

中国科学院近代物理研究所
强流重离子加速器装置二次改扩建核技术利用项目
(第二次信息公开文本)

中国科学院近代物理研究所

二零二五年十月

说明

中国原子能科学研究院受中国科学院近代物理研究所（以下简称“近物所”）委托开展“强流重离子加速器装置二次改扩建核技术利用项目”的环境影响评价。现根据国家及本市法规及规定，并经近物所同意向公众进行第二次信息发布，公开环评内容。

本文本内容为现阶段环评成果。下一阶段，将在听取公众、专家等各方面意见的基础上，进一步修改完善。

目录

1	建设项目概况.....	1
1.1	项目名称、地点.....	1
1.1	项目背景.....	3
1.2	建设单位概况.....	3
1.3	本次环评内容.....	4
1.4	产业政策和规划符合性分析.....	5
1.4.1	产业政策符合性.....	5
1.4.2	产业政策符合性“三线一单”约束性符合性分析	5
1.5	建设地点.....	4
1.6	编制依据.....	8
1.6.1	法律法规.....	8
1.6.2	地方性法规及规范性文件.....	9
1.6.3	技术导则、标准.....	9
1.6.4	其他.....	10
1.7	评价标准.....	10
1.7.1	剂量限值和剂量约束值.....	10
1.7.2	辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平.....	11
1.7.3	非密封放射性物质工作场所分级.....	12
1.7.4	表面污染水平.....	12
1.7.5	放射性污染物排放限值.....	13
1.8	评价范围和保护目标.....	15
1.8.1	评价范围.....	15
1.8.2	保护目标.....	16
2	自然环境与社会环境状况.....	17
2.1	地理位置.....	17
2.2	自然环境状况.....	17
2.2.1	地形地貌.....	17

2.2.2	气候气象.....	17
2.2.3	水文特征.....	18
2.3	社会经济概况.....	18
2.3.1	社会发展状况.....	18
2.3.2	经济发展状况.....	18
2.3.3	文化教育.....	18
2.3.4	医疗保健.....	19
3	建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施及效果.....	20
3.1	项目概况.....	20
3.2	工作原理及工艺流程.....	22
3.2.1	直线加速器.....	23
3.2.2	放射性同位素操作场所.....	31
3.2.3	成品运输以及销售.....	42
3.3	辐射污染源.....	44
3.3.1	加速器装置区域.....	44
3.3.2	非密封放射性物质工作场所.....	45
3.4	主要环境影响及其预测评价结果.....	45
3.5	辐射防护与环境保护措施分析.....	46
3.5.1	辐射工作场所分区.....	46
3.5.2	本项目工作场所分级.....	47
3.5.3	辐射屏蔽.....	47
3.5.4	辐射安全联锁.....	48
3.5.5	工作场所辐射监测.....	49
3.5.6	非密封放射性物质辐射工作场所防护措施.....	49
3.5.7	放射性三废的处理.....	49
3.6	风险防范措施及应急预案.....	50
3.7	建设项目对环境影响的利益代价分析结果.....	51
3.8	建设单位拟采取的辐射监测计划和安全管理工作.....	51
3.8.1	辐射监测计划.....	51

3.8.2	辐射安全管理.....	51
4	环境影响评价.....	52
5	联系方式.....	52

1 建设项目概况

1.1 项目名称、地点

项目名称：强流重离子加速器装置二次改扩建核技术利用项目

建设地点：广东省惠州市惠东县黄埠镇沙浦村大坑口

建设性质：改扩建

建设单位：中国科学院近代物理研究所

项目规模：

本项目对 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端进行改造，新增两条束流线和同位素终端（低功率终端和高功率终端），在低功率终端和高功率终端利用 HIAF 装置中高能离子束进行靶件的辐照，辐照后的靶件在医用同位素研发平台内进行靶件的拆解、纯化等操作，实现钷-211、铽-149、铟-225、镭-223 的同位素生产、销售和使用。

强流重离子加速器装置（HIAF）是由中国科学院近代物理研究所负责设计建造的国内首台强流重离子加速器研究装置。HIAF 装置 2017 年已取得环评批复，2024 年已取得其改扩建部分环评批复。HIAF 装置由加速器系统（强流超导离子源 SECR（简称离子源）、强流超导直线加速器（简称 iLinac）、增强器（Booster Ring，简称 BRing）、束线系统）和实验终端系统（低能综合终端、外靶实验终端、高能综合终端和高能量密度物理终端等终端）组成，上述内容均已在 2024 年取得环评批复。

本次环评内容包括 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端改造以及新建医用同位素研发平台：

（1）HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端改造

本项目对 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端进行改造，计划在同位素终端前将氦束能量从 40MeV/u 进一步加速，并通过分时供束送入同位素研发终端（低功率终端和高功率终端），强流超导直线加速器位于原 HIAF 装置辐射工作场所内，通风系统、放射性三废处理措施均不作调整。

（2）新建医用同位素研发平台

在 HIAF 装置西北侧新建医用同位素研发平台，通过同位素终端和放射性同位素操作场所实现放射性同位素生产，该场所为新建场所，此前未涉及到辐射相关的工作，主要辐射工作场所包括：

① 低功率终端区域

HIAF 装置中高能离子束在低功率终端对靶件进行辐照，后续在放射性同位素操作场所开展辐照后靶件的拆解、转运和分离，实现碲-211、钷-149、铟-225、镭-223 的同位素生产、销售和使用。

低功率终端区域位于医用同位素研发平台负二层同位素研发终端大厅西侧，主要包括低功率辐照室、维护热室、干法热室、湿法热室、预留热室、手套箱等，同位素研发终端大厅整体作为非密封放射性物质工作场所管理，其中低功率辐照室、维护热室归属于靶系统，按照射线装置管理（辐射分区、辐射监测、辐射安全联锁等）。

② 高功率终端区域

HIAF 装置中高能离子束在高功率终端对靶件进行辐照，后续在放射性同位素操作场所开展辐照后靶件的拆解、转运和分离纯化，实现铟-225、镭-223 等同位素生产、销售和使用。

高功率终端区域位于医用同位素研发平台负二层同位素研发终端大厅中部，主要包括高功率辐照室、维护热室、拆解热室、干法热室、废物转出室、接收热室、溶解热室等一系列热室以及一系列手套箱，同位素研发终端大厅整体作为非密封放射性物质工作场所管理，其中高功率辐照室、维护热室归属于靶系统，按照射线装置管理（辐射分区、辐射监测、辐射安全联锁等）。

综上，医用同位素研发平台首层、负一层和负二层辐射工作场所整体作为甲级非密封放射性物质工作场所进行管理，负二层同位素终端研发大厅中低功率终端区域和高功率终端区域的辐照室为束流轰击靶件的场所，参照 I 类射线装置管理。

1.1 项目背景

同位素在生命健康、国防、能源安全以及科学研究等领域处于不可替代的重要地位。我国在《1956—1967 年科学技术发展远景规划纲要》中就已将同位素研究列为重点任务。在老一辈核科技领域科学家的带领下，科研院所、高校和核工业相关单位协同攻关，使我国掌握了一批同位素的生产技术，为国家做出了重要的贡献。随着科学技术的进步，同位素生产技术也在不断发展。当前，我国的同位素供应在新形势下面临着新的挑战。党和国家高度重视同位素的科研、生产和应用工作，国家原子能机构及国家卫生健康委员会分别会同国家相关部委先后联合发文，明确指出了我国发展自主可控的同位素生产制备能力的必要性和紧迫性。当前，我国医用同位素大多依赖进口，部分战略同位素生产技术受限。

鉴于此，中国科学院近代物理研究所响应国家政策，在惠州市惠东县两装置区 HIAF 园区开展同位素生产技术研发。旨在攻克基于离子加速器驱动固液复合靶的同位素生产技术，解决同位素严重依赖进口等“卡脖子”问题，为构建安全自主可控的同位素生产技术创新体系提供坚实保障。

1.2 建设单位概况

中国科学院近代物理研究所（以下简称“近物所”）是根据 1956 年周总理指示设立的原子核科学研究基地，前身为 1957 年成立的中国科学院兰州物理研究室，1962 年正式使用现名。近代物理所是一个依托大科学装置，开展重离子科学与技术、加速器驱动的先进核能系统研究的基地型研究所。战略定位是建成国际一流的重离子科学与技术、加速器驱动的先进核能技术研究基地。主要研究方向有：原子核物理、原子分子物理、放射生物学、核材料与工艺技术、乏燃料后处理技术、核技术相关材料科学、粒子加速器研究等。

近代物理所先后建成了 1.5 米回旋加速器（SFC，“一五”大科学工程）、大型分离扇回旋加速器（SSC，“七五”大科学工程）、兰州放射性次级束分离器（RIBLL）、兰州重离子加速器冷却储存环（CSR，“九五”大科学工程）等大科学装置，在加速器研制方面拥有雄厚的技术和人才储备。1991 年 8 月，原国家计委批准成立兰州重离子加速器国家实验室，依托近代物理所管理，面向国内外开放。近代物理所还建有甘肃省同位素实验室、甘肃省重离子束辐射医学应用基础重点实验室、甘肃省空间辐射生物学重点实验室、甘肃省重离子创新中心、中

中国科学院重离子束辐射生物学重点实验室、中国科学院高精度核谱学重点实验室、中国科学院离子加速器及质量检验检测工程实验室等，拥有 320kV 高电荷态综合研究平台、大功率电子加速器等重要科研设施及装置，在实验平台方面拥有不可替代的优势。

1.3 本次环评内容

本项目对 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端进行改造，新增两条束流线和同位素终端（低功率终端和高功率终端），在低功率终端和高功率终端利用 HIAF 装置中高能离子束进行靶件的辐照，辐照后的靶件在医用同位素研发平台内进行靶件的拆解、纯化等操作，实现钷-211、铽-149、铟-225、镭-223 的同位素生产、销售和使用。

本次环评内容包括 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端改造以及新建医用同位素研发平台：

（1）HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端改造

本项目对 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端进行改造，计划在同位素终端前将氦束能量从 40MeV/u 进一步加速，并通过分时供束送入同位素研发终端（低功率终端和高功率终端），强流超导直线加速器位于原 HIAF 装置辐射工作场所内，通风系统和放射性三废处理措施均不作调整。

（2）新建医用同位素研发平台

在 HIAF 装置西北侧新建医用同位素研发平台，通过同位素终端和放射性同位素操作场所实现放射性同位素生产，该场所为新建场所，此前未涉及到辐射相关的工作，主要辐射工作场所包括：

① 低功率终端区域

HIAF 装置中高能离子束在低功率终端对靶件进行辐照，后续在放射性同位素操作场所开展辐照后靶件的拆解、转运和分离，实现钷-211、铽-149、铟-225、镭-223 的同位素生产、销售和使用。

低功率终端区域位于医用同位素研发平台负二层同位素研发终端大厅西侧，主要包括低功率辐照室、维护热室、干法热室、湿法热室、预留热室、手套箱等，同位素研发终端大厅整体作为非密封放射性物质工作场所管理，其中低功率辐照室、维护热室归属于靶系统，按照射线装置管理（辐射分区、辐射监测、辐射安全联锁等）。

② 高功率终端区域

HIAF 装置中高能离子束在高功率终端对靶件进行辐照，后续在放射性同位素操作场所开展辐照后靶件的拆解、转运和分离纯化，实现钼-225、镭-223 等同位素生产、销售和使用。

高功率终端区域位于医用同位素研发平台负二层同位素研发终端大厅中部，主要包括高功率辐照室、维护热室、拆解热室、干法热室、废物转出室、接收热室、溶解热室等一系列热室以及一系列手套箱，同位素研发终端大厅整体作为非密封放射性物质工作场所管理，其中高功率辐照室、维护热室归属于靶系统，按照射线装置管理（辐射分区、辐射监测、辐射安全联锁等）。

综上，医用同位素研发平台首层、负一层和负二层辐射工作场所整体作为甲级非密封放射性物质工作场所进行管理，负二层同位素终端研发大厅中低功率终端区域和高功率终端区域的辐照室为束流轰击靶件的场所，参照 I 类射线装置管理。

1.4 产业政策和规划符合性分析

1.4.1 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2024 年本），本项目属于其中鼓励类第六项“核能”第 4 条“同位素、加速器及辐射应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目，因此，本项目符合国家产业政策。

1.4.2 产业政策符合性“三线一单”约束性符合性分析

根据《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号）和《惠州市人民政府关于印发惠州“三线一单”生

态环境分区管控方案的通知》（惠府〔2021〕23号）。本项目位于广东省惠州市惠东县黄埠镇沙浦村大坑口、东头经济合作社地段，属于 ZH44132330003（惠东沿海一般管控单元），满足该管控单元的要求。本项目不占用生态保护红线，符合生态保护红线和管控要求。

本项目屏蔽设计以“5.5mSv/h”作为各辐射工作场所地板外表面与土壤交界处的剂量率控制水平，当混凝土与土壤边界处瞬发辐射剂量率低于 5.5mSv/h 时，可忽略土壤和地下水的感生放射性影响。因此，本项目的实施满足土壤和地下水环境质量底线要求。

本项目建设在园区现有红线范围内，不新增占地，不会超出区域空间资源利用上线。本项目资源消耗低，且利用效率高，项目施工期和营运期过程中所需用电、用水等公用工程设施均依托园区现有设施，不会超出区域资源利用上线。

与《惠州市“三线一单”生态环境分区管控方案》和《惠州市“三线一单”生态环境分区管控方案 2023 年度动态更新成果》相符性分析。

根据 2021 年 6 月 30 日惠州市人民政府关于印发《惠州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的通知（惠府〔2021〕23 号），落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，编制生态环境准入清单，实施生态环境分区管控。根据《惠州市“三线一单”生态环境分区管控方案》和《惠州市“三线一单”生态环境分区管控方案 2023 年度动态更新成果》中对全市总体管控要求以及环境管控要求分析如表 1-1 所示。由表 1-1 可知，本项目符合《惠州市“三线一单”生态环境分区管控方案》中对全市总体管控要求。

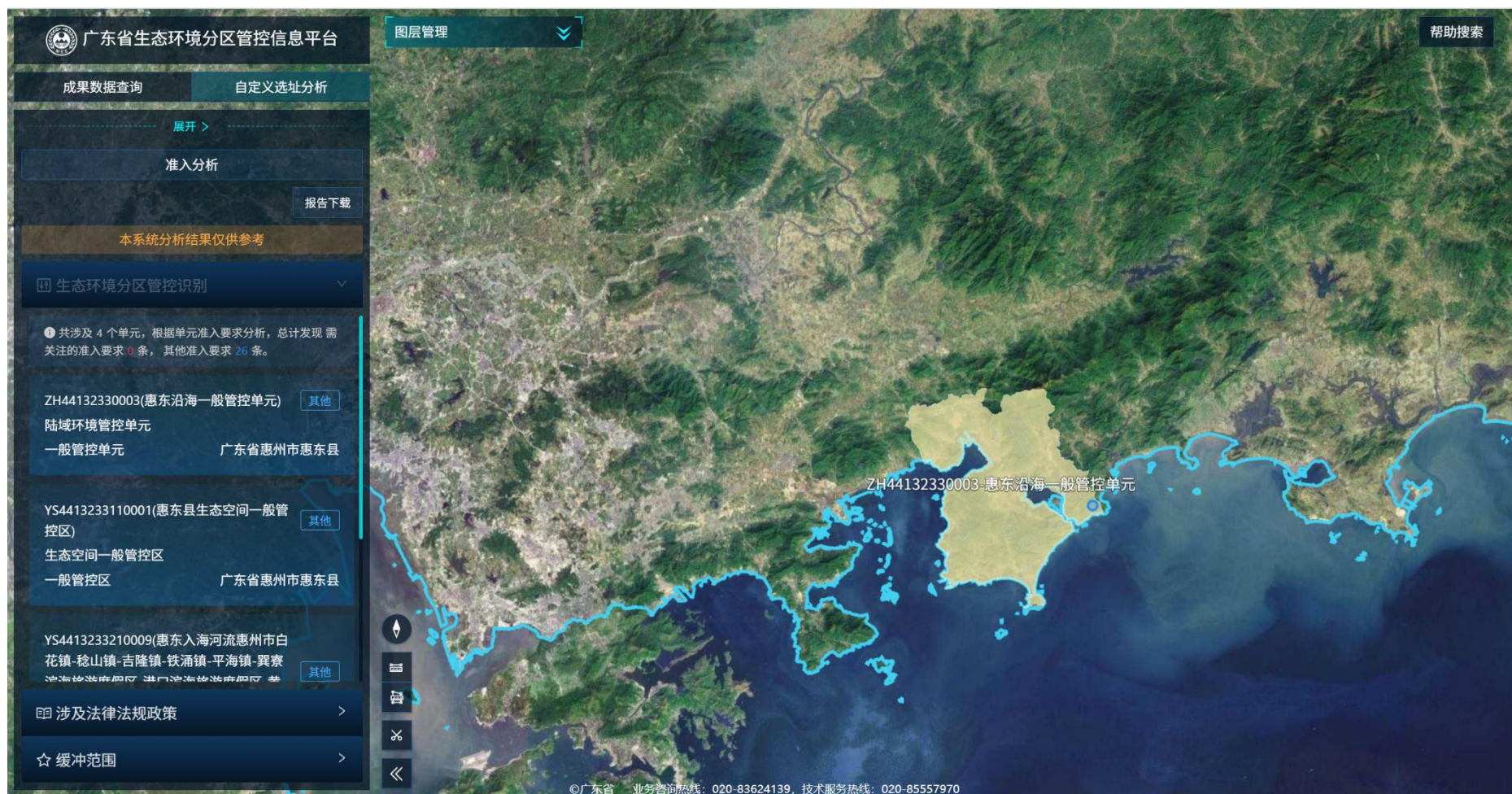


图 1-1 本项目“三线一单”分析情况图

表 1-1 “三线一单”全市总体管控要求符合性分析

类别	《惠州市“三线一单”生态环境管控方案》	本项目	符合性
区域布局管控要求	禁止新建、扩建水泥、平板玻璃、化学制浆、生皮制革以及国家规划外的钢铁、原油加工等项目。	本项目属于其中鼓励类第六项“核能”第4条“同位素、加速器及辐射应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目。	符合
污染物排放管控要求	严格重金属重点行业企业准入管理，新、改、扩建重点行业建设项目应遵循“等量替代”原则。到 2025 年底，重点行业企业基本达到国内清洁生产先进水平。	本项目不属于重金属重点行业企业。	符合
环境风险防控要求	强化土壤环境风险管控。实施农用地分类管理，保障农产品质量安全。严格控制在优先保护类耕地集中区域新建涉环境污染重点行业企业、污水处理厂、垃圾填埋场、垃圾焚烧厂及污染处理处置设施等公用设施。强化建设用地风险管控，防范人居环境风险。规范受污染建设用地再开发。将土壤环境质量情况作为土地开发的前置性评估条件，经风险评估对人体健康有严重影响的被污染场地，未经治理修复或者治理修复不符合相关标准的，不得用于居民住宅、学校、幼儿园、医院、养老场所等项目开发。	本项目屏蔽设计以“5.5mSv/h”作为各辐射工作场所地板外表面与土壤交界处的剂量率控制水平，当混凝土与土壤边界处瞬发辐射剂量率低于 5.5mSv/h 时，可忽略土壤和地下水的感生放射性影响。	符合
区域布局管控要求	聚力建设惠城高新科技产业园、惠阳（象岭）智慧科技产业园、惠州新材料产业园、博罗智能装备产业园、龙门工业园、大亚湾新兴产业园、广东（仲恺）人工智能产业园等7个千亿级工业园区。	本项目属于其中鼓励类第六项“核能”第4条“同位素、加速器及辐射应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目。	符合

类别	《惠州市“三线一单”生态环境管控方案》	本项目	符合性
能源资源利用要求	加快推进绿色矿山建设。持证在采矿山应全部达到绿色矿山建设标准，达不到矿山建设标准的，停工停产整顿；新建矿山一律按照绿色矿山标准建设；推动矿山企业开展规模化、集约化、绿色化生产经营。	本项目与矿山无关。	符合

1.5 建设地点

HIAF 装置位于广东省惠州市惠东县黄埠镇大坑口村附近，地理位置示意图见图 1-2 和图 1-3，园区半径 2km 范围内涉及两个自然村，分别为 WSW 方位约 600m 处的大坑口村、SSW 方位约 1.1km 处的东头村。本项目医用同位素研发平台位于 HIAF 装置强流超导直线加速器区域的西北侧，地理位置示意图见图 1-4。

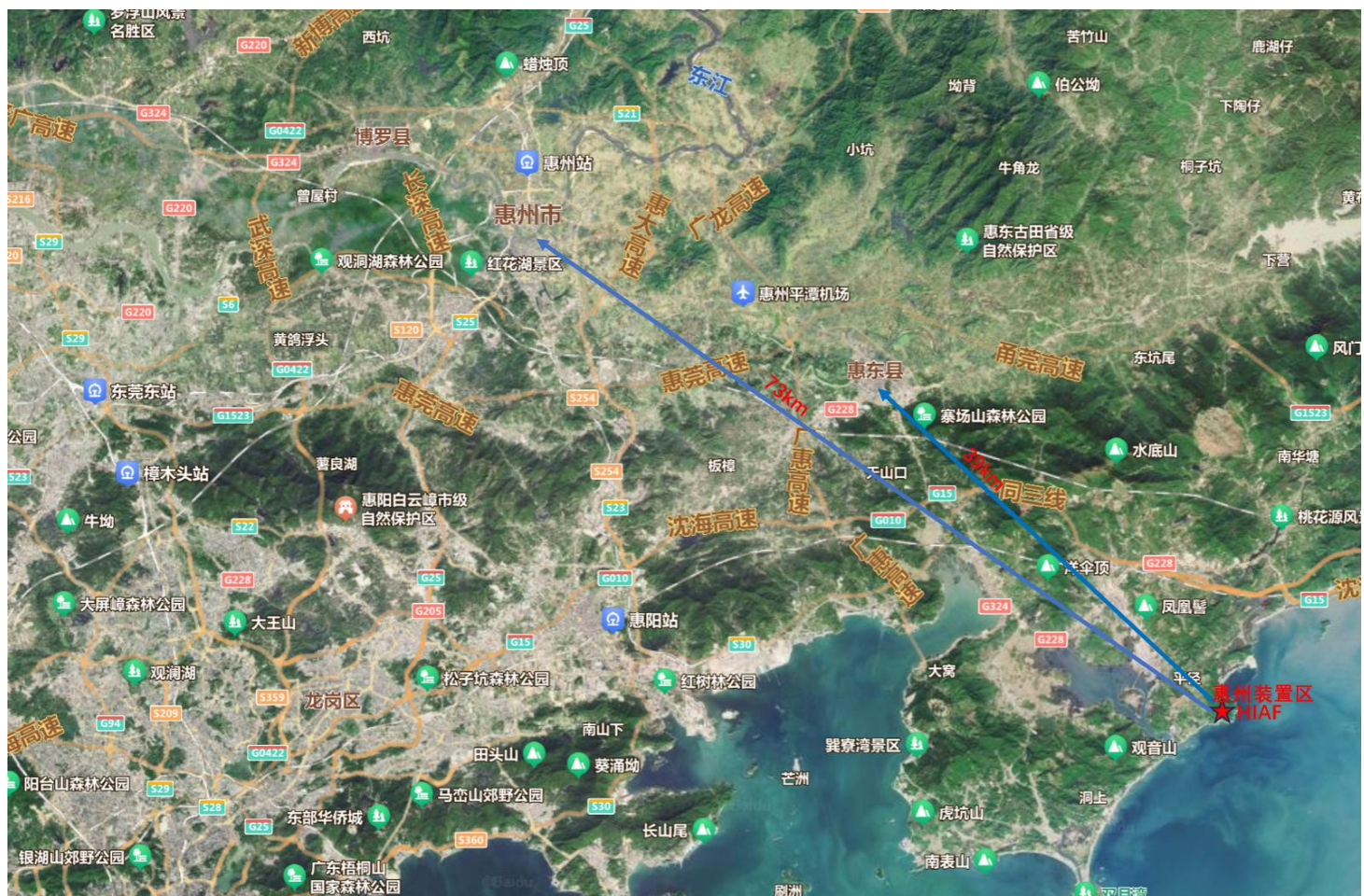


图 1-2 近物所惠州 HIAF 装置区地理位置图



图 1-3 近代物理所 HIAF 装置区周围环境图

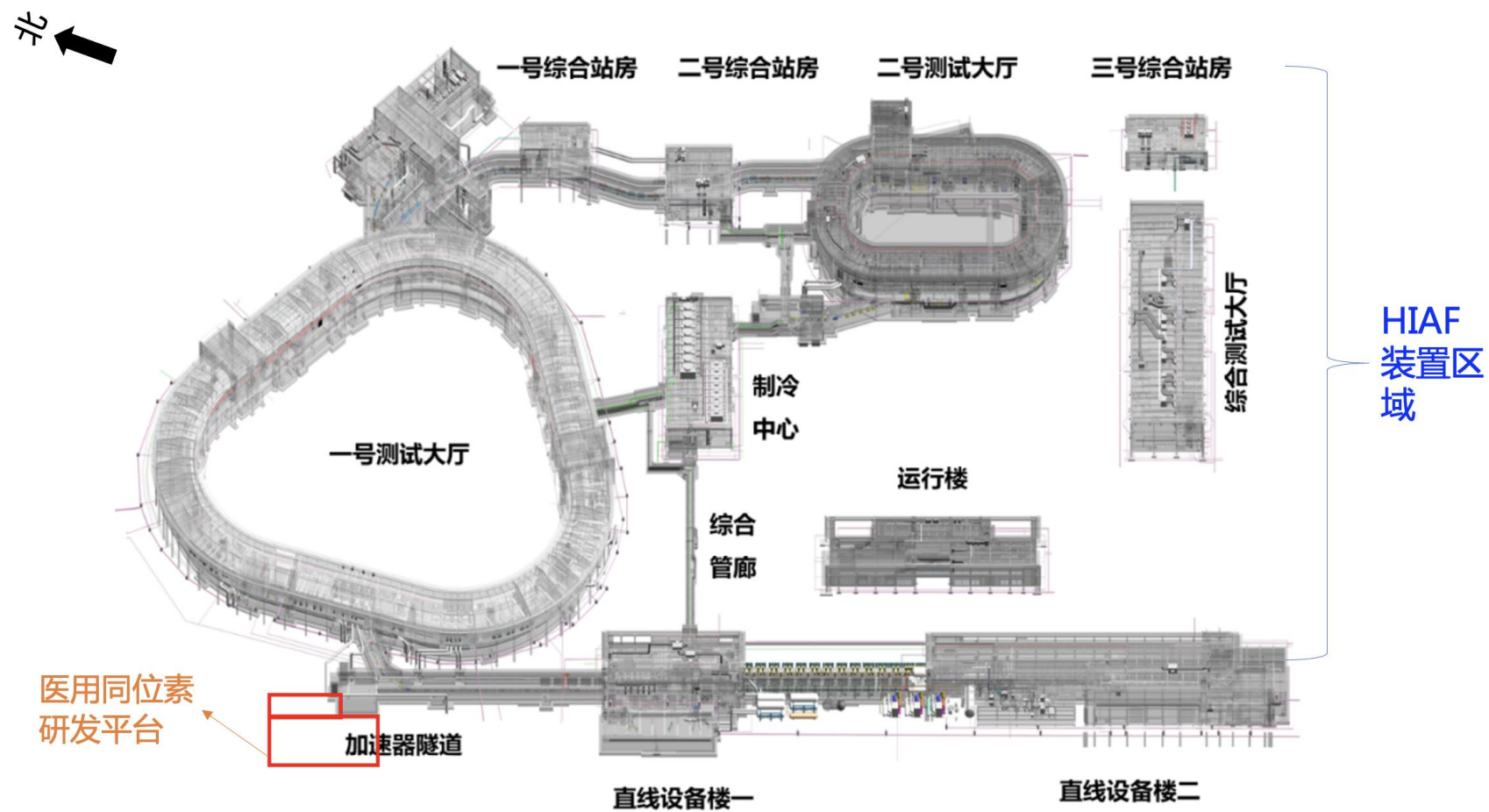


图 1-4 本项目地理位置示意图

1.6 编制依据

1.6.1 法律法规

(1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2015 年 1 月 1 日施行) ;

(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(全国人民代表大会常务委员会, 2018 年 12 月 29 日施行) ;

(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年 10 月 1 日) ;

(4) 《中华人民共和国噪声污染防治法》(全国人民代表大会常务委员会, 2022 年 6 月 5 日施行) ;

(5) 《中华人民共和国水污染防治法》(2017 年 6 月 27 日修订, 2018 年 1 月 1 日施行) ;

(6) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2018 年 10 月 26 日修订并实施) ;

(7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020 年 9 月 1 日实施) ;

(8) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019 年 1 月 1 日起施行) ;

(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号, 2019 年 3 月 2 日修正版) ;

(10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(生态环境部令第 20 号, 2021 年 1 月 4 日修订版) ;

(11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令 第 18 号, 2011 年 5 月 1 日施行) ;

(12) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日) ;

(13) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行) ;

(14) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(生态环境部令 第16号,2021年1月1日起施行);

(15) 《产业结构调整指导目录》(2024年本);

(16) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第9号,2019年11月1日);

(17) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告2019年第57号,2019年12月23日);

(18) 《发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》(国环规环评[2017]4号,2017年11月22日起施行)。

1.6.2 地方性法规及规范性文件

(1) 《广东省环境保护条例》(2022年11月30日修订);

(2) 《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》(粤府〔2020〕71号);

(3) 《关于发布广东省生态环境厅审批环境影响报告书(表)的建设项目名录(2021年本)的通知》(粤环办〔2021〕7号);

(4) 《广东省未成年人保护条例》(2008年11月28日修订)。

1.6.3 技术导则、标准

(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016);

(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);

(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);

(4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);

(5) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85);

(6) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》(EJ380-1989,1989年10月1日起实施);

- (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；
- (8) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- (9) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；
- (10) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；
- (11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；
- (12) 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ 129-2016）；
- (13) 《工作场所有害因素职业接触限值 - 化学有害因素》（GBZ2.1-2019）。

1.6.4 其他

(1) 已批复的《强流重离子加速器装置核技术利用改扩建项目环境影响报告书》（2024 年）；

(2) NCRP. Report NO.144. Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities. NCRP,2005；

(3) IAEA. Safety Reports Series NO.19. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. IAEA,2001；

(4) （美）帕特森（H.W.Patterson），（美）托马斯（R.H.Thomas）著；刁会昌等译. 加速器保健物理[M].北京，原子能出版社.1983。

1.7 评价标准

1.7.1 剂量限值和剂量约束值

1.7.1.1 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，工作人员的**职业照射和公众照射的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），
20mSv。

（2）公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述
值：

年有效剂量，1mSv。

1.7.1.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本次评价以职业照射剂量限值的 1/4 即 5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值，以公众照射剂量限值的 1/10 即 0.1mSv/a 作为公众人员的年剂量约束值。

1.7.2 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

（1）射线装置

根据本项目的辐射防护设计资料，射线装置所在辐射工作场所屏蔽墙体外剂量率控制水平按表 1-2 执行。

此外，根据文献《恒健质子治疗装置的辐射与屏蔽设计》（吴青彪等，南方能源建设，2016 年第 3 卷第 3 期），同时参考日本 J-PARC 以及中国散裂中子源的辐射防护设计，当混凝土与土壤边界处瞬发辐射剂量率低于 5.5mSv/h 时，可忽略土壤和地下水的感生放射性。因此，本次评价以“5mSv/h”作为各辐射工作场所地板外表面与土壤交界处的剂量率控制水平，具体见表 1-2。

表 1-2 本项目射线装置辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

工作场所	功能区域	位置描述（居留因子）	剂量率控制水平
本项目射线装置辐射工作场所屏蔽墙体外	四侧墙体外、屋顶外、防护门外	居留因子 $T \geq 1/2$	$2.5\mu\text{Sv/h}$
		居留因子 $T < 1/2$	$10\mu\text{Sv/h}$
	地板外表面与土壤交界处	射线装置辐射工作场所地板外表面与土壤交界处	5mSv/h

（2）非密封放射性物质工作场所

对于非密封放射性物质工作场所，根据本项目的辐射防护设计资料，本项目各非密封放射性物质工作场所热室或生产箱表面剂量率小于 $7.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区墙体外剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关规定：

“6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。”

1.7.3 非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所按日等效最大操作量的大小进行分级，见表 1-3。

表 1-3 非密封放射性物质工作场所分级

分级	日等效最大操作量，Bq
甲级	$>4 \times 10^9$
乙级	$2 \times 10^7 - 4 \times 10^9$
丙级	豁免活度值以上- 2×10^7

1.7.4 表面污染水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B 表 B11 所规定的限制要求。详见表 1-4。

表 1-4 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质，		β 放射性物质， Bq/cm ²
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工	控制区和监督	0.4	0.4	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

1.7.5 放射性污染物排放限值

1.7.5.1 放射性废气

参照《开放性放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）：

“10.1 从事开放性放射性物质工作的各类设备和装置，设计上应采用密封技术。根据其工作特性分别提出密封要求，防止放射性液体泄漏和放射性气体及气溶胶逸出；

10.2 操作易挥发的高毒、极毒放射性物质及产生大量放射性气体和气溶胶的工作，应尽可能把污染源局限于较小的工作容积内并高度密封，限制可能被污染的体积和表面；

10.3 气流流向应是从放射性污染可能性小的方向流向污染可能性大的方向(从白区流向红区)，各区之间维持一定的压差。”

另，本项目气载流出物的排放所致周围公众年剂量值需满足本项目公众年剂量约束值（0.1mSv/a）。

1.7.5.2 放射性废水

本项目执行的放射性废水排放标准如下：

广东省《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中第一类污染物中总 α 和总 β 的最高允许排放浓度标准要求，具体如表 1-5 所示。

表 1-5 广东省地标《水污染物排放限值》中的排放标准要求

污染物	最高允许排放浓度, Bq/L
总 α	1
总 β	10

放射性废水排放执行 GB18871-2002 的排放方式, 并安排专人建立废物暂存和处理台账, 详细记录体积、废液产生起始日期、负责人员、排放时间和检测结果等信息。

1.7.5.3 放射性固体废物

(1) 射线装置

清洁解控参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 A 中 A2.1 的规定“任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表 A1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平”执行。GB18871-2002 附录 A 表 A1 中给出的与本项目相关的放射性核素的豁免活度浓度和活度如表 1-13 所示。对于存在一种以上放射性核素的情况, 仅当各放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比的和小于 1 时, 方可给予豁免。放射性固体废物经监测后低于豁免水平的方可作为一般固体废物处理。

表 1-6 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度,	活度, Bq	核素	活度浓度,	活度, Bq
^3H	1E+06	1E+09	^{56}Mn	1E+01	1E+05
^7Be	1E+03	1E+07	^{52}Fe	1E+01	1E+06
^{35}S	1E+05	1E+08	^{55}Fe	1E+04	1E+06
^{37}Ar	1E+06	1E+08	^{59}Fe	1E+01	1E+06
^{42}K	1E+02	1E+06	^{55}Co	1E+01	1E+06
^{43}K	1E+01	1E+06	^{56}Co	1E+01	1E+05
^{45}Ca	1E+04	1E+07	^{57}Co	1E+02	1E+06
^{47}Ca	1E+01	1E+06	^{58}Co	1E+01	1E+06
^{46}Sc	1E+01	1E+06	^{60}Co	1E+01	1E+05

⁴⁷ Sc	1E+02	1E+06	⁶¹ Co	1E+02	1E+06
⁴⁸ Sc	1E+01	1E+05	⁵⁹ Ni	1E+04	1E+08
⁴⁸ V	1E+01	1E+05	⁶³ Ni	1E+05	1E+08
⁵¹ Cr	1E+03	1E+07	⁶⁵ Ni	1E+01	1E+06
⁵² Mn	1E+01	1E+05	⁶⁴ Cu	1E+02	1E+06
⁵⁴ Mn	1E+01	1E+06	⁶⁵ Zn	1E+01	1E+06

(2) 非密封放射性物质工作场所

放射性固体废物主要包括废靶件结构件、吸附柱、一次性耗材及劳保用品等，暂存于固体废物暂存间，建设单位定期监测，根据监测结果开展以下活动：

对于可解控的放射性固体废物，参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关规定：经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物进行清洁解控并作为一般固体废物进行处理。

对于不可解控的放射性固体废物，暂存后委托有资质单位进行处置。

1.8 评价范围和保护目标

1.8.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）“1.5 节评价范围和保护目标”中的相关规定“放射性同位素生产项目（放射性药物生产除外）的评价范围半径不小于 3km，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在实体屏蔽物边界外 50m 的范围，对于 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”，本项目的定位为利用加速器开展多种放射性同位素的研发、生产和应用，且使用 I 类射线装置，确定本项目评价范围为本项目辐射工作场所所在建筑四周边界向外 3km 范围内的区域，见图 1-5。

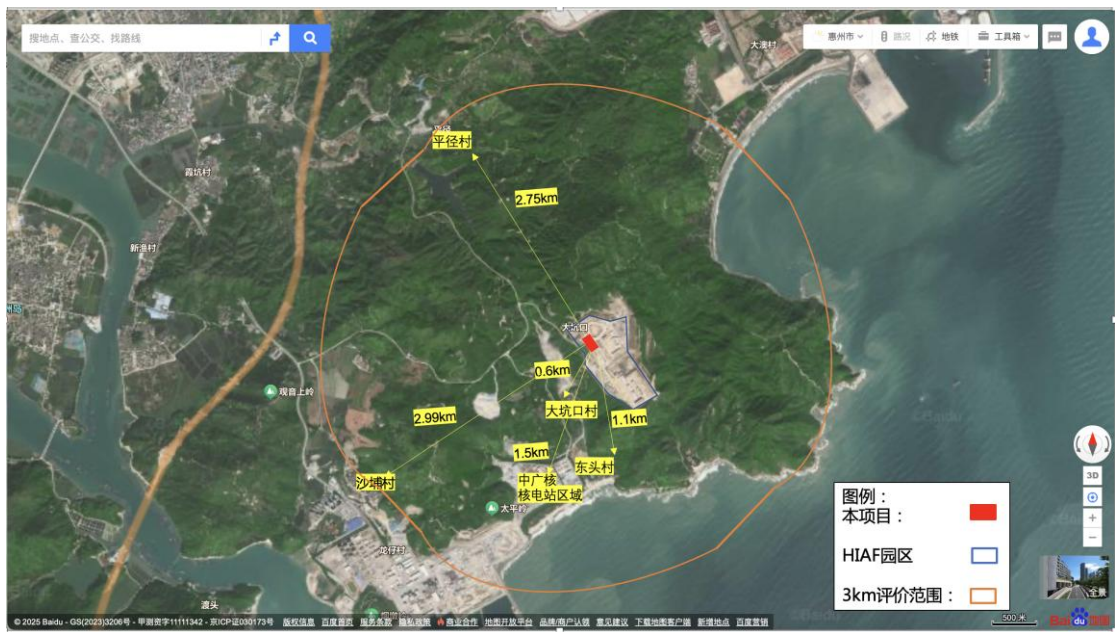


图 1-5 辐射环境影响评价范围和环境保护目标示意图

1.8.2 保护目标

本项目评价范围内的环境保护目标以本项目相关工作人员、周边相关场所周围其他工作人员以及在相关场所周围活动的公众成员为主，具体见表 1-7。

表 1-7 本项目辐射评价范围内环境保护目标情况

辐射工作场所	方位	与项目边界距离, m	周围环境情况	环境保护目标	人数	年剂量约束值 mSv/a
本项目	西北	2.75km	平径村	公众	30 余户	0.1
	西南	0.6m	大坑口村	公众	10 余户	0.1
	南	1.1km	东头村	公众	70 余户	0.1
	西南	1.5km	中广核核电站区域	公众	/	0.1
	西南	2.99km	沙埔村	公众	10 余户	0.1

2 自然环境与社会环境状况

2.1 地理位置

本项目位于 HIAF 装置园区内，HIAF 装置区位于惠州市惠东县黄埠镇大坑口村附近，惠东县，隶属广东省惠州市，地处广东省东南部和惠州市东部，处于北回归线南侧，位于东经 $114^{\circ}33'10''\sim 115^{\circ}25'13''$ ，北纬 $22^{\circ}32'39''\sim 23^{\circ}23'17''$ 之间，东连汕尾市海丰县，北靠河源市紫金县，西接惠阳区，南临南海的大亚湾和红海湾。属于沿海山区县。

2.2 自然环境状况

2.2.1 地形地貌

惠东县属沿海山区县，莲花山脉分布在县境北部和东北部，地势较高，南部沿海多为丘陵，地势较低，整个地势是由东北向西南倾斜。东江支流——西枝江自东北向西南蜿蜒流经县境。北部、东北部是山区。海拔 1000 米以上的山峰有 27 座，属莲花山脉及其乌禽嶂支脉，其中最高的莲花山主峰海拔 1337.3 米。该区是惠东县的主要林区，占全县总面积 43%。中部是沿海平原和丘陵，地势较平缓，土质肥沃，是惠东县的主要产粮区和经济作物区，占全县总面积 36%。南部是稔平半岛，属沿海丘陵区，是惠东县的渔、盐生产基地，占全县总面积 21%。

2.2.2 气候气象

惠东县属于亚热带季风气候，全年气候温和，雨量充沛，四季分明。年平均气温约为 22°C ，年降水量在 1,500 毫米至 2,000 毫米之间。2023 年，惠东县年平均气温 23.0°C ，较常年偏高；年降雨量 1671.7 毫米，较常年略偏少；年平均风速 2.8 米/秒，较常年略偏少；年日照总时数为 1989.8 小时，接近常年值。年内开汛偏早，强对流天气频发且局地雨势猛烈，气温偏高且阶段性高温明显，热带气旋个数偏多且影响偏重，气象干旱阶段性出现，持续性寒潮过程年末来袭

2.2.3 水文特征

惠东县境内有海岸线 218.3 千米，海域面积 3200 平方千米，有大小岛屿 55 个、大小海湾 18 个，水深 100 米以内的渔场 7 个，天然渔港 6 个，滩涂近 4 万亩，浅海（指等深线 5 米以内，下同）13 万亩。其中水域面积 4.5 万亩的考洲洋，属溺谷型海湾，水道水深 3—6 米，其余水域水深 0.3—1 米，海底较平坦。全县有近 100 千米的沙质海岸，海水污染较少，是天然的海水泳场。惠东境内的主要河流为珠江水系的东江支流——西枝江，另有属粤东水系独流入海的河流 19 条。西枝江县境内集雨面积 2670 平方千米，主流长 143.8 千米，河床最宽 200 米，常年平均流量 93.4 立方米/秒。粤东水系独流入海的河流，集雨面积 100 平方千米以上的仅 1 条。

2.3 社会经济概况

2.3.1 社会发展状况

2024 年末，全县常住人口 103.01 万人，其中城镇常住人口 65.53 万人，乡村常住人口 37.48 万人，城镇人口占常住人口比重（常住人口城镇化率）63.62%，比上年末提高 0.33 个百分点。年末户籍人口 91.15 万人，其中城镇人口 30.04 万人，乡村人口 61.11 万人。全年出生人口 9019 人，出生率为 9.25‰；死亡人口 3845 人，死亡率为 3.94‰；自然增长人口 5174 人，自然增长率为 5.31‰。

2.3.2 经济发展状况

根据惠州市地区生产总值统一核算结果，2024 年全县地区生产总值 828.51 亿元，按不变价格计算，同比增长 3.5%。其中，第一产业增加值 98.27 亿元，同比增长 4.6%；第二产业增加值 290.57 亿元，同比增长 7.6%；第三产业增加值 439.68 亿元，同比增长 0.8%。三次产业结构调整为 11.8:35.1:53.1。人均地区生产总值 80716 元（按年平均汇率折算为 11334 美元），增长 2.8%。

2.3.3 文化教育

2023 年末，全县共有文化中心 1 个、县文化馆 1 个、镇级综合文化站 16 个、县图书馆 1 个、镇级以上文化广场 304 个。县图书馆公共图书藏书量 73.39

万册；接待各类读者 60.16 万人次。

全县各类学校共 335 所，其中：幼儿园 115 所、小学 160 所、初中 27 所、九年一贯制学校 24 所、十二年一贯制学校 3 所、高级中学 4 所、职业中学 1 所、特殊学校 1 所。全县专任教师 13079 人，在校生人数 210498 人。

2.3.4 医疗保健

2023 年末，全县共有各类卫生机构 37 个，其中综合医院 9 个、卫生院 21 个、专科医院 2 个，中医医院、妇幼保健院、疾病预防控制中心、专科疾病防治院、卫生监督所各 1 个。县管医疗卫生机构 30 个，实有床位数 2566 张。全县共有村级卫生机构 356 个，执业（助理）医师 178 人，乡村医生及卫生员 163 人。

3 建设项目环境影响预测及拟采取的主要措施及效果

3.1 项目概况

本项目对 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端进行改造, 新增两条束流线和同位素终端(低功率终端和高功率终端), 在低功率终端和高功率终端利用 HIAF 装置中高能离子束进行靶件的辐照, 辐照后的靶件在医用同位素研发平台内进行靶件的拆解、纯化等操作, 实现钷-211、铽-149、钬-225、镥-223 的同位素生产、销售和使用。

HIAF 装置由加速器系统(强流超导离子源 SECR(简称离子源)、强流超导直线加速器(简称 iLinac)、增强器(Booster Ring, 简称 BRing)、束线系统)和实验终端系统(低能综合终端、外靶实验终端、高能综合终端和高能量密度物理终端等终端)组成, 上述内容均已在 2024 年取得环评批复。

本次改扩建内容包括 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端改造和新建医用同位素研发平台:

(1) HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端改造

本项目对 HIAF 装置的强流超导直线加速器的末端进行改造, 计划在同位素终端前将氦束能量从 40MeV/u 进一步加速, 并通过分时供束送入同位素研发终端(低功率终端和高功率终端), 强流超导直线加速器位于原 HIAF 装置辐射工作场所内, 通风系统和放射性三废处理措施均不作调整。

(2) 新建医用同位素研发平台

在 HIAF 装置西北侧新增医用同位素研发平台, 通过同位素终端和放射性同位素操作场所实现放射性同位素生产。医用同位素研发平台位于 HIAF 装置强流超导直线加速器区域的西北侧(图 3-1), 该场所为新建场所, 此前未涉及到辐射相关的工作。

医用同位素研发平台为地上三层地下三层建筑, 总建筑面积为 14694 m², 首层布置卫生通过间、排风机房等, 二层布置控制室及实验室等, 三层布置送风机房及实验室等, 负一层为热室区上部空间及实验室等, 负二层为同位素研发终端大厅,

主要包括包括低功率终端区域、高功率终端区域、放射性废物暂存区域、预留区域等，负三层为循环水用房。

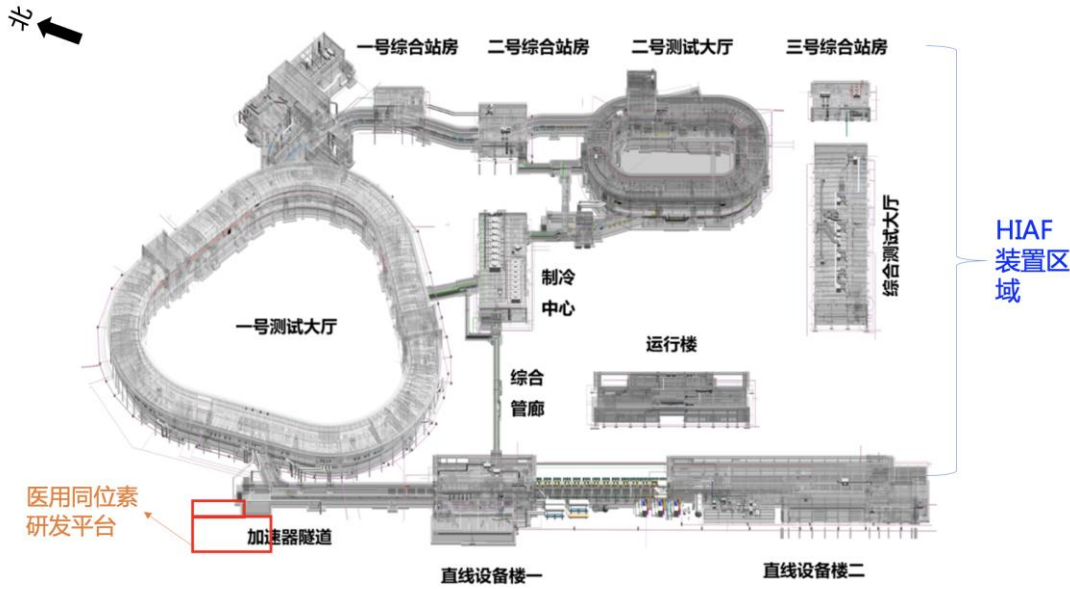


图 3-1 医用同位素研发平台位置示意图

场所内主要辐射工作场所

① 低功率终端区域

HIAF 装置中高能离子束在低功率终端对靶件进行辐照，后续在放射性同位素操作场所开展辐照后靶件的拆解、转运和分离，实现碲-211、铪-149、铜-225、镭-223 的同位素生产、销售和使用。

低功率终端区域位于医用同位素研发平台负二层同位素研发终端大厅西侧，主要包括低功率辐照室、维护热室、干法热室、湿法热室、预留热室、手套箱等，同位素研发终端大厅整体作为非密封放射性物质工作场所管理，其中低功率辐照室、维护热室归属于靶系统，按照射线装置管理（辐射分区、辐射监测、辐射安全联锁等）。

② 高功率终端区域

HIAF 装置中高能离子束在高功率终端对靶件进行辐照，后续在放射性同位素操作场所开展辐照后靶件的拆解、转运和分离纯化，实现铜-225、镭-223 等同位素生产、销售和使用。

高功率终端区域位于医用同位素研发平台负二层同位素研发终端大厅中部，主要包括高功率辐照室、维护热室、拆解热室、干法热室、废物转出室、接收热室、溶解热室等一系列热室以及一系列手套箱，同位素研发终端大厅整体作为非密封放射性物质工作场所管理，其中高功率辐照室、维护热室归属于靶系统，按照射线装置管理（辐射分区、辐射监测、辐射安全联锁等）。

综上，医用同位素研发平台首层、负一层和负二层辐射工作场所整体作为甲级非密封放射性物质工作场所进行管理，负二层同位素终端研发大厅中低功率终端区域和高功率终端区域的辐照室为束流轰击靶件的场所，参照 I 类射线装置管理。

3.2 工作原理及工艺流程

本项目利用加速器的带电粒子作为入射粒子，轰击靶核引起相应的核反应生成放射性同位素，放射性同位素经分离、纯化和质检等操作，最终得到放射性同位素。HIAF 装置产生的中高能离子束引至同位素研发终端大厅同位素研发终端（低、高功率终端），轰击靶件，生成碲-211、铋-213、铜-225、镭-223 等目标核素。

同位素研发终端主要包括靶系统和放射性同位素分离和三废暂存处理操作场所。其中靶系统是实现同位素产生，工艺流程有复合靶安装、运行、拆解和转运等功能的装置，放射性同位素操作场所是实现从辐照后靶件中提取目标核素的场所。

同位素研发终端主工艺流程为：

- （1）制靶：工作人员在靶件制备室完成靶件制备。

(2) 靶件辐照前准备工作：靶件制备工作人员在靶件制备热室操作区完成新靶件的安装，通过全自动生产靶系统传送至靶维护热室；靶站工作人员在维护热室前区远程操作热室内设备完成靶件抓取与紧固并将靶体推送到打靶位；加速器工作人员确认符合加速器出束条件；新的靶件经过进料手套箱送入维护热室；靶及其结构件通过维护热室的维护拖车送入辐照室，定位安装后进行加速器辐照；

(3) 靶件辐照：辐射工作人员在医用同位素研发平台二层控制室控制加速器出束，束流打靶；

(4) 靶件传输：辐照结束冷却一定时间后通过维护拖车将靶件退回至维护热室进行辐照后靶件拆解；更换的靶结构件和密封结构件等通过维护热室底部双盖转运装置转出热室，并将其送至同层的固废暂存间，通过固废倒灌后进行固废暂存。

(5) 放射性同位素制备：封装好的辐照后靶件从维护热室底部传输至对应的放射性同位素操作场所，开展辐照后靶件的靶件的分离、纯化等操作。

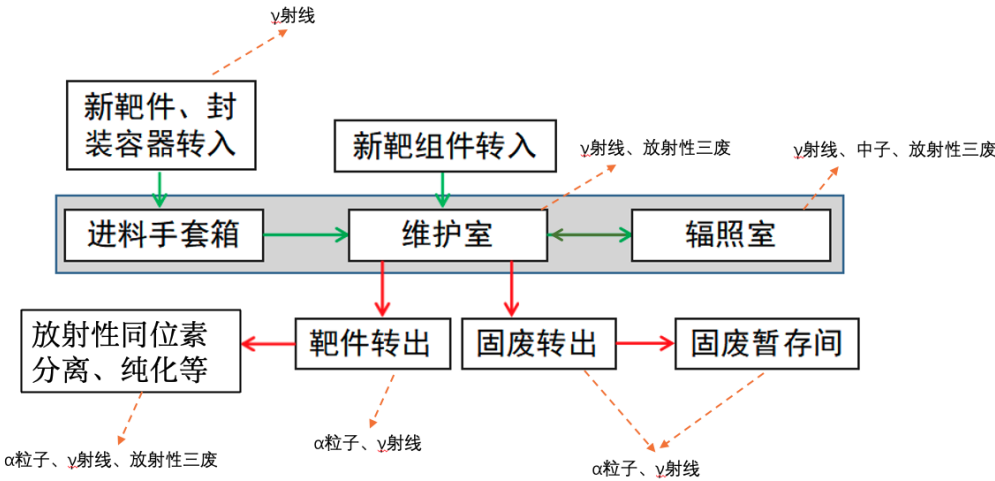


图 3-2 项目工作流程示意图

3.2.1 直线加速器

HIAF 装置已在 2024 年取得环评批复，其中强流超导直线加速器原有装置组成及工作原理不变。本项目的强流离子束流由离子源（ECRIS）产生（0.02MeV/u），

经过低能传输段（LEBT）和射频四极加速器（RFQ）完成横纵向束流的成形和预加速（0.8MeV/u）；中能传输段（MEBT）将束流匹配到超导加速段，然后经过一系列的超导腔体加速 $^4\text{He}^{2+}$ 到 70MeV/u，随后通过高能传输段（HEBT）输出。图 3-3 给出了加速器各加速段示意图。

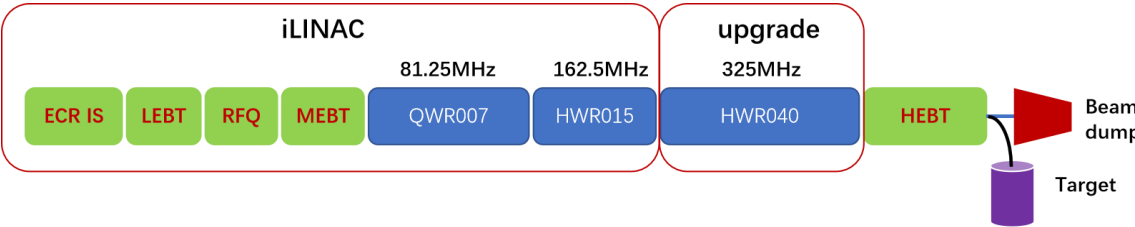


图 3-3 直线加速器各加速段示意图

本项目的改造主要是在原强流超导直线加速器（iLINAC）的后端新增超导加速段（SC）、束流传输线、束流收集器及两个同位素研发终端。本次环评仅针对末端新增的超导加速段（SC）、束流传输线、束流收集器及两个同位素研发终端进行介绍。

3.2.1.1 装置组成及工作原理

3.2.1.1.1 超导加速段

（1）HWR040

超导加速段（SC）利用 HWR040 超导腔体把氦束流从 40MeV/u 加速到 70MeV/u。HWR040 超导腔体为频率 325MHz、最优 β 为 0.40 的半波长超导管，由纯铌材料制作而成，单腔最大加速电压 2.7MV，6 支半波长超导管安装在一个低温恒温器中，结构示意图见图 3-4。HWR040 加速段采用 6 个超导腔的加速方案，采用紧凑结构设计，周期长度为 0.6m，共计 1 个低温恒温器，包含 6 个超导腔。

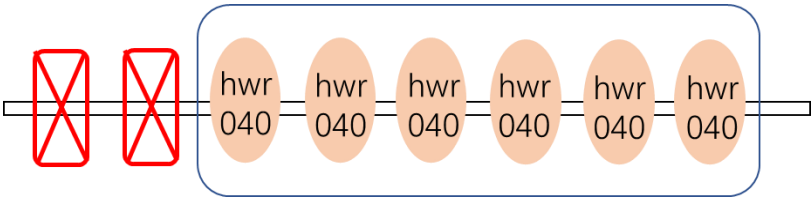


图 3-4 超导升级段周期结构布局示意图

（2）常温四级磁铁

超导段的横向聚焦及束流匹配采用常温四极磁铁实现，四极磁铁有效长度为180mm。

四极磁铁铁芯采用硅钢片全胶粘叠压而成，线圈采用 6mm×6mm/φ3mm 的 TU1 铜管绕制而成。铁芯端板、侧板、顶板均采用 304 不锈钢。

（3）磁铁电源系统

磁铁电源系统是超导直线加速器的重要组成部分，向各种超导螺线管及磁铁提供高精度高稳定度励磁电流，以实现束流的聚焦和轨道校正。磁铁电源主要由功率回路和控制器组成。

（4）高频系统

高频系统的功能是为加速结构提供电磁能量以建立高频加速场；通过反馈机制精确控制加速场的幅度和相位，使通过加速结构的质子束获得与物理设计相一致的能量和纵向约束。

（5）束流诊断系统

束流诊断系统是超导直线加速器的关键系统之一，其主要包括流强测量、束流位置与相位测量、束流横向剖面测量、束流横向发射度测量、纵向束团形状测量等。束流诊断系统的意义在于准确测量束流横纵向参数，包括流强、能量、位置、相位、横纵向剖面及横纵向发射度，以保障束流能够以稳定的能量与功率进入终端。在中低能段采用拦截式与非拦截式探针相结合方式诊断束流参数；在高能段以非拦截式探针为主监测束流参数。

非拦截式探针主要包括束流位置探测器（BPM）用于束流位置、相位、能量测量；ACCT 用于脉冲束平均流强测量，DCCT 用于连续束平均流强测量；束流损失探测器（BLM）用于检测束流是否在传输过程中发生损失。

拦截式探针主要包括拦截式强流水冷法拉第筒（FC），在 MEBT、高能传输段及各个不同能量段超导加速器出口处，除用于流强测量外还兼做束流收集器

用，以便于物理调试；单丝（WS）用于束流横向剖面监测；束团纵向测试仪（BSM）用于束团纵向长度测量。横向发射度测量系统（ES）包括拦截式单丝（WS）与拦截式狭缝（SL）；拦截式刮束器（Scraper）即双狭缝，用于刮去品质不好的束流，且缝宽可调节；在移动束诊平台中还设计一套能散测量系统，采用双狭缝配合法兰第筒探针联合测量中心能量分布，其中双狭缝缝宽可调，用来调节能散测量的分辨率。

下表给出了直线加速器束流诊断元件分布。

表 3-1 直线加速器束流诊断元件分布表

诊断元件参数	HWR040 段
束流位置探测器（BPM）	8

（6）低温恒温器

低温模组（Cryomodule）是超导直线加速器的最小加速单元主要为各超导腔和超导螺线管等冷质量部件提供超低温（2K）环境，并满足一定的绝热、冷却、压力、震动、磁屏蔽等要求，使得超导腔能够高效稳定运行。

低温模组由冷质量系统、支撑系统、冷却系统、冷屏等构成，其中冷质量系统由超导腔、超导螺线管、冷 BPM、束流管道波纹管、端部波纹管、端部方法兰、气动阀门等部件组成。

（7）加速器真空系统

真空系统是超导直线加速器的重要组成部分，在真空系统中获得超高真空的主要作用是：减少束流与残余气体碰撞对束流寿命造成的损失；减少束流与残余气体碰撞对束流强度造成的损失；减少超导加速器中低温超导单元漏热。

3.2.1.1.2 分束传输线

分束传输线（BSBT，Beam Splitting Beam Transportline）的主要作用是实现 iLINAC 直线加速器高能束线束流分时供给 HIAF 主环和同位素研发终端的分束系

统。通过快脉冲二极磁铁，将 iLINAC 超导直线加速器分时供束引出的主环束流和同位素生产所需束流，分别引导实现分时供束。主要功能包括：

- (1) 分束磁铁关闭后，高能段引出 U 等束流通过注环磁铁进入主环；
- (2) 分束磁铁励磁后，高能段引出质子束或氦束等束流进入同位素生产终端；
- (3) 注入同位素生产终端束流损失及品质控制。

BSBT 的束流能量为 80MeV/u，全长约 17.1265m，主要由 14 个四极磁透镜和 4 个二极磁铁以及一系列的束诊元件组成，分别用于束流匹配和测量。具体的参数见下表。

表 3-2 BSBT 基本参数情况表

加速段	BSBT	单位
长度	17.1265	m
出口能量	80	MeV/u
束流频率	81.25	MHz
β	<0.389	-
束流	H / He	-

三条束流传输线，分别将束流传输至直线加速器末端束流收集器、低功率终端、高功率终端。在每个终端辐照期间，终端门禁联锁，在对应二极磁铁电源退零后方可开启进入，以确保人身安全。

3.2.1.1.3 束流收集器 (Dump)

在束线段直通段末放置束流收集器，用于加速器短脉冲束流调试。束流收集器的材料为无氧铜，具体的设计参数和示意图见下图。

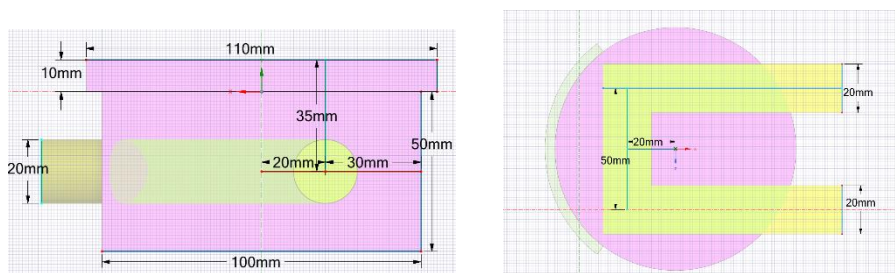


图 3-5 束流收集器设计参数示意图

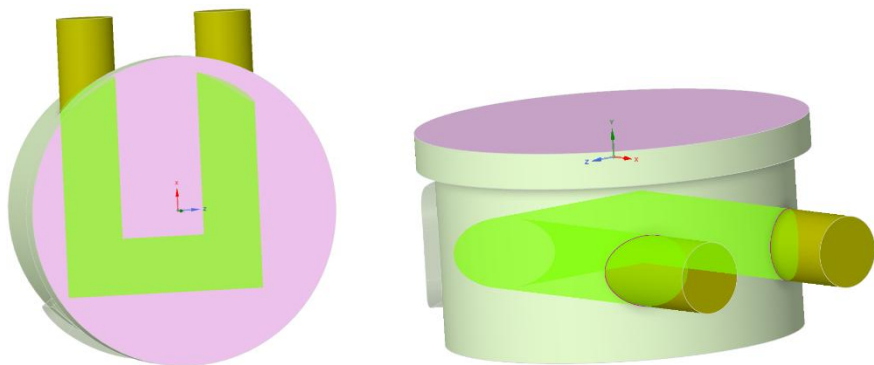


图 3-6 束流收集器示意图

3.2.1.1.4 同位素研发终端

本项目有两个终端，分别是低功率终端和高功率终端，每个终端均由靶辐照系统、靶遥操维护系统、靶冷却系统、物料转运系统、测控系统、辅助配套系统及器靶耦合系统等组成，各系统功能见表 3-3。这两个终端束流是从超导直线加速器引出，一分支斜 30° 接入低功率靶辐照室，另一分支偏转 90° 接入高功率靶辐照室，利用 HIAF 产生的高能强流离子束辐照靶材，用于放射性同位素的生产实验和技术验证。低功率靶辐照室的氦束最大能量为 40MeV/u ，最大束流强度为 100puA ，靶材料包括 Th-232、Eu 和 Bi。高功率靶辐照室的氦束最大能量为 80MeV/u ，最大束流强度为 1000puA ，靶材料包括 Th-232、Eu、Bi、U-238，具体的打靶参数见表 3-3。

表 3-3 加速器打靶参数一览表

靶站	核素	靶材	打靶时间/批次, h	年最大束流打靶批次, 次	年打靶时间, h/年
低功率辐照靶	At-211、Tb-149、	Th-232、Eu、Bi	10h	60	600

室	Ac-225、Ra-223				
高功率辐照靶室	Ac-225、Ra-223	Th-232、Eu、Bi	240	20	4800

靶系统是实现同位素产生、复合靶安装、运行、拆解和转运等功能的装置，并为其稳定运行和维护服务。在本项目中，加速器加速的中高能离子束在靶站辐照靶材料后产生目标医用放射性同位素，辐照完成后的靶件通过拆解转运系统运至分离系统实现同位素的分离和纯化。

表 3-4 靶系统构成一览表

系统	构成及功能
靶辐照系统	包括靶组件、靶冷却密封结构、支撑件等。用于安全可靠地进行靶件的辐照
器靶耦合系统	用于与加速器束流线的连接及控制
遥控维护系统	包括靶安装和拆解、靶件转运等。用于实现靶关键部件遥控维护，靶件自动拆解和安装，以及新靶组件接收和辐照完靶组件的转运等功能
靶冷却系统	一回路靶冷却水系统，包括主循环系统、冷却水净化系统、最终冷阱、气体覆盖系统以及测控系统等。用于将束流沉积在靶件和结构材料上的热量通过冷却介质导出，再通过最终冷阱散热
屏蔽体系统	包括靶辐照室的屏蔽，维护热室的屏蔽等，用于保护工作人员和设备的安全
物料转运系统	包括靶容器、靶冷却结构件以及密封件等固废从热室往暂存间的转运
辅助配套系统	包括通排风系统、水电系统、压空系统、辐射监测系统等
测控系统	用于靶系统主工艺设备和辅助配套设备控制及其关键数据监测和联锁等

1) 低功率终端维护热室设备

低功率终端维护热室紧邻辐照室，内部为封闭的钢壳体，外部为普通混凝土构筑的屏蔽体，维护热室内容纳靶维护拖车一套、拆解靶件装置一套、数控吊车一部、撤源装置以及固废屏蔽转出装置一套。实现在日常运行中靶组件在辐照室与维护热室间的转运，靶件的分拣、封装和转运。撤源装置则作为废靶组件的屏

蔽存放。维护热室顶部设置吊装口，便于大件设备的安装和维护，底部设置热室间转运口和双盖转运装置用于封装后靶件的转运和固废的屏蔽转运。

2) 高功率终端维护热室设备

高功率终端维护热室紧邻辐照室，内部为封闭的钢壳体，外部为重混凝土构筑的生物屏蔽体，使热室外剂量满足法规要求，维护热室内容纳靶维护拖车一套、拆解靶件装置一套、动力机械手一套、撤源装置以及固废屏蔽转出装置一套，实现在日常运行中靶组件在辐照室与维护热室间的转运，靶件的分拣、封装和转运。撤源装置则作为废靶组件的屏蔽存放。维护热室顶部设置吊装口，便于大件设备的安装和维护，底部设置热室间转运口和双盖转运装置用于封装后靶件的转运和固废的屏蔽转运。

3.2.1.2 工艺流程

本次环评考虑了两种工况，分别为调试工况和正常运行工况。

调试工况的主要建设内容包括 HWR040 超导加速段。氦束流能量加速到 80MeV/u。束流调试内容包括硬件标定和束流物理调试，束流参数包络为 1Hz，2ms，2mA，束流的最大功率为 640W。

正常运行工况为项目中后期超导直线加速器与靶耦合运行的工况。超导直线加速器束流功率设计要求为 320kW，加速器的设计参数为 80MeV、2mA，直线段束流损失设计不超过 1W/m。正常运行工况下，束流在加速器隧道中加速和传输（沿程损失），最终损失在靶或其它实验终端，不考虑隧道中的集中损失。

高能强流离子束连续辐照靶材和结构材料后，靶组件的放射性活度高、剂量大，人员通过维护热室内设备进行遥控操作和维护，用远程控制的方式完成靶件的安装与拆卸、靶组件在维护热室内的转运和分解、冷却支撑结构的装配与拆卸、靶件等物料在维护热室内转运和往热室外的转运等流程，并在操作过程中保证各转运和操作系统与维护热室对接时良好的屏蔽和密封效果，避免放射性物质的泄漏。正常运行工况下两个终端靶辐照和转运的主要工艺流程如图 3-7 所示。

靶系统的核心工艺是将靶组件由外部转入进料手套箱，再转入维护热室内，在维护热室内进行一系列的输送后，再载入至辐照室进行辐照。靶件经过离子束照射后，将靶组件原路返回，经由靶组件、封装容器操作装置完成靶件的拆解和封装，之后利用热室底部轨道转运对应的分离热室。

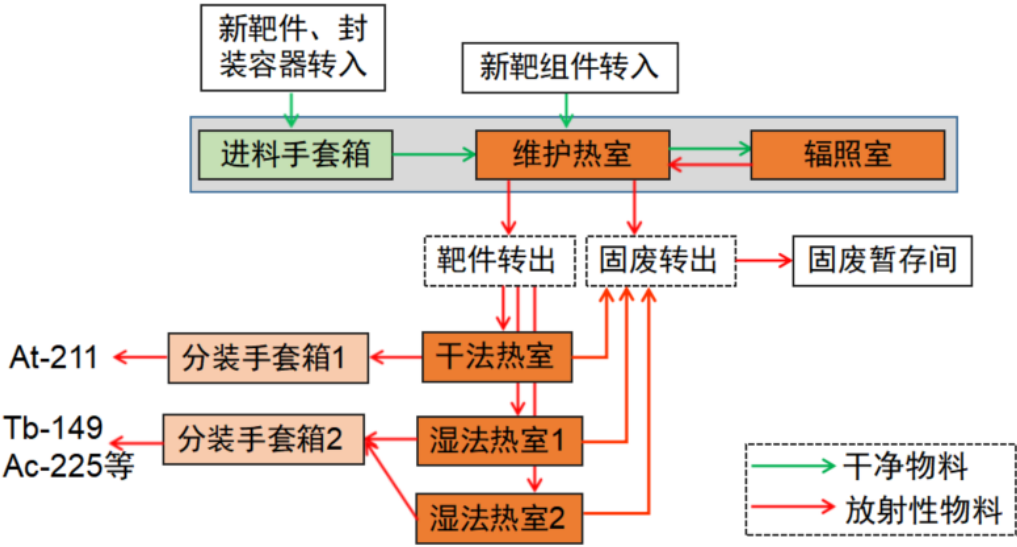


图 3-7 靶运行工艺流程

3.2.1.3 工作规划及人员配置

低功率辐照室和高功率辐照室相关工作人员安排见下表。

表 3-5 辐照室辐射工作人员情况

岗位类别	工作内容	工作地点	人数	新增/现有人员调配
工艺操作	靶件安装、拆解	维护热室前区	12	人员调配 4 人，新增 2 人
设备维护	设备维护	维护热室、冷却水设备间等		新增
工艺操作	金属钽靶材制备	靶材制备室	6	人员调配 2 人，新增 1 人
工艺操作	靶件制备	靶件制备室		人员调配 2 人，新增 1 人
运行值班	系统运行	控制室	5	人员调配 5 人
总计	——		23	

3.2.2 放射性同位素操作场所

3.2.2.1 装置组成

同位素研发终端大厅中低功率终端区域和高功率终端区域均涉及放射性同位素操作场所，其中低功率终端区域开展碲-211、铀-149 同位素生产技术研发，同时可开展钨-225、镭-223 等同位素的生产实验研究，高功率终端区域主要开展钨-225、镭-223 同位素生产技术研发，各非密封放射性物质生产场所涉及的设备。

表 3-6 工艺设备一览表

场所	设备名称	功能	对应终端及目标核素	数量
低功率终端	维护热室（LT2）	实现靶件的更换、束靶耦合组件的维护以及辐照完靶件的外运等功能	砷-211、铽-149、镅-225、镭-223	1
	进料手套箱	实现新靶件和干净物料的传递，并通过底部传输轨道往其他热室传送		1
	干法热室	实现砷-211 同位素的分离纯化	砷-211	1
	湿法热室 1	实现铽-149 同位素的分离纯化	铽-149	1
	湿法热室 2	实现镅-225 的分离纯化实验	镅-225、镭-223	1
	干法分装手套箱	实现分离纯化后砷-211 的分装和外送	砷-211	1

	湿法分装手套箱	实现分离纯化后 钚-149 和钒-225 等同位素的分装 和外送	钚-149、钒- 225、镅-223	1
高功率终端	维护热室（HT2）	实现靶件的更换、 束靶耦合组件的 维护以及辐照完 靶件的外运等功 能	钒-225、镅- 223	1
	进料手套箱（HS3）	实现新靶件和干 净物料的传递，并 通过底部传输轨 道往其他热室传 送		1
	拆解热室（HT3）	现辐照后靶件的 拆解		1
	干法热室（HT4）	实现辐照后钚靶 材的高温煅烧		1
	废物转出热室	补充		1
	接收热室（HT5）	实现干法处理后 钚靶材的接收		1
	溶解热室（HT6）	实现干法处理后 钚靶材的溶解		1

	族分离热室 (HT7)	实现钚的分离		1
	Ra 纯化热室 (HT8)	实现镭元素的分离和纯化		1
	Ac 纯化热室 (HT9)	实现镅元素的分离和纯化		1
	Ra 分装手套箱 (HS1)	实现镭-223 产品的分装和外送		1
	Ac 分装手套箱 (HS2)	实现镅-225 产品的分装和外送		1

3.2.2.2 工艺流程

3.2.2.2.1 低功率终端区域

低功率终端区域开展碲-211、铽-149 同位素生产技术研发，同时可开展铜-225 等同位素的生产实验研究，工艺流程示意图如下。

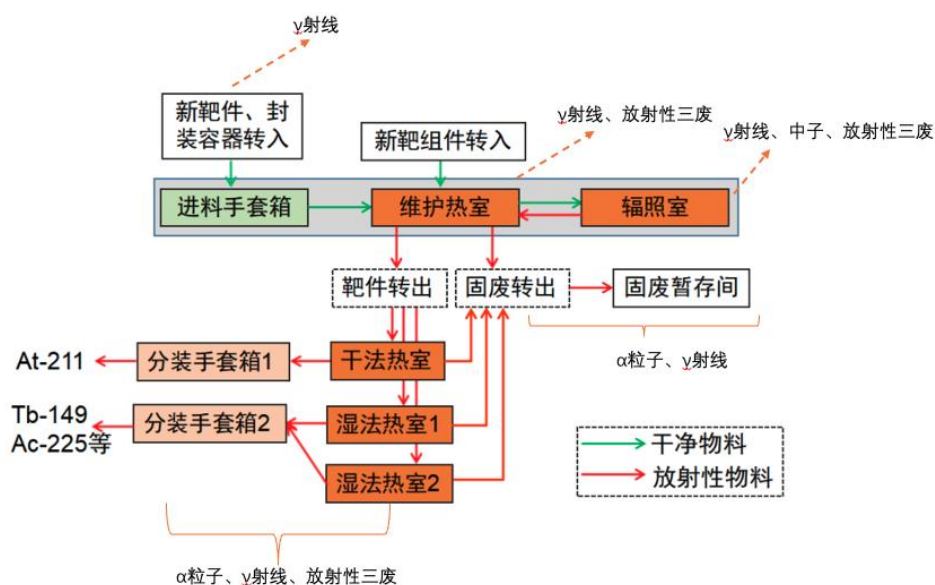


图 3-8 低功率终端放射性同位素操作场工艺流程示意图

3.2.2.2.1.1 碲-211

碲-211 生产技术研发工艺如下：

- （1） 辐照后靶件的切割。辐照后的铽靶通过维护热室传递至干法热室，铽靶在干法热室内使用无屑切割机进行切割。
- （2） 靶件蒸馏。在干法热室中通过设定工艺温度，在特制的蒸馏炉体中蒸馏获取目标碲-211。
- （3） 碲-211 洗脱分装。蒸馏完成后，在干法热室内通过切换阀控制通入洗脱液，将目标物洗脱到溶剂中。

(4) 产品转运出货。将封装好的西林瓶转运至出货附室内，随后等待产品铅罐顶升至附室底部的出货孔后，将产品西林瓶装入铅罐中，盖上铅罐内塞后转出，按照厂房内设置的产品转运路线进行转运。

3.2.2.2.1.2 钷-149

钷-149 生产技术研发工艺如下：

(1) 辐照后靶件的溶解、分离纯化。辐照后的钷靶通过维护热室传递至湿法热室 1，钷靶在湿法热室 1 主要实现钷-149 同位素的分离纯化：

- ① 样品前处理（样品溶解），
- ② 精制纯化，通过分离纯化色谱柱，依据色谱分离原理实现目标核素的分离纯化。
- ③ 浓缩转盐，依据最终目标核素的形态要求，进行转盐操作。



图 3-9 工艺流程示意图

- (2) 钷-149 洗脱分装。浓缩转盐完成后，进行分装封装。
- (3) 产品转运出货。将封装好的西林瓶转运至出货附室内，随后等待产品铅罐顶升至附室底部的出货孔后，将产品西林瓶装入铅罐中，盖上铅罐内塞后转出，按照厂房内设置的产品转运路线进行转运。

3.2.2.2.1.3 Ac-225

Ac-225 生产技术研发工艺如下：

(1) 辐照后靶件的溶解、分离纯化。辐照后的钍靶通过维护热室传递至湿法热室 2，钍靶在湿法热室 2 主要实现 Ac-225 的分离纯化：

① 样品前处理（样品溶解），

② 精制纯化，通过分离纯化色谱柱，依据色谱分离原理实现目标核素的分离纯化。

③ 浓缩转盐，依据最终目标核素的形态要求，进行转盐操作。



图 3-10 工艺流程示意图

(2) Ac-225 洗脱分装。浓缩盐完成后，通过切换阀控制通入洗脱液，将目标物洗脱到溶剂中，并在该过程中完成样品分装封装。

(3) 产品转运出货。将封装好的西林瓶转运至出货附室内，随后等待产品铅罐顶升至附室底部的出货孔后，将产品西林瓶装入铅罐中，盖上铅罐内塞后转出，按照厂房内设置的产品转运路线进行转运。

3.2.2.2.2 高功率终端区域

高功率终端区域主要开展钒-225、镭-223 同位素生产技术研发，工艺流程示意图如下。

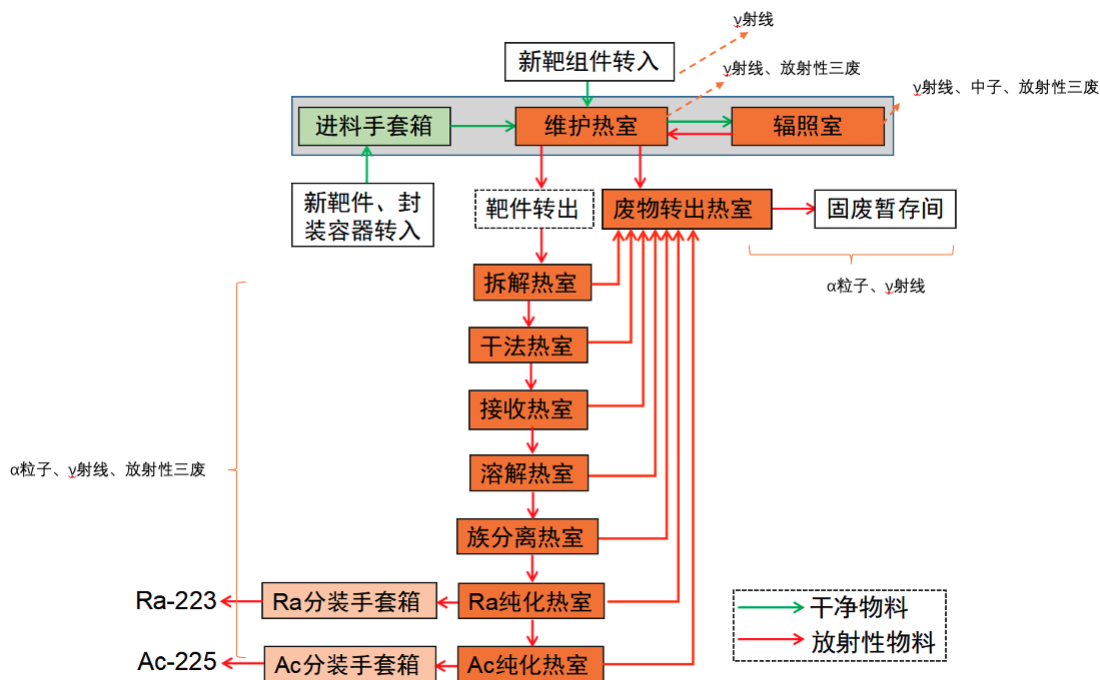


图 3-11 高功率终端放射性同位素操作场工艺流程示意图

3.2.2.2.2.1 Ac-225、Ra-223

Ac-225、Ra-223 生产技术研发工艺如下：

（1）辐照后靶件的分离。辐照后的钍靶通过维护热室传递至干法热室，钍靶在干法热室进行高温干式分离。

① 辐照后的钍靶依次经过干法热室中的高温炉 1、2、3，分别分别获取碘、碲、铷铯等。首先辐照后靶颗粒放入高温炉 1，在一定的加热工艺下，蒸馏出碘（含 ^{131}I ）并且在冷凝段冷凝下来，然后用一定的洗脱液将其洗脱下来进行封装，然后装入高温炉 2，在一定的热处理温度下进行蒸馏并冷凝获取碲（含 ^{211}At ），再用一定的洗脱液将其洗脱下来进行封装，然后转入高温炉 3，在一定的热处理工艺下蒸馏获并吸附去除铷铯等低沸点杂质；最终在降低后续工艺废液比活度的同时，获得有价值的核素碘和碲。

② 气体捕集分离：

在线气体分离装置主要回收高温干法热室内所产生的放射性气态流出物（尾气），通过 He 载气的方式通入装置，通过吸附柱 1-2，催化柱 1-2，吸附柱 3-4 以及吸附柱 5-6 分别脱除砷、锑、氟、氮、氫等放射性气体。各吸附柱、催化柱需要通过旋拧进行安装、拆卸和转运，周期估算为 1-2 月/次，并需要进行气密性检测。催化柱 1-2 单元配备中温加热炉（250℃左右）和循环冷却水（25℃左右），吸附柱 5-6 单元配备液氮冷阱，注入液氮 20 L/d 维持 77 K 低温环境。电箱位于热室外围，与装置间通过管路和电线连接。通过吸附装置基本将带放气体实现最低排放，高价值产物通过吸附柱拆卸、封存并转运。非带放气体与氦气载气进行排空。

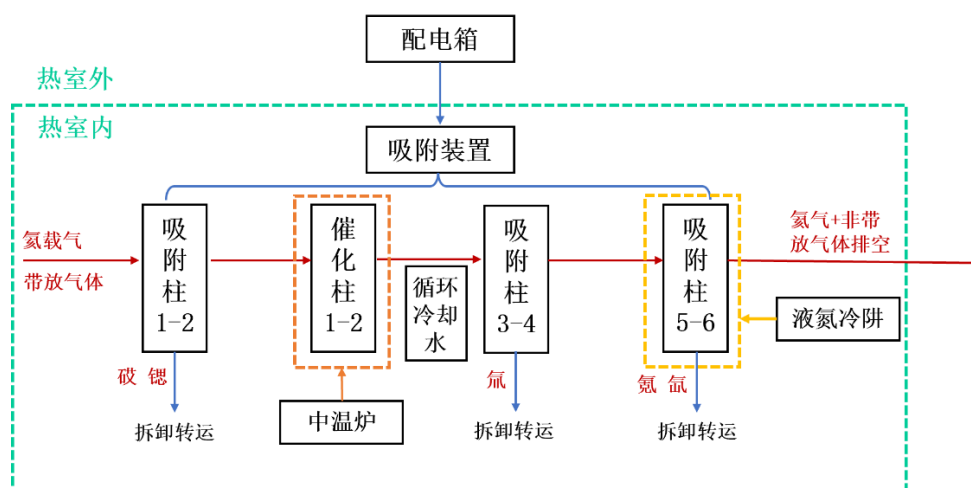


图 3-12 气体捕集分离示意图

（2） 溶解。将经过干法处理的靶材在溶解热室进行溶解操作。

（3） 分离。靶片在溶解热室进行溶解，得到的钍溶液在族分离热室，通过族分离系统进行分离，先将 Th 从溶液中分离除去，这部分含 Th 的溶液作为废液处理。

（4） Ac 分离纯化：

① 经过族分离的料液转移到 Ac 纯化热室进行进行 Ac 的分离，通过色谱分离技术获得满足产品要求的 ^{225}Ac 溶液。色谱分离使用高精度柱塞泵，将流

动相注入负载有样品的色谱柱，选择合适的流动相（如柠檬酸体系）并控制流动相浓度和流速，完成目标放射性核素与其他金属离子的分离纯化。通过检测系统（如紫外检测、铀钍镭能谱检测等），获得含有目标核素的样品馏份。目标核素馏分样品经过条件上样处理，例如滴加硝酸以降低样品馏分的 pH 值，随后样品流经第二个色谱柱进行转盐浓缩，最终得到含有目标核素的氯化盐或硝酸盐溶液。）

② 浓缩转盐，依据最终目标核素的形态要求，进行转盐操作。



图 3-13 工艺流程示意图

③ 满足产品要求的 ^{225}Ac 溶液利用管路送往 Ac 分装工作箱，形成最终产品。

（5） Ra 分离纯化。剩余料液在 Ra 分离纯化热室通过色谱分离纯化技术（与 Ac-225 色谱分离技术方法一致）进行目标核素 Ra 的分离纯化，获得满足产品要求的 ^{223}Ra 溶液，利用管路或者样品密封罐送往 Ra 分装工作箱，形成最终产品。

（6） 产品转运出货。将封装好的西林瓶转运至出货附室内，随后等待产品铅罐顶升至附室底部的出货孔后，将产品西林瓶装入铅罐中，盖上铅罐内塞后转出，按照厂房内设置的产品转运路线进行转运。

3.2.2.3 工作规划及人员配置

表 3-7 非密封放射性物质工作场所辐射工作人员工作负荷一览表

场所	核素	工作步骤	单次最大操	单次最长	每天	每年工作天	新增/现有
----	----	------	-------	------	----	-------	-------

			作活度（Ci）	操作时间（min）	操作次数	数	人员调配，人
低功率终端	²¹¹ At	靶件切割	辐照后活度	15	1	辐照靶次数	3
		靶件蒸馏	辐照后活度	90	1	辐照靶次数	
		洗脱分装	1	60	1	辐照靶次数	
		转运出货	1	60	1	辐照靶次数	
	铽-149	靶件的溶解、分离纯化	辐照后活度	/	1	辐照靶次数	4
		洗脱分装	分离后活度	/	1	辐照靶次数	
		转运出货	分离后活度	10	1	辐照靶次数	
	Ac-225	靶件的溶解、分离纯化	辐照后活度（~1mCi）	/		辐照靶次数	
		洗脱分装	0.001	/	1	辐照靶次数	
		转运出货	0.001	10	1	辐照靶次数	
高功率终端	¹³¹ I; ²¹¹ At	靶件蒸馏	辐照后活度	60	1	辐照靶次数	4
		核素洗脱封装	蒸馏后活度	30	1	辐照靶次数	
		转运出货	洗脱后活度	10	1	辐照靶次数	
		气体捕集分离	蒸馏后气态流出物活度	60	1	辐照靶次数	
	²²³ Ra; ²²⁵ Ac	靶件溶解	辐照后活度	/	1	辐照靶次数 辐照靶次数	
		靶件族分离	辐照后活度	/	1	辐照靶次数	
		Ac 分离纯化	1	/	1	辐照靶次数	
		Ra 分离纯化	1	/	1	辐照靶次数	
		转运出货	产物活度	10	1	辐照靶次数	
备注:“/”表示该处为自动化分离，不需要人员手动操作							

3.2.3 成品运输以及销售

3.2.3.1 产品运输

本项目销售的成品由建设单位委托有资质单位进行运输，运输期间的辐射安全管理由运输单位负责。

建设单位应开展辐射工作人员可能遭受的辐射危害以及应采取的防护措施进行培训，确保限值辐射工作人员的职业照射。本项目从事放射性药品分类、包装、标记、贴标签的人员应开展熟悉《放射性物品安全运输规程》

（GB11806-2019）一般规定的培训，并接收与其履行职责有关的详细培训，并开展货包操作设备的正确使用和放射性物品恰当贮存办法的培训，并明确现有的应急响应信息，并培训工作人员防护服和防护设备的使用。

建设单位生产和销售的产品，按照《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）等相关法律法规要求，采用专用包装容器，放射性药物产品在出厂运输前必须进行表面剂量率及表面污染水平监测，需满足放射性药物货包外表面任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ， β 和 γ 发射体及低毒性 α 发射体的表面污染水平不超过 4Bq/cm^2 ，对所有其他 α 发射体不超过 0.4Bq/cm^2 。

运输工作由建设单位委托有资质的专业公司，遵守《放射性物品运输安全管理条例》、《放射性物品运输安全监督管理办法》和《放射性物品安全运输规程》等法律法规的要求，确保放射性物品的运输安全。

3.2.3.2 销售

公司针对产品的销售签发、运输、意外退回签收等各个环节制定相应的规程制度来确保销售过程的安全管理，销售模式采用以销定产形式，即产即销，根据销售订单，将包装好的货包从成品仓库中取出，委托有资质单位外运，销售给需求单位。外运前对运输容器、货包表面污染和辐射水平进行检测，满足运输要求方可发货。货包外黏贴、填写签收单，内容包括：品名、批号、放射性活度、体积、标定时间、发货时间、订购单位以及订购剂量。

在销售放射性药物的过程中，将严格按照相关法律法规的要求，严格按照销售流程进行销售：

- (1) 用户与公司签订放射性药物销售合同；
- (2) 审查用户具有辐射安全许可证，确认该用户的许可证的有效期和许可的种类和范围可以满足相关要求；
- (3) 与用户签订《非密封放射性物质转让协议》；
- (4) 由用户在国家核技术利用辐射安全监管系统中填写转让核素名称和数量，提交审批表申请并打印；
- (5) 将协议、转让审批表，或审批时要求提供的其他材料连同公司《辐射安全许可证》正副本复印件加盖公司公章后交用户单位，由用户单位去当地省级环保部门办理非密封放射性物质转让审批；
- (6) 全部手续办理完成后，与用户确定送药的时间地点。公司依照用户提前预订告知的放射性药品种类、剂量和数量，制备放射性药物，并配备专门的运输车辆进行配送；
- (7) 公司在进行放射性药物转移前，需进行在《非密封放射性物质销售台账》上进行登记确认，做到账物相符；

放射性药物运输到用户单位后，填写药品交接单。每次的转让活动，双方人员应履行交接手续，并在交接单上签字确认。

3.3 辐射污染源

3.3.1 加速器装置区域

加速器运行时产生的辐射场，包括加速器运行时产生的“瞬发辐射场”和加速器停机后依然存在的“残余辐射场”。瞬发辐射是加速器运行时损失束流与加速器部件和屏蔽体等发生核反应产生，特点是能量高、辐射强，但会随着加速器的停机而完全消失；残余放射性主要来自加速器部件、设备冷却水、机房内

空气被主束或次级粒子轰击产生的活化产物，在加速器停机后依然存在。射线装置放射性三废小结

3.3.2 非密封放射性物质工作场所

3.3.2.1 放射性核素衰变过程

上述辐射工作场所进行各类放射性核素制备过程中，各放射性核素自身发生衰变，衰变过程中伴随产生的 α 粒子、 β 粒子、 γ 射线。目标核素的主要衰变参数见表 3-8。

表 3-8 本项目目标核素主要性能参数

序号	核素名称	半衰期	衰变模式	主要 γ 、X 射线能量，MeV	α/β 最大能量，MeV
1	^{225}Ac	10d	α 、 β^-	0.099 (1.01)	5.83 (50.7)
2	^{223}Ra	11.44d	α	0.269 (13.7)	5.71 (52.6)
3	^{211}At	7.21h	α 、EC	0.079(21.24)	5.86(41.8)
4	^{149}Tb	4.12h	EC、 β^+	0.352 (29.4)	1.41 (3.8) 1.80 (1.0)
备注：数据源自《简明放射性同位素应用手册》（卢玉楷主编）。					

3.3.2.2 表面污染

上述辐射工作场进行各类放射性同位素操作过程中，会产生 α 、 β 表面污染。

3.3.2.3 放射性三废

本项目采用高能量束流质子轰击靶材，目标核素通过核素散裂反应产生，其反应过程中母核会产生多个子核碎片，会产生多种其他核素的杂质。基于各核素的半衰期、活度以及毒性，选取各生产线关键核素进行辐射源项分析，核素会以不同的比例进入气态、液相和固相。

3.4 主要环境影响及其预测评价结果

(1) 屏蔽体外剂量率控制水平

根据屏蔽计算结果，加速器屏蔽体外剂量率低于其剂量率控制水平，放射性同位素操作场所控制区内、外屏蔽体外剂量率满足其剂量率控制水平，热室和手套箱外剂量率满足其剂量率控制水平。

(2) 工作人员

经分析计算，本项目各类辐射工作人员的年最大受照剂量均低于其剂量约束值 5mSv/a。

(3) 公众

经分析计算，本项目运行所致周围公众的年最大受照剂量低于其剂量约束值 0.1mSv/a。

3.5 辐射防护与环境保护措施分析

3.5.1 辐射工作场所分区

3.5.1.1 加速器装置辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定，应将辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

控制区管理要求：控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志与工作状态指示灯，以及安全联锁、门禁等防止人员误入的控制措施，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射，机房门列入安全联锁系统，装置运行期间禁止进入，仅经授权并解除联锁后才能进入控制区内，进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

监督区管理要求：监督区入口处设标牌表明监督区，并设置门禁，需经授权方可进入，进入监督区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计。

3.5.1.2 非密封放射性物质工作场所分区

3.5.1.2.1 分区原则

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《开放性放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）进行辐射工作场所分区。

控制区管理要求：出入口处拟设置明显的电离辐射警告标志，出口设置门禁，各生产线生产过程中仅允许辐射工作人员进入，在此区工作的人员必须严格遵守辐射防护规定和安全操作规程，进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计；

监督区管理要求：监督区入口处适当位置设置明显的监督区标志。

3.5.2 本项目工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，按最大工作负荷，计算出放射性同位素日等效最大操作量，场所为甲级辐射工作场所。

3.5.3 辐射屏蔽

3.5.3.1 设计标准

（1）年剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，通常以职业照射剂量限值的 1/4 即

5mSv/a 作为职业人员的年剂量约束值, 以公众照射剂量限值的 1/10 即 0.1mSv/a 作为公众的年剂量约束值。

(2) 屏蔽体外剂量率控制水平

各场所屏蔽体剂量率控制水平按小节 1.7.2 所列的标准执行。

3.5.3.2 屏蔽体外剂量率计算结果

(1) 加速器

通过采用 FLUKA 程序模拟计算, 本项目现有的辐射屏蔽设计方案能够确保加速器装置屏蔽体外辐射水平满足其设计的控制水平。

(2) 放射性同位素操作区域

通过估算可知本项目各放射性同位素操作区域现有辐射屏蔽设计方案可确保各区域屏蔽体外辐射水平满足其设计的控制水平。

3.5.4 辐射安全联锁

为保证控制区内部的人员免受辐射危害, 加速器机房设计了完备的辐射安全联锁系统, 严格按“最优切断”、“失效保护”及“冗余设计”等设计原则, 通过门-机联锁、紧急停机、声光报警、清场搜索、视频监控等安全设施, 确保当某一区域有束流时, 该区域的门无法打开, 工作人员不能进入该区域; 当设备某一区域有人时, 束流也不能被传输到该区域。防止人员误操作, 保障工作人员和公众的人身安全。

人身安全联锁系统采用可编程控制技术、门禁控制技术及自动门技术、集散式控制技术、计算机网络与通讯技术、探测与数据处理技术、设备自诊断与自恢复技术等, 对各安全联锁部件进行实时监测, 并将信号输入安全联锁系统, 只有在联锁条件全部满足的情况下, 才允许束流的产生和加速。任一联锁条件被破坏都将导致安全联锁系统被破坏, 从而导致束流的切断, 确保人员安全。

3.5.5 工作场所辐射监测

辐射工作场所安装有固定式辐射监测仪表，用于监测场所内部和屏蔽体外的辐射水平，在整个项目周围环境布置在线监测点位，监测数据实时显示，以验证屏蔽措施的可靠性，防止辐射泄漏，保证工作人员和公众的安全。

3.5.6 非密封放射性物质辐射工作场所防护措施

本项目辐射工作场所的醒目位置悬挂 (张贴)辐射警告标志，人员通行和放射性物质传递的路线应严格执行相关规定，防止发生交叉污染。应制定严格的辐射防护规程和操作规程。

非密封放射性物质及放射源的操作根据所操作的放射性物质的量和特性，在热室或手套箱内进行。操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前进行表面污染检测，如其污染水平超过规定值，应采取相应去污措施。从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过限值的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

3.5.7 放射性三废的处理

3.5.7.1 放射性固体废物

放射性固体废物主要包括各工艺过程中产生的放射性固体废物，各辐射工作场所产生的放射性固体废物产生后先分类收集在场所内暂存，定期检测，对其中放射性活度比较低的放射性废物（如劳保用品等），一般经贮存衰变后，可申请清洁解控处理。而对无法实施解控的放射性废物（如废靶体等），当其包装容器符合要求且满足接收方的接收标准后送有资质单位处理和处置。

3.5.7.2 放射性废液

放射性废液主要包括各工艺过程中的工艺废液以及其他放射性废液。各辐射工作场所产生的放射性废液产生后先分类收集，转移至废液暂存场所暂存。

定期监测，检测结果满足污水排放标准则通过污水系统排放，对于无法满足排放标准的废液后续交由有资质单位进行处置。

3.5.7.3 放射性废气

各辐射工作场所均采用了独立的排风系统，放射性废气经过滤后统一经烟囱排放。

3.6 风险防范措施及应急预案

本项目可能发生的事故风险主要是工作人员在装置开机出束的情况下加速器机房内部造成的人身伤害，以及放射性同位素操作期间洒落、容器破碎、放射性同位素丢失等事故造成的伤害。

加速器机房有功能齐全，具有安全冗余的高安全等级的安全联锁系统，采用门机联锁、紧急停机、清场搜索、警报装置等设备和手段，确保当控制区内部有束流时，房间门无法打开，人员不能进入房间内部；当上述区域内部有人时，束流也不能被传输到该区域。能够保证工作人员的安全。

对于放射性同位素操作区域，设置严格的分区管理，控制区禁止无关人员进入，制定和完善放射性核素安全管理制度，在日常工作中，应设置专人负责放射性物质管理；放射性物质的入库和出库，都由专人进行登记，设立生产、分装、使用台账；建立放射性原料入库及领用台账，登记时注明使用人、使用数量和剩余数量。做好日常检查，防止放射性同位素被盗、丢失。制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少放射性同位素洒漏事故的发生。各操作场所配备防护面罩、吸水滤纸、纱布、酒精、便携式剂量监测仪等应急物资和灭火器材。

此外，建设单位已建立一系列辐射安全管理制度。建设单位已成立事故应急管理小组并制定了《辐射事故应急预案》，规定了事故上报、应急处理、应急装备保障等方面的内容。确保在发生辐射事故时，能有序、迅速地采取正确

的处理措施，缓解事故后果，控制辐射事故的发展，将事故对人员、财产和环境的损失减少到最低限度。

3.7 建设项目对环境影响的利益代价分析结果

中国科学院近代物理研究所响应国家政策，在惠州市惠东县两装置区 HIAF 园区开展同位素生产技术研发。旨在攻克基于离子加速器驱动固液复合靶的同位素生产技术，解决同位素严重依赖进口等“卡脖子”问题，为构建安全自主可控的同位素生产技术创新体系提供坚实保障。

本项目在创造很大的社会、经济效益的同时，也要付出一定的代价：工作人员和周围公众受到在国家标准范围内的少量辐射照射。根据前面章节的分析，项目运行期间对环境的影响均低于国家标准中规定的限值，其影响都是可以接受的。

因此，本项目的社会效益和环境效益能够得到很好的统一。

3.8 建设单位拟采取的辐射监测计划 and 安全管理

3.8.1 辐射监测计划

本项目辐射监测总体包括环境监测、工作场所监测和个人剂量监测。环境监测采用巡测的方式；工作场所监测采用固定式在线区域辐射监测和巡测相结合的方式；个人剂量监测采取累积式个人剂量监测计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。另公司每年委托有资质单位进行年度监测，年度监测数据于每年 1 月 31 日前报生态环境部门。

3.8.2 辐射安全管理

（1）辐射安全管理机构

辐射安全管理委员会是近物所辐射安全工作的管理机构，所长任委员会主任，主管所领导任委员会副主任，委员会委员由所技术安全办公室主任、所办

公室负责安全保卫的副主任、辐射安全与防护室主任及其他相关部门负责人担任。

技术安全办公室是辐射安全管理委员会的执行部门，负责全所辐射安全工作的日常管理。

（2）辐射工作人员管理

近物所已制定辐射工作人员培训计划，规定原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员、新上岗及调入的辐射工作人员在上岗前必须通过核技术利用辐射安全与防护考核后方可上岗。

（3）辐射安全制度

近物所制定了《中国科学院近代物理研究所辐射安全管理规定》、《中科院近代物理研究所辐射事故应急预案》等，针对本项目拟制定和完善相应的操作规程、辐射防护、设备检修维护、监测方案、放射性废物处理等相关规章制度，确保本项目运行过程中的辐射安全。

4 环境影响评价

近物所强流重离子加速器装置二次改扩建核技术利用项目的建设符合国家相关的法律规定和国家产业政策。建设项目目的明确、理由正当，同时具备了技术、人员和经费等条件。

环境影响预测结果表明，本项目运行时对周围环境的影响满足我国法规标准的要求。本项目在认真落实本报告书中的各项污染防治措施和管理措施后，将具备从事本次申请的核技术利用活动的技术能力和辐射安全防护能力，项目建成投入运行后对环境影响符合环境保护的要求，故从环境保护角度考虑，本项目的建设是可行的。

5 联系方式

（1）建设单位概要

建设单位名称：中国科学院近代物理研究所

建设地址：广东省惠州市惠东县黄埠镇东头村大坑口附近

建设单位联系人：黄工

建设单位联系方式：15693316828 ； huangyx@impcas.ac.cn

（2）环评机构概要

环评机构名称：中国原子能科学研究院

环评机构地址：北京市房山区新镇北坊

环评机构联系人：黄工

环评机构联系方式：010-69357939； huangjuanok@126.com