

核技术利用建设项目

中高能医用回旋加速器生产研发
及应用中心

环境影响报告表

(公示本)



四川致源粒子科技有限公司

2025 年 9 月

生态环境部监制

目 录

表 1：项目基本情况	2
表 2：放射源	27
表 3：非密封放射性物质	27
表 4：射线装置	27
表 6：评价依据	29
表 7：保护目标与评价标准	33
表 8：环境质量和辐射现状	37
表 9：项目工程分析与源项	42
表 10：辐射安全与防护	47
表 11：环境影响分析	56
表 12：辐射安全管理	76
表 13：结论与建议	85
表 14：审批	89

表 1：项目基本情况

建设项目名称		中高能医用回旋加速器生产研发及应用中心			
建设单位		四川玖谊源粒子科技有限公司			
法人代表	马**	联系人	张**	联系电话	**
注册地址		四川省绵阳市经开区二环路南段 351 号			
项目建设地点		四川省绵阳市经开区文武路 120 号			
立项审批部门		绵阳经济技术开发区 经济发展局		备案文 号	**
建设项目总投资（万元）	**	项目环保投资（万元）	557.7	投资比例（环保投资/总投资）	3.72%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它		占地面积（m ² ）	4930.61m ²
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☒ 生产	☒ II类 ☐ III类		
		☒ 销售	☒ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类		
	其他	/			
	项目概述 一、概况 1、建设单位简介 四川玖谊源粒子科技有限公司（以下简称“玖谊源”，统一社会信用代码 91510700MA633P590G）成立于 2017 年 2 月，国资参股、主创团队持股结合民营资本的混合所有制企业，是中国绵阳科技城实施国家战略、倡导军民融合和军转民的重点示范企业。玖谊源公司致力于质子回旋加速器及相关正电子放射性药物的研发、生产和应用，公司总部位于中国科技城绵阳，拥有强大的科学家团队和高素质的应用人才。 2、项目由来				

2022 年玖谊源于绵阳市绵阳经济技术开发区建设回旋加速器生产及同位素应用研发基地（以下简称“生产基地”），总占地面积 30780m²，目前已建成加速器制造厂房、同位素应用研发中心，其中加速器制造厂房已建设 2 条 11MeV 质子回旋加速器批量化生产线、1 条 7MeV 质子回旋加速器批量化生产线和 1 条 20MeV 质子回旋加速器批量化生产线，同位素应用研发中心使用回旋加速器开展碳-11、氮-13、氟-18、镓-68、铜-64、锆-89 等核素制备研发，已于 2022 年 7 月取得四川省生态环境厅的环评批复（川环审批〔2022〕80 号），已于 2025 年 9 月重新申领《辐射安全许可证》（川环辐证〔00630〕），2025 年 9 月完成回旋加速器生产部分（7MeV~11MeV 小加速器测试间）的竣工环境保护验收工作。

玖谊源根据自身规划和市场布局需求，为进一步丰富回旋加速器生产种类和型号，扩大生产规模，同时基于前期已投运的生产基地运行过程中的技术积累和沉淀，积极响应四川省科学技术厅等 8 部门联合发布的《四川省核技术应用科技创新发展实施方案（2023-2025 年）》（川科基〔2023〕6 号）关于“攻克回旋加速器中能量可调、多粒子加速、高束流功率等关键技术”的号召，拟于现生产基地预留用地范围内建设实施“中高能医用回旋加速器生产研发及应用中心”项目，计划开展多粒子/单粒子型（包括质子、氦核、氮核）回旋加速器研发生产，该回旋加速器属于“粒子能量小于 100 兆电子伏的医用/非医用加速器”，根据《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），属于 II 类射线装置。为加强射线装置及场所的辐射安全管理，防止放射性污染和意外辐射事故的发生，确保射线装置生产、使用和销售过程不对周围环境、职业及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律、法规要求，本项目须进行环境影响评价。同时，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号），本项目涉及生产、使用和销售“II 类射线装置”，应编制环境影响报告表。为此，玖谊源委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）开展环境影响评价工作（附件 1）。我单位接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，按照国家有关技术规范要求，编制完成《中高能医用回旋加速器生产研发及应用中心环境影

响报告表》。

二、项目概况

中高能医用回旋加速器生产研发及应用中心位于四川省绵阳市经开区文武路120号生产基地中部预留地块，总占地面积4930.61m²，主要建设中高能加速器生产厂房，建筑层高13.4m（单层结构，局部两层），总建筑面积8110.65m²，其中一层为中高能加速器生产区，二层为生产配套用房区。

1、中高能加速器生产区

中高能加速器生产区位于一层，用于回旋加速器装配（不涉及零部件的机加工活动）、调试和发货，建筑面积为4980.45m²，主要布置：库房、回旋加速器装配区、靶站装配区、冷调试区、回旋加速器调试机房（1#~4#）、放射性废物暂存间（1#、2#）、废水处理设备间（含冷却水收集池2×1m³）、废水处理设备控制间、气瓶间、工具间、设备间及其他配套辅助用房等。

回旋加速器调试机房屏蔽体采用混凝土（密度2.35t/m³）整体浇筑，1#调试机房采取主机厅与靶室分离设计，主机厅内部净空尺寸为8.85m（长）×8.0m（宽）×7.05m（高），四周墙体及屋顶厚度均为2500mm；1#、2#靶室（单个靶室配套2个靶站）内部净空尺寸均为8.0m（长）×4.0m（宽）×3.0m（高），四周墙体及屋顶厚度均为2500mm，迷道采用“Z”形设计，迷道内墙和外墙厚度均为2500mm，设备门采用“凸”形设计，厚度为2500mm混凝土，人员迷道防护门为250mm聚乙烯+20mm铅。2#调试机房为单主机厅（无靶室）设计，内部净空尺寸为8.0m（长）×8.0m（宽）×7.05m（高），四周墙体及屋顶厚度均为2500mm，迷道采用“Z”形状设计，迷道内墙和外墙厚度均为2500mm，设备门采用“凸”形设计，人员迷道防护门为250mm聚乙烯+20mm铅。3#调试机房为单主机厅（无靶室）设计，内部净空尺寸为10.8m（长）×8.0m（宽）×7.05m（高），四周墙体及屋顶厚度均为2500mm，迷道采用“Z”形状设计，迷道内墙和外墙厚度均为2500mm，设备门采用“凸”形设计，人员迷道防护门为250mm聚乙烯+20mm铅。4#调试机房为单主机厅（无靶室）设计，内部净空尺寸为8.0m（长）×8.0m（宽）×7.05m（高），四周墙体及屋顶厚度均为2500mm，迷道采用“Z”形状设计，迷道内墙和外墙厚度均为2500mm，设备门采用“凸”形设计，人员迷道防护门为250mm聚乙烯+20mm铅。

建成后将形成 9 条回旋加速器装配线（含靶站装配线）和 4 条回旋加速器调试线，年生产、使用、销售多粒子型或单粒子型（包括：质子、氘核或氚核，单次仅出束 1 种粒子）回旋加速器 20 台，其中加速质子能量为 12MeV~35MeV、束流强度为 100μA~1500μA，加速氘核能量为 6.5MeV~17.5MeV、束流强度为 50μA~500μA，加速氚核能量为 20MeV~35MeV、束流强度为 50μA~500μA，不涉及放射性同位素生产，属于Ⅱ类射线装置。单台回旋加速器热调试周期约 4 个月，累积调试出束时间约 240h；单个调试机房年最大调试数量为 5 台，年累积调试出束时间约 1200h。

2、生产配套用房区

生产配套用房区位于局部二层，主要用于生产人员办公和调试机房控制，建筑面积 3130.02m²，主要布置：中控室、水冷间、设备间、预留生产用房、会议室、生产办公室等。

本项目仅开展回旋加速器的装配和调试，涉及Ⅱ射线装置生产、使用和销售活动（不涉及放射性同位生产活动），回旋加速器销售后在客户端现场的安装和束流调试由玖谊源负责，后期客户端取得《辐射安全许可证》后由玖谊源委托第三方有资质单位开展放射性同位素生产调试及日常维保检修工作。

表 1-1 射线装置生产内容表

装置名称	粒子	束流能量（MeV）	束流强度（μA）	类别	生产数量（台）	场所名称	活动种类	备注
多粒子/单粒子型回旋加速器	质子	12MeV~35MeV	100μA~1500μA	Ⅱ类	20	1#、2#、3#、4#调试机房	生产、使用、销售	不涉及放射性同位素生产
	氘核	6.5MeV~17.5MeV	50μA~500μA					
	氚核	20MeV~35MeV	50μA~500μA					

3、项目组成及主要环境问题

具体项目组成及主要的环境问题见表 1-2。

表 1-2 项目组成及主要的环境问题表

名称	建设内容及规模	可能产生的环境问题	
		施工期	营运期
主体工程	占地面积 4930.61m ² ，主要建设中高能加速器生产厂房，建筑层高 13.4m（单层结构，局部两层），总建筑面积 8110.65m ² ，一层为中高能加速器生产区，二层为生产配套用房区。	施工扬尘、施工噪声、施工废水、	中子、γ射线、臭氧、氮氧化物、感生放射

		建设9条回旋加速器装配线和4条回旋加速器调试线，配套回旋加速器装配区、靶站装配区、冷调试区、回旋加速器调试机房（1#~4#）等，年生产多粒子/单离子型（包括：质子、氘核和氦核，单次仅出束1种粒子）回旋加速器20台，其中加速质子能量为12MeV~35MeV、束流强度为100μA~1500μA，加速氘核能量为6.5MeV~17.5MeV、束流强度为50μA~500μA，加速氦核能量为20MeV~35MeV、束流强度为50μA~500μA，不涉及放射性同位素生产，属于II类射线装置。	施工固废等	性废气、活化部件、危险废物、噪声等
	配套辅助工程	一层布置建设库房、气瓶间、工具间、设备间等配套辅助用房，局部二层布置建设中控室、水冷间、设备间、预留生产用房、会议室、生产办公室等配套辅助用房。		
环保工程	废水治理	回旋加速器调试过程产生的冷却水经新建冷却水收集池（2个池体，单个池体有效容积为1m ³ ）收集，监测达标后与生活污水一起排入市政污水管网。		感生放射性废气、冷却水、噪声、生活污水、臭氧、氮氧化物、危险废物、办公垃圾、包装固废等
	废气治理	1#、2#、3#、4#调试机房设独立排风系统，引至厂房屋顶排放。		
	固体废物	回旋加速器更换下的活化部件采用铅罐收集暂存于1#或2#放射性废物暂存间，最终交由有资质单位处理。		
		非放射性固体废物分类收集后，由市政环卫部门清运。 危险废物依托建设单位厂区南侧（同位素应用研发中心旁）已有危险废物暂存间进行收集暂存（15m ² ），最终交由有资质单位处理。		
公用工程		供水由市政自来水管网供给，供电由市政电网供给，排水依托园区已有园区污水管网排入游塘汛污水处理厂处理。		/

4、主要原辅材料

本项目主要的原辅材料及能耗见表1-3。

表1-3 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	年耗量	来源	主要成分	备注
原料	磁场系统	20套	外购	/	/
	离子源系统	20套	外购	/	/
	射频系统	20套	外购	/	/
	束流引出系统	20套	外购	/	/
	控制系统	20套	外购	/	/

	水冷系统	20 套	外购	/	/
	靶系统	20 套	外购	/	/
	附属组件	20 套	外购	/	如：电缆、螺母、螺钉、销钉、轴承、法兰、垫片、密封圈、管接头、卡扣、仪表等
辅 料	真空硅脂	1kg	外购	/	防止胶圈老化
	乙醇	30L	外购	C ₂ H ₆ O	去除磁体污渍
	除锈剂	200mL	外购	(甲醚 50%~75%、二甲苯 10%~25%、乙苯 3%)	清除金属表面锈迹
	氢气	40L	外购	H ₂	质子源
	氘气	20L	外购	D ₂	氘粒子源
	氦气	500L	外购	He ₂	氦粒子源、检漏
	氮气	500L	外购	N ₂	破真空
能 源	电	455.7 万 kW·h	市政 电网	/	/
水	自来水	17120m ³ /a	市政 管网	H ₂ O	/

5、主要设备配置

本项目主要的设备配置见表 1-4。

表 1-4 主要设备配置及主要技术参数

名称	数量	用途
一级水冷机组	6 套	二级水冷热交换
二级水冷机组	4 套	设备水冷
叉车（10T）	1 台	转移设备
起重机（70T）	1 台	转移设备
起重机（5T）	4 台	转移设备
空调机组	1 组	通风
排风机组	4 组	排风

6、工作人员及工作制度

（1）工作制度：本项目加速器场内调试岗位实行 2 班制，其余岗位为 1 班制，每班工作 8 小时，年工作 300 天。

（2）人员配置：本项目共配置工作人员 11 人，均从现有辐射工作人员调配，与现有辐射工作岗位存在交叉。

表 1-5 工作人员配置表

岗 位		人员数量（人）	备 注
辐射工作人员	辐射安全管理员	1	已有
	场内加速器装配、调试以及场外（客户端）安装、调试	10	已有，与现有辐射工作岗位交叉。

7、产业政策符合性

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，同时建设单位已取得绵阳经济技术开发区经济发展局的备案文件（川投资备【2507-510796-04-01-380713】FGQB-0141 号），本项目符合国家产业发展政策。

8、用地规划符合性

本项目选址位于四川省绵阳市经开区文武路 120 号，属于绵阳经济技术开发区范围。同时，项目属于回旋加速器及同位素药物研发生产基地预留用地，不涉及新增用地范围，目前建设单位已取得绵阳市自然资源和规划局颁发的《建设用地规划许可证》（地字第 510700202200025 号），用地性质为一类工业用地，项目建设用地符合国土空间规划和用途管制要求。

9、与绵阳经济技术开发区产业发展园区符合性

本项目位于绵阳经济技术开发区产业发展园区，该园区于 2015 年编制完成了《绵阳经济技术开发区产业发展园区规划环境影响报告书》，并取得了四川省环境保护厅《关于绵阳经济技术开发区产业发展园区规划环境影响报告书的审查意见函》（川环建函〔2015〕176 号）。由该规划环评报告书及其审查意见可知：

（1）规划范围

总规划面积 13.02km²，四至范围为：北起贾家店街、塘坊大道，南与丰谷镇接壤，西起六一堂路、木龙河，东至绵州大道、涪江。

（2）产业定位

以数字家电、化工、环保与机械制造业为主导产业，大力发展新一代信息技术、节能环保、新材料、包装、物流和机械制造业等战略性新兴产业。

（3）鼓励、禁止入园行业类型及清洁生产要求

鼓励入园行业：符合园区主导产业的项目；与园区主导产业相配套产业，企业

效益明显，对区域不造成明显污染，遵循清洁生产及循环经济的项目。

禁止入园行业：不符合产业政策及行业准入条件的项目；禁止引入皮革、屠宰、造纸、制药、印染、焦化、黄磷、冶金类企业。

清洁生产要求：入园企业必须采用国际、国内先进水平的生产工艺、设备及污染治理技术，能耗、物耗、水耗等均应达到相应行业的清洁生产水平二级或国内先进水平。

项目的建设 with 园区规划符合性分析见下表。

表 1-6 项目与绵阳经济技术开发区产业发展园区规划符合性分析表

项目	《绵阳经济技术开发区产业发展园区规划环境影响报告书》及审查意见函（川环建函〔2015〕176号）中相关要求	本项目建设情况	符合性
鼓励入园行业	符合园区主导产业（以数字家电、化工、环保与机械制造产业为主导产业，大力发展新一代信息技术、节能环保、新材料、包装、物流和机械制造等战略性新兴产业）的项目；与园区主导产业相配套产业，企业效益明显，对区域不造成明显污染，遵循清洁生产及循环经济的项目。	本项目主要进行回旋加速器组装、调试及销售，属于机械制造产业，不属于禁止类行业。因此，本项目符合绵阳经济技术开发区产业发展园区产业定位。	符合
禁止入园行业	不符合产业政策及行业准入条件的项目；禁止引入皮革、屠宰、造纸、制药、印染、焦化、黄磷、冶金类企业。	中华人民共和国国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家当前产业发展政策。 本项目主要进行回旋加速器加工、组装、调试及销售，不属于皮革、屠宰、造纸、印染、焦化、黄磷、冶金类企业。	符合
清洁生产要求	入园企业必须采用国际、国内先进水平的生产工艺、设备及污染治理技术，能耗、物耗、水耗等均应达到相应行业的清洁生产水平二级或国内先进水平。	①生产工艺及装备 项目生产工艺以组装、调试回旋加速器为主，采用国内外先进的加工设备。 ②资源能源消耗 本项目主要消耗电能，年用电量约 455.7 万kwh，属于小规模用能企业。另外，	符合

		项目用水主要为生活用水，年用水量约17120m³，用水量较小。 ③污染物产生和排放 本项目主要进行回旋加速器生产，运营期主要环境污染物为电离辐射与放射性“三废”。回旋加速器机房设有混凝土屏蔽，经分析屏蔽体设计满足相关辐射防护要求，所致职业人员和公众受照剂量低于GB18871规定的职业照射剂量限值和本报告提出的职业照射剂量管理约束值。调试机房采取全排方式，外排气载流出物所致周边评价范围内公众剂量满足GB18871规定的公众剂量限值和本报告提出的公众剂量管理约束值。放射性废水主要为冷却水经暂存衰变并经检测达标后再进行中和预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中三级标准后排入城市污水管网；放射性固废经分类收集后交有资质单位处置；危险废物收集后交有资质单位处置。 项目采用国内外先进的生产技术与生产设备，工艺用水量较少，采取的环保治理措施可使“三废”达标排放，可达清洁生产二级水平。	
规划区制约因素对策措施	临近主城区、塘汛场镇周边工业区域布置无污染或轻污染企业，园区与相邻的主城区、塘汛场镇边界处设置宽度不少于50m的隔离带。	本项目距离主城区约2km，距离塘汛场镇约200m。本项目主要进行回旋加速器生产，运营期主要环境污染物为电离辐射与放射性“三废”，经预测分析期所致周边公众剂量远远低于本报告提出的公众剂量约束值。项目产生废水主要为生活污水，少量放射性废水经暂存衰变并经检测达标后排入城市污水管网。危险固废收集后委托有资质单位处置，少量放射性固废衰变达到清洁解控水平后作为一般固废处置或交有资质单位处置。因此，本项目属于轻污染企业。	符合
	维持洪恩村拆迁居民安置区现有用地规模，小区周围100m范围内	本项目距离洪恩村拆迁居民安置区约2.7km，距离最近居民小区三元社区约	符合

调整为园区配套服务用地，该区域除现有企业节能改造外，不得新建其他工业企业。	200m。	
对园区职工倒班房仅能作为园区的倒班宿舍，不得作为居民居住区。	本项目不涉及。	/
化工及其他较重污染企业应尽量远离城区、塘汛场镇、洪恩村拆迁居民安置区等环境保护目标布设，对引入化工等环境敏感的项目在选址及平面布局等方面进行充分论证，确保人居环境质量及环境安全。	本项目不属于化工项目，不涉及。	符合

因此，项目属于绵阳经济技术开发区产业发展园区鼓励类行业，符合工业集中发展区规划。

10、生态环境分区管控符合性分析

根据生态环境部《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评〔2016〕150号）的要求，建设项目选址选线、规模、性质和工艺路线等应与“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”（以下简称“三线一单”）进行对照。根据《绵阳市人民政府办公室关于加强生态环境分区管控的通知》（绵府办函〔2024〕42号）全市行政区域从生态环境保护角度划分为优先保护、重点管控和一般管控三类环境管控单元，共70个环境管控单元。

优先保护单元：以生态环境保护为主的区域，全市划分优先保护单元20个，主要包括生态保护红线、自然保护地、饮用水水源保护区和重点生态环境敏感区、脆弱区等，以生态环境保护优先为原则，严格执行相关法律、法规要求，严守生态环境质量底线，确保生态环境功能不降低。

重点管控单元：涉及水、大气、土壤等资源环境要素重点管控的区域，全市划分重点管控单元43个，主要包括人口密集的城镇规划区和产业集聚的工业园区（工业集聚区）等，不断提升资源利用效率，有针对性地加强污染物排放控制和环境风险防控，解决生态环境质量不达标、生态环境风险突出等问题，制定差别化的生态环境准入要求。

一般管控单元：除优先保护单元和重点管控单元之外的其他区域，全市共划分

一般管控单元 7 个。执行区域生态环境保护的基本要求，重点加强农业、生活等领域污染治理。

根“四川省生态环境分区管控公众服务系统”查询，项目所在地共涉及 1 个工业重点管控单元和 6 个要素（生态、水、大气、自然资源）管控分区，详见表 1-7。

表 1-7 本项目拟建地涉及的管控单元信息表

序号	涉及环境管控单元名称	环境管控单元编码	环境管控单元类型	
1	绵阳经济技术开发区	ZH51070320006	工业重点管控单元	
序号	涉及环境要素管控分区名称	环境要素管控分区编码	环境要素类型	环境要素细类
1	涪城区其他区域	YS5107033110001	生态	一般管控区
2	涪江-涪城区-丰谷-控制单元	YS5107032210004	水	水环境工业污染重点管控区
3	绵阳经济技术开发区	YS5107042310001	大气	大气环境高排放重点管控区
4	涪城区高污染燃料禁燃区	YS5107032540001	自然资源	高污染燃料禁燃区
5	涪城区自然资源重点管控区	YS5107032550001	自然资源	自然资源重点管控区
6	涪城区城镇开发边界	YS5107032530001	自然资源	土地重点管控区

（1）生态保护红线

本项目位于绵阳经济技术开发区内，属于工业重点管控单元，不属于优先保护单元，项目占地范围不涉及绵阳市生态保护红线。

（2）环境质量底线

①水环境质量底线

本项目拟建地属于水环境工业污染重点管控区（涪江-涪城区-丰谷-控制单元），具体管控要求是：加强涪江良好水体保护，严格控制涪江流域水环境风险突出项目。

本项目不新增工作人员，不新增生活污水，新增的排放废水主要为冷却水、纯水制备废水和通水测试废水，年产生量仅 29.5m³。项目所在片区废水经塘汛污水处理厂处理后达标排入涪江，对地表水环境影响较小。

②大气环境质量底线

本项目拟建地属大气环境高排放重点管控区（绵阳经济技术开发区），具体管

控要求是：严格控制高污染、高能耗项目。

本项目不属于高污染、高能耗项目，营运期产生的大气污染物主要为臭氧和感生放射性废气，根据影响分析，通过独立管道排放后对大气环境影响较小，目前项目所在区域环境空气质量能满足二级标准要求，同时放射性废气排放后所致职业人员和公众年有效剂量分别满足 5mSv/a 和 0.1mSv/a 约束值要求。

③其他

根据现状监测及环评预测分析，项目所在区域的声环境、辐射环境及营运期的声环境、辐射环境影响均满足评价标准要求。

④资源利用上限

资源利用上限是各地区能源、水、土地等资源消耗不得突破的“天花板”。本项目涉及涪城区高污染燃料禁燃区、涪城区自然资源重点管控区和涪城区城镇开发边界。本项目不新增用地，消耗的能源为电能，消耗的原材料均为外购，符合资源利用上限要求。

（4）环境管控单位及环境准入清单

本项目拟建地属于绵阳经济技术开发区工业重点管控单元（管控单元编码 ZH51070320006），该区域空间布局约束、污染物排放管控、环境风险管控、资源开发效率符合性分析对照情况见表 1-8，本项目与绵阳市市重点管控单元位置关系见图 1-3。

表 1-8 生态环境准入清单

“三线一单” 具体要求			本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求		
环境综合管控单元 工业重点管控单元 -ZH51070320006- 绵阳经济技术开发区	普适性清单管控要求	禁止开发建设活动的要求: 禁止引入清洁生产水平达不到行业清洁生产标准二级标准要求或低于全国同类企业平均清洁生产水平的项目; 限制开发建设活动的要求: 现有属于园区禁止引入产业门类的企业, 原则上限制发展, 污染物排放只降不增; 不符合空间布局要求活动的退出要求: 现有属于禁止引入产业门类的企业, 应按相关规定限期整治或退出; 二类、三类工业用地 50m 范围内, 不新增居住、教育、卫生用地; 新建、扩建石化、化工、焦化、有色金属冶炼、平板玻璃项目应布设在依法合规设立并经规划环评的产业园区;	本项目采用国内外先进的生产技术与生产设备, 工艺用水量较少, 采取的环保治理措施可使“三废”达标排放, 可达清洁生产二级水平。 本项目属于机械制造行业, 为园区鼓励类行业。	符合
		允许排放量要求 (略) 现有源提标升级改造 (略) 其他污染物排放管控要求: 新增源等量或倍量替代: -上一年度水环境质量未完成目标的, 新建排放水污染的建设项目按照总量管控要求进行倍量削减替代; -上一年度空气质量年平均浓度不达标的城市, 建设项目新增	外排气载流出物所致周边评价范围内公众剂量满足 GB18871 规定的公众剂量限值和本报告提出的公众剂量管理约束值。放射性废水经暂存衰变并经检测达标后排入城市污水管网。放射性固废交有资质单位处理; 危险固废收集后委托	符合

“三线一单” 具体要求			本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求		
		相关污染物按照总量管控要求进行倍量削减替代; ·-对新建排放二氧化硫、氮氧化物、工业烟粉尘和 VOCs 的项目实施现役源倍量削减量替代; ·污染物排放绩效水平准入要求:-工业固体废弃物利用处置率达 100%，危险废物处置率达 100%; ·新建涉及 VOCs 排放的工业企业入园区; ·全面推进涪江流域水环境保护工作，确保流域相关控制断面水质达标; ·全面推进流域水生生态保护及修复工作	有资质单位处置。	
	环境风险 防控	联防联控要求: ·涪江流域干流建设流域突发环境事件监控预警体系; 其他环境风险防控要求: ·企业环境风险防控要求: 涉及有毒有害、易燃易爆物质新建、改扩建项目，严控准入要求; ·（根据 GB 8978 中第一类污染物以及《优先控制化学品名录》、《有毒有害大气污染物名录》、《有毒有害水污染物名录》确定）园区环境风险防控要求: 严格限制高风险化学品生产、使用，并逐步淘汰替代; ·优化调整高风险化学品企业布局，逐步退出环境敏感区; ·用地环境风险防控要求: 化工、电镀等行业企业拆除生产设施设备、构筑物和污染治理设施，要事先制定残留污染物清理和安全处置方案，要严格按照有关规定实施安全处理处置，	本项目设计有辐射屏蔽措施、放射性废水和放射性固废收集暂存设施，采取上述措施并加强管理的情况下可避免辐射事故发生。	符合

“三线一单” 具体要求			本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求		
		防范拆除活动污染土壤; ·-有色金属矿采选、有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革、天然（页岩）气开采、铅蓄电池、汽车制造、农药、危废处置、电子拆解等行业企业及其他可能影响土壤环境质量的生 产设施设备、构筑物和污染治理设施的拆除，按照有关规定制定残留污染物清理和安全处置方案，要严格按照有关规定实施安全处理处置，防范拆除活动污染土壤;		
		水资源利用总量要求: ·-新、改扩建项目污染水耗指标满足《四川省省级生态工业园区指标》综合类生态工业园区要求; · -工业用水重复利用率提高至 95%; 能源利用总量及效率要求: · 启动实施碳达峰行动; ·实施二氧化碳排放总量和强度“双控”，从严从紧控制煤炭消费， 持续挖掘存量碳减排空间; ·推动生活清洁替代和电能替代，扩大可再生能源电力调入和消纳规模，提升工业用能终端电气化水平; · -国家大气污染防治重点区域(以下称重点区域)内新建耗煤项目还应严格按照规定采取煤炭消费减量替代措施，不得使用高污染燃料作为煤炭减量替代措施; · -实施煤炭消费总量控制：严格控制煤炭消费总量; ·严格控制新建、改 建、扩建耗煤项目，新增耗煤项目实行	本项目用水主要为生活用水及循环冷却水系统补水，耗水量低，满足《四川省省级生态工业园区指标》综合类生态工业园区要求；项目仅使用电能，不涉及煤炭等高污染燃料使用。	符合

“三线一单” 具体要求			本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求		
		煤炭消耗减量倍量替； 禁燃区要求： ·禁燃区内任何单位不得新建、改建、扩建任何高污染燃料燃用设施，不得将其他燃料燃用设施改造为高污染燃料燃用设施； ·高污染燃料销售单位应按要求逐步取消禁燃区内的销售网点； ·对于现有的高污染燃料燃用设施，有关单位和个人应当按照规定予以拆除或者改用电、天然气、生物质成型燃料等清洁能源； ·对逾期继续使用高污染燃料的，各县市区政府、各园区管委会要依法依规查处；		
	单元级清单管控要求	空间布局约束 禁止开发建设活动的要求 禁止引入的行业：绵阳经济技术开发区产业发展园区：禁止引入清洁生产指标达不到二级水平或低于全国同类企业平均清洁生产水平的项目禁止引入不符合产业政策及行业准入条件的项目；禁止引入皮革鞣制、屠宰、制浆造纸、印染、焦化、黄磷、冶金类企业 限制开发建设活动的要求 同工业重点管控单元普适性管控要求 允许开发建设活动的要求 不符合空间布局要求活动的退出要求	本项目属于机械制造行业,不属于皮革鞣制、屠宰、制浆造纸、印染、焦化、黄磷、冶金类企业,为园区鼓励类行业。 本项目采用国内外先进的生产技术与生产设备,工艺用水量较少,采取的环保治理措施可使“三废”达标排放,可达清洁生产二级水平。	符合

“三线一单” 具体要求				本项目	符合性 分析	
类别		对应管控要求				
			已有企业处理情况：现有的生物医药企业不得新增污染物、风险隐患不得增大-其他同工业重点管控单元普适性管控要求 其他空间布局约束要求		符合	
		污染物排放管控	现有源提标升级改造 与城镇空间紧邻区域控制发展，避免干扰影响。区域用地以工业用地为主，控制场镇规模，不新增居住、商业、教育、卫生用地。①经开区邻近主城区、塘汛场镇周边工业区域布置无污染或轻污染企业，园区与相邻的主城区、塘汛场镇边界处设置宽度不少于 50m 的隔离带；维持洪恩村拆迁居民安置区现有用地规模，不得扩大；小区周围 100m 范围内调整为园区配套服务用地，该区域除现有企业节能环保改造外，不得新建其他工业项目。	气载流出物经高效过滤装置净化处理后排放，所致周边评价范围内公众剂量满足 GB18871 规定的公众剂量限值和本报告提出的公众剂量管理约束值。放射性废水经暂存衰变并经检测达标后再进行中 和预处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中三级标准后与生活污水一并排入城市污水管网，最终经下游塘汛污水处理厂处理。		
		环境风险 防控	同工业重点管控单元普适性管控要求	/		符合
		资源开发 效率要求	至 2025 园区污水处理厂中水回用率不低于 25%，工业用水重复利用率大于 90%。其他同工业重点管控单元普适性管控要求	/		/
水环境工业污染重点管控区 -YS5107032210005-	单元级清单管控要求	空间布局 约束	禁止开发建设活动的要求 涪江-涪城区-丰谷-绵阳经济技术开发区-控制单元 限制开发建设活动的要求	/	/	

“三线一单” 具体要求				本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求			
涪江-涪城区-丰谷- 绵阳经济技术开发 区-控制单元			允许开发建设活动的要求 不符合空间布局要求活动的退出要求 其他空间布局约束要求		
		污染物排放管控	城镇污水污染控制措施要求 新增水污染物排放的建设项目实施总量削减替代 工业废水污染控制措施要求 农业面源水污染控制措施要求 严格落实排污许可制度，持证排污，达标排放；强化工业企业储存危险化学品监管，完善储存防护设施；加快布局分散的企业向园区集中；推进工业园区“零直排区”建设，加强企业废水预处理和排水管理，严格执行污水处理厂接管标准。 新建有色金属矿产采选禁止工矿废水排放；现有企业强化尾矿库、污水处理设施监管。 船舶港口水污染控制措施要求 饮用水水源和其它特殊水体保护要求	本项目新增水污染物排放的拟实施总量削减替代；将严格落实排污许可制度，持证排污，达标排放。	符合
		环境风险防控	企业环境风险防控要求：-涉及有毒有害、易燃易爆物质新建、改扩建项目，严控准入要求。（根据 GB 8988 中第一类污染物以及《优先控制化学品名录》、《有毒有害大气污染物名录》、《有毒有害水污染物名录》确定）园区环境风险防控要求：-严格限制高风险化学品生产、使用，并逐步淘汰替代。 用地环境风险防控要求：-有色金属矿采选、有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革、天然（页岩）气开采、	本项目设计有辐射屏蔽措施、气载流出物净化设施、放射性废水和放射性固废收集暂存设施，采取上述措施并加强管理的情况下可避免辐射事故发生。	符合

“三线一单” 具体要求			本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求		
		资源开发效率要求	/	/
大气环境高排放重点管控区 -YS5107032310012- 绵阳经济技术开发区	单元级清单管控要求	空间布局约束	/	/
		污染物排放管控	大气环境质量执行标准 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）：二级	符合
		环境风险防控	/	/
		资源开发效率要求	/	/
土地资源重点管控区 -YS5107032530019- 绵阳经济技术开发区	单元级清单管控要求	空间布局约束	本项目运行期间将严格执行环境监测制度，定期对场地周边辐射环境进行监测。	符合

“三线一单” 具体要求				本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求			
区			用功能要求		
		污染物排放管控	/	/	/
		环境风险防控	/	/	/
		资源开发效率要求	土地资源开发效率要求：土地资源开发利用量不得超过土地资源利用上线控制性指标	不涉及	/
自然资源重点管控区 -YS5107032550001-涪城区自然资源重点管控区	单元级清单管控要求	空间布局约束	合理开发高效利用水资源，建设节水型社会；优化土地利用布局与结构；优化产业空间布局，构建清洁能源体系	本项目采用国内外先进的生产技术与生产设备，工艺用水量较少，采取的环保治理措施可使“三废”达标排放，可达清洁生产二级水平。	符合
		污染物排放管控	/	/	/
		环境风险防控	/	/	/
		资源开发效率要求	/	/	/
建设用地污染风险重点管控区 -YS5107032420003-	单元级清单管控要求	空间布局约束	/	/	/
		污染物排	/	/	/

“三线一单” 具体要求			本项目	符合性 分析
类别		对应管控要求		
涪城区建设用地污染风险重点管控区 3		放管控		
		环境风险 防控	/	/
		资源开发 效率要求	/	/

三、项目选址、外环境关系及实践正当性分析

1、项目外环境关系

(1) 厂区外环境关系

经现场踏勘，厂界东侧约 35m 为绵阳艾萨斯电子材料有限公司、东南侧约 50m 为绵阳市金华洋电器制造有限公司、东南侧约 200m 为三元社区居民区；南侧紧邻绵阳宏发一海机电制造有限公司；西侧为规划空地（工业用地）、西侧约 260m 为四川长虹电源股份有限公司和长虹橡树郡小区；北侧紧邻三江大道、北侧约 90m 为绵阳华丰科技股份有限公司。

(2) 厂区内环境关系

本项目拟建厂房位于厂区北侧，其北侧为后期建设预留用地，东侧约 37m 为文武路，南侧约 15m 为加速器制造厂房，东南侧约 41m 为同位素应用中心，西侧为厂区内待建空地。

2、选址合理性分析

项目建成投运后产生环境影响主要为电离辐射，项目周边 50m 范围内不涉及居民、学校和医院等保护目标，主要为电气制造企业，本项目已设计有辐射屏蔽设施及相关环境保护措施，产生的贯穿辐射和感生放射性废气对厂区内职业和公众的照射剂量低于《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）的剂量限值（职业 20mSv/a，公众 1mSv/a）和本报告提出的剂量约束值（职业 5mSv/a，公众 0.1mSv/a），同时项目在事故状态下风险可控。同时本项目产生的废水、废气、均能达标排放，固体废物及危险废物能妥善处置，对周围环境影响较小，评价范围内没有制约本项目建设的的环境影响因素。因此，本项目选址合理。

3、实践正当性

目前正电子诊断药物（如：碳-11、氮-13、氟-18、铜-64、镓-68、锆-89 等）已广泛应用于核医学科疾病诊断中，是正电子发射计算机断层显像装置（PET）必须的放射性药物，而正电子诊断药物的生产必须由回旋加速器生产，没有其他替代产品因此，该项目的实践对满足核医学科正电子药物生产是必要的。但是，由于在回旋加速器的调试过程可能会给周围环境和辐射工作人员造成一定的辐射影响，同时回旋加速器的使用及管理的失误可能造成辐射安全事故或事件。

建设单位在开展回旋加速器生产过程中，对回旋加速器的使用将严格按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对回旋加速器的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理回旋加速器的情况下，可以将该项辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用的实践具有正当性。

四、原有核技术利用情况

1、环保手续履行及许可情况

回旋加速器生产及同位素应用研发基地已于 2022 年 7 月取得四川省生态环境厅批复（川环审批〔2022〕80 号），建设内容包括：加速器制造厂房和同位素应用研发中心，涉及生产、使用、销售 7MeV~20MeV 回旋加速器（属于Ⅱ类射线装置），涉及生产、使用碳-11、氮-13、氟-18、铜-64、镓-68、锆-89（乙级非密封放射性物质工作场所）；于 2025 年 9 月重新申领《辐射安全许可证》（川环辐证〔00630〕），许可种类和范围：生产、使用、销售Ⅱ类射线装置，乙级非密封放射性物质工作尝试，有效期至 2028 年 11 月 11 日；于 2025 年 9 月完成 7MeV~11MeV 回旋加速器生产部分的竣工环境保护验收工作。

表 1-9 辐射工作场所环保手续履行情况表

辐射工作场所		内容	环评	许可	验收
加速器制造厂房	1#小加速器测试间	生产、使用、销售 7MeV~11MeV 质子回旋加速器	已取得环评批复（川环审批〔2022〕80 号）	已取得《辐射安全许可证》	已验收
	2#小加速器测试间	生产、使用、销售 7MeV~11MeV 质子回旋加速器			
	3#小加速器测试间	生产、使用、销售 7MeV~11MeV 质子回旋加速器			
	4#小加速器测试间	生产、使用、销售 7MeV~11MeV 质子回旋加速器调试			
	5#小加速器测试间	生产、使用、销售 7MeV~11MeV 质子回旋加速器			
	6#小加速器测试间	生产、使用、销售 7MeV~11MeV 质子回旋加速器			
	大加速器测试间	生产、使用、销售 20MeV 质子加速器			

同位素应用研发中心	11MeV 质子加速器机房	使用 11MeV 质子回旋加速器	已取得环评批复（川环审批〔2022〕80号）	已取得《辐射安全许可证》	暂未开展验收
	20MeV 质子加速器机房	使用 20MeV 质子回旋加速器			
	同位素制备非密封放射性物质工作场所	乙级非密封放射性物质工作场所（涉及生产、使用碳-11、氮-13、氟-18、铜-64、镓-68、锆-89）			

2、辐射安全管理现状

（1）辐射安全管理机构及规章制度

建设单位已于 2023 年 6 月成立“四川玖谊源粒子科技有限公司辐射安全管理领导小组”，并配备专职人员进行辐射安全管理。建设单位目前制定的规章制度落实情况见表 1-10。

表 1-10 管理制度汇总对照表

序号	项目	规定的制度	落实情况
1	综合	辐射安全管理规定	已制定《辐射安全与环境保护管理制度》
2		操作规程	已制定《回旋加速器调试操作规程》
3		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）	已制定《辐射安全和防护设施维护维修制度》
4		射线装置台账管理（包含生产、使用、销售）制度	已制定《射线装置台账管理制度》
5	监测	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》和《辐射自主监测管理制度》
6		监测仪表使用与校验管理制度	已制定《监测仪表使用与校验管理制度》
7	人员	辐射工作人员培训制度	已制定《辐射工作人员辐射安全与防护培训制度》
8		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定《辐射工作人员个人剂量管理制度》
9		辐射工作人员岗位职责	已制定《辐射工作人员岗位职责》
10	应急	辐射事故/事件应急预案	已制定《辐射事故应急预案》

建设单位承诺将根据工作实际情况进行规章制度的修订和调整。

（2）辐射安全与防护学习考核

建设单位目前已有辐射工作人员 78 人，均已参加辐射安全与防护知识学习和考

核，

（3）开展辐射监测情况

①个人剂量监测

建设单位已有辐射工作人员 81 人，均佩戴了个人剂量计，每季度对个人剂量计进行检测，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《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 18 号）要求建立个人剂量档案，根据个人剂量检测报告（见附件 9），2024 年未出现超过 1.25mSv 情况，且年个人剂量均满足 5mSv 约束限值要求，未出现个人剂量超标情况。

②辐射工作场所辐射水平监测

2024 年建设单位已委托成都华亚科技有限公司对所有辐射工作场所进行了年度监测（HYKJ（放）2024-H2269），根据监测结果，建设单位已有射线装置辐射工作场所屏蔽体外 X- γ 辐射剂量当量率监测值为 112nSv/h~133nSv/h，中子剂量当量率为 0.13 μ Sv/h~0.15 μ Sv/h，满足原环评文件确定的 2.5 μ Sv/h 控制剂量率限值要求。

（4）年度评估情况

建设单位已编制了《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告（2024 年度）》，并于 2025 年 1 月 22 日前提交给发证机关（四川省生态环境厅），评估报告结论如下：

①本年度建设单位辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作。

②本年度建设单位制定和完善了辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。

③本年度建设单位辐射工作人员新招聘 21 名，目前共有名辐射 72 工作人员，其中 21 人参加了辐射安全和防护知识培训，全部完成了培训。

④本年度建设单位委托有资质单位开展了辐射工作场所的辐射环境监测和对辐射工作人员的个人剂量，结果表明均满足国家标准要求。

⑤本年度建设单位未发生辐射事故。

⑥本年度建设单位未新增、改建、扩建和退役辐射工作场所。

⑦本年度建设单位对环保部门现场检查提出的整改要求进行了整改落实，在年度评估中对发现的安全隐患及时进行了整改。

表 2：放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
——	——	——	——	——	——	——	——	——

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3：非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4：射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（μA）	用途	工作场所	备注
1	多粒子/单粒子型回旋加速器	II	20 台/年	未定	质子	13-35	100-1500	生产、使用、销售	1#、2#、3#、4#调试机房	——
					氘	6.5-17.5	50-500			
					氦	20-35	50-500			

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗（含 X 射线 CT 诊断）、分析仪器等

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

表 5：废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧	气态	——	——	——	——	1.69E-04mg/m ³	——	直接排放
氮氧化物	气态	——	——	——	——	8.43E-05mg/m ³	——	直接排放
挥发性有机物	气态	——	——	——	27kg	/	——	无组织排放
感生放射性废气	气态	¹¹ C	——	——	3.12E+08Bq	89.6Bq/m ³	——	直接排放
		¹³ N	——	——	1.07E+12Bq	3.10E+05Bq/cm ³	——	
		¹⁵ O	——	——	8.70E+11Bq	2.5 E+05Bq/cm ³	——	
		⁴¹ Ar	——	——	6.68E+11Bq	1.99E+05Bq/cm ³	——	
废假靶	固体	²⁸ Al、 ²⁷ Si、 ²⁴ Na、 ⁵⁶ Mn 等	——	——	25kg	——	铅罐 收集 后存 入放 射性 废物 暂存 间	交有资质单位处理
二级冷却水	液态	³ H	——	——	2.40E+06Bq	1.60E+03Bq/L	冷却 水收 集池 暂存	监测达标后 排放
		⁷ Be	——	——	8.50E+05Bq	5.7E+02Bq/L		

*注：①常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m³；年排放总量用kg；②含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6：评价依据

法规文件	(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》，2018 年 12 月 29 日修订实施； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施； (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日修订实施； (5) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2022 年 6 月 5 日修订实施； (6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2016 年 11 月 7 日修订实施。 (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）（2019 年 3 月 2 日修改并实施《国务院关于修改部分行政法规的决定》，中华人民共和国国务院令 第 709 号）； (8) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行）； (9) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）； (10) 《危险化学品安全管理条例》（国务院令 第 591 号）； (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）； (12) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年，国家环境保护总局令 第 31 号，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 第 3 号修改，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 第 47 号修改，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 第 7 号修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 第 20 号修改）； (13) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令 第 16 号）； (14) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展和改革委员会令 第 7 号）； (15) 《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）； （16）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环公告 2017 年第 65 号）； （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，2020 年 1 月 1 日施行）； （18）《生态环境部（国家核安全局）核技术利用项目监督检查技术程序》（2020 年版）； （19）《生态环境部（国家核安全局）辐射事故应急预案》（NNSA/HQ-00-YJ-MP-010）； （20）《四川省环境保护条例》（四川省第十二届人民代表大会常务委员会第三十六次会议通过）； （21）《四川省辐射污染防治条例》（四川省第十二届人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过）； （22）《四川省环境保护厅关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知》（川环办〔2010〕49 号），2010 年 3 月 29 日实施； （23）《四川省生态环境厅关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发〔2016〕1400 号）； （24）《关于印发《生态环境分区管控管理暂行规定》的通知》（环环评〔2024〕41 号） （25）《四川省生态环境厅关于印发<四川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2024 年版）>的通知》（川环函〔2024〕984 号）； （26）《四川省人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（川府发〔2020〕9 号）； （27）《绵阳市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（绵府发[2021]18 号）；
--	--

	(28) 《绵阳市人民政府办公室关于加强生态环境分区管控的通知》(绵府办函〔2024〕42号)； (29) 中华人民共和国生态环境部办公厅《关于印发<主要污染物总量减排核算技术指南(2022年修订)>的通知》(环办综合函〔2022〕350号)。
技术标准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (2) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)； (3) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (4) 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》(GB12711-2018)； (5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (6) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (8) 《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)； (9) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)； (10) 《声环境质量标准》(GB3096-2008)； (11) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)； (12) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996)； (13) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)； (14) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)； (15) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)； (16) 《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB51/2682-2020)； (17) 《粒子加速器工程设施辐射防护设计规范》(EJ346-88)； (18) 《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB37822-2019)； (19) 《四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准》(DB51/2377-2017)； (20) 《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T31962-2015)； (21) 《排污单位自行监测技术指南 总则》(HJ819-2017)。
其他	(1) 《2022年全国辐射环境质量报告》(中华人民共和国生态环境部)；

	(2) 《辐射防护手册（一分册、三分册）》（原子能出版社 潘自强编著）； (3) 《中子物理》（原子能出版社 刘圣康编著）； (4) 《原子核物理》（原子能出版社 卢希庭编著）； (5) 《辐射安全手册》（科学出版社 潘自强主编）； (6) 《辐射防护导论》（原子能出版社 李士骏主编）；
--	---

表 7：保护目标与评价标准

评价范围

1、电离辐射

本项目涉及生产、使用和销售II类射线装置，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）的有关规定，本项目辐射环境评价范围为以回旋加速器调试机房四周屏蔽体为边界，半径 50m 内区域作为评价范围。

2、声环境

本项目位于 3 类声功能区，根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2021），声环境评价范围确定为厂界外 100m 范围。

保护目标

根据本项目厂房平面布置及外环境关系，本项目声环境评价范围内主要为工业企业，不涉及声环境保护目标，电离辐射主要环境保护目标为厂房内职业人员及公众，以及厂外居留公众。具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标

保护名单		人数	方位	距离屏蔽体最近距离（m）	居留因子	影响因素
职业	本项目装配、操作及现场安装调试人员	11 人	东侧	0.3	1	电离辐射
公众	加速器制造厂房组装区、办公区工作人员	约 50 人	东南侧	33	1	
	门卫	2 人	东侧	38	1	
	厂区内道路流动人员	约 10 人	/	6	1/16	
	厂区外道路流动人员	约 5 人	/	35	1/16	

评价标准

根据本项目所在位置及项目特点，应执行的环境保护标准如下。

1、环境质量标准

（1）环境空气

项目所在区域大气环境功能分区为二级区，空气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单二级标准。挥发性有机物无组织执行《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），详见表 7-2。

表 7-2 大气环境质量标准

污染物	各项污染物的浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			依据
	1 小时平均	日平均	年平均	
SO ₂	500	150	60	《环境空气质量标准》 (GB3095-2012)
NO ₂	200	80	40	
PM ₁₀	/	150	70	
PM _{2.5}	/	75	35	
氟化物	20	7	/	
O ₃	200	160 (日最大 8 小时平均)	/	
总挥发性有机物 (TVOC)	/	600 (8 小时平均)	/	《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)

(2) 地表水

本项目废水经园区污水管网收集后排入塘汛污水处理厂，经处理达标后排入涪江，根据《四川省地表水功能区划》涪江属于Ⅲ类水体，《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类标准。

(3) 声环境

本项目位于绵阳经济技术开发区，根据《绵阳市人民政府关于印发绵阳市声环境功能区划方案的通知》（绵府发〔2019〕28 号），本项目拟建地声功能区为 3 类，执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中 3 类标准。

2、污染物排放标准

(1) 废气

施工期执行《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）。

运营期大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准；

表 7-3 废气排放标准限值

污染物	无组织排放浓度 (mg/m^3)	依据	备注
TSP	≤ 0.6	《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB51/2682-2020)	土方开挖/土方回填阶段
	≤ 0.25		其他工程建设

(2) 废水

本项目废水排入园区污水管网，执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准和《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）。

表 7-4 废水排放标准限值

污染物	最高允许排放浓度	依据
pH	6~9（无量纲）	《污水综合排放标准》（GB8978-1996） 表4中第二类污染物最高允许排放浓度中 三级标准
COD	500mg/L	
BOD ₅	300mg/L	
悬浮物	400mg/L	
氨氮	45mg/L	《污水排入城镇下水道水质标准》 （GB/T31962-2015）表1中B级标准
总磷	8mg/L	
石油类	15mg/L	

（3）噪声

施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

表 7-5 建筑施工场界环境噪声排放限值

噪声限值（Leq: dB（A））		依据
昼间	夜间	《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)
70	55	

运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 3 类标准。

表 7-6 工业企业厂界噪声排放标准

噪声限值（Leq: dB（A））		依据
昼间	夜间	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)3类标准
65	55	

3、电离辐射相关标准

（1）个人剂量约束

① 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

A、职业照射：根据第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。建设单位按上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的 1/4 执行，即职业人员全身剂量约束值为 5mSv/a。

B、公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。建设单位按上述标准中规定的公众照射年有效剂量限值的 1/10 执行，即公众人员全身剂量约束值为 0.1mSv/a。

② 《粒子加速器辐射防护规定》（GB172-1985）

从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于 5mSv。

加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组中的个人造成的有效剂量当量应低于 0.1mSv。

（2）场所周围控制剂量率

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于回旋加速器机房，屏蔽墙体及防护门外 30cm 处的周围剂量率应小于 2.5μSv/h。

（3）放射性废水排放标准

①放射性浓度控制标准

总 α、总 β 属于一类污染物，根据《污水综合排放标准》（GB8978-1996）规定，车间内废水排放限值：总 β≤10Bq/L。

表 8：环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目现场现状

本项目位于四川省绵阳市经开区文武路120号，根据现场踏勘，项目拟建地现为空地，周围主要为工业园区，目前本项目所在厂房暂未建设。

项目涉及生产、使用、销售II类射线装置，主要污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水、声环境等影响较小，本次重点针对评价区域开展辐射环境和噪声的现状监测评价，环境空气质量、地表水环境质量等引用《2024年绵阳市环境质量状况年报》进行评价。

二、环境空气质量现状

本项目所在地行政区划属于绵阳市经开区，项目所在区域达标判定，优先采用国家或地方生态环境主管部门公开发布的评价基准年环境质量公告或环境质量报告中的数据或结论。因此，本项目选取绵阳市生态环境局发布的《2024 年绵阳市环境质量状况年报》（<http://sthj.chengdu.gov.cn>）中大气环境质量监测数据和结论进行区域达标判断。

根据《2024 年绵阳市环境质量状况年报》，2024 年有效监测天数 366 天，达标天数 327 天，达标率 89.3%。优 122 天，良 205 天，轻度污染 36 天，中度污染 2 天，重度污染 1 天，环境空气综合指数为 3.55。按照《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单评价，2024 年，绵阳市 13 个县（市、区）、园区环境空气平均达标天数比例为 92.7%。

表 8-1 2024 年绵阳市城区环境空气质量监测结果

污染物	年评价指标	监测结果		标准值	达标情况
		城区	经开区		
SO ₂	年平均浓度	6.5	4.9	60μg/m ³	达标
NO ₂	年平均浓度	23.8	21.3	40μg/m ³	达标
PM ₁₀	年平均浓度	50.5	48.9	70μg/m ³	达标
PM _{2.5}	年平均浓度	33.4	28.8	35μg/m ³	达标
CO	日平均第95百分位数浓度	0.9	1.2	4.0mg/m ³	达标
O ₃	日最大8h平均第90百分位数浓度	150.0	149.0	160μg/m ³	达标

三、地表水环境质量现状

2024 年，绵阳市国、省、市地表水断面 27 个，其水质类别均为I~III类（优良水体），地表水优良率 100%。河流中，涪江、通口河、凯江、梓江、安昌河、平通河、土门河、青竹江、秀水河整体水质优；芙蓉溪、魏城河水质良，各河流水质整体均无明显变化。其中，涪江的丰谷渡口、华严寺、龙门监测断面年度监测平均类别为II~III，地表水水体达标。

四、辐射环境现状监测与评价

1、监测点位布设及合理性分析

根据现场调查，本项目辐射环境评价范围内已有电离辐射源为加速器制造厂房内的加速器测试间，其中1#~6#小加速器测试间已投入运行，为反应运行时周围辐射环境现状，本次在加速器制造场外北侧和西侧各布设1个监测点位（3#、4#），同时为了解本项目拟建地周围及厂区周围辐射环境现状，本次还在拟建地（1#）及各方位布设（2#、5#、6#、7#）监测点位，详见表8-2。主要监测因子为： γ 辐射空气吸收剂量率和中子当量剂量率。

表 8-2 监测布点方案表

序号	监测点位	监测因子	监测频次
1	项目拟建地（空地）	γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率	监测一次
2	项目拟建地东侧 （绵阳艾斯电子材料有限公司）	γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率	监测一次
3	厂区内（加速器制造厂房外）	γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率	监测一次
4	厂区内（同位素应用中心外）	γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率	监测一次
5	项目拟建地南侧 （绵阳宏发一海机电制造有限公司）	γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率	监测一次
6	项目拟建地西侧（空地）	γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率	监测一次
7	项目拟建地北侧（空地）	γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率	监测一次

本次监测因子及监测频次满足《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）要求，监测点位布设能较好反映项目周围辐射环境现状，本次监测是合理的。

2、监测时间及现场气象状况

2025年8月25日，监测人员对项目现场进行了监测，监测时环境温度：27.4℃

~29.3℃；环境湿度：66.5%~68.3%；0.5m/s~1.3m/s，天气状况：阴。

表 8-3 环境温度、环境湿度和风速测量仪器一览表

监测对象	监测仪器
环境温度、环境湿度	仪器名称：手持气象站 仪器型号：NK 4000 仪器编号：CF0272 环境温度分辨率：0.1℃ 环境湿度分辨率：0.1% 校准单位：四川中衡计量检测技术有限公司 证书编号：20241217620011 号 校准日期：2024-12-17 有效日期：2025-12-16
风速	仪器名称：手持气象站 仪器型号：NK 4000 仪器编号：CF0272 分辨率：0.1m/s 校准单位：四川中衡计量检测技术有限公司 证书编号：20241217620013 号 校准日期：2024-12-17 有效日期：2025-12-16

3、监测方法和仪器

本项目采用的监测方法和监测仪器见表8-4。

表 8-4 γ 辐射空气吸收剂量率、中子当量剂量率监测方法及监测仪器

监测因子	监测方法	监测仪器
γ 辐射空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021)	仪器名称：便携式 X-γ 剂量率仪 仪器型号：BH3103B 仪器编号：CF0355 能量响应范围：25keV~3MeV 校准单位：四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心） 证书编号：校准字第 J20250206009 号 校准日期：2025-03-05 有效日期：2026-03-04
中子当量剂量率	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)	仪器名称：中子剂量当量率巡测仪 仪器型号：TPS-451C 仪器编号：CF0029

		能量响应范围：0.025eV~15MeV 校准单位：中国核动力研究设计院检测校准实验室 证书编号：校字第 2025-N048 号 校准日期：2025-05-26 有效日期：2026-05-25
4、质量保证 监测单位为四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心），具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定证书（编号：240021049853），并在许可范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。具体质量保证措施如下： ①根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)开展监测工作； ②按照监测单位《质保手册》、《作业指导书》开展现场工作； ③监测仪器每年经过计量部门检定后使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常； ④监测人员经考核并持有合格证书上岗； ⑤监测时获取足够的数据量，以保证监测结果的统计学精度。监测中异常数据以及监测结果的数据处理按照统计学原则处理； ⑥建立完整的文件资料。仪器校准（测试）证书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查； ⑦检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。 5、监测结果与评价 项目拟建地周围γ辐射空气吸收剂量率范围为$6.8\times 10^{-8}\text{Gy/h}\sim 8.9\times 10^{-8}\text{Gy/h}$（68nGy/h~89nGy/h），与四川省生态环境厅发布的《2024 年四川省生态环境状况报告》中绵阳市的环境γ辐射剂量率监测结果（70nGy/h~100nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。中子当量剂量率均低于仪器检出限（$<0.01\mu\text{Sv/h}$），无异常。 五、声环境质量监测与评价 根据现场踏勘，声环境评价范围内不涉及声环境保护目标。为了解项目所在区		

域声环境质量现状，于 2025 年 8 月 25 日对建设单位四周厂界噪声进行了现状监测，监测内容如下：

1、监测因子

等效连续 A 声级

2、监测布点

在厂界四周各布设 1 个监测点位，共计 4 个点位。

3、监测频次

昼夜各监测一次。

4、监测仪器及方法

本项目使用的监测仪器及方法见表 8-6。

表 8-6 噪声监测仪器及方法一览表

项目	分析方法及依据	监测仪器
环境噪声等效连续 A 声级	《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB12348-2008)	仪器名称：多功能声级计 仪器型号：AWA6228+ 仪器编号：CF0038 分辨率：0.1dB(A) 校准单位：四川中衡计量检测技术有限公司 证书编号：20250509620638 号 校准日期：2025-05-09 有效日期：2026-05-08
		仪器名称：声校准器 仪器型号：AWA6221A 仪器编号：CF0054 检定结果：符合 1 级 检定单位：成都市计量检定测试院 证书编号：第 25021864824 号 检定日期：2025-02-17 有效日期：2026-02-16

5、监测结果与评价

项目拟建地昼间噪声等效连续 A 声级为 52dB(A)~56dB(A)之间，夜间噪声等效连续 A 声级在 50dB(A)~52dB(A)之间，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类区标准（昼间≤65dB(A)、夜间≤55dB(A)）。

表 9：项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、回旋加速器工艺原理及组成

1、回旋加速器原理

回旋加速器的基本原理是带电粒子在扇形磁铁和高频腔产生的磁场和高频电场作用下，带电粒子束在近似于螺旋的轨道中不断被加速，束流能量随着运动轨道半径的增大而增大。当带电粒子加速到一定能量时，可通过该位置的碳剥离膜将束流引出，并通过靶站的靶窗轰击靶材料。引出的束流与其路径上靶材料原子核的碰撞将引发核反应，从而产生具有一定阈能的放射性核素。

2、回旋加速器系统构成

本项目拟生产的多粒子型

回旋加速器主要由磁场系统、离子源系统、射频系统、束流引出系统、靶系统、控制系统、真空系统、冷却系统等组成。

二、回旋加速器生产工艺

本项目生产工艺包括：回旋加速器总装配、调试、销售等工艺，其中总装配工艺仅涉及组件的装配，不涉及组件的生产及二次机加工（如：焊接、表面处理、喷漆工艺等）；调试内容包括：主磁体及磁场电源检查测试、真空系统检查及测试、射频系统检查及测试、控制（包括加速器自身联锁系统）系统测试、整机性能测试等。

三、回旋加速器销售工艺

玖谊源负责回旋加速器在厂房内的装配、调试、包装发货出库工作还负责销售后在客户端（使用方）的安装、束流调试工作，客户在取得《辐射安全许可证》后由建设单位委托第三方有资质开展放射性同位素生产调试及日常维保检修工作。具体销售流程如下：

①玖谊源收到第三方的订单需求后，协商相关商务事宜，并进行回旋加速器的装配、调试和包装发货。

②生产完成并调试合格后的回旋加速器运输至客户使用场所，并进行出厂前销售台账记录。

③回旋加速器到达客户端后由玖谊源安排工程师进行安装和束流调试。

④客户取得《辐射安全许可证》后，由玖谊源委托第三方具有相应许可范围的单位进行回旋加速器同位素生产调试以及后期的维保检修。

在销售过程，相关单位的职责各不相同，需在有关协议中明确。具体职责如下：

表 9-3 销售过程相关单位责任划分表

相关单位	职责
玖谊源	①负责回旋加速器的产品质量及出厂前的辐射安全责任； ②负责加速器出库后的安全运输及现场交付工作； ③负责回旋加速器在客户端的安装及束流调试（不参与放射性同位素生产调试）； ④配合第三方单位提供回旋加速器售后、维修技术支持。
第三方单位	①负责回旋加速器在客户端的放射性同位素生产调试以及后期的维保检修； ②负责向建设单位及客户提供真实有效的辐射安全许可资质证书。
客户端	①负责回旋加速器使用场地的辐射安全与防护设施建设及到场后的安全使用； ②负责回旋加速器达到使用寿命后的安全退役。

四、人流、物料路径

本项目 1#、2#、3#、4#调试机房在设计时已设置专门的设备门和人员通道门，以实现人流、物流的分流。其中装配后的回旋加速器整机通过起重机经设备门转入 1#、2#、3#、4#调试机房指定的摆放点位，调试结束后原路转至成品临时暂存区；工作人员通过人员迷道进入调试机房进行巡检和清场，然后原路返回中控室进行远程控制操作；1#、2#调试机房产生的放射性固体废物通过人员通道门及人员走廊转移至 1#放射性废物暂存间，3#、4#调试机房产生的放射性固体废物通过人员通道门及人员走廊转移至 2#放射性废物暂存间，如图 9-6 所示。

污染源项描述

一、施工期污染源项分析

本项目在建设单位预留场地进行相关设施的建设，本项目施工期主要进行主体厂房及工艺房间的土建、装修及调试施工，其中回旋加速器调试机房采用连续浇筑施工工艺。施工过程主要污染因素有建筑垃圾、扬尘、噪声和施工废水等，本项目工程量较小，主要对周围声环境质量产生影响，但因施工期短，施工范围小，通过

作业时间控制，加强施工现场的管理等手段，对周围声环境产生较小的影响，该影响是暂时性的，对周围声环境的影响随建设期的结束而消除。

二、运行期污染源项分析

1、放射性污染源项

回旋加速器产生的电离辐射场，包括运行时产生的“瞬发辐射场”和停机后依然存在的“剩余辐射场”。瞬发辐射决定着屏蔽厚度，而缓发辐射是工作人员所受剂量的主要来源。瞬发辐射加速器运行时候产生的带电荷离子、中子和 γ 射线等，特点是能量高、辐射强，但会随着停机而完全消失；缓发辐射主要来自中子与加速器机体及靶体、空气和冷却水等物质相互作用产生活化产物，在停机后依然存在。

(1) 质子、氘、氦

本项目回旋加速器加速的粒子包括质子、氘和氦，均属于重带电粒子，其中质子最大能量为 35MeV，氘离子最大能量为 17.5MeV，氦离子最大能量为 35MeV，由于加速离子均在机体内部传输，且末端有铝质束流桶进行束流回收。经计算，质子、氘和氦离子在铝中的最大射程仅为 1.548cm，本项目铝靶厚度为 3cm，可以完全屏蔽加速器产生的重带电粒子，因此在本次辐射防护中可以不考虑离子束流的直接辐射影响。

(2) 中子、 γ 射线

根据 MCNP 预测，在(p, xn)条件下，中子总产率为 $5.7 \times 10^{13}/s$ ，光子总产率为 $3.39 \times 10^{14}/s$ 。靶点 1m 处及靶体高度平面剂量场和垂直剂量场分布情况见图 9-10、图 9-11 和表 9-5。

表 9-5 靶点 1m 处辐射当量剂量率计算结果表

类型	靶点 1m 处最大辐射当量剂量率 ($\mu Sv/h$)
中子	1.27E+09
光子	9.31E+07
合计	1.36E+09

(3) 感生放射性

感生放射性主要来源于初始粒子与加速器部件相互作用产生，以及束流损失产生的次级中子散裂及热中子捕获（包括： $(n,2n)$ 、 (n,p) 、 (n,α) 、 (n,γ) ）引起的感生放射性，核素衰变过程伴生 β 、 γ 射线。感生放射性强度取决于加速器粒子的能

量、种类、流强、加速器运行时间、被照材料性质等因素。本项目主要考虑加速器结构部件、空气、冷却水等部位的感生放射性。

2、非放射性污染源项

(1) 废水

①回旋加速器在组装过程中会使用自来水进行通水测试，单台回旋加速器测试产生量约 200L，年产生量约 4m³。

②回旋加速器二次冷却水采用去离子水，去离子水制备浓水产生比为 1:1，单台回旋加速器浓水产生量 75L，浓水成分主要为钙、镁等含盐离子，年产生量 1.5m³。

③回旋加速器一级冷却水采用自来水进行循环热交换，排水周期约 1 年 1 次，单套一级水冷系统排放量为 4m³，年排放量 24m³。

④本项目不新增工作人员，不新增生活污水。

(2) 废气

①臭氧及氮氧化物

空气主要吸收 γ 射线辐射能量，分子发生辐射分解，重新结合形成臭氧和氮氧化物（以二氧化氮为主，占比为臭氧的 1/2）。经计算，在连续运行条件下，臭氧的饱和浓度为 $4.21 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ ，二氧化氮饱和浓度为 $2.11 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ ，远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 0.3mg/m^3 ，二氧化氮的一小时平均浓度值 5mg/m^3 。

②挥发性有机物

本项目产生的挥发性有机物主要来源于乙醇、除锈剂等化学试剂的使用，其中乙醇年用量仅 30L，除锈剂年用量仅 200mL，使用量相对较少，且采取间断使用的方式，考虑全挥发的情况，年最大排放量约 27kg，排放量较少，本次评价不考虑。

(3) 固体废物

本项目产生的固体废物主要包括：组件进厂拆包及成品包装过程产生的固废，工作人员的办公垃圾，去离子水制备产生的废弃离子交换树脂等。

①生产 1 台回旋加速器包装固废产生量约 200kg，年产生量约 4800kg；

②离子交换树脂正常情况下每年更换一次，单个质量约 8kg，4 个调试机房年产生量约 32kg，根据《一般固体废物分类与代码》（GB/T399198-2020），其代码为

VI-99-900-999-99，属于有机树脂类废物。

③本项目不新增工作人员，不新增办公垃圾及生活垃圾；

(4) 危险废物

危险废物主要来源于沾染危险化学品的容器、擦拭物及报废的化学品等，单台回旋加速器生产产生量约 1kg，年产生量约 20kg。根据《国家危险废物名录（2025 年版）》属于 HW49 其他废物，废物代码为 900-047-49。

(5) 噪声

本项目噪声源主要为排风机组、冷却水循环水泵、空调机组等，拟采用低噪声设备，同时针对不同的噪声源采取基础减振、厂房隔声或风机进出口设软接头等降噪措施。根据同类设备类比，各产噪设备情况及治理措施见表 9-14。

表9-14 项目噪声设备及治理措施

噪声源	数量	单台源强 dB(A)	降噪措施	源强高度 (m)	降噪效果 dB(A)
冷却水循环水泵	6 台	60	减振	9.5	-5
空调系统	1 组	70	减振	9.5	-5
排风机组	4 组	80	减振+软管接头	9.5	-5

表 10：辐射安全与防护

项目安全设施

一、平面布置合理性分析

本项目整体布置于新建生产厂房（单层结构，局部二层）内，厂房内人员通道布置于东北侧，产品及原料通道布置于西南侧，一层主要布置生产工艺区、二层布置生产配套用房区。其中，按照生产工艺顺序一层集中布置的工艺区域包括：回旋加速器部件库房、装配区、靶站装配区、冷调试区、调试机房区、成品临时放置区、打包区、装卸区等，各区域相互紧邻，便于生产工艺衔接。其中辐射工作场所为调试机房区，集中布置于一层北侧，从西南侧往东北侧依次集中布置：1#、2#、3#、4#调试机房，其相关的配套辅助用房（包括：设备间、工具间、放射性废物暂存间、缓冲室、废水处理设备间、气瓶间、洁具间、弱电间等）围绕调试机房进行布置，便于调试工艺开展。新建厂房二层主要布置调试中控室、水冷机房及工作人员办公、会议室等非辐射工作场所。

本项目辐射工作区非辐射工作区分开布置，工作人员相对居中区域与辐射工作场保持有一定距离，有效实现距离防护。同时，本项目工作区的平面布置既便于回旋加速器生产和调试的各个工艺的衔接，满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护。从利于安全生产和辐射防护的角度而言，该项目的平面布置是合理可行的。

二、工作区域管理

1、“两区”划分

为了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》（GB18871-2002），将辐射工作场所进行分区管理，本项目辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区需要专门的防护手段和安全措施，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射；监督区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。

本次环评根据控制区和监督区的定义并结合项目平面布置、辐射防护和房间功能特点（重点关注可能影响回旋加速器及调试机房安全稳定运行的配套房间）进行

辐射防护分区划分。本项目控制区和监督区划分情况见表 10-2 和图 10-2。

表10-2 “两区”划分一览表

区域	控制区	监督区
一层	调试机房（1#、2#、3#、4#）、放射性废物暂存间（1#、2#）、废水处理设备间（含冷却水收集池）	工具间、洁具间、废水处理控制间、缓冲室
二层	调试机房（1#、2#、3#、4#）	中控室、设备间、水冷间

2、“两区”管控措施

（1）控制区管控措施

①调试机房运行过程中控制区内禁止任何人员进入；巡检和清场过程中，职业人员在该区域工作时尽量缩短居留时间，以减小不必要的照射。②在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合GB18871-2002附录F（见图10-3）规定的警告标识，并给出相应的安全辐射水平的指示，并以红色地标线警示“控制区”的边界。③制定辐射防护与安全措施，包括适用于控制区的规则和程序。④运用行政管理程序（如进入控制区的人员授权制度）和实体措施（包括门锁、门禁和联锁装置）限制进出控制区；⑤运行结束后，如果辐射工作人员要进入控制区巡检，必需携带有报警功能的个人剂量仪表及 γ 便携式剂量监测仪表。

（2）监督区管控措施

①监督区范围内限值非职业人员进入；②以黄线地标线警示“监督区”的边界；③在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

三、辐射安全及防护措施

1、设备固有安全性及联锁

（1）在回旋加速器出束前，会对磁场系统、射频系统、引出系统、真空系统、束流诊断系统等进行测量，如果实测值达不到预设值，或者各个分系统冷却水流量达不到最低阈值，此时系统将报警，无法开启离子源，从而预防事故的发生。

（2）回旋加速器运行时，系统实时监控磁场系统、射频系统、引出系统、真空系统、束流诊断系统等的安全回路，如果回路泄露（表现为温度异常、真空压力异常等），此时系统将立刻关闭离子源电源、高频功率源输出及磁铁电源输出，从而停止打靶，防止产生过量的感生放射性或避免对加速器内部器件构成破坏。

(3) 加速器将设置登陆页面，设置登录名和密码。在进行加速器操作前，操作人员需先进行登陆，只有密码输入正确，操作人员方可登陆系统，当操作人员下达没有使用权限的加速器指令时，加速器将不会执行相应的指令。

2、调试机房辐射安全与防护措施

(1) 调试机房屏蔽体设计

本项目共布置 4 个回旋加速器调试机房，均采用普通混凝土（密度 2.35t/m^3 ）整体浇筑，地下无构筑物，无需采取屏蔽措施。

1#调试机房采取主机厅与靶室分离设计，主机厅内部净空尺寸为 8.85m （长） $\times 8.0\text{m}$ （宽） $\times 7.05\text{m}$ （高），四周墙体及屋顶厚度均为 2500mm ；1#、2#靶室（单个靶室配套 2 个靶站）内部净空尺寸均为 8.0m （长） $\times 4.0\text{m}$ （宽） $\times 3.0\text{m}$ （高），四周墙体及屋顶厚度均为 2500mm ，迷道采用“Z”形设计，迷道内墙和外墙厚度均为 2500mm ，设备门采用“凸”形设计，厚度为 2500mm 混凝土，人员迷道防护门为 250mm 聚乙烯+ 20mm 铅。

2#调试机房为单主机厅（无靶室）设计，内部净空尺寸为 8.0m （长） $\times 8.0\text{m}$ （宽） $\times 7.05\text{m}$ （高），四周墙体及屋顶厚度均为 2500mm ，迷道采用“Z”形状设计，迷道内墙和外墙厚度均为 2500mm ，设备门采用正向“凸”形设计，人员迷道防护门为 250mm 聚乙烯+ 20mm 铅。

3#调试机房为单主机厅（无靶室）设计，内部净空尺寸为 10.8m （长） $\times 8.0\text{m}$ （宽） $\times 7.05\text{m}$ （高），四周墙体及屋顶厚度均为 2500mm ，迷道采用“Z”形状设计，迷道内墙和外墙厚度均为 2500mm ，设备门采用“凸”形设计，人员迷道防护门为 250mm 聚乙烯+ 20mm 铅。

4#调试机房为单主机厅（无靶室）设计，内部净空尺寸为 8.0m （长） $\times 8.0\text{m}$ （宽） $\times 7.05\text{m}$ （高），四周墙体及屋顶厚度均为 2500mm ，迷道采用“Z”形状设计，迷道内墙和外墙厚度均为 2500mm ，设备门采用“凸”形设计，人员迷道防护门为 250mm 聚乙烯+ 20mm 铅。

(2) 安全装置设施

①安全装置设置原则

纵深防御原则：即多级防御，将人为因素降至最低限度，以便在万一发生事故

或故障时得到必要的补偿或校正。这里所指的“人为因素”包括不携带剂量率报警装置进入辐照室，关门不巡视等，减少人为因素是指尽量通过技术手段的方法而非管理手段来保证安全，达到：防止可能引起照射事故；减轻可能发生事故的后果；在任何事故之后，恢复到安全状态。

冗余性：采用比完成某一安全功能所必须的最少数目物项更多物项，以防在运行过程中某一道物项失败或不起作用时导致其整体丧失功能。

多元性：用于提高装置的可靠性，可以采用不同的运行原理，不同的物理变量，不同的运行工况，不同的元器件等。

独立性：指某一安全部位发生故障时，不会造成其他安全部件的功能故障或失去作用。多道联锁各部件之间完全独立，多级防御各部件之间也是完全独立的。

本项目场所安全联锁（BBS）建立及运行流程如下：

a、在其他系统就绪后，辐射工作人员进入控制区域准备清场，当插入授权钥匙并按下授权按钮后，辐射工作人员按照既定的路线巡查清场（如图 10-7），同时语音警示器和警铃响起，通知滞留人员离开控制区，清空滞留人员；

b、巡查清场结束后关闭联锁门，归还授权钥匙，安全联锁建立完成。

c、测试控制系统给出“准备”信号，在准备阶段，控制区域进行一定时间的报警，再次提醒误留控制区人员按下紧急停机按钮，保证人身安全；

d、准备阶段结束后，安全联锁系统允许进入运行状态，并启动功率源系统，同时实时监测可能触发停机或紧急停机的各项信号；

e、运行过程中，安全联锁系统建立切束联锁状态，“禁止进入控制区”状态启动；

f、接收到“停机”信号并停机后，如果有进入控制区需求，必须等待剂量衰减到指定阈值后，且通风时间足够的情况下进入。出现异常情况时，可通过紧急停机按钮、联锁门禁触发紧急停机动作，待异常解除后才可重新复位开机。

四、辐射安全与防护措施要求对照分析

根据前述分析内容，并根据《加速器生产调试场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-023）和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发〔2016〕1400号）中关于加速器生产的辐射安全防护

设施监督要求，建设单位拟采取的辐射安全防护措施对照见表 10-4。

表 10-4 辐射安全与防护措施要求对照一览

序号	辐射安全防护设施检查项目		落实情况
1*	A 场所与警示	调试场所划分为控制区监督区	拟将调试机房划为控制区、设备间和控制室划为监督区，并划定标识线进行分区管理
2*		机房入口电离辐射警告标志	迷道防护门和设备门拟张贴电离辐射警告标志
3*		机房入口工作状态指示	迷道防护门和设备门入口已设计落实
4*		灯光和声音报警指示装置	迷道防护门和设备门入口已设计落实
5		视频监控系统	已设计落实，整个辐射工作场所进行全覆盖
6		机房内紧急开门按钮	迷道防护门内侧已设计落实
7*	B 安全联锁	加速器束流及控制区大门由一把独立多用途钥匙或多个串在一起的钥匙进行控制	迷道防护门、设备门及控制台已设计落实
8*		门与束流控制联锁	迷道防护门和设备门已设计落实
9*		机房内有醒目的紧急停机按钮	单个调试机房已设计急停按钮
10*		控制台有紧急停机按钮	已设计落实
11*		清场巡更系统	单个调试机房已设计清场巡更按钮
12*	C 剂量监测	机房内固定式辐射剂量监测仪	机房内及机房外均已设计固定式中子和 γ 监测系统，且机房内能实现剂量联锁
13*		个人剂量计	拟落实
14*		个人剂量报警仪	拟落实
15*	D 其它	通风系统	调试机房已设计独立排风系统

*重点检查项

三废的治理

一、废气处理措施

1、放射性废气处理措施

本项目产生的废气主要来源于调试机房回旋加速器调试过程产生的含氩-41 等感生放射性废气以及空气电离产生的臭氧和氮氧化物。为防止调试机房内有害气体的累积，1#、2#、3#、4#调试机房设置独立的排风系统（排风管道穿墙口均位于机房顶部），确保气流流向从监督区→控制区最终引至为厂房屋顶排放，排放高度为

17m。各调试机房排风量见表 10-5。

表 10-5 调试机房排风风量统计表

场所	排放量 (m ³ /h)	房间体积 (m ³)	换气次数 (次/h)
1#调试机房	3600	837	4.30
2#调试机房	2400	523	4.59
3#调试机房	3200	679	4.71
4#调试机房	2400	533	4.50

2、挥发性有机物处理措施

预装配和总装配工艺需采用乙醇、除锈剂剂进行表面擦拭，其使用点不固定，且单次用量较少，挥发浓度较低，直接在车间内无组织排放。

二、废水处理措施

本项目回旋加速器在正常调试过程无放射性废水产生，在检修和事故状态下产生的二级冷却水以及设备出货前需排放二级冷却水，根据源项分析，在初始状态因中子活化产生一定量的 ³H、⁷Be、¹¹C、¹³N、¹⁵O 等放射性核素，其中 ¹⁵O、¹³N 和 ¹¹C 的半衰期较短，排入集水井坑后迅速衰变，浓度也很快降低，可忽略不计，因此主要考虑的核素为 ³H、⁷Be。

冷却水排放时，需监测排水量和 ³H、⁷Be 的活度浓度，满足单次排放的冷却水中 ³H、⁷Be 的活度不超过 1ALI_{min} 后，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，并由专人记录每次排放时间、排放量及监测结果等，并纳入日常辐射安全管理档案。

三、固体废物处理措施

1、活化部件处置措施

假靶因受中子活化会产生各种放射性核素，其中假靶材质为铝，计划将进行多次重复使用，受中子活化产生的放射性核素主要为硅-27（半衰期 4.15s）、钠-24（半衰期 15h）、铝-28（半衰期 2.245min）、锰-56（半衰期 2.57h）等，拆卸过程一般采用长柄工具拆卸后置于 50mm 铅罐中，然后转移至放射性废物暂存间（1#、2#），由于假靶中存在少了的杂质元素（钛、铬等），可能会产生长半衰期核素，因此达

到一定量后直接交由有资质单位处理。针对活化部件建设单位还应采取以下管理措施：

①应严格建立活化部件收集、暂存、转运管理台账，明确放射性废物的来源、去向及监测结果，安排专职人员进行管理。

②暂存过程暂存容器外表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，表面污染水平应小于 4Bq/cm^2 。

③若涉及含尖刺及棱角的活化部件，应预先进行包装处理后再装入专用塑料袋中，防治塑料袋刺破，造成二次污染。

2、非放射性固体废物处置措施

本项目产生的固体废物主要来源于组件进厂拆包及成品包装过程产生的固体废物，工作人员产生办公垃圾，去离子水制备产生的废弃离子交换树脂等，其中办公垃圾、废弃离子交换树脂和包装固废采取分类收集后可回收的交由废品回收站处置，不可回收的由环卫部门统一收集。

四、危险废物处理措施

本项目产生的危险废物主要来源于加速器部件清洁擦拭沾染危险化学品的容器、擦拭物及报废的化学药品等，其产生量较小，直接依托建设单位厂区南侧（同位素应用研发中心旁）已有危废暂存间（建筑面积 15m^2 ）进行收集暂存，达到一定数量后由有资质单位统一收集处理，并按照国家有关危险废物申报登记、转移联单等管理制度的要求，向当地生态环境主管部门进行危险废物的申报、转移等。

本项目运行过程中对于危险废物的管理还应采取一下措施。

①危险废物在收集时，应清楚废物的类别及主要成分，以方便委托处置单位进行处理，根据危险废物的性质和形态，可采用不同大小和不同材质的容器进行包装，所有包装容器应足够安全，并经过周密检查，严防在装在、搬移或运输途中出现渗漏、溢出、抛洒等情况。

②危险废物存入贮存设施前应对危险废物类别和特性与危险废物标签等危险废物识别标志的一致性进行核验，不一致的或类别、特性不明的不应存入。

②应定期检查危险废物的贮存状况，及时清理贮存设施地面，更换破损泄漏的

危险废物贮存容器和包装物。

③贮存设施运行期间，应按规定建立危险废物管理台账并保存。记录上须表明危险废物的名称、来源、数量、特性和包装容器的类别、入库日期、存放库位、废物出库日期及接收单位名称。危险废物的记录和货单在危险固体废物转运后应继续保留三年。

④建设单位应建立贮存设施环境管理制度、管理人员岗位职责制度、设施运行操作制度、人员岗位培训制度等。

五、噪声治理措施

本项目噪声源主要包括：排风机、冷却水循环水泵、空调机组、叉车、起重机等，本项目通过选用低噪声设备，并设置减振、隔声加软管接头等措施进行降噪。

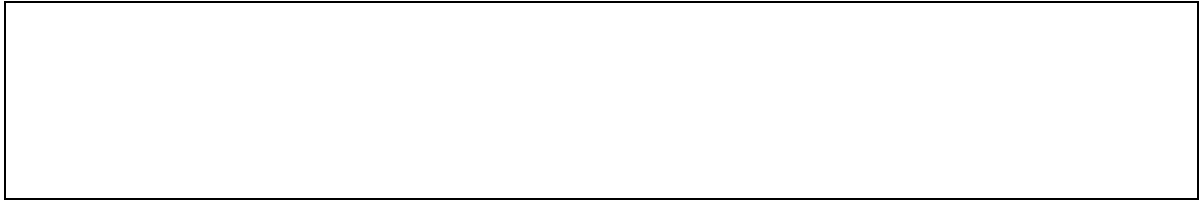


表 11：环境影响分析

建设阶段对环境的影响

施工期为土建工程（包括原基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装等）和辅助设施设备安装调试。本项目土建工程施工期产生的污染物主要为扬尘、废水、噪声、废渣和废气等。

一、大气环境影响分析

本项目施工期产生的废气主要为土建施工产生的少量扬尘及废气等。基础、主体工程施工采取湿法作业、加强施工设备维护等措施，装饰装修工程采用“环保型”油漆及涂料、加强通风或室内空气净化等措施，可尽量降低扬尘和废气对周围大气环境的影响。

二、水环境影响分析

土建施工主要为施工人员产生的生活污水及少量施工废水。本项目施工产生的生活污水依托已有污水处理设施处理后排入市政污水管网，施工废水采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排，对地表水环境无影响。

三、声环境影响分析

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有重型运输车、电锯、电锤、空压机、角磨机等，本项目通过采取合理布置施工机具、使用低噪声施工机具、加强施工设备维护、合理安排施工时间、避免高噪声源强设备同时施工、加强对施工场地的噪声管理等措施，能最大限度地减少施工噪声的影响。

四、固体废物影响分析

施工期产生的固体废物主要为建筑垃圾、包装废材和施工人员产生的生活垃圾。产生的废弃物如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等应妥善保管，及时回收处理；对于不可回收的建筑垃圾，应定点堆放，及时送当地指定的建筑垃圾堆放场；产生的生活垃圾依托医院已有生活垃圾收集设施收集后，交由环卫部门统一处理。

此外，在符合建筑设计和辐射防护要求的前提下，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的超边量，避免各屏蔽体之间有漏缝产生。

本项目施工期较短，施工量较小，在建设单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

运行阶段对环境的影响

一、贯穿辐射影响分析

由于传统的经验方法由于不能逼近真实的物理过程，本次评价通过采用 MCNP 序建立加速器机房计算模型并及计算剂量分布，对本项目辐射防护屏蔽防护设计方案进行分析和评价。

1、MCNP 简介

本次采用 MCNP-X 进行加速器屏蔽计算，MCNP(Monte Carlo N Particle Transport Code)是由美国洛斯阿拉莫斯国家实验室(LosAlamos National Laboratory)开发的基于蒙特卡罗方法用于计算三维复杂几何结构中的中子、光子、电子或者耦合中子/光子/电子输运问题的通用软件包，中子能量范围从 10^{-11}MeV ~ 20MeV ，光子和电子能量范围从 1keV ~ 1000MeV ，广泛应用于辐射防护与射线测定、辐射屏蔽设计优化、反应堆设计、（次）临界装置实验、医学以及检测器设计与分析等学科领域。

2、源项及模型参数设定

本项目多粒子型回旋加速器加速粒子能量、束流强度不同，由于加速质子的能量和束流强度均较大，且中子、光子产额也较大，因此选择加速质子作为代表进行分析。对于束流输运过程考虑靶站 100%束流损失量。同时对于屏蔽体外的计算考虑单束流最大强度（ 1.5mA ）条件下的最大辐射影响。

回旋加速器运行时，由于高能质子束与结构材料发生核反应产生的中子、 γ 射线等辐射，其辐射水平较高，且辐射场较为复杂，在计算过程中需要对两种粒子产生的剂量情况进行评价。本次屏蔽计算剂量场模拟建设单位提供的设计材料对模型的材料参数进行了设定，墙体和设备们屏蔽材料均为普通混凝土，密度为 2.35g/cm^3 ，人员迷道防护门为 250mm 聚乙烯+ 20mm 铅。

4、模型计算结果

(1) 1#调试机房屏蔽体外辐射剂量率

表 11-2 1#调试机房屏蔽体外最大辐射当量剂量率统计一览表

位置	辐射当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
	中子	γ	合计
2#靶室东北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
2#靶室东南侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
2#靶室西北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
2#靶室屋顶外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
主机厅东南侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
主机厅西北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
主机厅屋顶外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
1#靶室东南侧屏蔽墙体外 30m 处	<0.01	<0.01	<0.02
1#靶室西南侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
1#靶室西北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
1#靶室屋顶外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
人员防护门入口外 30cm 处	0.56	0.45	1.01

经计算, 1#调试机房各屏蔽体外最大辐射当量剂量率(中子+ γ)为 $1.01\mu\text{Sv/h}$, 满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率限值要求。

(2) 2#、4#调试机房屏蔽体外辐射剂量率

根据 MCNP 计算, 2#、4#调试机房平面剂量场和垂直剂量场分布情况见图 11-6、图 11-7, 屏蔽体外 30cm 处辐射当量剂量率统计情况见表 11-3。

表 11-3 2#、4#调试机房屏蔽体外辐射当量剂量率统计一览表

位置	辐射当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
	中子	γ	合计
东北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
东南侧屏蔽墙体外 30m 处	<0.01	<0.01	<0.02
西南侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
西北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
屋顶外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
人员防护门入口 30cm 处	0.32	0.21	0.53

经计算, 2#、4#调试机房各屏蔽体外最大辐射当量剂量率(中子+ γ)为 $0.53\mu\text{Sv/h}$, 满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率限值要求。

(3) 3#调试机房屏蔽体外辐射剂量率

根据 MCNP 计算, 3#调试机房平面剂量场和垂直剂量场分布情况见图 11-8, 屏

蔽体外 30cm 处辐射当量剂量率统计情况见表 11-4。

表 11-4 3#调试机房屏蔽体外最大辐射当量剂量率统计一览表

位置	辐射当量剂量率 (μSv/h)		
	中子	γ	合计
东北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
东南侧屏蔽墙体外 30m 处	<0.01	<0.01	<0.02
西南侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
西北侧屏蔽墙体外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
屋顶外 30cm 处	<0.01	<0.01	<0.02
人员防护门入口 30cm 处	0.20	0.19	0.39

经计算，3#调试机房各屏蔽体外 30cm 处最大辐射当量剂量率（中子+γ）为 0.39μSv/h，满足 2.5μSv/h 控制剂量率限值要求。

5、天空反散射计算结果及评价

根据 NCRP-144 号报告，加速器的天空反散射取决于中子的天空反散射，光子的天空反散射相对于中子可以忽略，因此本次仅考虑中子的天空反射进行计算。透过屏蔽墙的快中子以及少量残存的高能中子在空气中不能被有效阻止，在空气中发生一次散射，低能中子被散射回地面，这些中子是天空散射辐射的来源。

本项目 50m 范围内天空反散射当量剂量率为 $7.68 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h} \sim 1.24 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，随着距离增加辐射剂量率呈下降趋势。

6、调试生产过程环保目标贯穿辐射受照剂量估算

根据本项目 50m 范围内敏感目标分布情况，关注点职业及公众受照射剂量 H 由下式计算，计算结果见表 11-7。

$$H = \frac{10^{-3} \times DTt}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 11-5}$$

式中：

D —参考点辐射当量剂量率，μSv/h；

T —关注点敏感目标居留因子；

R —关注点与计算参考点最近直线距离，m；

t —年运行时间，假设全年均质子出束调试，按单名工作人员年工作时间 2000h 计。

表 11-7 环境保护目标贯穿辐射受照剂量估算表

敏感目标	参考点*水平 贯穿辐射当量 剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	天空反散射 辐射当量剂 量率($\mu\text{Sv/h}$)	距离屏 蔽体距 离(m)	居留 因子	年受照剂 量(mSv/a)	备注
本项目装配、操作及现 场安装调试人员	<0.02	1.24E-03	0.3	1	5.10E-02	职业
加速器制造厂房组装 区、办公区工作人员	<0.02	5.69E-04	33	1	1.41E-03	公众
门卫	<0.02	4.54E-04	38	1	1.12E-03	公众
厂区内道路流动人员	0.56	1.24E-03	6.0	1/16	2.52E-03	公众
厂区外道路流动人员	<0.02	5.18E-04	35	1/16	1.46E-04	公众

经计算职业人员最大受照射剂量为 $5.10 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足 5mSv/a 剂量约束值，公众最大受照射剂量为 $2.52 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足 0.1mSv/a 剂量约束值。

7、人员巡检及发货受照剂量估算

本项目生产的回旋加速器在调试结束后 2 天可能进入机房进行巡检换靶，对于停机 2 天后的残余辐射剂量采用类比监测进行预测，类比对象选择昆明回旋医药科技有限公司使用的同能量和束流强度回旋加速器（非自屏蔽），该回旋加速器用于氟-18 生产，加速粒子为质子，打靶为重氧水，其中子产额和光子产额要大于本项目质子打铝靶，其类比是较为保守的。

回旋加速器机房内剩余辐射剂量率不大于 $126.1 \mu\text{Sv/h}$ ，假设辐射工作人员进入调试机房巡检换靶时间 30min，年工作 10h（以年生产 20 台计算），受照剂量不大于 1.26mSv/a ，叠加操作过程受照剂量，最终职业人员年受照剂量不大于 1.31mSv/a ，满足 5mSv/a 年剂量约束值。

本项目生产的回旋加速器至少在停机冷却后 7 天才进行包装发货，经估算，7 天后回旋加速器机房内剩余辐射剂量率不大于 $11.1 \mu\text{Sv/h}$ ，假设单台回旋加速器打包时间为 1h，年生产 20 台，受照时间为 20h，年受照剂量不大于 0.22mSv ，叠加巡检换靶和操作过程受照剂量率，最终职业人员年受照剂量不大于 1.53mSv ，满足 5mSv/a 年剂量约束值。

在特殊情况下（如设备故障），单次调试结束后，辐射工作人员可能直接进入调试机房，该特殊情况，建设单位需经过特定的内部许可程序，严格控制辐射工作人员受照剂量不超过 1.25mSv ，建议措施分为：源项控制、距离防护、时间防护。

①源项控制：在工艺允许的条件下，尽可能延长进入调试机房时间，从而降低调试机房内剩余辐射剂量率，同时辐射工作人员进入调试机房可采用一定的源项屏蔽措施，如穿着铅服或者设置移动式铅屏蔽进行局部源项屏蔽控制，从而尽可能的降低受照剂量。

②距离防护：在进入调试机房，辐射工作人员尽可能远离回旋加速器机体（特别是靶体位置），在工艺允许条件下尽量采用长柄工具进行相关的操作。

③时间防护：首先辐射工作人员需熟悉进入调试机房操作的工序流程，尽量减少操作时间。进入调试机房前先根据室内固定式剂量监测仪读取调试机房内实时剩余辐射剂量率，初步估算辐射工作人员可居留时间，进入调试机房内辐射工作人员须佩戴个人剂量报警仪和便携式 γ 辐射监测仪，再次确认调试机房内剩余辐射剂量率，并再次估算可居留时间，特殊情况下还可采取多人轮换操作的方式控制受照时间。

8、人员指导现场调试受照剂量估算

本项目工辐射工作人员还将参与回旋加速器销售后的现在安装和调试，调试仅为打靶调试，不涉及同位素生产调试，由于在调试过程辐射工作人员一般位于控制室内，本次保守将本项目调试机房外最大辐射剂量率控制水平（ $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）作为参考剂量率进行评价，假设一年现场调试时间约 480h（年销售 20 台，单台调试时间 24h），年最大受照剂量为 1.20mSv ，叠加巡检换靶、包装和操作过程受照剂量率，最终职业人员年受照剂量不大于 2.73mSv ，满足 5mSv/a 年剂量约束值。

二、土壤及混凝土活化影响分析

1、土壤活化影响分析

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。当地板混凝土厚度大于 130cm 时，地板外表面与土壤交接处的剂量率水平小于 5mSv/h ，本项目实际设计地板混凝土厚度为 150cm ，因此本次评价不考虑土壤活化影响。

2、混凝土活化影响分析

混凝土中主要长半衰期放射性核素包括：钨-152、钨-154、铯-134、钴-60 等，为了确定混凝土长期运行活化深度，并简化计算工作量，本次建模将主机厅混凝土和靶室内壁和划分为 $50 \times 50 \times 10 \text{cm}^3$ 单元，用于计算透射的中子通量，侧壁预测深度为 $100 \text{cm} \sim 200 \text{cm}$ ，屋顶预测深度为 50cm 。本次假设加速器连续运行约 $1.5 \times 10^5 \text{h}$ （约 50 年）混凝土中放射核素总活度与豁免活度的比值（CI 值）进行评价（若 $CI > 1$ 表示混凝土达到清洁解控水，若 $CI \leq 1$ 表示混凝土达不到清洁解控水平）。

根据 MCNP 计算结果，加速器运行 $1.5 \times 10^5 \text{h}$ ，主机厅混凝土放射性核素总的比活度为 24Bq/g ，活化深度（ $CI > 1$ 区域）可以达到 70cm ；靶室混凝土放射性核素总的比活度为 $4.10 \times 10^3 \text{Bq/g}$ ，最大活化深度（ $CI > 1$ 区域）可以达到 140cm 。加速器连续运行 $1.5 \times 10^5 \text{h}$ 停机后，混凝土中放射性核素在不断减少，停机 20 年后主机厅混凝土中总的放射性核素比活度为 $6.30 \times 10^2 \text{Bq/g}$ ，靶室混凝土中总的放射性核素比活度约 $9.32 \times 10^3 \text{Bq/g}$ ，主要贡献核素为 ^{152}Eu ，CI 值仍然大于 1，达不到清洁解控水平，因此建设单位在开展场所退役时，应将混凝土作为放射性固体废物进行处置。

二、大气环境影响分析

1、感生放射性废气环境影响分析

本项目排放的放射性废气主要为碳-11、氮-13、氧-15、氩-41 等，由于其半衰期较短，对公众的关键照射途径为：吸入内照射和烟云浸没外照射，项目正常工况下排放的气载流出物汇总如下。本项目废气排放口，位于厂房屋顶，排放高度（ H ）约 17m ，周围 500m 范围均属于工业园区，临近建筑物高度（ H_B ）为 13.7m ， $H \leq 2.5H_B$ ，根据 IAEA Safety Reports Series No.19，采用如下计算模型。

（1）下风向距离 $x \leq 2.5\sqrt{A_B}$ 的计算模式

在 $H \leq 2.5H_B$ 且 $x \leq 2.5\sqrt{A_B}$ （对扩散影响最大的建筑物最大面的表面积），本项目中对扩散影响最大的建筑物为加速器制造厂房，其最大面的表面积为 1754m^2 ，其距离取 14m 时，下风向距离 x 处核素的地面空气浓度可以可由下式计算。

$$C_A = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_B K} \dots\dots\dots \text{式 11-7}$$

其中：

u_a —释放高度处年平均风速， 1.25m/s ；

Q_i — i 核素的平均释放速率, Bq/s;

P_p — p 风向的风频, 单位 1, 保守取值 0.25;

H_B —邻近最高建筑物的高度, 单位 m; 如果该的建筑物的宽度大于其高度, 则应该用其宽度替代式中的 H_B 。周围邻近最高建筑物高度 13.7m, 宽度 128m, 宽度大于高度, 因而, 此处 H_B 的取值为 128m;

K —经验常数, 取值为 1, 单位 m。

(2) 下风向距离 $x > 2.5\sqrt{A_B}$ 的计算模式

在 $H \leq 2.5H_B$ 且 $x > 2.5\sqrt{A_B}$ 时, 下风向距离 x 处核素的地面空气浓度可以由下式计算, 在式中使用扩散因子 B 作修正。

$$C_A = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \dots\dots\dots \text{式 11-8}$$

$$B = \frac{12}{\sqrt{2\pi^3}} \times \frac{1}{x \Sigma_z} \dots\dots\dots \text{式 11-9}$$

$$\Sigma_z = (\sigma_z^2 + \frac{A_B}{\pi})^{0.5} \dots\dots\dots \text{式 11-10}$$

$$\sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \dots\dots\dots \text{式 11-11}$$

其中:

u_a —释放高度处年平均风速, 1.1m/s;

Q_i — i 核素的平均释放速率, Bq/s;

σ_z —垂直扩散参数;

x —下风向距离, 单位 m。

在年均大气弥散的计算中, 需要考虑风速随高度的变化。采用风速廓线指数方法计算排放高度处的风速:

$$\mu_H = \mu_{10} (0.1H)^p \dots\dots\dots \text{式 11-12}$$

其中:

u_H —排放高度 H 处的风速, 单位 m/s;

u_{10} —10m 高度处的风速, 取年平均风速 1.1m/s;

p —风速廓线指数, 风速廓线指数和设施的具体地理、地形及气象条件有关, 本

项目选用 D 稳定度下适用城市地区的风速廓线指数 0.25。

(3) 吸入内照射所致剂量估算模式

$$D_i^{inh} = C_{Ai} R_{inh} DF_{inh} t \dots\dots\dots \text{式 5.2-18}$$

其中：

C_{Ai} —核素 i 的地面空气浓度，单位 Bq/m^3 ；

R_{inh} —呼吸率，取 $1.2m^3/h$ ；

DF_{inh} —吸入内照射剂量转换因子，单位 Sv/Bq ；

t —年工作时间，h。

(4) 烟云浸没外照射所致剂量估算模式

$$D_i^{im} = C_{Ai} DF_{im} t \dots\dots\dots \text{式 11-13}$$

其中：

C_{Ai} —地面空气浓度，单位 Bq/m^3 ；

DF_{im} —烟云浸没外照射剂量转换因子；

t —年工作时间，取 $7.20 \times 10^6 s$ 。

表 11-12 各种核素剂量转换因子

核素	烟云浸没外照射转换因子 ($Sv \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1} \cdot m^3$) ^①	吸入内照射转换因子(Sv/Bq) ^③
^{11}C	4.58E-14	1.8E-11
^{13}N	4.62E-14	/
^{15}O	4.72E-14	/
^{41}Ar	6.20E-14	/

根据上述公式，计算结果见表 11-13。

表 11-13 气载性流出物落地浓度及公众所致剂量统计表

距离 (m)	落地浓度 (Bq/m^3)				吸入内照 所致量 (mSv/a)	烟云浸没外照射所致剂量 (mSv/a)				合计 (mSv/a)
	^{11}C	^{13}N	^{15}O	^{41}Ar	^{11}C	^{11}C	^{13}N	^{15}O	^{41}Ar	
5~105	8.97E-03	30.8	25.0	19.2	3.88E-07	2.96E-07	1.02E-03	8.50E-04	8.58E-04	2.73E-03
110	2.05E-03	7.02	5.71	4.39	1.06E-07	6.75E-08	2.34E-04	1.94E-04	1.96E-04	6.24E-04
150	1.47E-03	5.03	4.09	3.14	6.34E-08	4.84E-08	1.67E-04	1.39E-04	1.40E-04	4.47E-04
200	1.06E-03	3.65	2.96	2.28	4.59E-08	3.51E-08	1.21E-04	1.01E-04	1.02E-04	3.24E-04

250	8.19E-04	2.81	2.28	1.75	3.54E-08	2.70E-08	9.34E-05	7.76E-05	7.82E-05	2.49E-04
300	6.56E-04	2.25	1.83	1.40	2.83E-08	2.16E-08	7.48E-05	6.21E-05	6.27E-05	2.00E-04
350	5.40E-04	1.85	1.51	1.16	2.33E-08	1.78E-08	6.16E-05	5.11E-05	5.16E-05	1.64E-04
400	4.54E-04	1.56	1.27	0.97	1.96E-08	1.50E-08	5.18E-05	4.30E-05	4.34E-05	1.38E-04
450	3.88E-04	1.33	1.08	0.83	1.68E-08	1.28E-08	4.42E-05	3.67E-05	3.71E-05	1.18E-04
500	3.36E-04	1.15	0.94	0.72	1.45E-08	1.11E-08	3.83E-05	3.18E-05	3.21E-05	1.02E-04

经计算，本项目排放的感生放射性废气关键照射途径为浸没外照射，对公众所致最大受照剂量为 $2.73 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，叠加一期项目气载流出物所致评价范围内公众受照剂量最大值 ($6.38 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$)，公众最大受照剂量为 $2.73 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足 0.1mSv/a 剂量约束值。

2、非放射性废气环境影响分析

本项目排放的非放射性废气为臭氧和氮氧化物，根据源项分析，调试机房回旋加速器在连续运行条件下，臭氧的饱和浓度为 $4.21 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ ，氮氧化物饱和浓度为 $2.11 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ 远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 0.3mg/m^3 ，二氧化氮的一小时平均浓度值 5mg/m^3 ，通过排放口直排后对周围大气环境影响较小。

三、环境保护目标年受照剂量综合分析

由于本项目辐射工作人员还参与已有回旋加速器生产工作，同时厂区内公众还会受到已建项目的辐射环境影响，考虑剂量叠加，本项目建成后，公众及职业人员年受照剂量统计结果见表 11-14。

表 11-14 环境保护目标贯穿辐射受照剂量估算表

敏感目标	本项目贯穿辐射受照有效剂量 (mSv/a)	气载流出物所致有效剂量 (mSv/a)	已建项目贡献有限剂量 (mSv/a)	合计 (mSv/a)	备注
本项目装配、操作及现场安装调试人员	2.73	2.73E-03	0.73	3.46	职业
加速器制造厂房组装区、办公区工作人员	1.41E-03	2.73E-03	2.47E-03	6.61E-03	公众
门卫	1.12E-03	2.73E-03	8.34E-03	1.22E-02	公众
厂区内道路流动人员	2.52E-03	2.73E-03	8.34E-03	1.36E-02	公众
厂区外道路流动人员	1.46E-04	2.73E-03	1.11E-02	1.40E-02	公众

根据表 11-14，本项目建成后，职业人员最大受照剂量为 3.46mSv/a ，满足 5mSv/a

剂量约束值，公众最大受照剂量为 $1.40 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足 0.1mSv/a 剂量约束值。

四、废水环境影响分析

本项目在正常运行条件下，二级冷却水采取循环不排放，在检修和事故状态下产生的二级冷却水以及设备出货前需排放二级冷却水，冷却水中主要放射性核素为氚-3、铍-7、碳-11、氮-13、氧-15，其中碳-11、氮-13 和氧-15 的半衰期较短，浓度也很快降低，冷却水中氚-3 单次排放活度为 $2.40 \text{E} \times 10^6 \text{Bq}$ ，铍-7 单次排放活度为 $8.50 \times 10^5 \text{Bq}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的单次排放限值 $1 \text{ALI}_{\text{min}}$ （氚-3、铍-7 核素的 ALI_{min} 分别为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $3.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ），对地表水影响较小。冷却水排放时，需监测排水量和氚-3、铍-7 的活度浓度，满足单次排放的冷却水中氚-3、铍-7 的活度不超过 $1 \text{ALI}_{\text{min}}$ 后，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，并由专人记录每次排放时间、排放量及监测结果等，并纳入日常辐射安全管理档案。

五、固体废物环境影响分析

本项目产生的活化部件主要为调试结束后拆卸下的假靶等，采用铅罐收集暂存后，达到一定量后交由有资质单位处理，对环境影响较小。办公垃圾、包装固废和离子交换树脂采取分类收集后可回收的交由废品回收站处置，不可回收的由环卫部门统一收集，对环境影响较小。

六、危险废物环境影响分析

本项目产生的危险废物主要为加速器部件清洁擦拭沾染危险化学品的容器、擦拭物及报废的化学品等，通过采用专用容器收集暂存于已有危废暂存间后，最终交由有资质单位进行处置，对环境影响较小。

七、声环境影响分析

项目运行期噪声源主要有排风机组、冷却水循环水泵、空调机组等噪声，噪声源源强及分布情况见表 9-11。本项目位于工业园区，属于 3 类声功能区，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）评价等级确定为三级，本次评价将该源强设备视为点源，采用《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）中工业

噪声室外点声源预测模式进行预测，计算考虑地面效应引起的附加隔声量和空气吸收造成的衰减。其噪声预测公示如下：

(1) 室外声源在预测点产生的声级计算模型

户外声传播衰减包括几何发散 (A_{div})、大气吸收 (A_{atm})、地面效应 (A_{gr})、屏障屏蔽 (A_{bar})、其他多方面效应 (A_{misc}) 引起的衰减。

室外点声源声传播衰减计算公式为：

$$L_p(r) = L_p(r_0) + D_C - (A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}) \dots\dots\dots \text{式 11-14}$$

式中：

$L_p(r)$ —预测点处声压级，dB；

$L_p(r_0)$ —参考位置 r_0 处的声压级，dB；

D_C —指向性校正，它描述点声源的等效连续声压级与产生声功率级 L_w 的全向点声源在规定方向的声级的偏差程度，dB；

A_{div} —几何发散引起的衰减，dB；

A_{atm} —大气吸收引起的衰减，dB；

A_{gr} —地面效应引起的衰减，dB；

A_{bar} —障碍物屏蔽引起的衰减，dB；

A_{misc} —其他多方面效应引起的衰减，dB。

预测点的 A 声级 $L_A(r)$ 可按下式计算，即将 8 个倍频带声压级合成，计算出预测点的 A 声级 ($L_A(r)$)。

$$L_A(r) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^8 10^{0.1[L_{pi}(r) - \Delta L_i]} \right\} \dots\dots\dots \text{式 11-15}$$

式中：

$L_{pi}(r)$ ——预测点 (r) 处，第 i 倍频带声压级，dB；

ΔL_i ——第 i 倍频带的 A 计权网络修正值，dB。

本次评价计算时不考虑地面效应引起的附加隔声量和空气吸收造成的衰减，只考虑几何发散衰减按下式计算：

$$L_A(r) = L_A(r_0) - A_{div} \dots\dots\dots \text{式 11-16}$$

$$A_{div} = 20 \lg(r/r_0) \dots\dots\dots \text{式 11-17}$$

式中：

$L_A(r)$ —距声源 r 处的 A 压级，dB (A) ；

$L_A(r_0)$ —参考位置 r_0 处的 A 压级，dB (A) ；

A_{div} —几何发散引起的衰减，dB；

r_0 —参考位置距声源的距离，m；

r —预测点距声源的距离，m。

(2) 室内声源等效室外声源声功率级计算

室内声源可采用等效室外声源声功率级法进行计算。设靠近开口处（或窗户）室内、室外某倍频带的声压级或 A 声级分别为 L_{p1} 和 L_{p2} 。若声源所在室内声场为近似扩散声场，则室外的倍频带声压级可按下式近似求出：

$$L_{p2} = L_{p1} - (TL + 6) \dots\dots\dots \text{式 11-18}$$

式中：

L_{p1} —靠近开口处（或窗户）室内某倍频带的声压级或 A 声级，dB；

L_{p2} —靠近开口处（或窗户）室外某倍频带的声压级或 A 声级，dB；

TL —隔墙（或窗户）倍频带或 A 声级的隔声量，dB。

(3) 贡献值计算

各声源的噪声传播在同一点的贡献值按下式计算：

$$L_{eqg} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_i t_i 10^{0.1 L_{Ai}} \right) \dots\dots\dots \text{式 11-19}$$

式中：

L_{eqg} —噪声贡献值，dB；

T —预测计算的时间段，s；

t_i — i 声源在 T 时段内的运行时间，s；

L_{Ai} — i 声源在预测点产生的等效连续 A 声级，dB。

(4) 预测值计算

预测点的贡献值和背景值按能量叠加方法计算得到的声级，计算公式为：

$$L_{eq} = 10 \lg \left(10^{0.1L_{eqg}} + 10^{0.1L_{eqb}} \right) \dots\dots\dots \text{式 11-20}$$

式中：

- L_{eq} —预测点的噪声预测值，dB；
- L_{eqg} —建设项目声源在预测点产生的噪声贡献值，dB；
- L_{eqb} —预测点的背景噪声值，dB。

经计算，厂界外 1m 处，昼间、夜间噪声最大贡献值为 35dB（A），叠加厂界噪声现状监测值（56dB（A）），昼间、夜间噪声值为 56dB（A），可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准中的昼间 65dB（A）和夜间 55dB（A）限值要求。

事故影响分析

一、辐射事故影响分析

1、事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《生态环境部（国家核安全局）辐射事故应急预案》（NNSA/HQ-00-YJ-MP-010），根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（Ⅰ级）、重大辐射事故（Ⅱ级）、较大辐射事故（Ⅲ级）和一般辐射事故（Ⅳ级）等四级，详见表 11-15。

表 11-15 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

同时根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）急性放射病发生参考剂量见表 11-16。

表 11-16 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy

	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

2、辐射事故识别

根据污染源分析，本项目主要环境风险因子为中子、 γ 射线等，危害因素为中子、 γ 射线外照射导致人员超剂量照射，回旋加速器只有在开机状态下才会产生中子、 γ 射线，一旦切断电源，便不会再有中子、 γ 射线产生。由于回旋加速器在停机后存在剩余辐射，若处理不当也会对人员和环境造成一定的影响。本项目可能发生的辐射事故情景如下：

①安全装置或设备控制系统出现故障，人员非法闯入正在运行的调试机房，操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。

②操作人员未按操作规程对调试机房进行清场巡更，导致人员滞留机房内，室外操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。

③调试机房开门延时联锁失效，停机后调试机房内为进行足够时间的排风，或者通风系统失效，工作人员直接进入调试机房导致受到感生放射性废气的误照射。

④回旋加速器冷却系统失效或火灾事故，导致靶腔破裂，造成二级冷却水泄漏。

3、辐射事故影响分析

（1）非法闯入或人员滞留事故后果影响分析

①人员未撤入迷道内

当人员非法闯入或滞留主机厅时，根据蒙卡计算，距离主机表面 1m 处最大辐射当量剂量率（中子+ γ ）大于 $1.36 \times 10^3 \text{Sv/h}$ ，由于调试机房内设有紧急止动开关和紧急开门装置，假设受照时间为 10s，其受照剂量为 3.7Sv/h ，可能引发人员中度骨髓型急性放射病发生，若持续发生可能引发人员重度肠型急性放射病，构成较大辐射

事故。

②人员撤入迷道内

假设在事故状态下，人员立即撤入迷道内，根据蒙卡预测结果迷道内各调试机房辐射剂量当量率见表 11-17。

表 11-17 各调试机房迷道入口辐射剂量当量率表

场所	中子剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ 剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	合计 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#调试机房迷道入口内侧	2.91E+03	1.13E+03	4.03E+03
2#、4#调试机房迷道入口内侧	5.31E+03	3.61E+03	8.92E+03
3#调试机房迷道入口内侧	1.04E+03	1.40E+03	2.44E+03

假设人员撤如迷路，居留时间保守取 10min，最大受照剂量 1.49mSv/h，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众 1mSv 的剂量限值，构成一般辐射事故。

(2) 停机后人员误入事故后果影响分析

假设停机零时刻后，机房内感生放射性废气未进行及时排放（不考虑排风和衰变），误入人员受照时间按 10min 估算，人员受照剂量计算如下。

表 11-18 停机后人员误入受照剂量表

活化核素	饱和活度浓度(Bq/cm^3)	浸没外照射转换因子 ($\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^3$)	吸入内照射转换因子(Sv/Bq)	浸没外照剂量 (mSv)	吸入内照剂量 (mSv)	合计 (mSv)
^{11}C	2.21E-05	4.58E-14	1.8E-11	6.07E-07	7.956E-08	6.87E-07
^{13}N	7.63E-02	4.62E-14	/	2.12E-03	/	2.12E-03
^{15}O	6.23E-02	4.72E-14	/	1.76E-03	/	1.76E-03
^{41}Ar	5.81E-02	6.20E-14	/	2.16E-03	/	2.16E-03

经计算，误入人员单次最大受照剂量为 $2.16\times 10^{-3}\text{mSv}$ ，叠加加速器系统的固体剩余辐射剂量为 0.019mSv/h（假设建设单位设定机房内固定式 γ 探伤监测安全阈值为 $100\mu\text{Sv/h}$ ），未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员 20mSv 的剂量限值，不构成辐射事故，属于辐射事件。

(3) 冷却水泄漏事故影响分析

本项目回旋加速器二级冷却水在运行过程受中子活化产生的放射性核素主要为氚-3、铍-7、碳-11、氮-13、氧-15，在泄漏情况下可通过回旋加速器下方的集水坑收

集后排入室外冷却水收集池，不会对周围环境造成影响，不构成辐射事故，属于辐射事件。

4、事故应急及防范措施

针对本项目可能发生的各类辐射事故/事件，其应急及预防措施见表 11-19。

表 11-19 辐射事故及事件应急及预防措施表

事故/事件类型	事故/事件后果	应急措施	预防措施
安全装置或设备控制系统出现故障，人员非法闯入正在运行的调试机房，导致人员误照射。	职业人员最大受照剂量可能引发人员急性放射病发生，构成较大辐射事故。	①停止加速器高压，进行人员撤离；②启动辐射事故应急预案；③对误照人员采取医疗救治措施。	制定《加速器安全防护设施的维修与维护制度》，定期对安全装置进行维护和检修，并建立维修台账。
操作人员未按操作规程对调试机房进行清场巡更，导致人员滞留机房内，室外操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。			①制定严格的清场程序，清场时需严格按清场流线进行人员清场；②制定操作规程，并对运行操作人员进行培训上岗
调试机房开门延时联锁失效，停机后调试机房内为进行足够时间的排风，或者通风系统失效，工作人员直接进入调试机房导致受到感生放射性废气误照射。	职业人员最大受照剂量为 0.019mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业 20mSv 的剂量限值，不构成辐射事故，属于辐射事件。	①进行人员撤离；②开启房间强排风系统，进行房间换气；③对通风系统及延时开门联锁进行检修。	①制定《安全防护设施的维修与维护制度》，定期对安全装置进行维护和检修，并制定维修台账，确保其正常运行；②人员在进入调试机房前需根据该区域布设的固定式剂量率监测系统判断其辐射大小，在确认安全后方可进入。
回旋加速器冷却系统失效或火灾事故，导致靶腔破裂，造成二级冷却水泄漏。	不会对周围环境造成影响，不构成辐射事故，属于辐射事件。	①停止加速器高压；②对调试机房进行封闭衰变，并进行区域警戒，限制任何人员进入；③开启房间排风系统，进行房间换气；④通过调试机房内布设的固定式剂量监测系统判断	①定期对加速器冷却系统及温控系统进行维护，确保其正常运行，发现异常应立即停机；②加速器大厅内禁止存放任何与生产无关的易燃易爆及易腐

		其辐射大小，在确认安全后再组织人员进场进行监测和去污工作，经监测达标后进行解控。	蚀物品。
--	--	--	------

二、非辐射事故影响分析

1、风险潜势分析

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）对本项目使用的危险物质进行辨识，计算所涉及的每种危险物质在厂界内的最大存在总量与其对应临界量的比值 Q 。当存在多种危险物质时，则按下式计算 Q 值。

$$Q = \frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \frac{q_3}{Q_3} + \dots + \frac{q_n}{Q_n} \dots\dots\dots \text{式 11-21}$$

式中：

$q_1, q_2, \dots, q_n$ ——每种危险物质的最大存在总量，t；

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ ——每种危险物质的临界量，t；

项目危险物质总量与其临界量比值（ Q ）计算结果见下表。

表 11-20 项目危险物质总量与其临界量比值(Q)计算结果表

危险物质名称	CAS 号	最大储存量	储存方式	临界量 (t)	q/Q
乙醇	67-63-0	500mL	瓶装	10	5.00E-05
除锈剂 (甲醚 50%~75%、二甲苯 10%~25%、乙苯 3%)	115-10-6 1330-20-7 64-18-6	500mL	瓶装	5	9.80E-05

经计算，项目危险物质数量与临界量比值为 1.48×10^{-4} ($Q < 1$) 该项目环境风险潜势为I。故项目环境风险不设置专项评价，对环境风险进行简单分析即可。

2、环境风险识别

本项目危险物质特性如下：

表 11-21 危险物料物理理化性质一览表

物料名称	理化特性	危害特性	毒物危害程度分段
乙醇	无色液体，相对分子量 60.1，熔点-88.5℃，沸点 82.5℃，相对密度 0.5 (25℃)，饱和蒸气压 44hPa，水中溶解度 1.0E+06	易燃、刺激性	高度易燃液体和蒸气，在火灾的情况下会释放一氧化碳和二氧化碳，造成严重眼刺激，可能造成

	mg/L, 闪点 11.7℃, 自然温度 455.6℃。		昏昏欲睡或眩晕, LD ₅₀ (经口, 大鼠): 5.84g/kg, LD ₅₀ (经皮, 兔子): 16.4mL/kg。
除锈剂	轻微的各种颜色的气雾剂, 烃类气味, 相对密度 0.88~0.98, 饱和蒸气压 420kPa, 闪点-40℃。	易燃、刺激性	极易燃气溶胶, 造成皮肤刺激, 压力容器遇热可爆, 燃烧分解会产生一氧化碳, 二氧化碳, 金属氧化物。LD ₅₀ (经口, 大鼠): 6631mg/kg, LD ₅₀ (经皮, 兔子): 12126mg/kg。

3、环境风险类型

根据调查, 厂区风险为: ①涉及的突发环境事件风险物质为有毒有害物质, 泄漏遇明火引发火灾爆炸事故或泄露引发中毒事故; ②各类包装材料(纸盒、纸箱等)遇明火引发火灾事故; ③辅料暂存区液态危险废物泄漏对地下水造成污染。

4、环境风险防范措施及应急要求

提高安全意识, 强化安全管理, 建立了安全生产责任制, 严格遵守《化学危险品管理条例》及有关国家和地方关于有毒有害物料的储运安全规定。

(1) 火灾事故环境风险防范措施

①厂区设置专门的辅料暂存区并对辅料进行分类、避光保存, 暂存区严禁烟火设置灭火器及火灾报警装置。

②厂区内设置严禁烟火的标示, 并配置灭火器, 同时要求员工不准携带火种进入厂房。

③定期检查厂房电路, 防止电路老化引起火灾事故。

④加强职工管理, 进行必要的安全消防教育, 并做好个人防护, 加强职工培训, 提高应急处理能力。

(2) 泄漏事故环境风险防范措施

①危化品采用专用容器盛装并分区存放, 下设防渗托盘, 并设置空桶作备用应急收容设施。

②提高安全意识, 强化安全管理, 建立了安全生产责任制。严格遵守《化学危险品管理条例》及有关国家和地方关于有毒有害物料的储运安全规定;

③强化安全生产及环境保护意识教育, 加强操作人员上岗前的培训, 使职工掌握生产技能和安全防护知识, 配置专业知识的技术人员对暂存区进行管理;

④入库时，严格检验物品质量、数量、包装情况、有无泄漏。入库后采取适当的养护措施，在贮存期内，定期检查，发现其品质变化、包装破损、渗漏、稳定剂短缺等，及时处理。

⑤暂存区地坪必须进行防渗处理，管理专员定期对暂存区的液态化学品包装进行检查，当发现包装破裂时及时转桶装。

5、分析结论

本项目环境风险较小，为局部风险，事故状态下不会对周边环境造成不良影响。通过落实相关措施及管理要求，能够有效降低上述风险发生的概率或者减少风险造成的损失和对周边环境的影响。

表 11-22 建设项目环境风险简单分析内容表

建设项目名称	中高能医用回旋加速器生产研发及应用中心			
建设地点	四川省	绵阳市	经开区	二环路南段 351 号
地理坐标	经度	104°46'33.3"	纬度	31°24'25.5"
主要危险物质及分布	本项目涉及的危险物质主要为：乙醇、除锈剂			
环境影响途径及危害后果	气溶胶泄漏进入环境空气，液体泄漏进入地表水、土壤和地下水，火灾燃烧产生二次污染物进入环境空气			
风险防范措施要求	厂区设置消防设施，暂存区作为重点防渗区管理，加强危化品管理等			
填表说明	项目危险物质 q_n/Q_n 之和为 1.48×10^{-4} 小于 1，根据《建设项目环境风评价技术导则》HJ169-2018，本项目的环境风险潜势直接判定为 I，环境风险评价可开展简单分析。			

表 12：辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、辐射安全管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，生产、使用、销售Ⅱ类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

建设单位目前已成立了“辐射安全管理领导小组”，其职责包括：①负责全公司辐射安全与防护管理工作；②组织对各项有关辐射安全与防护管理规章制度的制定和修订工作，并负责对全公司回旋加速器生产过程中相关规章制度、防护措施落实情况监督进行检查；③组织实施辐射安全与防护相关法律法规的考核学习，并落实辐射工作人员上岗培训计划；④负责辐射工作人员个人剂量和健康管理，并组织开展辐射工作场所进行年度监测和年度评估报告的编制工作；⑤负责对全公司所有辐射安全与防护设施、设备进行定期保养，做好保养记录，如有损坏及时协同相关部门进行处理。

二、辐射工作岗位人员配置和能力分析

本项目拟设置 11 名辐射工作人员，其中新增辐射工作人员 10 人，建设单位承诺：涉及新增辐射工作人员将及时参加上岗学习、考核，并按照《中华人民共和国生态环境部公告》（2019 年第 57 号）要求，辐射工作人员需通过国家生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.vn>）学习并考核合格后上岗。

三、从事辐射活动能力综合分析

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，对建设单位从事本项目辐射活动能力评价列于表 12-2 和表 12-3 中。

表 12-2 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	环保部 3 号令要求	建设单位落实情况	备注
1	应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构,或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	建设单位已成立辐射安全管理领导小组并配置 1 名本科以上学历的技术人员负责辐射安全管理工作。	/
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	建设单位已制定辐射工作人员培训制度,承诺将严格落实生态环境部“公告 2019 年第 57 号”相关要求,及时组织辐射工作人员通过学习考核,并确保所有辐射工作人员及辐射安全管理人员考核合格后上岗。	后期应每五年按规定进行人员重新学习考核,并及时宣贯新的辐射安全相关法律法规知识。
3	射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	建设单位已按要求设计联锁装置、清场巡更、紧急止动开关、工作状态指示灯、紧急开门、视频监控等(具体内容见表 10-3)安全装置防止人员误操作和误照射,同时还将制定回旋加速器操作规程并张贴上墙,辐射工作人员还将配备个人剂量报警防止误照射。	后期运行过程中应加强安全装置的维护和维修工作,保持其正常运行。
4	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器,包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	建设单位将按要求配备个人防护用品包括:个人剂量报警仪、个人剂量计等,同时对于场所监测还配备了便携式 γ 辐射监测仪和便携式中子当量剂量率监测仪,并已制定监测计划,定期对场所内和场所外开展监测工作。	需对本项目新增辐射工作人员按要求配备个人防护用品,并将本次新增辐射工作场所纳入监测计划,更新对应的《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》
5	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	建设单位将根据本次新增辐射工作场所修订相关的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	辐射安全管理领导小组需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议,并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。同

			时各辐射工作场或办公场所内需按要求将相关制度张贴上墙。
6	有完善的辐射事故应急措施。	建设单位将根据本项目情况对已制定的《辐射事故应急预案》进行修订。	在后期运营过程中，建设单位应定期开展应急演练，并根据实际情况进行应急预案的修订和完善，使其更能结合实际开展工作。
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	针对废气已设计有独立通排风系统，二级冷却水经冷却水收集池收集经监测达标后排入园区污水管网，加速器活化部件采用铅罐收集若监测达标作为一般固体废物处置，若监测不达标交由城市放射性废物库收贮，该“三废”能做到达标排放其处理措施可行。	后期运行过程中应加强“三废”处理设施的维护和维修工作，保持其正常运行。
8	辐射工作单位应当建立射线装置台帐，记载射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。	建设单位目前已建立射线装置台账管理制度，后期将根据本项目情况持续落实有关规定。	/
9	射线装置台帐、个人剂量档案和职业健康监护档案应当长期保存。	建设单位已建立各项档案管理，对于本项目生产、使用、销售射线装置纳入台账管理，同时对新增辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康监护档案并按要求长期保存。	/
10	辐射工作单位应当编写射线装置安全和防护状况年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报原发证机关。年度评估报告应当包括射线装置台帐、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内	拟持续严格落实。	/

	容。		
表 12-3 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表			
序号	安全和防护管理办法要求	实际情况	备注
1	生产、销售、使用射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	建设单位将在辐射工作场所入口处设置电离辐射警示标志，并设置“两区”划分标识，并按要求建设联锁装置、清场巡更、紧急止动开关、工作状态指示灯、紧急开门、视频监控等（具体内容见表 10-3）安全装置和设施。	后期运行过程中应加强安全装置的维护和维修工作，保持其正常运行。
2	射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	建设单位已按要求设计联锁装置、清场巡更、紧急止动开关、工作状态指示灯、紧急开门、视频监控等（具体内容见表 10-3）安全装置防止人员误操作和误照射，同时还将制定回旋加速器操作规程并张贴上墙，辐射工作人员还将配备个人剂量报警防止误照射。	后期运行过程中应加强安全装置的维护和维修工作，保持其正常运行。
3	生产、使用射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。	建设单位将根据本项目情况对已制定的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等规章制度进行修订，同时为预防运行故障发生，将对已制定的辐射事故应急处理预案进行修订。	/
4	被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。	对于本项目产生的活化部件，建设单位拟采用铅罐进行暂存并安排专人进行管理，严禁与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放。	/
5	生产、销售、使用射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	建设单位已建立监测管理制度，并已建立相应的监测档案，同时计划将本项目辐射工作场所纳入监测计划。建设单位每年还将委托有资质单位对本项目新增辐射工作场所和周围辐射环境开展年度监测，具体监测内容见表 12-5 和表 12-6。	/

6	生产、销售、使用射线装置的单位，应当加强对本单位射线装置安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门，经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。	建设单位已制定辐射安全和防护设施维护维修制度，将严格落实射线装置安全和防护状况的日常检查规定。	/
7	生产、销售、使用射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告	拟严格落实	/
8	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每五年接受一次再培训。	建设单位已制定辐射工作人员培训制度，承诺将严格落实生态环境部“公告 2019 年第 57 号”和“公告 2021 年第 9 号”相关要求，及时组织辐射工作人员通过学习考核，并确保所有辐射工作人员及辐射安全管理人员考核合格后上岗。	/
9	生产、销售、使用射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测，并安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	建设单位已制定辐射工作人员个人剂量管理制度，同时对新增辐射工作人员配备个人剂量计，每个季度送有资质单位进行检测，并建立个人剂量档案，若出现个人剂量异常情况，将进行核实和调查，并上报发证机关。	/
综上所述，建设单位严格落实上述要求后，建设单位具备辐射安全管理的综合能力。			
辐射安全管理规章制度			
一、档案分类管理			

根据《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400号），核技术利用单位应根据使用放射性同位素和射线装置的情况，及时修订和完善规章制度，并按照档案管理的要求分类归档放置。

本项目辐射安全档案资料可分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”、“废物处置记录”。建设单位应当根据单位辐射项目开展的实际情况将档案资料进行分类管理。

二、规章制度要求

根据《加速器生产调试场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-023）和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400号）的相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度见表 12-4。

表 12-4 管理制度汇总对照表

序号	项目	规定的制度	落实情况	备注
1	综合	辐射安全管理规定	已制定	需针对本项目情况进行修订
2		操作规程	已制定	需补充制定场所清场巡更的规程,并结合本项目情况进行修订
3		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）	已制定	需将本项目新增辐射工作场所辐射安全和防护设施维护维修纳入管理,建立辐射安全和防护设施的维护维修台账,并确立维护保养周期
4		射线装置台账管理（包含生产、使用、销售）制度	已制定	/
5	监测	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定	需按照表 12-5 和表 12-6 制定新增辐射工作场所和环境辐射水平监测方案
6		监测仪表使用与校验管理制度	已制定	/
7	人员	辐射工作人员培训制度	已制定	/
8		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	明确个人剂量检测周期以及个人剂量异常的调查及上报程序

9		辐射工作人员岗位职责	已制定	/
10	应急	辐射事故/事件应急预案	已制定	/
11	三废	“三废”管理规定	拟制定	包含二级冷却水达标排放的管控要求、活化部件规范处置要求以及危险废物规范处置要求

建设单位需在辐射安全管理领导小组组织下结合本项目实际情况对已制定的各项规章制度和辐射事故应急预案进行修订完善，明确各人员责任，并严格落实。同时，辐射安全管理领导小组需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。同时新增辐射工作场所职业人员控制室或办公场所内需将所有制度中关于“辐射工作场所安全管理制度”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容需张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于 600mm×400mm。

辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目监测内容包括：个人剂量监测、环境监测及放射性废物监测等。辐射环境监测由专人负责监测台账记录，并建立辐射监测档案。

一、个人剂量监测

本项目拟新增 10 名辐射工作人员，建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并根据《四川省环境保护厅关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400 号）的要求做好个人剂量管理工作和《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）做好个人剂量管理：

①个人剂量常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月，同时建设单位应建立个人剂量档案并终生保存。

②辐射工作人员在日常接触辐射工作过程中应正确佩戴个人剂量计，对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置。

③对于某一季度个人剂量检测数据超过 1.25mSv 的辐射工作人员，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于全

年累计检测数值超过 5mSv 的，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关；当单年个人剂量超过 50mSv 时，需调查超标原因，上报辐射安全许可证发证机关，确认是否启动辐射事故应急预案。

④在每年的 1 月 31 日前上报的辐射安全和防护状况自查评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

二、辐射环境监测

对于环境监测，首先是通过布设的固定式中子辐射监测仪和固定式 γ 辐射监测仪进行实时监测，固定式区域中子、 γ 监测点就地显示测点位置中子、 γ 辐射水平，当中子、 γ 辐射水平超过预先设定的报警阈值（2.5 μ Sv/h）时就地和远程控制单元实时发出声光报警信号，起到提醒、警示作用。同时监测单位还需配备便携式中子巡测仪和便携式 γ 辐射监测仪对工作场所及环境监测进行巡测，每年还需委托第三方有资质单位开展年度监测并上报发证单位。环境自行监测及年度监测计划详见表 12-5。

表 12-5 工作场所监测计划表

监测点位	监测项目	监测频次	备注
监测室外（运行时）四周墙外、迷道防护门外、设备门外、设备间、控制室、穿墙孔洞等	γ 辐射剂量率、中子当量剂量率	每半年一次	自行监测
		每年一次	委托监测
调试机房内	γ 辐射剂量率	人员申请进入调试机房内时	自行监测
调试机房屏蔽体外 50m 范围内环境敏感目标（根据后期实际变化情况进行调整）	γ 辐射剂量率、中子当量剂量率	每年一次	委托监测

三、放射性废物监测

冷却水收集池的废水在排放前需委托第三方有资质单位对总 β 、氚-3、铍-7 进行取样检测。活化部件在暂存过程需对铅罐表面 γ 辐射剂量率进行监测。其监测计划见表 12-6。

表 12-6 放射性废水及活化部件监测计划表

监测对象	监测因子	监测频次	备注
冷却水	总 β 、氚-3、铍-7	排放前	委托监测
活化部件	γ 辐射剂量率	收集、送贮时	自行监测

四、质量保证及监测设备

建设的开展自行监测应制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用上级监测部门的监测数据与建设单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案。

辐射事故应急

为了加强对辐射工作的安全和防护的监督管理，保障回旋加速器的安全生产，建设单位须根据最新要求对已制定的《辐射事故应急预案》进行修订，其内容应包括：应急组织机构、应急职责分工、辐射事故应急处置（最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话）、应急保障措施、应急演练计划、应急事故需准备的仪器和设备、应急物资的准备条件及应急终止后的行动等。建设单位还应做好应急人员的组织培训和应急及救助的装备、资金、物资准备，且应将辐射事故应急纳入本单位安全生产事故应急管理体系，定期组织演练。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的应急措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由应急领导小组按辐射事故应急程序逐级上报地方及省级生态环境主管部门，同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告，并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

表 13：结论与建议

结论 一、项目概况 项目名称：中高能医用回旋加速器生产研发及应用中心 建设单位：四川玖谊源粒子科技有限公司 建设性质：扩建 建设地点：四川省绵阳市经开区二环路南段 351 号 建设内容及规模：拟在建设单位已有预留地块建设中高能加速器生产厂房，建筑层高 13.4m（单层结构，局部两层），其中一层为中高能加速器生产区，二层为生产配套用房区。建成后将形成 9 条回旋加速器装配线（含靶站装配线）和 4 条回旋加速器调试线，年生产、使用、销售多粒子型或单粒子型（包括：质子、氘核或氦核，单次仅出束 1 种粒子）回旋加速器 20 台，其中加速质子能量为 12MeV~35MeV、束流强度为 100μA~1500μA，加速氘核能量为 6.5MeV~17.5MeV、束流强度为 50μA~500μA，加速氦核能量为 20MeV~35MeV、束流强度为 50μA~500μA，<u>不涉及放射性同位素生产</u>，属于Ⅱ类射线装置。单台回旋加速器热调试周期约 4 个月，累积调试出束时间约 240h；单个调试机房年调试数量为 3 台，年累积调试出束时间约 1200h。 本项目总投资 15000 万元，环保投资 557.7 万元，占总投资的 3.72%。 二、本项目产业政策符合性分析 根据中华人民共和国国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，同时建设单位已取得绵阳经济技术开发区经济发展局的备案文件（川投资备【2507-510796-04-01-380713】FGQB-0141 号），本项目符合国家产业发展政策。 三、本项目选址及平面布置合理性分析 本项目评价范围内无居民住宅、学校和医院等保护目标，拟建地所在区域道路、
--

给排水、电力等城市基础配套设施完善，为项目建设提供了良好条件，拟建地周围没有项目建设的制约因素，且辐射工作场所相对独立，为专门的辐射工作场所，本项目产生的污染源通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，其选址是合理的。本项目辐射工作区非辐射工作区分开布置，且保持有一定距离，有利于辐射防护，整个场所布置相对独立，同时本项目工作区的平面布置既便于回旋加速器生产和调试的各个工艺的衔接，满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护。从利于安全生产和辐射防护的角度而言，该项目的平面布置是合理可行的。

四、工程所在地区环境质量现状

根据《2024 年绵阳市环境质量状况年报》项目拟建地周围环境空气质量和地表水质良好；根据现场监测声环境质量满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 3 类区标准（昼间 $\leq 65\text{dB(A)}$ 、夜间 $\leq 55\text{dB(A)}$ ）要求；项目拟建地周围 γ 辐射空气吸收剂量率属于当地正常天然本底辐射水平。中子当量剂量率均低于仪器检出限（ $<0.01\mu\text{Sv/h}$ ），无异常。

五、环境影响评价结论

1、贯穿辐射环境影响分析

经模型预测，在正常工况下，屏蔽体外辐射当量剂量率满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率限制要求。对职业人员造成的年附加有效剂量低于本次评价 5mSv 的职业人员年剂量约束值；对公众造成的年附加有效剂量低于本次评价 0.1mSv 的公众人员年剂量约束值。

2、大气的环境影响分析

感生放射性废气核素组成主要为碳-11、氮-13、氧-15、氩-41，通过独立排风管道排放后对周围公众最大所致剂量满足 0.1mSv/a 剂量约束，臭氧及二氧化氮浓度远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 0.3mg/m^3 ，二氧化氮的一小时平均浓度值 5mg/m^3 ，通过排放口直排后对周围大气环境影响较小。

3、废水的环境影响分析

本项目在正常运行条件下，二级冷却水采取循环不排放，在检修和事故状态下

产生的二级冷却水以及设备出货前需排放二级冷却水，冷却水中主要放射性核素为氚-3、铍-7、碳-11、氮-13、氧-15，其中碳-11、氮-13 和氧-15 的半衰期较短，浓度也很快降低，冷却水中氚-3 单次排放活度为 $1.44\text{E}\times 10^6\text{Bq}$ ，铍-7 单次排放活度为 $5.10\times 10^5\text{Bq}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的单次排放限值 1ALI_{min} （氚-3、铍-7 核素的 ALI_{min} 分别为 $1.11\times 10^9\text{Bq}$ 、 $3.85\times 10^8\text{Bq}$ ），对地表水影响较小。

4、固体废物的环境影响分析

本项目产生的活化部件主要为调试结束后拆卸下的假靶，采用铅罐收集暂存后，达到一定量后交由有资质单位处理，对环境影响较小。办公垃圾、包装固废和离子交换树脂采取分类收集后可回收的交由废品回收站处置，不可回收的由环卫部门统一收集，对环境影响较小。

5、危险废物的环境影响分析

本项目产生的危险废物主要为加速器部件清洁擦拭沾染危险化学品的容器、擦拭物及报废的化学药品等，通过采用专用容器收集暂存于已有危废暂存间后，最终交由有资质单位进行处置，对环境影响较小。

6、声环境影响分析

本项目通过采用低噪声设备，设置减振和隔声等措施，对周围声环境影响较小，同时对厂界噪声贡献较小，厂界能满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 3 类标准。

六、辐射安全管理综合能力

通过对照国家有关要求对本项目从事辐射活动能力的逐项分析，建设单位依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）及其他关于生产、使用、销售 II 射线装置使用条件的相关规定，拟采取的辐射防护设施（措施）较齐全，防护效果可满足辐射防护要求；在落实本报告提出的要求后，具备生产、使用、销售 II 类射线装置的综合管理能力。

七、项目环保可行性结论

本项目的建设方案已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行了设计，在全面落实本报告提出的辐射安全防护措施及环保措施的基础上，切实做到“三同时”，并在项目运行时严格执行辐射防护安全管理制度和监测计划，则本项目正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度分析，该项目的建设是可行的。

建议和承诺

（1）认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

（2）项目建成投运后定期开展场所和环境的辐射监测，据此对所用的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并根据《关于四川省环境保护厅关于印发<放射性同位素与射线装置安全防护状况年度评估报告格式（试行）>的通知》（川环发〔2016〕152号）编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于每年1月31日前上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。

（3）根据《中华人民共和国生态环境部公告》（2019年第57号），建设单位所有辐射工作人员需通过国家生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）学习并考核合格后上岗。

（4）建设单位在申领辐射安全许可证之前，注册并登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对建设单位所用射线装置的相关信息填写。

（5）根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，建设项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况（辐射防护及环境保护设施（设备）验收一览表见附表），编制验收监测报告。验收监测报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。

表 14： 审批

下一级环保部门预审意见：	
	公 章
经办人	年 月 日

审批意见：	
	公 章
经办人	年 月 日

