.17	
氧化铁红干燥工序	氧化铁红干燥废气	颗粒物	1.04	DA005
		SO ₂	2.43	
		NO _x	0.43	

	合计	3.9	
--	----	-----	--

根据表 3.2-7 可知，本项目有组织废气具体排放情况见表 3.2-8。

表 3.2-8 本项目有组织废气排放情况表

序号	有组织颗粒物	排放量 (t/a)
1	选矿工序	38.89
2	还原工序	124.79
3	锈蚀工序	22.16
4	活性炭工序	13.99
5	锆英砂酸浸工序	10.17
6	氧化铁红干燥工序	3.9
合计		213.90

本项目废气颗粒物中含有伴生放射性核素，各排放源属于不同工序，各排放源废气颗粒物中伴生放射性核素浓度依据颗粒物性质确定，根据表 3.2-8，各排放源废气颗粒物中核素比活度见表 3.2-9。

表 3.2-9 各排放源废气颗粒物中的核素比活度 (Bq/kg)

排放点名称	放射性核素比活度 (Bq/kg)			备注
	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	
选矿工序	475	2410	1220	排放的颗粒物主要为钛毛矿，颗粒物中的各核素的比活度以原矿中检测出的核素比活度来计
还原工序	41	356	103	排放的颗粒物主要为煤灰和钛精矿的混合物，颗粒物中的各核素的比活度以煤灰和钛精矿各占 50%来计
锈蚀工序	14.9	183	54.6	排放的颗粒物主要为煤灰和还原钛铁矿的混合物，颗粒物中的各核素的比活度以煤灰和还原钛铁矿各占 50%来计
活性炭工序				
锆英砂酸浸工序				
氧化铁红干燥工序				

根据表 3.2-8、表 3.2-9，计算出本技改项目有组织废气中伴生放射性核素的年排放量见表 3.2-10。

表 3.2-10 有组织废气颗粒物中的伴生放射性核素年排放量 (Bq/a)

排放点名称	放射性核素年排放量 (Bq/a)			备注
	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	
选矿工序	1.85E+07	9.37E+07	4.74E+07	排放的颗粒物主要为钛精矿，颗粒物中的各核素的比活度以原矿中检测出的核素比活度来计
还原工序	3.81E+06	3.31E+07	9.58E+06	排放的颗粒物主要为煤灰和钛精矿的混合物，颗粒物中的各核素的比活度以煤灰和钛精矿各占 50%来计
锈蚀工序	3.30E+05	4.06E+06	1.21E+06	排放的颗粒物主要为煤灰和还原钛铁矿的混合物，颗粒物中的各核素的比活度以煤灰和还原钛铁矿各占 50%来计
活性炭工序	8.55E+04	1.05E+06	3.13E+05	
锆英砂酸浸工序	9.70E+04	1.19E+06	3.55E+05	
氧化铁红干燥工序	5.81E+04	7.13E+05	2.12E+05	
总计	2.26E+07	1.33E+08	5.85E+07	/

由表 3.2-10 可知,本技改项目以有组织形式排放的颗粒物中伴生放射性核素流出量为 ^{238}U : 2.26E+07Bq/a、 ^{232}Th : 1.33E+08Bq/a、 ^{226}Ra : 5.85E+07Bq/a。

无组织粉尘中伴生放射性核素的流出量,项目生产线各产尘点采用集尘罩、抽风管负压收集至除尘系统,设计上采用大风量、低风压的全负压除尘系统,确保各产生点的废气尽可能在构筑物内被收集,综合捕集率以 99%计,剩余含尘废气以无组织排放的形式进入大气中,具体见表 2.4-6。

表 3.2-11 本项目无组织废气污染物产生及排放情况一览表

面源名称	污染物	排放量 t/a
选矿车间	颗粒物	2.34
还原车间	颗粒物	17.57
锈蚀车间	颗粒物	1.52
	HCl	7.85
活性炭车间	颗粒物	3.68
锆英砂酸浸车间	颗粒物	1.97
铁红车间	颗粒物	1.64
合计		36.57

根据表 3.2-11 可知，本项目无组织废气中颗粒物具体排放情况见表 3.2-12。

表 3.2-12 本项目无组织废气颗粒物排放情况表

序号	无组织颗粒物	数量 (t/a)
1	选矿车间	2.34
2	还原车间	17.57
3	锈蚀车间	9.37
4	活性炭车间	3.68
5	锆英砂酸浸车间	1.97
6	铁红车间	1.64
合计		36.57

各车间无组织废气颗粒物中核素比活度见表 3.2-13。

表 3.2-13 各车间无组织废气颗粒物中核素比活度表 (Bq/kg)

排放点名称	放射性核素比活度 (Bq/kg)			备注
	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	
选矿工序	475	2410	1220	排放的颗粒物主要为钛毛矿，颗粒物中的各核素的比活度以原矿中检测出的核素比活度来计
还原工序	41	356	103	排放的颗粒物主要为煤灰和钛精矿的混合物，颗粒物中的各核素的比活度以煤灰和钛精矿各占 50%来计
锈蚀工序	14.9	183	54.6	排放的颗粒物主要为煤灰和还原钛铁矿的混合物，颗粒物中的各核素的比活度以煤灰和还原钛铁矿各占 50%来计
活性炭工序				
锆英砂酸浸工序				
氧化铁红干燥工序				

根据表 3.2-12、表 3.2-13，计算出本技改项目无组织废气中伴生放射性核素的年排放量见表 2.4-9。

表 3.2-14 无组织废气颗粒物中的伴生放射性核素年排放量 (Bq/a)

排放点名称	放射性核素年排放量 (Bq/a)			备注
	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	
选矿车间	1.11E+06	5.64E+06	2.85E+06	排放的颗粒物主要为原煤，颗粒物中的各核素的比活度以原煤中检测

				出的核素比活度来计
还原车间	1.00E+06	8.70E+06	2.52E+06	排放的颗粒物主要为钛精矿，颗粒物中的各核素的比活度以原矿中检测出的核素比活度来计
锈蚀车间	1.40E+05	1.71E+06	5.12E+05	排放的颗粒物主要为煤灰和还原钛铁矿的混合物，颗粒物中的各核素的比活度以煤灰和还原钛铁矿各占 50%来计
活性炭车间	6.75E+04	8.29E+05	2.47E+05	
锆英砂酸浸车间	2.94E+04	3.61E+05	1.08E+05	
铁红车间	8.17E+04	1.00E+06	2.99E+05	
总计	2.32E+06	1.83E+07	6.54E+06	/

由表 3.2-14 可知，本技改项目以无组织形式排放的颗粒物中伴生放射性核素流出量为 ^{238}U : 1.49E+06Bq/a、 ^{232}Th : 1.43E+07Bq/a、 ^{226}Ra : 4.15E+06Bq/a。

综上所述，本技改项目以有组织、无组织形式排放的颗粒物中伴生放射性核素流出量共计为 ^{238}U : 2.66E+07Bq/a、 ^{232}Th : 1.51E+08Bq/a、 ^{226}Ra : 6.50E+07Bq/a，伴生放射性核素流出量较少。

偏安全考虑，预测时，颗粒物中伴生放射性核素比活度按最大值选矿工序中钛毛矿实际测量值 ^{238}U : 475Bq/kg、 ^{232}Th : 2410Bq/kg、 ^{226}Ra : 1220Bq/kg 进行估算。

3.2.2 循环水放射性水平

本项目厂区内有初期雨水池、还原循环水池、选矿循环水池、铁红水池和锆英酸液池，初期雨水用作还原循环水池的补水，不外排；还原循环水池、选矿循环水池、铁红水池和锆英酸液池内循环水均循环使用，不外排。

本专篇对初期雨水池、还原循环水池、选矿循环水池、铁红水池和锆英酸液池内循环水进行采样检测，检测结果见表 3.2-15。

表 3.2-15 厂内循环水放射性检测结果

略

3.2.3 项目尾砂放射性水平

本专篇于 2022 年 1 月 24 日对项目尾砂的伴生放射性核素进行检测分析，检测报告见附件 5-1，分析结果见表 3.2-16。

表 3.2-16 尾砂伴生放射性监测结果

略

由表 3.2-16 可知，本项目尾砂中伴生放射性核素比活度均未超过免管限值 1Bq/g。

3.2.4 小结

(1) 气载流出物

① 氡及其子体浓度，本项目生产场所内空气中氡浓度为 2.28~5.60Bq/m³，最大氡浓度出现在综合楼前，氡浓度为 5.60Bq/m³。工作场所中氡浓度低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的相应限值范围，同时满足本次评价提出的工作场所氡浓度不超过 500Bq/m³ 的标准。

② γ 辐射空气吸收剂量率，本项目生产场所 γ 辐射空气吸收剂量率为 60.9~156nGy/h；厂界四周环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 67.6~87.2nGy/h。

③ 项目厂界四周气溶胶中铀浓度范围为 1.09~14.1ng/m³，厂界西侧铀平均浓度最大，为 14.1ng/m³，现有项目厂界四周气溶胶中钍浓度范围为 0.829~3.49ng/m³，厂界西侧钍平均浓度最大，为 3.49ng/m³，厂界西侧铀、钍总量的平均浓度最大，为 17.59ng/m³，满足《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）中规定的“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 0.0025mg/m³”的要求；厂界四周气溶胶中总 α 活度浓度范围为 0.220~0.571mBq/m³，总 β 活度浓度范围为 0.325~0.770mBq/m³，²¹⁰Po 活度浓度范围为 0.059~0.190mBq/m³，²¹⁰Pb 活度浓度范围为 0.612~0.657mBq/m³。根据《2021 年全国辐射环境质量报告》（中华人民共和国生态环境部），2021 年，广西壮族自治区气溶胶中天然放射性核素监测结果为 ²¹⁰Pb 活度浓度范围为 0.39~3.8mBq/m³，²¹⁰Po 活度浓度范围为 0.09~1.2mBq/m³，可知，本项目厂界气溶胶中 ²¹⁰Pb、²¹⁰Po 活度浓度在广西壮族自治区本底范围之内。

(2) 循环水

本项目厂区内有初期雨水池、还原循环水池、选矿循环水池、铁红水池和锆英酸液池，初期雨水用作还原循环水池的补水，不外排；还原循环水池、选矿循环水池、铁红

水池和锆英酸液池内循环水均循环使用，不外排。

(3) 项目尾砂伴生放射性水平

本项目尾砂中伴生放射性核素比活度均未超过免管限值 1Bq/g。

3.3 “以新带老”措施

3.3.1 现有项目存在问题

项目存在的问题如下：

(1) 现有项目未按规定开展辐射环境影响评价，根据《广西壮族自治区伴生放射性矿开发利用企业名录（第一批）》的通告（桂环通告〔2020〕2号），现有项目属于原矿、中间产品、尾矿（渣）或者其他残留物中铀（钍）系单个核素含量超过 1 贝可/克（1Bq/g）的矿产资源开发利用项目，按规定应开展辐射环境影响评价工作。

(2) 未建立固废台账管理制度，伴生放射性物料没有明确的数量记录，不利于伴生放射性物料的跟踪与管理。

(3) 未设置伴生放射性物料暂存库，现有项目导磁锆英、还原弱磁矿中放射性含量超过 1Bq/g，属于伴生放射性物料，应暂存于伴生放射性物料暂存库。

3.3.2 “以新带老”措施及效果

针对现有项目存在的问题，企业拟采取措施及效果如下：

(1) 现有项目未按规定开展辐射环境影响评价

采取措施：开展辐射环境影响评价工作，广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司委托广西博环环境咨询服务有限公司开展该项目的辐射环境影响评价工作。

效果：通过开展该项目的辐射环境影响评价工作，明确该项目的运行对周围环境及公众的辐射影响，规范企业对伴生放射性物料的管理，提高企业辐射防护意识，完善企业对伴生放射性事故的应急处理方案。

(2) 未建立固废台账管理制度

采取措施：建立固废台账管理制度。

效果：通过建立固废台账管理制度，对伴生放射性物料的进料、出库、暂存、平衡等进行详细记录，完善企业的管理制度。

(3) 未设置伴生放射性物料暂存库

采取措施：设置专门的伴生放射性物料暂存库，并在门口显眼位置张贴放射性警示标志，上锁管理，防止无关人员进入。

效果：通过设置专门的伴生放射性物料暂存库，符合相关法律法规的要求，规范企业对伴生放射性物料的管理，减小伴生放射性物料对周围环境及公众的辐射影响。

3.4 辐射防护措施

3.4.1 气载流出物防护措施

由于铀钍等核素是随着颗粒物排放到废气中去，所以做好颗粒物的减排工作就是做好了铀钍核素的减排工作。本项目废气分为有组织废气、无组织废气，有组织废气主要分为回转窑烟气、烘干窑烟气以及各含尘废气；无组织废气为选矿工序钛毛矿装卸、投料未能收集的粉尘；还原工序窑头集气罩、窑尾集气罩未能收集的粉尘；锈蚀工序投料、出料未能收集的粉尘。本项目采取的颗粒物防治措施如下：

（1）有组织废气

① 废气处理设施

回转窑烟气、钛中矿烘干废气、人造金红石烘干废气、锆中矿烘干废气和锆英砂干选废气中主要污染因子为颗粒物、二氧化硫和氮氧化物。现有项目回转窑烟气采用布袋除尘器+脱硫塔工艺治理，钛中矿烘干废气采用旋风除尘器+布袋除尘器工艺治理，人造金红石烘干废气采用旋风除尘器+文丘里除尘器工艺治理，锆中矿烘干废气和锆英砂干选废气采用旋风除尘器+布袋除尘器工艺治理。

② 达标排放分析

本项目排放废气中的铀、钍浓度，类比《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》50m 排气筒排放的铀、钍浓度。本项目排放废气的铀、钍粉尘浓度分别为铀： 14.8ng/m^3 ，钍： 197.3ng/m^3 ，铀、钍粉尘浓度总和为 212.1ng/m^3 ，即 $2.12\times 10^{-4}\text{mg/m}^3$ ，满足《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011) 中规定的“现有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 0.1mg/m^3 ”的要求。

鉴于本项目已建成，本专篇对排气筒流出的粉尘中铀和钍浓度进行检测，分析现有项目排气筒流出的粉尘中铀钍排放浓度达标情况。

（2）无组织排放

本项目各生产线均位于封闭构筑物内，各产尘点均直接由集气管负压抽至除尘系统，设计上采用大风量、低风压的全负压除尘系统，在集尘罩的作用下，各产生点的废气尽可能在构筑物内被收集，可以保证综合捕集率达到 95%以上，少

量未收集的废气无组织排放。

3.4.2 厂区内循环水辐射防护措施

本项目厂内循环水循环使用不外排。

(1) 选矿循环水

选矿循环水主要用于湿式磁选和螺旋溜槽，直接与物料接触，具有一定的放射性，回流到选矿循环水池重复利用，不外排。

(2) 循环冷却水

本项目的循环冷却水主要为窑头冷却窑和窑尾冷却窑的循环冷却水，循环冷却水喷淋冷却窑外壁，不与生产物料直接接触，喷淋后的物料的循环冷却水经地沟汇入循环水池沉淀后回用，不外排。

(3) 初期雨水

项目设置有 1 个 2236m³ 的初期雨水收集池，厂区内初期雨水经收集汇入初期雨水收集池，收集的初期雨水经沉淀后，回用于循环水池补充用水。

3.4.3 地下水辐射防护措施

技改项目通过改造现有厂房，主要新增 1 间锆英砂酸浸车间和活性炭车间以及配套环保措施；在现有厂房内部新增放射性物料导磁锆英和还原弱磁矿存放点；新增集水池、2#化粪池和 2#事故应急池。

根据项目各生产功能单元天然包气带防污性能、污染控制难易程度、污染物类型按照《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016) 将其划分为重点防渗区、一般防渗区和简单防渗区。各分区的防渗设计应满足《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016) 的要求。一般防渗区的防渗设计应满足《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)；重点防渗区的防渗设计应满足《危险废物填埋污染控制标准》(GB18598-2019)。

技改项目放射性物料导磁锆英存放点和还原弱磁矿存放点化为重点防渗区，增设集水池、2#化粪池、2#事故应急池划为重点防渗区，均按《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016) 中的重点防渗区防渗技术要求进行防渗，或参照 GB18598 执行。此外防渗技术还应满足《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023) 中 6.1.4 的要求，即“贮存的危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层（渗透系数不大于 10⁻⁷cm/s），或至

少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料（渗透系数不大于 10^{-10}cm/s ），或其他防渗性能等效的材料”。

技改项目防渗分区划分及防渗技术要求见表 2.5-1。

表 3.4-1 技改后全厂防渗分区等级一览表

防渗级别	工作区
重点防渗区	危废暂存库、盐酸储罐区、初期雨水池、1~2#事故应急池、1~2#化粪池、导磁锆英存放点、还原弱磁矿存放点、集水池、回收液池、锈蚀工艺水池、1~3#铁红池
一般防渗区	一般固废暂存库、各生产车间、1~2#还原工艺水池
简单防渗区	综合楼、办公楼、厂区道路

3.4.4 生产物料辐射防护措施

根据物料放射性检测结果，钛毛矿、还原弱磁矿、导磁锆英砂、天然金红石、人造金红石属于放射性物料。其中钛毛矿、天然金红石、人造金红石属于原料和产品，还原弱磁矿、导磁锆英砂属于副产品。

（1）还原弱磁矿的储存与管理

弱磁矿具有一定的伴生放射性，为减少产品的辐射影响，在还原弱磁矿未出厂前，将设置专门的暂存库存放弱磁矿。有小概率会产生弱磁物料，弱磁物料具有一定的伴生放射性，拟暂存于弱磁矿暂存库。还原弱磁矿暂存库拟建于还原车间内。

弱磁矿暂存库拟采用水泥混凝土墙体，墙体厚 40cm，设置 15cm 厚的钢制防护门，大门外 1m 范围内张贴地面标识，提示注意电离辐射，无关人员禁止停留。地面做重点防渗处理，重点防渗区防渗技术要求，等效粘土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ ，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）中伴生放射性物料贮存设施设计要求；设置通排风系统，保证弱磁矿暂存库通风换气次数 3~4 次/h，防止伴生放射性核素衰变产生的氢气聚集。

弱磁矿暂存库管理上要求双人双锁，专人负责，门上张贴电离辐射标志，无关人员不要进入仓库，尽量不在仓库周围停留。对弱磁矿暂存库应严格执行台账制度，由专人负责，准确无误的登记弱磁矿来源去向，并且实行联单管理。

（2）原料和产品的储存与管理

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)相关要求,在原料和产品的仓库外明显部位设置电离辐射标志,对原料和产品进行分类贮存,并加强管理,防止物料流失,禁止无关人员进入。

(3) 导磁锆英的储存与管理

导磁锆英存放点建在钛矿仓库,占地 17m×7.3m,储存与管理与还原弱磁矿的储存与管理相同。

3.4.5 固体废物辐射防护措施

技改项目无伴生放射性固体废物产生,一般固体废物处置如下:

当进厂钛精矿品位较低,弱磁物料含量大于 0.85%时,例如澳洲钛精矿,需开启磁选机将弱磁物料选出,弱磁物料具有一定的伴生放射性,拟暂存于还原弱磁矿暂存库,委托有资质单位对有用成分含量进行检测,含量达到外售协议接收标准,即作为副产品售卖。

一般固体废物只有少量泥浆和尾砂,主要成分是二氧化硅等。其放射性水平甚至低于当地土壤的平均水平,可作为建筑材料的辅料或填充料而再次利用。

3.4.6 运输风险辐射防护措施

根据《放射性物品运输安全管理条例》(国务院令 562 号)第三十一条:“承运放射性物品应当取得国家规定的运输资质。承运人的资质管理,依照有关法律、行政法规和国务院交通运输、铁路、民航、邮政主管部门的规定执行。”本项目弱磁矿外售运输的承运单位应取得相应的放射性物品运输资质,承运人应取得相应的资质;第三十条:“托运一类放射性物品的,托运人应当委托有资质的辐射监测机构对其表面污染和辐射水平实施监测,辐射监测机构应当出具辐射监测报告。托运二类、三类放射性物品的,托运人应当对其表面污染和辐射水平实施监测,并编制辐射监测报告。监测结果不符合国家放射性物品运输安全标准的,不得托运。”本项目弱磁矿属于三类放射性物品,托运人(建设单位)应当对其表面污染和辐射水平实施监测,并编制辐射监测报告。监测结果不符合国家放射性物品运输安全标准的,不得托运。

为满足《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019)中要求,外售弱磁矿需设置合理的运输路线,运输前应该进行严密包装,采用专用箱式运输车辆,货物装车后应及时封闭车辆。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）制定有相应的事故应急预案及应急措施；

（3）现有的应急响应信息以及如何利用这些信息；

（4）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；

（5）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。

3.4.7 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：

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）成立辐射安全与环境保护管理机构，成立领导小组，负责组织辐射安全培训、辐射安全应急演练，开展日常安全检查并督促隐患整改，协助调查、处理辐射事故，负责通知、组织医疗救援等。

（2）制定《辐射事故应急预案》、《辐射防护和安全管理制制度》、《放射性物料暂存管理制度》、《辐射环境监测计划》等辐射规章制度，制定放射性物料进出台账，实行统一管理，以利于辐射环境保护。

（3）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）；为了减少伴生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，以免积存伴生放射性物质；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，以防感染化脓或伴生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。

（4）合理优化职工人数和工作时间，尽量减少员工与伴生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。

(5) 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。

(6) 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。

(7) 工作时严格按操作规程操作。

(8) 为了防止伴生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。

(9) 对于原料、产品和尾渣，建立完备进出台账制度，对于具体数量和去向将有完整记录。

3.5 弱磁矿外售依托可行性分析

3.5.1 外售还原弱磁矿概况

本项目还原工序产出的副产品弱磁矿年产量约 4000t，根据建设单位对还原弱磁矿初步试验分析，还原弱磁矿中各成分占比为：TiO₂ 约 13.75%，ZrO₂ 约 9.8%，全铁约 7.83%，稀土（REO）约 5.03%，还原弱磁矿中各伴生放射性核素比活度为 ²³⁸U：1610Bq/kg、²³²Th：19500Bq/kg、²²⁶Ra：4600Bq/kg。弱磁矿中放射性核素较高，暂存在还原车间的弱磁矿暂存库中，委托有资质单位对有用成分含量进行检测，含量达到外售协议接收标准，即作为副产品外售至广东粤桥新材料科技有限公司。

3.5.2 依托企业概况

广东粤桥新材料科技有限公司，原企业名称：茂名粤桥集团矿业有限公司，建设地点：茂名高新技术产业开发区。2019 年 4 月 10 日茂名粤桥集团矿业有限公司变更企业名称为广东粤桥新材料科技有限公司。根据《茂名粤桥集团矿业有限公司年处理 30 万吨钛毛矿及配套深加工建设项目辐射环境影响评价专篇》，选矿部分建设内容为：以钛毛矿及中矿为原料，采用重选（摇床）、湿式磁选、干式磁选和电选（或浮选）联合工艺，年处理钛毛矿 30 万吨，主要产品产量分别为：钛精矿 15.3 万吨/年，锆英砂 5.373 万吨/年，天然金红石 3.582 万吨/年，铁砂（磁铁矿）0.6 万吨/年；锆英砂深加工部分：对选矿产出的锆英砂和天然金红

石进行超细磨处理，生产超细锆英砂和天然金红石粉，超细锆英砂 5.373 万吨/年，超细天然金红石粉 3.582 万吨/年。独居精矿年产量为 200~300 吨/年。该项目辐射环境影响评价专篇于 2014 年 8 月 19 日获得原广东省环境保护厅办公室批复（文件号：粤环审〔2014〕218 号，详见附件 7）。于 2017 年 12 月 27 日取得辐射环境竣工验收意见（详见附件 8）。

3.5.3 还原弱磁矿作为副产品可行性分析

（1）法律法规符合性分析

① 根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年 4 月修订），第四条：“固体废物污染环境防治坚持减量化、资源化和无害化的原则。任何单位和个人都应当采取措施，减少固体废物的产生量，促进固体废物的综合利用，降低固体废物的危害性。”本项目优化煤灰渣分选工序，选出还原弱磁矿，伴生放射性物料产生量减少至原来的 1/13，符合减量化原则；弱磁矿中含有 TiO_2 、 ZrO_2 、稀土等有用资源，作为副产品外售至广东粤桥新材料科技有限公司，符合资源化、无害化原则。

② 根据《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）第六十二条：“放射性废物，是指含有放射性核素或者被放射性核素污染，其浓度或者比活度大于国家确定的清洁解控水平，预期不再使用的废弃物。”以及《放射性废物安全管理条例》（国务院令 612 号，2012 年 3 月 1 日施行）第二条：“本条例所称放射性废物，是指含有放射性核素或者被放射性核素污染，其放射性核素浓度或者比活度大于国家确定的清洁解控水平，预期不再使用的废弃物。”本项目还原弱磁矿中仍含有 TiO_2 、 ZrO_2 、稀土等多种有用成分，且含量可观，可被广东粤桥新材料科技有限公司分选利用。

（2）厂内暂存措施

弱磁矿具有一定的伴生放射性，为减少产品的辐射影响，在还原弱磁矿未出厂前，将设置专门的暂存库存放还原弱磁矿，还原弱磁矿暂存库满足《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）中伴生放射性物料贮存设施设计要求。

（3）辐射安全管理制度

制定辐射防护管理制度和措施，建立台账制度，做好日常登记和管理工作，

并详细记录物料出入情况。

(4) 运输辐射防护措施

本项目还原弱磁矿在外售运输时，采取一系列辐射防护措施，满足《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）要求。

综上所述，本项目还原弱磁矿作为副产品外售至广东粤桥新材料科技有限公司，符合相关法律法规，厂内暂存及外售运输设置有相应的辐射防护措施，满足相关规范标准要求，故本项目还原弱磁矿作为副产品外售可行。

3.5.4 还原弱磁矿混合复选可行性分析

本项目还原弱磁矿外售至广东粤桥新材料科技有限公司后，与锆英中矿混合后进入工艺流程。根据建设单位了解，本项目还原弱磁矿中 TiO_2 、铁随尾矿返回工艺流程复选， ZrO_2 富集后进入锆英砂，稀土（REO）富集后进入独居精矿。还原弱磁矿加入后工艺流程图见图 2.6-1。

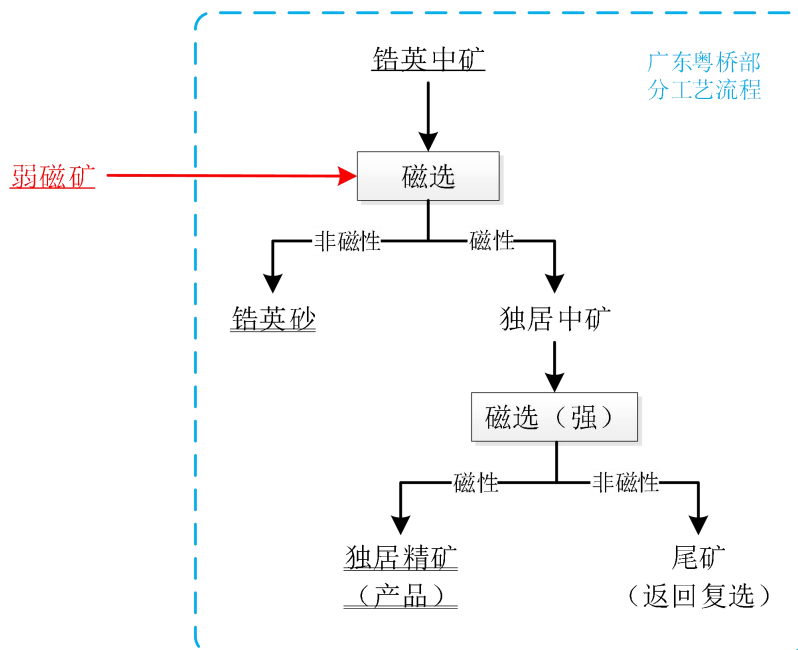


图 2.6-1 弱磁矿加入依托项目后工艺流程图

本项目还原弱磁矿分批次加入到广东粤桥新材料科技有限公司的选矿流程中，有利用价值成分被利用，伴生放射性核素主要富集于独居精矿被处理，引用《茂名粤桥集团矿业有限公司年处理 30 万吨钛毛矿及配套深加工建设项目辐射环境影响评价专篇》中独居精矿伴生放射性核素比活度数据，见表 2.6-1。

表 2.6-1 伴生放射性核素比活度检测结果

略

由表 2.6-1 可知，本项目还原弱磁矿中伴生放射性核素比活度低于依托项目独居精矿，总放射性比活度与单个核素比活度成正比关系，通过核素比活度最大的 ^{232}Th 类比可知，本项目还原弱磁矿是低品位的独居矿，通过分批次加入到选矿流程中，伴生放射性核素富集至独居精矿，被充分利用并处理。

综上所述，本项目还原弱磁矿外售至广东粤桥新材料科技有限公司依托可行。

第四章 辐射环境质量现状

4.1 辐射环境质量现状调查

4.1.1 监测目的

第二次全国污染源普查中发现，本项目属于伴生放射性矿开发利用企业。本次调查旨在了解伴生放射性矿开发利用活动流出物是否达标排放，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。

4.1.2 监测依据

- (1) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；
- (2) 《环境空气中氡的标准测量方法》(GB/T 14582-93)；
- (3) 《污水监测技术规范》(HJ 91.1-2019)；
- (4) 《地下水环境监测技术规范》(HJ 164-2020)；
- (5) 《水质采样技术指导》(HJ 494-2009)；
- (6) 《水质采样样品的保存和管理技术规定》(HJ 493-2009)；
- (7) 《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)；
- (8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；
- (9) 《铀矿冶辐射环境监测规定》(GB 23726-2009)；
- (10) 《环境监测质量管理技术导则》(HJ 630-2011)。

4.1.3 监测布点原则

- (1) 根据该项目的工艺流程、“三废”来源及去向确定环境监测介质。
- (2) 根据原料和工艺流程及各主要产污节点确定需要监测的污染物。
- (3) 对项目周边环境(γ 辐射空气吸收剂量率、土壤、地下水)以及周边居民点进行辐射环境监测，查明是否存在污染，为下一步污染治理提供数据。
- (4) 根据该项目可能涉及的范围确定环境监测范围。

4.1.4 监测方案

结合项目特点及辐射环境污染源项，考虑周边环境特征，对项目周边评价范

围内敏感点以及厂区周边环境进行辐射环境监测，以确定当地辐射环境质量现状。本次辐射环境监测的介质主要有环境空气、地下水、土壤等，详见表 4.1-1，监测点位详见附图 3、附图 4。

表 4.1-1 项目主要辐射监测内容

序号	监测对象	辐射因子	监测范围
1	空气	γ 辐射空气吸收剂量率	厂区内、厂界四周、项目周围保护目标
2	空气	^{222}Rn 浓度、 ^{222}Rn 子体浓度	原料、产品、尾渣、厂界附近居民点
3	气溶胶	U、Th、总 α 、总 β 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb	厂界四周
4	废水	U、Th、 ^{226}Ra 、总 α 、总 β 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 放射性活度浓度	选矿循环水池、还原循环水池、铁红水池、铅英酸液池、初期雨水池
5	地下水	U、Th、 ^{226}Ra 、总 α 、总 β 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 放射性活度浓度	厂区内、附近居民点
6	土壤	^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 放射性比活度	厂界四周、下风向居民点
7	原料、产品、尾渣	^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 放射性比活度	原料、产品、尾渣

4.1.5 质量保证及质量控制

(1) 监测单位

本项目辐射环境质量现状委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站进行监测。

(2) 质量保证及质量控制

广西壮族自治区辐射环境监督管理站具有下列质量保证及质量控制措施：

① 监测前，根据目前国家和行业有关规范和标准制定监测方案，合理布设监测点位，选择监测点位时充分考虑使监测结果具有代表性，以保证监测结果的科学性和可比性；

② 监测所用仪器经国家法定计量检定部门检定合格，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

③ 经常参加上级技术部门及兄弟单位组织的仪器比对；通过仪器的期间核查或绘制质量控制图等质控手段保证仪器设备的正常运行；

④ 监测实行全过程的质量控制，严格按照广西壮族自治区辐射环境监督管理站《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定实行，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗；

⑤ 监测报告严格按相关技术规范编制，监测报告由持有上岗考核合格证的人员编制，数据处理及汇总经相关人员校核，监测报告由质量负责人（或授权签字人）审核，最后由技术负责人（或授权签字人）签发，报告的核审与签发不能同一人；

⑥ 监测单位已通过国家级检验检测机构资质认定，并在有效期内。

（3）样品的质量控制

样品采集满足《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）要求。主要包括以下内容：

①气溶胶

a) 采样设备与过滤材料

气溶胶采集器，由滤膜夹具、流量调节装置和抽气泵等三部分组成。取样系统放置在闭锁的设备中，以防止受到气候的直接影响和意外受损。根据监测工作的实际需要选择滤纸，包括表面收集特性和过滤效率好的滤材。

b) 取样位置的选择

取样高度选在距地面或基础面约 1.5m 处。保持取样系统进气口和出气口之间有足够大的距离，以防止形成部分气流自循环。取样地点设置在厂区内，避免选择在异常微气象情况或其他由于人为因素的影响可能导致空气浓度偏高或偏低的地点，如公路旁或高大建筑物附近。

c) 采集方法

采样系统采用的流量计、温度计、湿度计、气压计均经过计量检定，确认性能良好后采用。

d) 样品预处理

本项目采用小型滤纸，将其小心装入稍大一些的测量盒中封盖好。

②地表水

a) 采样设备

本项目用塑料桶采集水样。容器预先用盐酸（1+10）洗涤，再用净水冲洗

干净，盖上盖子。

b) 采集位置

本底水样，选在设施排放点的河流上游处，避免在紧靠汇合处的上游处取样。
取水点选择主要考虑水体中放射性核素浓度是否均匀。具体取样位置主要考虑
选择河川水流中心的部位（河川断面流速最大的部分），采表面水。

c) 采样方法

采样前洗净采样设备。采样时用待采水样洗涤三次后开始采集。取样器浸入
水中时，让开口向着上游方向，小心操作，尽量防止扰动水体和杂物进入。先用
取样器取水，再移入容器防止容器外壁污染。

d) 预处理

取样以后，立即在样品中加入盐酸（1+1）或者硝酸（1+1）。每升样品水
加 2ml 酸，然后盖严。

③地下水

a) 采样设备

同地表水。

b) 采样点

自来水取自自来水管末端水；井水采自饮用水井，泉水采自水量大的泉眼。

c) 采样方法

让采样水（井水或自来水）先放水几分钟，并冲洗采样器具 2~3 次。用
漏斗把样品采集到容器中。把样品水充入样品容器中，至预定体积。

d) 预处理

同地表水。

④土壤

a) 布点方法

采用梅花形布点，采点不少于 5 个。每个点在 10m×10m 范围内，采取 0~
10cm 的表层土。

b) 采集方法

对选定的取样点编上系列号，去除散在表面上的植物，杂草石等。
把土壤采样器垂直于取样点表面放置，用锤子或大木锤把采样器冲打到预

定深度（0~10cm）。用铁锹，移植钺刀等物把采集器从冲打的深度回收上来，这时要注意去除其外围的土壤。把采集器内采集到的土壤放入聚乙烯口袋内。

c) 预处理

将同一地方多点采集的土壤样品平铺在搪瓷盘中或塑料布上去除石块、草根等杂物，现场混合后取 2~3kg 样品，装在双层塑料袋内密封，再置于同样大小的布袋中保存待用。

4.1.6 监测方法及仪器

本项目辐射环境质量现状监测方法、监测仪器详见表 4.1-2~表 4.1-4。

表 4.1-2 监测项目所用方法及仪器（一）

监测项目	监测方法	监测仪器及参数	检定/校准信息
γ辐射空气吸收剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)	FH40G+FHZ672E-10 型便携式 X-γ剂量率仪（031073+11377），能量响应范围 40keV~4.4MeV，量程范围 1nGy/h~100μGy/h。	检定证书编号：DLjl2020-05091（中国计量科学研究院），有效期：2020 年 7 月 16 日~2021 年 7 月 15 日。
		FH40G+FHZ672E-10 型 X-γ辐射剂量率仪（030979+11349），能量响应范围 40keV~4.4MeV，量程范围 1nGy/h~100μGy/h。	校准证书编号：DLjl2020-07798（中国计量科学研究院）；发布日期：2020 年 10 月 19 日。

表 4.1-3 监测项目所用方法及仪器（二）

监测项目	监测方法	监测仪器	检定/校准信息
氡浓度	《环境空气中氡的标准测量方法》（GB/T 14582-93）	RAD 型氡测量仪（出厂编号：4141）	检定证书编号：2020H21-20-2725047001（上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心），有效期：2020 年 9 月 16 日~2021 年 9 月 15 日。
		RAD 型氡测量仪（出厂编号：4554）	检定证书编号：2021H21-20-2966438002（上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心），有效期：2021 年 1 月 14 日~2022 年 1 月 13 日。
		NRM-P01 型测氡仪（出厂编号：NRM02A029）	检定证书编号：DLhd2020-02970（中国计量科学研究院），有效期：2020 年 10 月 29 日~2021 年 10 月 28 日。
		NRM-P01 型测氡仪（出厂编号：NRM02A030）	检定证书编号：DLhd2020-02972（中国计量科学研究院），有效期：2020 年 9 月 22 日~2021 年 9 月 21 日。

监测项目	监测方法	监测仪器	检定/校准信息
		NRM-P01 型测氦仪（出厂编号：NRM02A031）	检定证书编号：DLhd2020-02971（中国计量科学研究院），有效期：2020 年 10 月 29 日~2021 年 10 月 28 日。
		AlphaPM 型氦及子体测量仪（出厂编号：0226）	校准证书编号：DLhd2021-10406（中国计量科学研究院）；发布日期：2020 年 3 月 04 日。
		AlphaPM 型氦及子体测量仪（出厂编号：0224）	校准证书编号：DLhd2021-10405（中国计量科学研究院）；发布日期：2020 年 3 月 01 日。
		RPM-SF01 型氦子体测量仪（出厂编号：NRP01A010）	校准证书编号：DLhd2020-03493（中国计量科学研究院）；发布日期：2020 年 11 月 16 日。
		RPM-SF01 型氦子体测量仪（出厂编号：NRP01A006）	校准证书编号：DLhd2020-03008（中国计量科学研究院）；发布日期：2020 年 9 月 28 日。

表 4.1-4 监测项目所用方法及仪器（三）

监测项目	监测依据	监测仪器	检定证书及有效期
γ 核素	《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》（GB/T 11713-2015）、《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T 11743-2013）	BE3830 型高纯锗 γ 谱仪（出厂编号：08088357）	检定证书编号：2019H21-20-2240999004（上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心）；检定日期：2019 年 11 月 27 日，有效期至：2021 年 11 月 26 日。
		GEM-C7080-LB-C 型高纯锗 γ 谱仪（出厂编号：55-P13580B）	检定证书编号：2019H21-20-2240999008（上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心）；检定日期：2019 年 11 月 27 日，有效期至：2021 年 11 月 26 日。
U	《环境样品中微量铀的分析方法》（3.激光荧光法）（HJ 840-2017）	WGJ-III型微量铀分析仪（出厂编号：2157）	检定证书编号：2020H21-10-2525983002（上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心）；检定日期：2020 年 6 月 1 日，有效期至：2022 年 5 月 31 日。
	《环境样品中微量铀的分析方法》（4.N235 萃取—分光光度法）（HJ 840-2017）	UV2600 紫外可见分光光度计（出厂编号：A11665633121 CS）	校准证书编号：理仪字第 210629776 号（广西计量检测研究院）；检定日期：2021 年 10 月 29 日，有效期至：2022 年 10 月 28 日。

监测项目	监测依据	监测仪器	检定证书及有效期
Th	《水中钍的分析方法》 (GB11224-89)、《空气中钍 放化分析实施细则》(作业 指导书 GXFSZ/ZY-JC-065) (参考 GB14883.7-2016)		校准证书编号: 理仪字第 200624515 号(广西计量检测研 究院); 检定日期: 2021 年 10 月 29 日, 有效期至: 2022 年 10 月 28 日。
²¹⁰ Po	《水中钋-210 的分析方法 电镀制样法》 (HJ813-2016)、《气溶胶中 Po-210 监测实施细则》(作 业指导书 GXFSZ/ZY-JC-053)(参考 HJ813-2016)	Alpha-Ensemble- 4 型α谱仪(出厂 编号: 14128265)	检定证书编号: 2019H21-10-2241016001(上海市 计量测试技术研究院/华东国家 计量测试中心); 检定日期: 2019 年 12 月 17 日, 有效期至: 2021 年 12 月 16 日。
²²⁶ Ra	《水中镭的α放射性核素的 测定》(GB11218-89)	LB4200 型低本 底α/β测量仪(出 厂编号: 13000068)	检定证书编号: 2019H21-20-2241017003(上海市 计量测试技术研究院/华东国家 计量测试中心); 检定日期: 2019 年 11 月 27 日, 有效期至: 2021 年 11 月 26 日。
总α	《水质 总α放射性的测定 厚源法》(HJ898-2017)、《气 溶胶、沉降灰总α/总β监测 实施细则》(作业指导书 GXFSZ/ZY-JC-036)(参考 EJ/T1075-1998)	LB4200 型低本 底α/β测量仪(出 厂编号: 13000103)	检定证书编号: 2019H21-20-2241017002(上海市 计量测试技术研究院/华东国家 计量测试中心), 检定日期: 2019 年 11 月 27 日, 有效期至: 2021 年 11 月 26 日。
总β	《水质 总β放射性的测定 厚源法》(HJ899-2017)、《气 溶胶、沉降灰总α/总β监测 实施细则》(作业指导书 GXFSZ/ZY-JC-036)(参考 EJ/T900-1994)		
²¹⁰ Pb	《水中铅-210 的分析方法》 (EJ/T859-94)、《土壤、生 物样、气溶胶中 Pb-210 监 测实施细则》(作业指导书 GXFSZ/ZY-JC-054)(参考 EJ/T859-94)	LB4200 型低本 底α/β测量仪(出 厂编号: 13000102)	检定证书编号: 2019H21-20-2241017001(上海市 计量测试技术研究院/华东国家 计量测试中心); 检定日期: 2019 年 11 月 27 日, 有效期至: 2021 年 11 月 26 日。

4.1.7 监测条件

表 4.1-5 现场监测时环境条件

测量时段	天气状况	环境温度 (°C)	相对湿度 (%)
2021年7月13日 10:00~ 2021年7月14日 19:00	晴	28~33	74~76
2021年8月5日 10:30~12:10	多云	30	74
2024年7月1日 15:10~18:02	晴	30~32	75~81
2024年7月2日 9:00~16:00	阴	28~32	75~89

4.2 辐射环境质量现状分析

根据项目工程生产工艺流程及产污节点，参照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）5.4.2 矿物资源利用中的辐射环境监测对原料和产品测量其表面 γ 辐射空气吸收剂量率，必要时，测量其天然放射性核素含量。确定本项目辐射环境质量现状监测内容，详见表 4.2-1，并结合项目区现有辐射环境资料，分析项目区辐射环境质量现状。

表 4.2-1 项目辐射环境质量现状监测内容

序号	监测对象	辐射因子	监测范围
1	周边保护目标	γ 辐射空气吸收剂量率	项目周围保护目标
2	空气	^{222}Rn 浓度、 ^{222}Rn 子体浓度	厂界附近居民点
3	地下水	U、Th、 ^{226}Ra 、总 α 、总 β 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 放射性活度浓度	附近村庄
4	土壤	^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 放射性比活度	厂界四周、下风向居民点

4.2.1 γ 辐射空气吸收剂量率

为了解项目区周围保护目标场所辐射环境水平，对周围保护目标场所进行了 γ 辐射空气吸收剂量率监测。

（1）监测布点

在项目评价范围内保护目标场所合理布设监测点位，部分保护目标 γ 辐射空气吸收剂量率引用《广西粤桥新材料科技有限公司年产 6 万吨还原钛铁矿项目》

辐射环境监测报告（见附件 4-2）。

（2）监测方法

γ 辐射空气吸收剂量率监测应尽量不在刮风和下雨等不利的天气条件下测量，每个监测点需读取 5 个数据，取平均值。

（3）监测结果及评价

监测结果见表 4.2-2。

表 4.2-2 厂区内及厂界 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

略

注：1、测量周围环境时，仪器探头距离地面高度约 1m，余同；

2、表中的监测结果已扣除仪器对宇宙射线的响应值，室内建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.9，原野、道路取 1，余同。

3、弱磁矿暂存库为补充监测点，结果见附件 7。

根据《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》（广西壮族自治区环境监测中心站 1992 年），广西壮族自治区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率在 11.0~304.3nGy/h 范围内。

由表 4.2-2 可知，本项目厂区内及厂界 γ 辐射空气吸收剂量率在环境本底范围之内。

表 4.2-3 厂区外围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

略

表 4.2-4 厂区外围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果（引用见附件 4-2）

略

依据《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》（广西壮族自治区环境监测中心站 1992 年），广西壮族自治区原野 γ 辐射空气吸收剂量率和项目厂区外围环境 γ 辐射空气吸收剂量率均在环境本底范围之内。

4.2.2 ^{222}Rn 及其子体浓度

本项目已运营多年，根据项目现状，为了确定厂区内原料、产品、尾渣排放的氡对周边环境居民的影响程度，依据氡的迁移扩散机理，考虑项目所在地常年主导风向（东北风），选择厂界四周及距离厂区较近的村庄进行氡浓度监测。

（1）监测点位

厂界四周及距离厂区较近的村庄合理布设监测点位。

(2) 监测项目

空气中氡浓度、氡子体潜能浓度。

(3) 监测结果及评价

监测结果见表 4.2-5。

表 4.2-5 厂界四周及周边村庄氡浓度监测结果（引自附件 4-1）

略

依据《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995），全国室外评价氡浓度范围为 $3.3\sim 40.8\text{Bq/m}^3$ ，子体潜能浓度均值为 $15.4\sim 114\text{nJ/m}^3$ 。由表 4.2-5 可知，厂区内氡浓度范围、厂区周围村庄氡浓度和氡子体潜能浓度都在环境本底范围之内。

4.2.3 地下水

依据项目工艺流程分析，本项目运营过程中无液态流出物。

为了解项目区及附近居民点地下水现状，对厂区内地下水及最近居民点地下水进行监测。

(1) 监测点位

厂区内布设 1 个监测点位，附近居民点布设 1 个监测点位，共计 2 个监测点位。

(2) 监测项目

U、Th、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 、总 α 、总 β 放射性活度浓度。

(3) 监测结果及评价

监测结果见表 4.2-6。

表 4.2-6 地下水放射性监测结果

略

依据《广西壮族自治区水体中天然放射性核素浓度调查研究》（原广西壮族自治区环境监测中心站，1993 年），广西壮族自治区农村井水中 U 含量为 $0.05\sim 0.83\mu\text{g/L}$ 、Th 含量为 $<0.02\sim 0.14\mu\text{g/L}$ 、 ^{226}Ra 含量为 $<1.1\sim 80.3\text{mBq/L}$ ，总 α 、

总 β 放射性执行《地下水质量标准》(GB 14848-2017)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)。

由表 4.2-6 可知, 本项目地下水 U 含量、Th 含量、 ^{226}Ra 含量均在本底范围之内。

总 α 、总 β 满足《地下水质量标准》(GB 14848-2017)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)。同时满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022)水质指标限制(总 α 限值为 0.5Bq/L, 总 β 限值为 1Bq/L, U 限值为 0.03mg/L, ^{226}Ra 限值为 1Bq/L)。

4.2.4 土壤

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)中表 11 的要求, 对厂界四周、下风向居民点、最大落地点及附近居民点的土壤进行了取样分析。

(1) 监测点位

厂界四周布设 4 个监测点位, 在项目周围布设 3 个监测点位(包括最大风频下风向 500 米内的土壤, 排气口最大落地点附近的土壤)共计 7 个监测点位;

(2) 监测项目

表层 0~20cm 土壤: ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 放射性比活度;

(3) 监测结果及评价

监测结果见表 4.2-7。

表 4.2-7 土壤放射性监测结果

略

注: 表中“<”的结果表示低于测量探测限下限, 余同。

依据《中国环境天然放射性水平》(国家环境保护局, 1995), 防城港市(广西壮族自治区钦州地区)土壤中放射性核素 ^{238}U 含量为 11~151Bq/kg, ^{232}Th 含量为 26.1~182Bq/kg, ^{226}Ra 含量为 18.9~102Bq/kg。

由表 4.2-7 可知, 本项目厂界四周及附近居民点土壤中 ^{238}U 含量、 ^{232}Th 含量、 ^{226}Ra 含量均在本底范围之内。

4.2.5 小结

(1) γ 辐射空气吸收剂量率：项目厂区内 γ 辐射空气吸收剂量率在广西壮族自治区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率 11.0~304.3nGy/h 范围之内；项目厂区外围环境 γ 辐射空气吸收剂量率在广西壮族自治区原野 γ 辐射空气吸收剂量率 10.7~238.7nGy/h 范围之内。

(2) ^{222}Rn 及其子体浓度：厂界周围空气中氡及其子体浓度在《中国环境天然放射性水平》中全国城市空气中氡平均浓度变化范围 (3.3~40.6Bq/m³) 及子体潜能浓度变化范围 (15.4~114nJ/m³) 之内。

(3) 地下水：项目地下水 U、Th、 ^{226}Ra 与广西壮族自治区农村井水放射性处于同一水平，地下水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》(GB 14848-2017) 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)，同时满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022) 水质指标限制 (总 α 限值为 0.5Bq/L，总 β 限值为 1Bq/L，U 限值为 0.03mg/L， ^{226}Ra 限值为 1Bq/L)。

(4) 土壤：本项目厂界四周及附近居民点土壤中 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 含量与广西防城港市 (广西壮族自治区钦州地区) 处于同一水平，《中国环境天然放射性水平》(原子能出版社，2015)。

第五章 辐射环境影响分析

5.1 厂址特征参数

5.1.1 气候与气象

防城港市地处北回归线以南,属亚热带海洋季风气候,阳光充足,雨量充沛,夏天炎热,冬短不寒,气候条件较好。

(1) 气温

防城港市属亚热带海洋季风气候,夏季炎热多雨,冬季温和,历年平均气温 22.2℃,月平均最高气温 28.4℃(7 月),极端最高气温为 35.4℃,月平均最低气温为 14.2℃(出现在 1 月),历年最低气温 2.8℃。

(2) 降水与湿度

防城港市年平均降水量为 2363mm,年最大降水量为 3111.9mm,年最小降水量为 1745.6mm。降水量大都集中在 6~9 月,占全年降水量的 71%,其中以 8 月份降水量最为集中,达 528.7mm,而 11 月至翌年 3 月,这 5 个月的降水量只占全年降水量的 6.4%,其中以 12 月份降水量为最小,仅 23.9mm。

防城港市年平均相对湿度达 81%,最大月平均相对湿度为 88%,出现在 3 月份,最小月平均相对湿度为 71%,出现在 11 月份。最小相对湿度为 18%。

(3) 风况及雾况

防城港市属季节性地区,冬季多偏北风,夏季多偏南风,春秋季节是南北风向转换季节。全年常风向 NNE,其频率为 30.5%,次常风向为 SSW,其频率为 8.4%;强风向为 E,其最大风速为 36m/s,次强风向为 NNE,其最大风速为 27m/s,平均风速为 3.1m/s。本区为台风频繁活动地区,平均每年约受 1~3 次台风或热带低压影响,台风袭击时,风力可达 12 级以上,常伴有暴雨或大暴雨。

防城港市年平均雾日为 22.2 天,最多年雾日为 36 天,最小年雾日为 8 天,一般雾多发生在冬春两季,多出现在夜晚至翌晨,一般持续 2~3 小时,日出雾散。

(4) 气象数据

本项目评价采用防城港市气象站 2020 年全年逐日逐时地面观测数据。

根据 2020 年地面气象观测数据的统计分析,评价区域内 2020 年风频最大的风向分布为 N 风,频率 37.69%,其次是 SSW 风,频率 14.44%。2020 年各月、

季及年风向频率统计见表 5.1-1, 2020 年各季及年风向玫瑰见图 5.1-1, 由图可知, 评价区域全年主导风为北风。

表 5.1-1 2020 年各月、季及年风向频率统计表

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
一月	42.74	2.82	0.81	2.02	14.92	6.18	5.78	4.84	5.65	3.09	3.09	0.13	3.23	1.34	1.48	1.88	0.00
二月	34.63	3.45	1.44	3.74	12.50	6.03	6.90	3.74	7.47	4.17	2.01	1.58	4.89	3.88	1.72	1.87	0.00
三月	38.71	2.28	0.40	0.94	7.39	3.36	5.24	2.28	10.08	9.81	3.90	5.78	4.57	1.88	1.21	2.15	0.00
四月	48.33	2.92	0.56	0.42	3.75	3.89	5.28	5.69	6.53	4.72	4.03	3.89	3.33	2.36	1.94	2.36	0.00
五月	13.58	1.61	0.40	1.34	1.21	0.67	0.94	2.28	14.78	22.31	14.25	16.40	3.49	1.48	1.75	3.49	0.00
六月	0.56	0.42	0.14	0.00	0.42	0.83	1.39	0.97	16.81	50.97	20.28	2.50	2.36	1.53	0.56	0.28	0.00
七月	2.82	2.02	0.13	0.54	1.75	0.54	0.94	2.15	13.71	35.35	23.52	7.80	5.24	1.75	0.81	0.94	0.00
八月	7.93	4.70	4.30	4.57	7.80	5.11	2.96	4.30	9.41	12.23	6.59	6.85	9.27	6.72	4.44	2.69	0.13
九月	25.69	6.11	1.81	1.67	3.75	1.67	2.92	5.28	10.28	9.03	4.86	4.03	9.03	7.08	3.33	3.06	0.42
十月	75.40	9.81	2.28	1.48	3.23	1.61	0.54	0.81	0.54	0.67	0.54	0.54	1.34	0.54	0.40	0.13	0.13
十一月	61.53	7.08	0.42	0.28	4.03	1.53	3.19	2.64	2.22	6.25	2.36	1.81	3.06	1.81	0.83	0.83	0.14
十二月	63.04	16.13	1.08	0.54	3.23	1.88	1.48	1.61	2.42	1.08	0.94	0.67	1.34	0.81	1.75	2.02	0.00
春季	33.38	2.26	0.45	0.91	4.12	2.63	3.80	3.40	10.51	12.36	7.43	8.74	3.80	1.90	1.63	2.67	0.00
夏季	3.80	2.40	1.54	1.72	3.35	2.17	1.77	2.49	13.27	32.65	16.76	5.75	5.66	3.35	1.95	1.31	0.05
秋季	54.44	7.69	1.51	1.14	3.66	1.60	2.20	2.88	4.30	5.27	2.56	2.11	4.44	3.11	1.51	1.33	0.23
冬季	47.07	7.55	1.10	2.06	10.16	4.67	4.67	3.39	5.13	2.75	2.01	0.78	3.11	1.97	1.65	1.92	0.00
全年	34.59	4.96	1.15	1.46	5.32	2.77	3.11	3.04	8.32	13.31	7.22	4.36	4.26	2.58	1.68	1.81	0.07

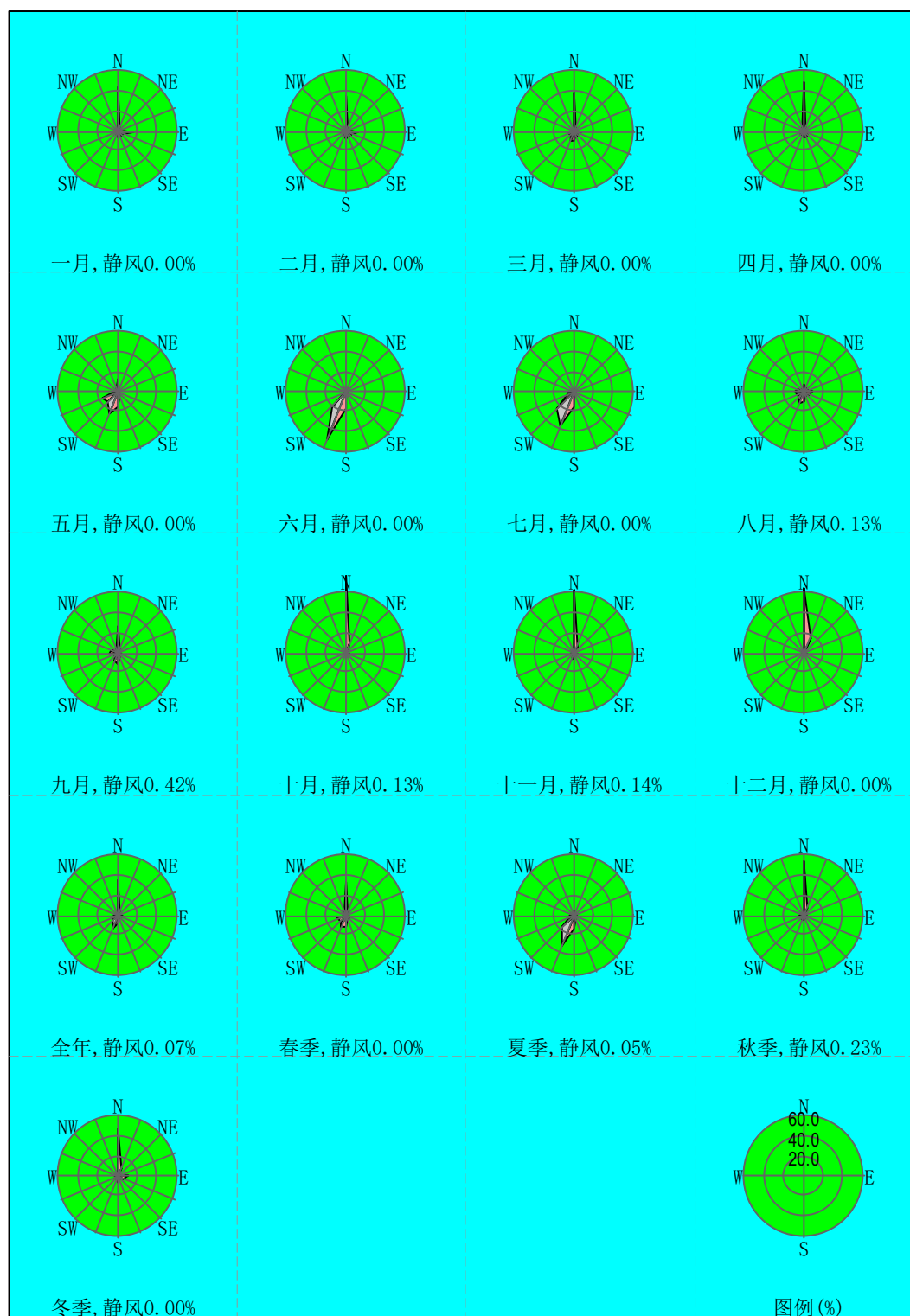


图 5.1-1 2020 年防城港风玫瑰图

5.1.2 水文

(1) 地表水

防城港市由于十万大山主脉由东向西横贯中部,因而形成了南北水系的分水岭,境内河流多源于此。向南流的属于桂南沿海诸河,自成水系,独流入海,主要河流有:茅岭江、防城河、北仑河、江平江、罗浮江等,自此向东南流。向北流的属西江水系左郁江支流,主要河流是上思县境内的明江及其支流驮淋河、公安河。全市共有 65 条中小河流,其中流域面积在 100km^2 以上的河流有 10 条。总长 293km ,流域面积 2298km^2 ,蕴藏着丰富的水能资源。

进入防城港湾的河流是防城江,防城江在针鱼岭附近入湾后分成两支,主流沿西湾南下,另一支经暗埠江南下。防城江发源于十万大山南麓,全长约 100km ,流域面积 810km^2 ,属山区性河流,流量随季节性变化大。据长岐水文站(距河口约 40km)实测资料分析,多年平均流量为 $32.5\text{m}^3/\text{s}$,最大洪峰量为 $5450\text{m}^3/\text{s}$,最小流量为 $0.15\text{m}^3/\text{s}$ 。防城江在防城镇至入海口属感潮河段。

沙潭江位于项目西北面 3.3km ,大体上呈南北走向,流域内的众多河汊、河谷的溪流及浅层地下水向此河流汇集后、缓缓流入大海。此江流域隶属十万大山南麓水系范围,地表水除涨潮海水倒灌外,其余水量为十万大山南麓水系的水源或大气降水补给,江面呈条带状,河床宽度一般在 $30\sim 150\text{m}$ 间,至沙潭江闸口处江面突然变宽、呈喇叭口状与内海相接,受海潮涨落的影响。沙潭江发源于三波峰,自东向西南独流入海,流域面积 46.4km^2 ,河流长度 14.7km ,河道坡降 0.52% ,流域形状呈羽状分布,右支流上已建有三波水库,流域面积 7.0km^2 。

榕木江位于项目南面 1km ,为小型潮汐河流,连接三波水库和近岸海域,榕木江长约 6km ,最大宽度约 30m ,最小宽度约 4m 。

三波水库位于项目西北面约 6.1km ,水库总库容为 1320万 m^3 ,集雨面积 9.30km^2 ,设计水位 18.27m ,设计灌溉面积 2.35 万亩,防洪设施按百年一遇洪水设计。

官山辽水库位于项目东南面约 8.6km ,该水库距企沙镇约 7.5km ,水库集雨面积 3.29km^2 ,总库容为 590万 m^3 ,有效库容为 430万 m^3 ,死库容 7万 m^3 。设计灌溉面积 366.7hm^2 ,实际灌溉面积 197.3hm^2 。

(2) 海洋

根据防城港市潮位站 1977~1989 年的实测潮位资料，防城港平均海面为 0.37m（黄海基面起算，下同），最高高潮位 5.54m，平均高潮位 1.66m，最低低潮位 -2.34m，平均低潮位 -0.77m。各类潮面都具有较明显的季节变化。

防城港潮汐特征数（ $K=H_{k1}+H_{01}/H_{M2}=5.20>4.0$ ），属正规全日潮，其特点是：当全日分潮显著时，潮差大（最大潮差 $\geq 4.5\text{m}$ ），涨潮历时大于落潮历时，涨潮历时约 13h，落潮历时约 11h，憩流时间短；当半日分潮显著时，潮差小（最小潮差 $< 1\text{m}$ ），涨落潮历时大致相等，憩流时间长（ $> 3\text{h}$ ）。持续 2h 以上的潮位全年数为：潮高 2.8m 为 338d，潮高 3m 为 315d，潮高 3.5m 为 251d，潮高 4m 为 140d，潮高 4.5m 为 28d。

（3）地下水

地下水主要为第四系土层中的孔隙潜水和下覆基岩构造裂隙水。地下水埋藏浅，丘间沟底地下水位浅层在地表下 3m 左右，深层在 5~8m 以下，富水性弱~中等。第四系孔隙潜水钻孔涌水量 2.04~618t/d，泉流量 0.039~19.47L/s，志留系地层中的构造裂隙水枯季径流模数为 2.081~15.44L/s·km²，泉流量为 0.039~0.993L/s。水量及水位受季节变化影响大，受地形变化影响也显著。孔隙潜水动态较稳定，基岩构造裂隙水雨季和枯水季节水位变幅达 2~10m，地下水流速取决于地形自然坡。孔隙潜水和基岩构造裂隙水主要补给来源为大气降雨、地表水体，向坡脚谷底、河流、海湾分散排泄。。

5.1.3 人口分布

防城港市辖港口区、防城区、上思县和东兴市，总面积 6222km²，城市建成区面积为 42km²。全市共有 10 个乡、14 个镇、2 个街道办事处，280 个村委会、51 个社区委员会。居住着汉、壮、瑶、京等 21 个民族，少数民族人口占 48%。

根据广西第七次全国人口普查主要数据公报，防城港市常住人口为 1046068 人，男性占比 54.34%，女性占比 45.66%，年龄结构中 0~14 岁占比 24.04%，15~59 岁占比 61.83%，60 岁以上占比 14.13%，65 岁以上占比 10.03%。

港口区下辖 4 个街道办事处（渔洲坪街道、白沙圩街道、沙潭江、王府）和 2 个镇（企沙镇、光坡镇），行政区域面积 338km²，总人口 16.54 万。

防城区下辖 3 个街道办事处（水营、珠河、文昌）、8 个镇（华石镇、那梭镇、那良镇、峒中镇、大菴镇、茅岭镇、江山镇、扶隆镇），1 个乡（滩营乡），

1 个民族乡（十万山瑶族乡），行政区域面积 2427 km²，总人口 43 万人。

本次评价选取以广西粤桥新材料科技有限公司防城港分公司厂区中心为中心，半径 0.5km 的圆形区域作为评价区，辐射环境影响评价范围内约 530 人；距项目厂区最近的居民点为东侧距离约 140m 的沙港，人口约 70 人。

根据 2015 年广西统计局数据，区域内人口的年龄结构为：婴儿（≤1 岁）2.0%，幼儿（1~7 岁）9.97%，少年（7~17 岁）13.12%，成人（>18 岁）74.91%。2.5km 范围内各子区人口分布情况见表 5.1-2。

5.1.4 食谱

评价区域内居民主食以大米为主，副食有肉类、鸡蛋、鱼、海鲜及各种蔬菜等。根据对厂区周围居民点实地调查结果，参考《中国居民膳食指南》（2016 年）等统计资料，确定评价区域内人群主要食谱及食物消费量见表 5.1-3 及 5.1-4。

表 5.1-3 各年龄组对食物的消费量

食物种类		谷物	蔬菜	水果	肉类	蛋	奶
消费量 (kg/人年)	婴儿	0	0	5	1	10	40
	儿童	50	30	15	20	20	50
	少年	110	90	50	45	15	30
	成人	120	135	40	40	8	12
自给份额		保守取 1					
贮存时间（d）		30	1	2	1	1	1
生长期（d）		120	90	180	/	/	/

表 5.1-4 与动物产品相关的参数

动物产品种类	奶	肉类
饲料消费量（kg/d）	16	12
饲料贮存时间（d）	90	90
全年鲜草份额	0.7	0.7
牧草生长期（d）	30	30
饲料生长期（d）	100	100

注：奶、肉类饲料消耗量以大动物计。

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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	幼儿	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	8	0	0	10
	少年	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	10	0	0	13
	成年	70	40	0	0	0	0	15	0	20	30	20	0	0	60	0	0	255
合计		70	40	0	0	0	0	20	0	20	30	20	0	0	80	0	0	280

5.2 正常工况气载流出物辐射环境影响分析

本项目厂区内选矿循环水池、还原循环水池、铁红水池、锆英酸液池等均循环使用不外排，无液态流出物，放射性污染途径见图 5.2-1。

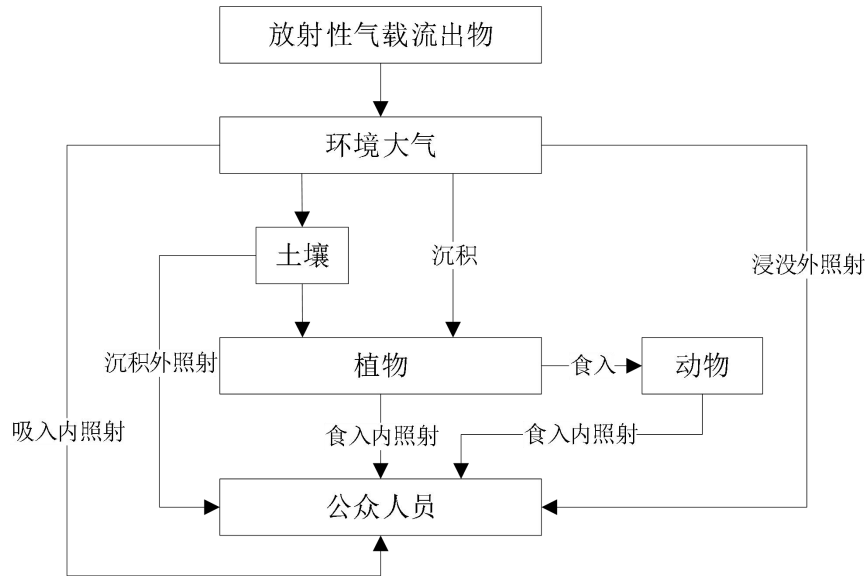


图 5.2-1 放射性污染途径示意图

本项目气态流出物照射途径主要为：

- ① 浸没于空气中受到的外照射；
- ② 由于干、湿沉降导致地面放射性沉积物引起的外照射；
- ③ 吸入空气造成的内照射；
- ④ 食入因干、湿沉降导致放射性沉积的粮食、蔬菜等食物造成的内照射；
- ⑤ 食入由干、湿沉降导致放射性沉积的饲料所喂养的家畜肉、奶及其制品造成的内照射。

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伴生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，同时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。主要考虑吸入内照射的影响。

本次辐射环境影响评价的基本评价指标是以厂区中心为中心点的公众最大个人有效剂量当量以及职业人员的年附加有效剂量。评价方法以模式计算为主，选择伴生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。

5.2.1 公众剂量估算

(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：

$$D=D_r+D_{Rn}+D_h \quad (\text{式 5.2-1})$$

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_h ——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 地表沉积外照射为 $5.5 \times 10^{-19} (\text{Sv/s}) / (\text{Bq/m}^2)$ ，空气浸没外照射为 $3.4 \times 10^{-18} (\text{Sv/s}) / (\text{Bq/m}^3)$ ，取自《空气、水和土壤中核素导致的外照射》（美国联邦导则 12 号报告，1993））。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。

(2) 吸入 ^{222}Rn 所致个人有效剂量当量 (D_{Rn})

采用简单箱体模型计算氡吸入所致内照射有效剂量，箱体模型假设析出的氡在箱内均匀混合，根据现场监测，再根据场地中氡浓度计算公众的剂量公式：

$$D_{Rn}=g_{Rn} \cdot t \cdot C_{Rn} \quad (\text{式 5.2-2})$$

式中： D_{Rn} ——吸入 ^{222}Rn 内照射剂量，Sv/a；

g_{Rn} ——吸入 ^{222}Rn 剂量转换因子， $3.11 \times 10^{-9} \text{Sv} / (\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})$ ，取自《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

t ——时间，取 7200h；

C_{Rn} ——环境中空气中 ^{222}Rn 浓度增量， Bq/m^3 。

采用简单箱体模型计算场所氡释放率。箱体模型假设析出的氡在箱内均匀混合，计算公式为：

$$R=C_{Rn} * (U * B * H) / S$$

式中： C_{Rn} ——场地中氡浓度，取最大值 49.1Bq/m^3 ；

R ——场地中氡析出率，Bq/s；

S ——场地面积工作场所取 110086m²；

U ——各风向年均风速，根据 2021 年气象数据年均风速为 4.38m/s；

B ——垂直最高概率风向的场地宽度，主导风向为北风，取 168m；

H ——箱体高度，取 10m。

根据上述公式，计算出 ²²²Rn 析出率为 0.65Bq/(m²·s)，根据 ²²²Rn 析出率计算得出工作场所氡气释放率为 71471Bq/s（此处为保守取值，相当于项目场址内氡浓度均按最大值取值，且放射物物料堆场释放出来的氡立即全部被吹走，实际情况下，空气流动条件不会导致氡立即全部被吹走）。

根据工程特点，将工作场所作为地面连续释放源项且作为面源计算，剂量估算将面源划分为小点源做浓度叠加计算。根据高斯烟羽浓度公式，大气扩散中地面连续点源浓度公式为：

$$X(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (\text{式 5.2-3})$$

式中： $X(x, y, 0)$ ——点 $(x, y, 0)$ 处空气浓度，Bq/m³；

x ——下风向离源的距离，m；

y ——横截风向的距离，m；

Q ——释放率，Bq/s；

σ_y 、 σ_z ——分别为侧向和垂直向的扩散系数，m；

u ——有效排放高度的风速，m/s。

根据计算公式及参数计算出，由大气扩散模式计算的各敏感点及评价子区地面氡浓度见表 5.2-1，从表中可以看出，最大氡浓度值出现在 SE 方位 0~0.5km（敏感点张屋）处，其值为 1.32Bq/m³。

表 5.2-1 气载流出物所致各子区空气中氡浓度贡献值 (C_{Rn}) (Bq/m^3)

方位	距离 (km)
	0~0.5
N	1.10E+00
NNE	1.10E+00
NE	1.12E+00
ENE	1.20E+00
E	1.29E+00
ESE	1.30E+00
SE	1.32E+00
SSE	1.29E+00
S	1.27E+00
SSW	1.24E+00
SW	1.17E+00
WSW	1.06E+00
W	1.01E+00
WNW	1.03E+00
NW	1.06E+00
NNW	1.09E+00

氡吸入所致内照射有效剂量估算结果如下：

表 5.2-2 气载流出物所致各子区的个人剂量 (D_{Rn}) (mSv/a)

方位	距离 (km)
	0~0.5
N	2.46E-02
NNE	2.46E-02
NE	2.51E-02
ENE	2.69E-02
E	2.89E-02
ESE	2.91E-02
SE	2.96E-02
SSE	2.89E-02
S	2.84E-02
SSW	2.78E-02
SW	2.62E-02
WSW	2.37E-02
W	2.26E-02
WNW	2.31E-02

方位	距离 (km)
	0~0.5
NW	2.37E-02
NNW	2.44E-02

由表 5.2-2 可知，氡吸入所致个人剂量最大附加值为 0.0296mSv/a，低于公众年有效剂量约束值 0.3mSv/a。

(3) 公众吸入放射性核素所致有效剂量 (D_h)

根据前面的计算可知，吸入所致内照射的放射性核素主要为 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra ，公众吸入放射性核素所致有效剂量可按下式计算：

$$D_h = C_{\text{尘}} \times f_i \times t \times R \times G_i \times 10^{-6} \quad (\text{式 5.2-4})$$

式中： D_h ——公众吸入再悬浮核素 i 所致内照射剂量，Sv/a；

$C_{\text{尘}}$ ——附近居民吸入该厂排放的粉尘浓度， mg/m^3 ；

f_i ——吸入矿尘第 i 种核素比活度浓度， Bq/kg ；

t ——公众每年停留时间（以年运行时间计），h/a；

R ——公众空气摄入速率， m^3/h ，见表 4.2-3；

G_i ——第 i 种核素吸入剂量转换系数（考虑空气动力学直径 $5\mu\text{m}$ ），Sv/Bq，见表 5.2-4。

表 5.2-3 公众成员空气摄入量 (R) (m^3/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 5.2-4 公众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					
	年龄<1 岁	1~2 岁	2~7 岁	7~12 岁	12~17 岁	>17 岁
^{238}U	1.2E-05	9.4E-06	5.9E-06	4.0E-06	3.4E-06	2.9E-06
^{232}Th	5.4E-05	5.0E-05	3.7E-05	2.6E-05	2.5E-05	2.5E-05
^{226}Ra	1.5E-05	1.1E-05	7.0E-06	4.9E-06	4.5E-06	3.5E-06

根据粉尘预测浓度结果（表 5.2-5），结合外排粉尘中伴生放射性核素比活度水平数据（偏安全考虑，按最大值 ^{238}U ：475Bq/kg、 ^{232}Th ：2410Bq/kg、 ^{226}Ra ：1220Bq/kg 进行估算），以及表 5.2-3 和表 5.2-4 中剂量计算相关参数，估算出正常工况下不同年龄组公众成员通过吸入途径所摄入最大核素量以及所致个人有效剂量，估算结果分别如表 5.2-6

所示。

表 5.2-5 气载流出物所致各子区空气中粉尘浓度贡献值 (C_d) (mg/m^3)

方位	距离 (km)
	0~0.5
N	7.53E-03
NNE	5.36E-03
NE	4.35E-03
ENE	3.62E-03
E	2.97E-03
ESE	2.33E-03
SE	1.90E-03
SSE	2.20E-03
S	3.86E-03
SSW	4.70E-03
SW	5.51E-03
WSW	7.94E-03
W	1.05E-02
WNW	1.07E-02
NW	8.28E-03
NNW	9.09E-03

表 5.2-6 吸入粉尘所致公众个人最大有效剂量估算结果 (D_h) (mSv/a)

方位	距离 (km)
	0~0.5
<1 岁	1.52E-04
1~2 岁	2.15E-04
2~7 岁	2.12E-04
7~12 岁	1.89E-04
12~17 岁	2.18E-04
>17 岁	2.48E-04

项目粉尘颗粒物排放放射性核素所致公众成员最大个人年附加有效剂量出现在 WNW 方位 0~0.5m 处的>17 岁成人, 最大为 $2.84 \times 10^{-4} \text{mSv}/\text{a}$, 满足本次评价所提出的 $0.3 \text{mSv}/\text{a}$ 的公众年有效剂量管理约束值。

(4) 公众个人年附加有效剂量估算

公众个人年附加有效剂量计算公式：

$$D=D_{Rn}+D_h \quad (\text{式 5.2-5})$$

由表 5.2-2 可以看出，项目所致公众成员最大个人年附加有效剂量出现在 SE 方位 0~0.5km（敏感点沙港）处的公众，为 0.0296mSv/a，满足本次评价所提出的 0.3mSv/a 的公众年有效剂量管理约束值。

(5) 周围敏感点公众个人年附加有效剂量估算

根据周围敏感点位置及氡（ D_{Rn} ）、放射性核素（ D_h ）的计算公式，估算周边保护目标的公众个人附加年有效剂量，估算结果如下。

表 5.2-7 周围敏感点个人附加年有效剂量估算结果（D）（mSv/a）

序号	敏感点名称	相对方位	距离(m)	D_{Rn}	D_h	D
1	中车	NW	150	2.37E-02	1.92E-04	2.39E-02
2	沙港	SE	140	2.96E-02	4.41E-05	2.96E-02
3	广西金源镍业有限公司	S	100	2.84E-02	8.95E-05	2.85E-02
4	防城港越洋化工有限公司	N	100	2.46E-02	1.75E-04	2.48E-02
5	广西川金诺化工有限公司	ENE	350	2.69E-02	8.40E-05	2.70E-02

由表 5.2-7 可知，周边保护目标的公众个人附加年有效剂量最大为 0.0296mSv/a，所有敏感点公众个人附加年有效剂量均满足本次评价所提出的 0.3mSv/a 的公众年有效剂量管理约束值。

5.2.2 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。

(1) 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按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A， γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下：

$$H_e = D_\gamma \times t \times K \times 10^{-3} \quad (\text{式 5.2-6})$$

式中： H_e —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，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ

1157-2021），根据监测选取仪器的校准证书可知，本项目使用 ^{137}Cs 射线作为检定参考辐射源，故换算系数取 1.2，单位为 Sv/Gy 。

（2）吸入氡有效剂量估算公式

详见 5.2.1 节中式 5.2-2。

（3）吸入放射性核素所致有效剂量估算公式

详见 5.2.1 节中式 5.2-4。

本项目各车间人员外照射时间按如下原则计算：

①钛矿仓库、金红锆英仓库、人造仓库、弱磁矿暂存库工作人员主要是物料铺放和收料时会受到外照射，其余时间工作人员不在仓库，不会受到外照射，每班受照射时间为 2h，年工作 300d 计，即年受照射时间为 600h；

②干选车间、磁选车间、还原车间、锈蚀车间、铁红车间、活性炭车间，每班工作时间为 8h，年工作 300d 计，即年受照射时间为 2400h。

（4） γ 辐射剂量率外照射剂量估算

本项目工作人员所受外照射有效剂量见表 5.2-8。

表 5.2-8 工作人员所受外照射有效剂量估算一览表

序号	工作场所	γ 辐射剂量率 nGy/h	工作时间 h	外照射有效剂量 mSv/a
1	弱磁矿暂存库	131	600	9.43E-02
2	导磁锆英暂存库	94.6	600	6.81E-02
3	钛矿仓库	121	600	8.71E-02
4	金红锆英仓库	84.7	600	6.10E-02
5	人造仓库	156	600	1.12E-01
6	干选车间	93.9	2400	2.70E-01
7	磁选车间	112	2400	3.22E-01
8	还原车间	85.9	2400	2.47E-01
9	锈蚀车间	112	2400	3.22E-01
10	铁红车间	77	2400	2.22E-01
11	活性炭车间	132	2400	3.80E-01
12	酸浸车间	60.9	2400	1.75E-01

注：* γ 辐射剂量率取每个测量地点（工作场所）的最高值进行剂量估算。

(5) 吸入氡有效剂量估算

本项目工作人员吸入氡有效剂量见表 5.2-9。

表 5.2-9 工作人员吸入氡有效剂量估算一览表

序号	工作场所	氡测量值 Bq/m ³	工作时间 h	空气氡有效剂量 mSv/a
1	弱磁矿暂存库	4.62	600	8.62E-03
2	导磁锆英暂存库	23.2	600	4.33E-02
3	钛矿仓库	11.2	600	2.09E-02
4	金红锆英仓库	8.97	600	1.67E-02
5	人造仓库	5.88	600	1.10E-02
6	干选车间	5.88	2400	4.39E-02
7	磁选车间	3.61	2400	2.69E-02
8	还原车间	3.08	2400	2.30E-02
9	锈蚀车间	2.98	2400	2.22E-02
10	铁红车间	2.98	2400	2.22E-02
11	活性炭车间	4.41	2400	3.29E-02
12	酸浸车间	1.43	2400	1.07E-02

注：氡浓度以测量值进行剂量估算。

(6) 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有效剂量见表 5.2-10。

表 5.2-10 工作人员吸入放射性核素有效剂量估算一览表

序号	工作场所	核素	放射性比活度 Bq/kg	工作场所粉尘浓度 mg/m ³	工作时间 h	吸入粉尘中核素所致剂量 mSv/a	
						单个核素所致剂量	合计
1	弱磁矿暂存库	²³⁸ U	337	0.153	600	1.08E-04	7.53E-03
		²³² Th	2600			7.16E-03	
		²²⁶ Ra	673			2.59E-04	
2	导磁锆英暂存库	²³⁸ U	1630		600	5.21E-04	9.66E-02
		²³² Th	34100			9.39E-02	
		²²⁶ Ra	5550			2.14E-03	
3	钛矿仓库	²³⁸ U	75.3		600	2.41E-05	2.05E-03
		²³² Th	708			1.95E-03	
		²²⁶ Ra	200			7.70E-05	
4	金红锆英仓库	²³⁸ U	453		600	1.45E-04	2.81E-03
		²³² Th	620			1.71E-03	
		²²⁶ Ra	2480			9.54E-04	
5	人造仓库	²³⁸ U	73.8		600	2.36E-05	1.39E-03
		²³² Th	473			1.30E-03	
		²²⁶ Ra	172			6.62E-05	
6	干选车间	²³⁸ U	475		2400	6.07E-04	2.90E-02

		²³² Th	2409			2.65E-02	
		²²⁶ Ra	1224			1.89E-03	
7	磁选车间	²³⁸ U	475		2400	6.07E-04	2.90E-02
		²³² Th	2409			2.65E-02	
		²²⁶ Ra	1224			1.89E-03	
8	还原车间	²³⁸ U	75.3		2400	9.62E-05	8.20E-03
		²³² Th	708			7.79E-03	
		²²⁶ Ra	200			3.09E-04	
9	锈蚀车间	²³⁸ U	23.3		2400	2.98E-05	4.16E-03
		²³² Th	361			3.97E-03	
		²²⁶ Ra	104			1.61E-04	
10	铁红车间	²³⁸ U	12.5		2400	1.60E-05	3.89E-03
		²³² Th	339			3.73E-03	
		²²⁶ Ra	91.7			1.42E-04	
11	活性炭车间	²³⁸ U	40.7		2400	5.20E-05	6.36E-04
		²³² Th	47.6			5.24E-04	
		²²⁶ Ra	38.8			5.99E-05	
12	酸浸车间	²³⁸ U	453		2400	5.79E-04	1.12E-02
		²³² Th	620			6.82E-03	
		²²⁶ Ra	2480			3.83E-03	

注：工作场所粉尘浓度引自广西广保矿业有限公司辐射专篇数据，广西广保与本项目选矿工艺相同，具有可类比性。

(7) 职业人员剂量估算

结合以上计算结果，本项目工作人员个人辐射剂量估算见表 5.2-11。

表 5.2-11 工作人员个人辐射剂量估算一览表

序号	工作场所	个人辐射剂量 mSv/a			
		外照射 mSv/a	空气氡 mSv/a	放射性核素（粉尘） mSv/a	合计 mSv/a
1	弱磁矿暂存库	9.43E-02	8.62E-03	7.53E-03	1.10E-01
2	导磁锆英暂存库	6.81E-02	4.33E-02	9.66E-02	2.08E-01
3	钛矿仓库	8.71E-02	2.09E-02	2.05E-03	1.10E-01
4	金红锆英仓库	6.10E-02	1.67E-02	2.81E-03	8.05E-02
5	人造仓库	1.12E-01	1.10E-02	1.39E-03	1.24E-01
6	干选车间	2.70E-01	4.39E-02	2.90E-02	3.43E-01
7	磁选车间	3.22E-01	2.69E-02	2.90E-02	3.78E-01
8	还原车间	2.47E-01	2.30E-02	8.20E-03	2.78E-01
9	锈蚀车间	3.22E-01	2.22E-02	4.16E-03	3.48E-01
10	铁红车间	2.22E-01	2.22E-02	3.89E-03	2.48E-01
11	活性炭车间	3.80E-01	3.29E-02	6.36E-04	4.13E-01
12	酸浸车间	1.75E-01	1.07E-02	1.12E-02	1.87E-01

从表 5.2-11 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活性炭车间工作人员,个人有效剂量为 0.413mSv/a,小于本项目的管理限值 5mSv/a。

5.3 正常工况地表水辐射环境影响分析

根据本项目工艺流程可知,本项目生产过程中,不产生放射性废水,循环冷却水循环利用,不外排,不会对地表水产生影响。

5.4 地下水辐射环境影响分析

(1) 污染源

本项目地下水污染源主要有:

- ① 原料、产品、尾渣等渗滤液污染地下水;
- ② 循环冷却水渗漏污染地下水;

(2) 污染地下水可能性分析

① 原料、产品、尾渣等渗滤液

本项目原料、产品、尾渣等均设置专门的存放仓库,且存放区均已进行水泥固化(厂内除绿地外,均采取水泥硬化处理,弱磁矿暂存库做重点防渗处理),不会与雨水接触,不产生淋滤液。原料根据生产需要,按需定期进货,不会大量堆积;产品、尾渣直接打包存放,并定期外售;厂区内烟尘等定期清理,防止通过雨水渗入影响地下水。

② 循环冷却水渗漏

本项目循环冷却水仅作为窑炉外壁喷淋冷却,不与生产物料直接接触,根据现状监测结果可知,循环冷却水放射性指标中,总 α 为 0.047Bq/L,总 β 为 0.217Bq/L,均低于《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) III类水质标准和《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)的要求。循环水池已做一般防渗处理,对地下水影响较小。

综上所述,本项目地下水污染源对地下水影响较小,且已采取相应的污染防治措施,可有效降低项目污染地下水环境的可能性。

5.5 “三关键”分析

本项目评价范围内，放射性核素照射途径主要是有关车间或工艺环节的外照射，以及无组织排放的矿物粉尘、氡及子体、气溶胶等。无放射性废水产生，循环冷却水不外排；循环冷却水渗透至地下水可能性小，液态途径的照射极小。

通过 5.2 节，正常工况气载流出物的辐射环境影响分析结果可知，本项目运行所致公众成员最大个人年附加有效剂量出现在 SE 方位 0~0.5km 处的公众，为 0.0296mSv/a。其中，因吸入氡气所致内照射而产生的最大个人附加有效剂量为 2.96×10^{-2} mSv/a，贡献份额为 99.07%；因吸入粉尘颗粒物而造成的伴生放射性核素内照射，伴生放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 所致最大个人附加有效剂量合计为 2.48×10^{-4} mSv/a，贡献份额为 0.93%。

综上所述，本项目关键居民组为 SE 方向的沙港的公众，个人附加有效剂量估算值为 0.0296mSv/a，关键核素为氡，关键照射途径为氡吸入所致内照射。

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

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。因此，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。

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。

5.6.3 运输过程中的风险

为满足《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019)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。运输过程设置合理的原料及产品运输路线，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。

一旦在运输矿石期间发生事故时，需要启动应急响应程序。若车辆发生事故，应疏散无关人群，立即调派其他专用运输车辆将事故车辆内的物料转移。

5.6.4 循环水池渗漏或泄露事故

本项目设有循环水池、初期雨水收集池，本项目的循环冷却水主要为窑头冷却窑和窑尾冷却窑的循环冷却水，循环冷却水喷淋冷却窑外壁，不与生产物料直接接触，循环冷却水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》(GB 14848-2017)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），环境风险不大。

5.7 固体废物辐射环境影响分析

本项目无放射性固体废物产生，尾砂中各伴生放射性核素比活度均低于 1Bq/g，作为一般工业固体废物处置。故本项目固体废物对环境的影响较小。

5.8 服务期满辐射环境影响分析

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伴生放射性污染的设施、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，服务期满后伴生放射性源项也随之关闭、消失，不再产生含伴生放射性物质，不会对周围环境产生不利影响。

第六章 辐射环境管理和辐射监测

6.1 辐射环境管理

为了对项目辐射环境保护工作进行统一有效的管理与监督,建设单位需成立辐射安全与环境保护管理机构,成立领导小组,负责组织辐射安全培训、辐射安全应急演练,开展日常安全检查并督促隐患整改,协助调查、处理辐射事故,负责通知、组织医疗救援等。制定《辐射事故应急预案》、《辐射防护和安全管理制

6.2 流出物监测

本项目流出物监测计划详见表 6.2-1。

表 6.2-1 项目流出物监测计划表

监测对象	阶段	监测范围	监测因子	监测频率	监测机构
空气	运营期	厂界四周	总 α 、总 β 、U、Th、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 、 ^{222}Rn 及其子体	一年一次	有资质监测单位
废气	运营期	排气筒	U、Th		

6.3 物料监测

本项目物料监测计划详见表 5.3-1。

表 6.3-1 项目流物料监测计划表

监测对象	阶段	监测范围	监测因子	监测频率	监测机构
原料、产品、尾渣	运营期	原料、产品、尾渣	^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb	进料或出售时不定期抽样监测	有资质监测单位

第七章 结论与建议

7.1 项目概况

广西粤桥新材料科技有限公司年产 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛项目技改工程项目，项目代码：2309-450602-07-02-914896。项目位于防城港经济技术开发区防城港大西南临港工业园 B 区，项目行业类别为伴生放射性矿（采选、冶炼）。

技改内容为：利用现有厂区，新增建设锆英酸浸车间及配套设备，对副产品一锆英砂进行技改深加工，提高锆英砂产品品质。同时，本次技改项目做以下生产建设调整：①调整活性炭车间建设位置和平面布置，增加建设煤质活性炭生产工序及配套环保设施，对还原车间煤灰渣分选工序产生的矿煤灰进一步加工，新增产出副产品煤质活性炭。②选矿流程新增选出金红中矿（副产品），且分离出放射物料导磁锆英（副产品）。③还原车间煤灰渣分选流程新增选出放射性物料还原弱磁矿（副产品）。

该项目原环评未开展辐射环境影响评价，本次辐射环境影响评价为首次，包含技改后全部 15 万吨人造金红石及 8 万吨还原钛生产规模。

7.2 政策符合性分析

本项目以钛毛矿为原料，经选矿、还原焙烧、锈蚀、酸浸等工序，得到还原钛铁矿主产品及人造金红石主产品。本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的限制类、淘汰类项目，也不属于《市场准入负面清单（2022 年版）》中的禁止准入类、许可准入类，亦不属于《广西工业产业结构调整指导目录（2021 年本）》中的限制类、淘汰类项目，不属于《限期淘汰产生严重污染环境的工业固体废物的落后生产工艺设备名录》（工信部公告 2021 年第 25 号）中的淘汰设备。

本项目位于防城港经济技术开发区，根据《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发北钦防一体化产业协同发展限制布局清单（工业类 2021 年版）的通知》（桂政办函〔2021〕4 号），本项目不属于其清单中限制发展的印染加工、制革及毛皮加工、水泥制造行业。

综上所述，本项目符合国家及地方的产业政策。

7.3 辐射防护措施结论

7.3.1 气载流出物

本项目为防止放射性核素随废气颗粒物排入外环境，采取了一系列措施收集并处理废气中的颗粒物，经现场监测，排气筒流出的粉尘中铀、钍排放浓度达标，厂界四周气溶胶中铀、钍浓度达标， ^{210}Pb 、 ^{210}Po 活度浓度在广西壮族自治区本底范围之内。

7.3.2 厂区内循环水

本项目厂内循环水均不与生产物料直接接触，且均循环使用不外排。

7.3.3 地下水

（1）循环冷却水防渗漏措施

循环冷却水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》（GB 14848-2017）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）。故本项目循环冷却水可直接循环利用，不外排；因此，循环冷却水对地下水产生的影响较小。

（2）放射性暂存库

导磁锆英和还原弱磁矿具有较高的伴生放射性水平，暂存于专用密闭仓库内，不与雨水接触，不产生渗滤液，地面要求做重点防渗处理，因此，导磁锆英和还原弱磁矿对地下水的影响较小。

7.3.4 生产物料

（1）导磁锆英和还原弱磁矿的储存与管理

导磁锆英和还原弱磁矿具有一定的伴生放射性，为减少产品的辐射影响，在导磁锆英和还原弱磁矿未出厂前，将设置专门的暂存库存放。暂存库建设满足《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）中伴生放射性物料贮存设施设计要求。

（2）原料和产品的储存与管理

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)相关要求,在原料和产品的仓库外明显部位设置电离辐射标志,对原料和产品进行分类贮存,并加强管理,防止物料流失,禁止无关人员进入。

7.3.5 固体废物

导磁锆英和还原弱磁矿具有一定的伴生放射性,拟暂存于放射性暂存库,委托有资质单位对有用成分含量进行检测,含量达到外售协议接收标准,即作为副产品售卖。一般固体废物只有少量泥浆和尾砂,主要成分是二氧化硅等。其放射性水平甚至低于当地土壤的平均水平,可作为建筑材料的辅料或填充料而再次利用。

7.3.6 运输风险

为满足《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019)中要求,外售弱磁矿设置合理的运输路线,运输前应该进行严密包装,采用专用箱式运输车辆,货物装车后应及时封闭车辆。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) 制定有相应的事故应急预案及应急措施;
- (3) 现有的应急响应信息以及如何利用这些信息;
- (4) 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;
- (5) 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。

7.4 环境现状及影响预测结论

7.4.1 环境现状评价结论

(1) γ 辐射空气吸收剂量率:项目厂区内 γ 辐射空气吸收剂量率在广西壮族自治区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率 11.0~304.3nGy/h 范围之内;项目厂区外环境 γ 辐射空气吸收剂量率在广西壮族自治区原野 γ 辐射空气吸收剂量率

10.7~238.7nGy/h 范围之内。

(2) ^{222}Rn 及其子体浓度：厂界周围空气中氡及其子体浓度在《中国环境天然放射性水平》中全国城市空气中氡平均浓度变化范围 ($3.3\sim40.6\text{Bq/m}^3$) 及子体潜能浓度变化范围 ($15.4\sim114\text{nJ/m}^3$) 之内。

(3) 地下水：项目地下水 U、Th、 ^{226}Ra 与广西壮族自治区农村井水放射性处于同一水平，地下水中总 α 和总 β 低于《地下水质量标准》(GB 14848-2017) 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)，同时满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022) 水质指标限制 (总 α 限值为 0.5Bq/L ，总 β 限值为 1Bq/L)。

(4) 土壤：本项目厂界四周及附近居民点土壤中 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 含量与广西防城港市 (广西壮族自治区钦州地区) 处于同一水平，《中国环境天然放射性水平》(国家环境保护局，1995)。

7.4.2 辐射环境影响预测结论

① 本项目循环冷却水不与物料直接接触，循环使用，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 根据物料伴生放射性检测结果，导磁锆英中 ^{238}U 比活度为 $1.63\times10^3\text{Bq/kg}$ ， ^{232}Th 比活度为 $3.41\times10^4\text{Bq/kg}$ ， ^{226}Ra 比活度为 $5.55\times10^3\text{Bq/kg}$ ， ^{210}Po 比活度为 $2.26\times10^3\text{Bq/kg}$ ，还原弱磁矿中 ^{232}Th 比活度为 $2.60\times10^3\text{Bq/kg}$ ，均超过免管限值 1Bq/g ，属伴生放射性物料，应存放于放射性暂存库。本项目设置的放射性暂存库辐射防护措施满足相关标准要求，还原弱磁矿外售至广东粤桥新材料科技有限公司。

③ 本项目关键居民组为 SE 方向的沙港的公众，个人附加有效剂量估算值为 0.0296mSv/a ，关键核素为氡，关键照射途径为氡吸入所致内照射，公众附加年有效剂量满足本次评价所提出的 0.3mSv/a 的公众年有效剂量管理约束值。本项目工作人员个人辐射剂量最大值出现在活性炭车间工作人员，个人有效剂量为 0.413mSv/a ，小于本项目的管理限值 5mSv/a 。

7.5 结论与建议

7.5.1 结论

综上所述，经评价分析，项目在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，严格执行弱磁矿销售协议，从辐射环境保护角度出发，项目可行。

7.5.2 建议

（1）进口原料达到海关后，应提供专业单位出具的原料伴生放射性核素比活度的检测分析报告，若检测分析结果小于 1Bq/g，根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB 27742-2011）要求，可免于辐射防护监管；若检测分析结果大于 1Bq/g，则要求原料的使用单位属于广西壮族自治区生态环境厅通报的“广西辖区内具备入境伴生放射性矿物相应处置能力的企业名录”中的企业。

（2）建设单位应严格按照环评报告及生态环境主管部门提出的辐射防护措施及相关意见做好日常辐射环境管理工作。

（3）严格落实辐射环境监测计划，及伴生放射性物料抽样检测要求。

附录 辐射环境影响评价模式与参数

1. 气态途径

在大气弥散模式中考虑了大气的风摆效应、天气频率分布的影响、粒子污染物重力沉降引起的烟羽倾斜、以及烟羽迁移期间的耗损。

连续面源的释放采用抬升高度为零的等效点源法作浓度计算，等效点源的虚拟位置为面源的几何中心。

1.1 大气扩散中连续地面点源的浓度公式：

$$x(x, y, o) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (1)$$

式中： $x(x, y, o)$ 是点 (x, y, o) 处的空气浓度， $Bq \cdot m^{-3}$ ；

x — 为下风向离源的距离， m ；

y — 为横截风向的距离， m ；

Q — 为释放率， $Bq \cdot s^{-1}$ ；

σ_y 、 σ_z — 分别为侧向和铅直向的扩散参数， m ；

u — 为有效排放高度的风速， $m \cdot s^{-1}$ 。

1.2 在静风条件下不利于污染物的扩散

该地区静风频率较高，评价计算中使用了有静风影响的长期扩散因子，见公式 (2)。对于较长距离的迁移，烟羽扩散将受到混合层顶的抑制。考虑静风及混合层影响的长期扩散因子，其计算为公式 (3)。

$$\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i = \frac{2.032}{x} \sum_{j=1}^6 \frac{1}{\sigma_{zj}} \left(\frac{cP_{ij}}{0.5} + \sum_{k=2}^6 \frac{wP_{ijk}}{U_{jk}} \right) (X \leq X_L) \quad (2)$$

$$\left(\frac{\bar{X}}{Q}\right)_i = \frac{8}{\pi x} \sum_{j=1}^6 \frac{1}{H_{mj}} \left(\frac{cP_{ij}}{0.5} + \sum_{k=2}^6 \frac{wP_{ijk}}{U_{jk}} \right) (X \geq 2X_L) \quad (3)$$

对于 $(X_L < X < 2X_L)$ 的，可由 $(X = X_L)$ 和 $(X = 2X_L)$ 处的值内插得到。

$$\sigma_z = \frac{H_m - h}{2.15}$$

X_L — 为对应的下风向距离， m ；

cP_{ij} —对应静风时的天气频率；

$(\frac{\bar{x}}{Q})_i$ —为 i 风向的下风向扇形区的长期扩散因子；

wP_{mj} —有风的天气频率，即 i 风向、 j 稳定度、 k 风速组时的频率；

H_{mj} — j 稳定度所对应的混合层高度。

1.3 扩散参数的选择

该工程地处山区，地面有较大的粗糙度，所以计算时采用了 Briggs 城市扩散参数。

附表 1 Briggs 城市扩散参数表示式

稳定度	σ_y	σ_z
A-B	$0.32x(1 + 0.0004)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.001)^{-1/2}$
C	$0.22x(1 + 0.0004)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015)^{-1/2}$

1.4 放射性衰变校正因子

放射性衰变的结果也造成烟羽耗损，可以通过引入衰变校正因子而加以校正。
对子体产物，衰变校正因子 F_d 为：

$$F = \frac{\lambda_d}{\lambda_m - \lambda_d} \left[\exp\left(-\frac{3.17 \times 10^{-8} \lambda_d x}{u}\right) - \exp\left(-\frac{3.17 \times 10^{-8} \lambda_m x}{u}\right) \right] \quad (4)$$

式中： λ_m ， λ_d —分别为母体和子体的衰变常数， a^{-1} 。

2. 剂量估算模式与参数

2.1 气载途径

吸入 ^{222}Rn 子体所致公众个人有效剂量当量的计算公式为：

$$D_{Rn}^a = T \cdot C_{Rn} \cdot DF_{Rn} \quad (5)$$

式中：

D_{Rn}^a — ^{222}Rn 子体所致 a 年龄组的公众个人有效剂量当量， $\text{Sv} \cdot a^{-1}$ ；

C_{Rn} —为某受照点的 ^{222}Rn 浓度, $Bq \cdot m^{-3}$;

T — 受照时间, h ;

DF_{Rn}^u —为吸入 ^{222}Rn 子体的剂量转换因子, 取 $3.11 \times 10^{-9} Sv(Bq \cdot h \cdot m^{-3})^{-1}$;

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

$$D_h = C_{\pm} \times f_i \times t \times R \times G_i \times 10^{-6}$$

式中: D_h — 公众吸入再悬浮核素 i 所致内照射剂量, Sv/a ;

C_{\pm} — 附近居民吸入该厂排法的粉尘浓度, mg/m^3 ;

f_i — 吸入矿尘第 i 种核素比活度浓度, Bq/kg ;

t — 公众每年停留时间, h ;

R — 公众空气摄入速率, m^3/h , 见附表 2;

G_i — 第 i 种核素吸入剂量转换系数 (考虑空气动力学直径 $5\mu m$), Sv/Bq , 见附表 3。

附表 2 公众成员空气摄入量 (m^3/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

附表 3 公众成员摄入该厂所排矿尘待积有效剂量转换系数(Sv/Bq)

核素	公众成员年龄组					
	年龄<1 岁	1~2 岁	2~7 岁	7~12 岁	12~17 岁	>17 岁
^{232}Th	5.4×10^{-5}	5.0×10^{-5}	3.7×10^{-5}	2.6×10^{-5}	2.5×10^{-5}	2.5×10^{-5}
^{238}U	2.9×10^{-5}	2.5×10^{-5}	1.6×10^{-5}	1.0×10^{-5}	8.7×10^{-6}	8.7×10^{-6}
^{226}Ra	1.5×10^{-5}	1.1×10^{-5}	7.0×10^{-6}	4.9×10^{-6}	4.5×10^{-6}	3.5×10^{-6}

2.2 液态途径

① 食入农产品和动物产品的内照射

因食入污染的农产品和动物产品而产生的待积有效剂量当量为:

$$D_p^a = DF_g^a \sum U_p^a \cdot f_p \cdot C_p \quad (6)$$

式中:

D_p^a — a 年龄组个人因食入受污染的食物 (包括农产品和动物产品) 所致的待积有效剂量当量, $Sv \cdot a^{-1}$;

U_p^a — a 年龄组个人对 P 类产品的年摄入量, $kg \cdot a^{-1}$;

f_p — 食入受污染区的 P 类产品的份额;

C_p — P 类产品中的放射性核素比活度, $Bq \cdot kg^{-1}$;

② 食入鱼类内照射

因食入污染的鱼类产生的待积有效剂量当量为:

$$D_g^a = U_g^a \cdot C_w \cdot B_g \cdot DF_g^a \quad (7)$$

式中:

D_g^a — a 年龄组个人因食鱼所致的待积有效剂量当量, $Sv \cdot a^{-1}$;

U_g^a — a 年龄组个人对鱼类的摄入量, $kg \cdot a^{-1}$;

B_g — 核素由水体至鱼的浓集因子, $L \cdot kg^{-1}$ 。具体值见附表 2。

附表 4 淡水鱼的浓集因子 $L \cdot kg^{-1}$

核 素	^{210}Pb	^{210}Po	^{226}Ra	^{230}Th	$U_{天然}$
Bg	3×10^2	5×10^1	5×10^1	3×10^1	1×10^1

③ 岸边沉积外照射

放射性废水向江河排放造成的岸边放射性沉积物的外照射剂量当量计算如下:

$$D_E = 3.15 \times 10^7 \cdot S \cdot U_E \cdot DF_E \quad (8)$$

式中:

D_E — 岸边沉积外照射的年有效剂量当量, $Sv \cdot a^{-1}$;

U_E — 公众个人在岸边活动的年时间份额;

DF_E — 地表沉积外照射的剂量转换因子, $Sv(s \cdot Bq \cdot m^{-2})^{-1}$;

S — 岸边沉积物的有效表面污染, $Bq \cdot m^{-2}$ 。

为计算有效表面污染,假定污染物的表面污染由 2.5cm 厚的表层(约相当于 $40kg \cdot m^{-2}$ 的表面质量)所包含的放射性组成,因而有:

$$S = 40 \cdot C_s \cdot W \quad (9)$$

式中:

C_s — 岸边沉积物核素的比活度, $Bq \cdot kg^{-1}$;

W — 描述照射几何学的岸宽因子,作为河岸, W 取值 0.2;

C_s 的计算公式如下:

$$C_s = K_c \cdot \frac{C_w[1 - \exp(-\lambda t_b)]}{\lambda} \quad (10)$$

式中：

C_w — 下游距离 X 处河水中核素浓度， $Bq \cdot m^{-3}$ ；

t_b — 沉积物受水污染的时间， a ；

K_c — 放射性核素由水中向沉积物的转移参数， $m^3 \cdot (kg \cdot a)^{-1}$ ， K_c 的推荐值取 $6.32 \times 10^{-1} m^3 \cdot (kg \cdot a)^{-1}$ ；

λ — 核素衰变常数， a^{-1} 。