

核技术利用建设项目  
**生产、销售、使用医用电子直线加速器  
应用项目环境影响报告表**

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司

2026年5月

环境保护部监制

核技术利用建设项目  
生产、销售、使用医用电子直线加速器  
应用项目环境影响报告表

建设单位名称：瑞迪欧康（青岛）科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：山东省青岛市高新区汇智桥路 20 号 1 期 16 号楼 102 户

邮政编码：266000

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

打印编号: 1769429527000

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	q8h51r		
建设项目名称	瑞迪欧康(青岛)科技有限公司生产、销售、使用医用电子直线加速器应用项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称(盖章)	瑞迪欧康(青岛)科技有限公司		
统一社会信用代码	91370[REDACTED]		
法定代表人(签章)	[REDACTED]		
主要负责人(签字)	[REDACTED]		
直接负责的主管人员(签字)	[REDACTED]		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称(盖章)	中威检测(山东)有限公司		
统一社会信用代码	9[REDACTED]		
<b>三、编制人员情况</b>			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
侯庆伟	[REDACTED]	[REDACTED]	侯庆伟
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
田士龙	[REDACTED]	[REDACTED]	田士龙



# 营业执照

统一社会信用代码



营业执照文件仅供参考  
请至市场监督管理部门  
系统查询或到电子官  
网软件扫码查验。

名称 中威检测(山东)有限公司

类型 其他有限责任公司

法定代表人 张瑞庆

经营范围 许可项目:检验检测服务;放射卫生技术服务;职业卫生技术服务;辐射监测;放射性污染监测;医疗器械互联网信息服务。(依法须经批准的项目,经相关部门批准后方可开展经营活动,具体经营项目以相关部门批准文件或许可证件为准)一般项目:计量技术服务;环境保护监测;生态资源监测;环保咨询服务;环境应急治理服务;节能管理服务;土壤污染防治服务;土壤污染治理与修复服务;农业面源和重金属污染防治技术服务;软件开发;信息系统运行维护服务;信息系统集成服务;技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广。(除依法须经批准的项目外,凭营业执照依法自主开展经营活动)

注册资本 叁佰万元整

成立日期 2010年01月13日

住所 山东省济南市槐荫区美里东路3000号德迈国际中心二期16号楼厂房101



登记机关 济南市槐荫区市场监督管理局

2024年09月23日

说明

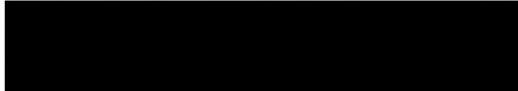
1. 本营业执照于2024年09月23日17时29分28秒由郭云霞(办事人)留存(打印)
2. 数字签名: ADBFAE5MLed5vGleCYomlg3RWGnptPUTm5+uepZ594X7a3agtbAOQJTUJMKILSS2haqKsUJfBh0NWvLZ2eapBtCJeVQWep
3. 本营业执照仅用于企业年检。

编制主持人工程师证



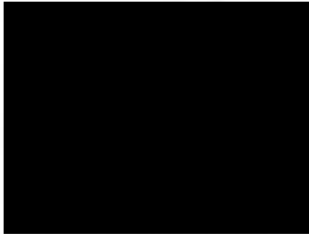
编制主持人和主要编制人员社保证明

### 社会保险单位参保证明



单位编号	0010041554	单位名称	中威检测（山东）有限公司
参保缴费情况			
参保险种	参保起止时间		当前参保人数
企业养老	2011年06月-2025年10月		44
失业保险	2011年06月-2025年10月		44
工伤保险	2011年06月-2025年10月		44

备注：本证明涉及单位及参保职工个人信息，因单位经办人保管不当或向第三方泄露引起的一切后果，由单位和单位经办人承担。本信息为系统查询信息，不作为待遇计发最终依据。





当前参保单位： 中威检测（山东）有限公司

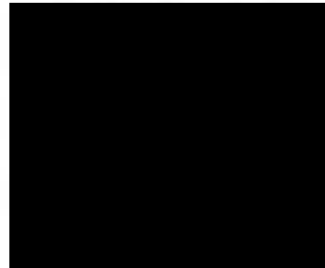
序号	姓名	身份证号码	参保险种	参保起止日期（如有中断分段显示）	备注
1	田士龙	[REDACTED]	企业养老	202507-202510	
2	侯庆伟	[REDACTED]	企业养老	202507-202510	

打印流水号：37019401251027ULN92921

系统自助： 6266294



备注： 1、本证明涉及单位及个人信息，有单位经办人保管，因保管不当或因向第三方泄露引起的一切后果由单位和单位经办人承担。  
2、上述信息为打印时的当前参保登记情况，供参考。



# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	5
表 3 非密封放射性物质 .....	5
表 4 射线装置 .....	5
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	6
表 6 评价依据 .....	7
表 7 保护目标与评价标准 .....	9
表 8 环境质量和辐射现状 .....	13
表 9 项目工程分析与源项 .....	19
表 10 辐射安全与防护 .....	28
表 11 环境影响分析 .....	34
表 12 辐射安全管理 .....	46
表 13 结论与建议 .....	51
表 14 审批 .....	55
附图 1 城阳区国土空间分区规划（2021—2035 年）城镇开发边界图 .....	56
附图 2 城阳区国土空间分区规划（2021—2035 年）国土空间规划一级分区图 .....	57
附图 3 城阳区国土空间分区规划（2021—2035 年）国土空间规划二级分区图 .....	58
附图 4 建设单位地理位置图 .....	59
附图 5 建设单位周围关系影像图 .....	60
附图 6 建设单位厂区平面图 .....	61
附图 7 建设单位生产车间一层平面布置图 .....	62
附图 8 拟建加速器调试机房平面布置图 .....	63
附图 9 拟建加速器调试机房剖面布置图 1 .....	64
附图 10 拟建加速器调试机房剖面布置图 2 .....	65
附图 11 拟建加速器调试机房通风管道设计图 .....	66
附件 1 委托书 .....	67
附件 2 建设单位营业执照 .....	68
附件 3 青岛市生态环境局高新区分局关于《国健（青岛）健康科技有限公司关于明确国	

药科技城项目现阶段是否需要办理环评的请示》的复函 .....	69
附件 4 辐射本底检测报告 .....	71
附件 5 管理制度 .....	76
附件 6 企业投资项目备案证明 .....	104

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		瑞迪欧康（青岛）科技有限公司生产、销售、使用医用电子直线加速器应用项目				
建设单位		瑞迪欧康（青岛）科技有限公司				
法人代表		■■■■■	联系人	■■■■■	联系电话	■■■■■
注册地址		山东省青岛市高新区汇智桥路 20 号 1 期 16 号楼 102 户				
项目建设地点		山东省青岛市高新区汇智桥路 20 号 1 期 16 号楼 102 户，建设单位生产车间一层南侧拟建医用电子直线加速器调试机房				
立项审批部门		青岛高新技术产业开发区行政审批服务部		批准文号	2605-370271-04-01-135243	
建设项目总投资（万元）		1000	项目环保投资（万元）	160	投资比例（环保投资/总投资）	16%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m <sup>2</sup> ）	206.3
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				

**1.1 建设单位简介**

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司是一家专注于高端医疗装备研发与制造的高新技术企业，注册资本 1400 万元，总部位于青岛高新区 Bio-Park 生命康城，同时在苏州设有研发中心，形成了“青岛总部+苏州研发”的双轮驱动发展格局。

公司致力于医用电子直线加速器等肿瘤放射治疗设备的自主创新与产业化，目前已拥有授权知识产权 25 项，技术实力雄厚。公司产品已成功应用于中国核工业集团 401、404 厂、21 基地、火箭军、各级疾病预防控制中心、卫生监督机构、计量院所以及多所高等院校，在行业内获得广泛认可。

近两年，公司将累计投入资金约 4000 万元，其中固定资产投资达 500 万元，现有生产与研发场地总使用面积达 3000 平方米，具备完善的研发、生产、检测及质量管理体系。

建设单位位于山东省青岛市高新区汇智桥路 20 号 1 期 16 号楼 102 户，地理位置见附图 4，周围关系影像图见附图 5。

## 1.2 现有辐射项目

经现场核实，在本项目前，建设单位无核技术利用建设项目。

## 1.3 本项目建设规模

为满足市场对高端医疗设备需求，瑞迪欧康（青岛）科技有限公司拟在生产车间一层南侧建设 1 间医用电子直线加速器调试机房，供公司生产的医用电子直线加速器进行整机调试，公司每年拟生产、销售 200 台医用电子直线加速器，本项目生产环节仅包括设备的组装，本次评价重点评价销售、调试环节。本次评价涉及生产、销售、使用医用电子直线加速器，核技术利用类型为生产、销售使用 II 类射线装置。

经现场勘查，本项目暂未开工建设。本次核技术利用具体情况见表 1-1。

表 1-1 本次核技术利用项目一览表

序号	装置名称	年调试数量	类别	最大能量	X 射线最大输出剂量率	工作场所名称	活动种类	备注
1	医用电子直线加速器	100 台	II 类	X 射线：单能 6 MV 电子线：15 MeV	$\leq 600$ cGy/min ( $3.6 \times 10^8$ $\mu$ Gy/h)	生产车间一层南侧医用电子直线加速器调试机房	生产、销售、使用	型号待定
2	医用电子直线加速器	100 台	II 类	X 射线：10 MV 能量可调 电子线：15 MeV	$\leq 1400$ cGy/min ( $8.4 \times 10^8$ $\mu$ Gy/h)			

## 1.4 产业政策符合性分析

本项目属《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的鼓励类项目“六、核能”中第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家现行的产业政策。

## 1.5 实践正当性

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司生产、调试、销售医用电子直线加速器，符合当前国家对国产医疗器械的扶持及公司的发展规划，可满足医疗机构对设备的需要，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起

的辐射危害。经下文分析，其运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求。从代价利益分析，项目可行，同时也符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

## 1.6 选址合理性分析

根据《城阳区国土空间分区规划（2021-2035年）》，瑞迪欧康（青岛）科技有限公司位于城镇开发边界、城镇发展区和工业发展区。

建设单位生产车间位于青岛高新区 Bio-Park 生命康城园区内，根据“青岛市生态环境局高新区分局关于《国健（青岛）健康科技有限公司关于明确国药科技城项目现阶段是否需要办理环评的请示》的复函”，项目不涉及环境敏感区，不纳入环境影响评价管理，无需开展环境影响评价，详见附件3。本项目位于建设单位内部，不新增用地，根据双方工业厂房买卖合同，建设单位所在地属工业用地。因此，项目选址符合相关规划要求。

根据建设单位提供的资料及现场勘查，本项目拟建医用电子直线加速器调试机房目前为室内空地，位于生产车间内部南侧，东侧为走廊、楼梯间；南侧为控制室、辅助机房；西侧为走廊；北侧为走廊。位置相对独立，周围无关人员相对较少，便于日常辐射安全管理，拟建加速器调试机房工作场所平面布局图见附图9。拟建医用电子直线加速器调试机房50m范围内东侧为走廊、楼梯间、16号楼101户、室外道路、15号楼；南侧为控制室、辅助机房、室外道路、14号楼；西侧为走廊、实验室1、实验室2、配电间、卫生间、室外道路、17号楼；北侧为走廊、室外道路、23号楼；西北侧22号楼；西南侧13号楼；楼上为实验室；楼下无建筑。拟建医用电子直线加速器调试机房周围50m范围内存在8处保护目标，分别为东侧约4m16号楼101户、东侧约44m15号楼、南侧约33m14号楼、西侧约28m17号楼、北侧约33m23号楼、西北侧约47m22号楼、西南侧约47m13号楼以及拟建医用电子直线加速器调试机房所在16号楼102户。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，不涉及生态保护红线区域和生态空间管控区域，也不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、厂区内其他工作人员以及保护目标处的公众成员。

经下文分析，拟建医用电子直线加速器调试机房屏蔽体采取了有效的防护措施，周围

剂量率满足相关标准要求，周围人员受照剂量低于相应的管理剂量约束值。因此，医用电子直线加速器调试机房选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中第5.1款关于选址的要求。

综上所述，本项目拟建医用电子直线加速器调试机房选址合理。

## 1.7 目的和任务的由来

本项目加速器属II类射线装置，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709号，2019年修订）、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年修订版），本项目属“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——生产、使用II类射线装置”，应编制环境影响报告表。

本项目在运行过程中可能对环境产生一定的辐射影响。为保护环境，保障公众的环境权益，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规对伴有辐射建设项目环境管理的规定，瑞迪欧康（青岛）科技有限公司委托中威检测（山东）有限公司对其生产、销售、使用医用电子直线加速器应用项目进行环境影响评价。在收集资料、现场调查、辐射环境现状检测以及理论分析等基础上，中威检测（山东）有限公司编制完成了《瑞迪欧康（青岛）科技有限公司生产、销售、使用医用电子直线加速器应用项目环境影响报告表》。

表 2 放射源

序号	核素名称	活度 (Bq)	类别	活动种类	用途	使用场所	用途适用场所贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	贮存地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 4 射线装置

(一) 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 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	100 台	待定	电子	X 射线: 单能 6 MV 电子线: 15 MeV	≤600 cGy/min (3.6×10 <sup>8</sup> μGy/h)	放射治疗	拟建医用电子直线加速器调试机房	/
2	医用电子直线加速器	II类	100 台	待定	电子	X 射线: 10 MV 能量可调 电子线: 15 MeV	≤1400 cGy/min (8.4×10 <sup>8</sup> μGy/h)	放射治疗	拟建医用电子直线加速器调试机房	/

(二) X 射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	装置名称	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	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (mA)	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
退役或更换的加速器废靶和准直器等	固态	/	/	/	/	/	/	当加速器靶、准直器等部件更换或退役时, 如经检测超出豁免水平, 则应委托有资质的部门进行处置。
非放射性废气 (臭氧和氮氧化物)	气态	/	/	少量	少量	/	/	通过机房通风系统排至外部环境
放射性废水	液态	/	/	/	/	/	/	循环冷却水循环使用不外排, 只需定期补水

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/m<sup>3</sup>; 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/m<sup>3</sup>) 和活度 (Bq)

表 6 评价依据

法规文件	<ol style="list-style-type: none"><li>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，2015.01.01 施行；</li><li>2. 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第 24 号公布，2018.12.29 通过修订并实施；</li><li>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；2003.10.01 施行；</li><li>4. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，中华人民共和国主席令第 43 号公布，2020.04.29 修订，2020.09.01 施行；</li><li>5. 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017.10.01 施行；</li><li>6. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令第 16 号，2021.01.01 施行；</li><li>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，2005 年 12 月 1 日施行；国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日第二次修改；</li><li>8. 《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，2017.12.5 施行；</li><li>9. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，环境保护总局令第 31 号，2006.03.01 实施，2021.01.04 第四次通过修订并实施；</li><li>10. 《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，2011.05.01 施行；</li><li>11. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环保总局环发〔2006〕145 号，2006.09.26 施行；</li><li>12. 《关于发布〈放射性废物〉分类的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018.01.01 施行；</li><li>13. 《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告第 37 号，2014.05.01 施行；</li><li>14. 《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人大常委会第七次会议，2018 年 11 月 30 日修订，2019.01.01 施行。</li></ol>
------	---

<p>技术标准</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>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》（HJ 10.1-2016）；</li> <li>2. 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</li> <li>3. 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</li> <li>4. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</li> <li>5. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</li> <li>6. 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</li> <li>7. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</li> <li>8. 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）；</li> <li>9. 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）。</li> </ol>
<p>其他</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 瑞迪欧康（青岛）科技有限公司生产、销售、使用医用电子直线加速器应用项目环境影响评价委托书；</li> <li>2. 瑞迪欧康（青岛）科技有限公司提供的防护设计方案及其他资料；</li> <li>3. 《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》（山东省环境监测中心站，1989年）；</li> <li>4. 《辐射防护手册 第三分册 辐射安全》（李德平，潘自强，原子能出版社）。</li> </ol>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 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》（HJ 10.1-2016）规定要求：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50 m 的范围”。

本项目为加速器调试机房内生产、使用II类射线装置，评价范围为加速器调试机房周围 50 m 的区域，评价范围见附图 6。

### 7.2 保护目标

本项目保护目标为评价范围内活动的职业人员和公众成员。其中，职业人员指利用本项目医用电子直线加速器开展调试工作的辐射工作人员，公众成员为厂区内其他工作人员以及保护目标处的成员。本项目主要保护目标情况见表 7-1。

表7-1 本项目主要保护目标情况

保护目标		评价范围内人数	方位、距离	特征	建筑功能
职业人员	辐射工作人员	2 人	拟建医用电子直线加速器调试机房南侧相邻的控制室内	--	--
公众成员	16 号楼 101 户	约 15 人	东侧约 4m	3 层建筑，高度约 20m	待入住生产区、办公区
	15 号楼	约 30 人	东侧约 44 m	3 层建筑，高度约 20m	待入住办公区、仓库
	14 号楼	约 30 人	南侧约 33 m	3 层建筑，高度约 20m	待入住办公区、仓库
	17 号楼	约 30 人	西侧约 28 m	3 层建筑，高度约 20m	待入住办公区、仓库
	23 号楼	约 30 人	北侧约 33 m	3 层建筑，高度约 20m	办公区、仓库
	22 号楼	约 30 人	西北侧约 47 m	3 层建筑，高度约 20m	待入住办公区、仓库
	13 号楼	约 30 人	西南侧约 47m	3 层建筑，高度约 20m	待入住办公区、仓库
	16 号楼 102 户	约 10 人	拟建医用电子直线加速器调试机房所在建筑	3 层建筑，高度约 20m	生产区、办公区、实验区
	机房周围其他偶然经过人员	--	拟建医用电子直线加速器调试机房周围 50m 以内	--	--

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

根据GB18871-2002 附录B规定：

#### （1）职业照射

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

b) 任何一年中的有效剂量，50 mSv；

#### （2）公众照射

公众照射剂量限值

a) 年有效剂量，1 mSv；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1 mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5 mSv。

### 7.3.2 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）

根据GBZ128-2019，第 6.1.1 条规定，按照GB18871-2002 的规定，对职业照射年有效剂量评价；第 6.1.2 条规定，当放射工作人员受照剂量大于调查水平时，除记录个人监测的剂量结果外，还应做进一步调查，建议的年调查水平为有效剂量 5.0 mSv/a，单周期的调查水平为 5.0mSv/年监测周期数。

### 7.3.3 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

根据HJ1198-2021，要求内容为：

4.8 款 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB18871-2002 中剂量限值相关规定。

4.9 款 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5 mSv/a。

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

#### 5.1 款 选址与布局

5.1.1 款 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 款 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

## 5.2 款 分区原则

5.2.1 款 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流疏运通道和治疗室，直线加速器机房，含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 款 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全措施，但需经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻控制室及与机房相邻区域等）。

## 6.1 款 屏蔽要求

6.1.2 款 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

### 6.1.4 款 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室室顶外表面 30 cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平  $\dot{H}_c$  求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,\max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ;

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ;

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量  $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面  $30 \text{ cm}$ 处的剂量率参考控制水平可按  $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

综合考虑以上标准，本次评价以**5.0 mSv**作为职业人员的年管理剂量约束值，以**0.1 mSv**作为公众成员的年管理剂量约束值；以 **$2.5 \mu\text{Sv/h}$** 作为加速器调试机房各屏蔽墙体外**30 cm**处的剂量率目标控制值。

#### 7.3.4 环境天然辐射水平

根据山东省环境监测中心站对山东省环境天然放射性水平的调查，青岛市环境天然 $\gamma$ 空气吸收剂量率见表7-2。

表7-2 青岛市环境天然 $\gamma$ 空气吸收剂量率 ( $\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ )

监测内容	范围	平均值	标准差
原野	4.24~13.00	6.62	1.45
道路	1.15~12.40	6.90	2.38
室内	3.12~16.16	11.09	2.33

注：表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989年。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理及场所位置

本项目位于山东省青岛市高新区汇智桥路 20 号 1 期 16 号楼 102 户，拟建加速器调试机房位于建设单位生产车间一层南侧。建设单位所在园区平面布置示意图见附图 6，建设单位生产车间一层平面布置图见附图 7，拟建加速器调试机房平面布置图见附图 8，拟建加速器调试机房剖面布置图见附图 9、附图 10。

本项目工作场所周围环境详见表 8-1，现场勘查时现状照片见图 8-1。

表8-1 本项目周围环境一览表

工作场所	方向	周围场所名称（0~50 m）
拟建加速器调试机房	东侧	走廊、楼梯间、16 号楼 101 户、室外道路、15 号楼等
	南侧	控制室、辅助机房、室外道路、14 号楼等
	西侧	西侧为走廊、实验室 1、实验室 2、配电间、卫生间、室外道路、17 号楼
	西南侧	13 号楼
	西北侧	22 号楼
	北侧	走廊、室外道路、23 号楼
	楼上	实验室
	楼下	无建筑





拟建加速器调试机房东侧 15 号楼



拟建加速器调试机房东侧 16 号楼 101 户



拟建加速器调试机房所在 16 号楼



拟建加速器调试机房北侧 23 号楼



拟建加速器调试机房西侧 17 号楼



拟建加速器调试机房南侧 14 号楼



图 8-1 现场勘查现状照片（拍摄于 2026 年 1 月 6 日）

## 8.2 环境质量和辐射现状

本次对拟建医用电子直线加速器工作场所周围环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率进行现状检测，检测方案如下：

### 8.2.1 环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率现状检测

#### (1) 检测方案

### 1) 检测因子

环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率。

### 2) 检测点位

在项目拟建区域及周围主要环境保护目标处布设 17 个检测点位。检测布点示意图见图 8-2。

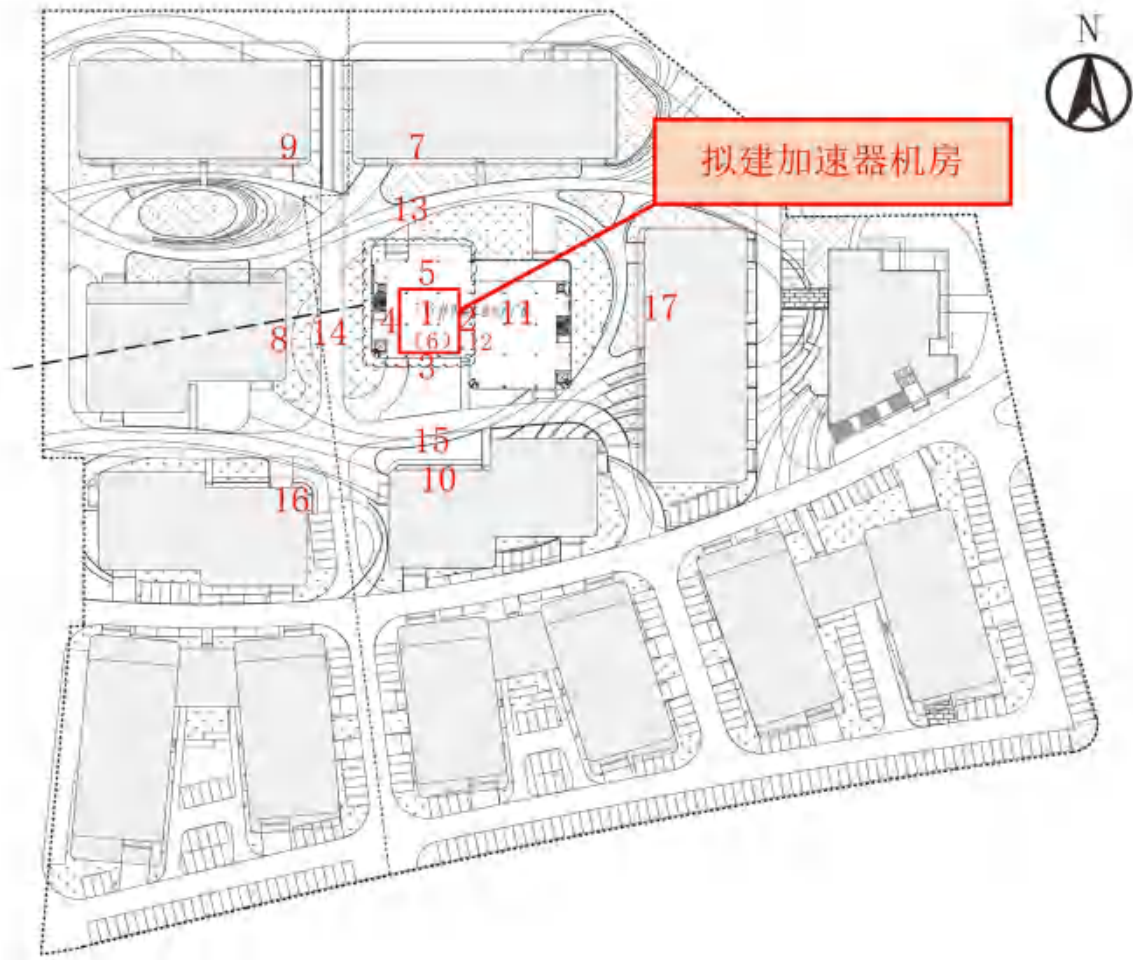


图 8-2 检测布点示意图

### 3) 质量保证措施

#### ① 检测单位

本次评价由我公司[中威检测（山东）有限公司]开展检测。公司已取得 CMA 资质及生态环境监测机构资质认定。

#### ② 检测仪器

本次检测所用到的检测设备信息详见表 8-2。

表 8-2 检测设备信息详情

仪器名称	便携式 X- $\gamma$ 剂量率仪
仪器型号	BH3103B (JC01-02-2010)
生产厂家	中核 (北京) 核仪器厂
测量范围	(1 ~ 10000) $\times 10^{-8}$ Gy/h
测量精度	0.1 $\times 10^{-8}$ Gy/h
能量响应	25keV ~ 3MeV, 极限偏差 $\pm 15\%$ ; 对宇宙射线的能量响应: 极限偏差 $\pm 15\%$ (以 RSS-111 高压电离室 为标准);
固有误差	剂量率指示的固有误差: $\pm 10\%$ ; 角响应: 对 $^{137}\text{Cs}$ , $0^\circ \sim 120^\circ$ , 极限偏差 $\pm 15\%$ 。
检定/校准有效期	2025 年 8 月 21 日 ~ 2026 年 8 月 20 日
检定/校准证书编号	250003010003013
检定单位	中检计量有限公司
使用日期	2026 年 1 月 6 日

#### 4) 检测人员

本次由两名检测人员共同进行现场检测, 均具备环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率的检测能力。

#### 5) 检测方法

依据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)和《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)的要求和方法进行现场测量。将仪器接通电源预热 15 min 以上, 仪器探头离地 1 m, 设置好测量程序, 仪器自动读取 10 个数据, 计算均值和标准偏差。

#### 6) 检测时间与条件

2026 年 1 月 6 日, 天气: 晴, 气温: (3.0~5.0)  $^\circ\text{C}$ , 相对湿度: (47~51) %。

周围 50 m 范围内无其他核技术利用工作场所。

#### (2) 检测结果

环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率现状检测结果见表 8-3。

表8-3 环境γ辐射空气吸收剂量率现状检测结果

点位号	点位描述	γ空气吸收剂量率 (×10 <sup>-8</sup> Gy/h)	
		平均值	标准差
1	拟建区域中间位置	11.67	1.03
2	拟建区域东侧位置	9.48	0.83
3	拟建区域南侧位置	11.98	0.60
4	拟建区域西侧位置	11.51	0.91
5	拟建区域北侧位置	11.82	0.71
6	拟建区域楼上	10.42	0.83
7	拟建区域北侧 23 号楼	11.41	0.94
8	拟建区域西侧 17 号楼	10.26	0.54
9	拟建区域西北侧 22 号楼	11.41	0.81
10	拟建区域南侧 14 号楼	10.47	1.00
11	拟建区域东侧 16 号楼 101	10.89	0.66
12	拟建区域所在 16 号楼	11.62	0.97
13	拟建区域北侧室外道路	5.58	0.67
14	拟建区域西侧室外道路	7.86	0.82
15	拟建区域南侧室外道路	7.76	0.79
16	拟建区域西南侧 13 号楼	11.56	0.76
17	拟建区域东侧 15 号楼	11.51	0.91

注：1.上表中γ空气吸收剂量率检测结果均已扣除宇宙射线响应值，宇宙射线响应值为 1.75×10<sup>-8</sup> Gy/h；2.上表中计算结果已考虑建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。“1~12、16、17”号点位取 0.8，“13~15”号点位取 1。

### (3) 环境现状调查结果评价

由表 8-3 可知，本项目辐射工作场所拟建区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率室内最大为 11.98×10<sup>-8</sup> Gy/h，处于青岛市室内环境天然辐射水平范围内[室内（3.12~16.16）×10<sup>-8</sup> Gy/h]；本项目辐射工作场所拟建区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率道路最大值为 7.86×10<sup>-8</sup> Gy/h，处于青岛市道路环境天然辐射水平范围内[道路（1.15~12.40）×10<sup>-8</sup> Gy/h]。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 施工期

#### 9.1.1 施工期工艺

本项目加速器调试机房施工期包括主体施工、防护工程、内部装修、设备安装等。本项目拟建加速器工作场所施工期施工人员约 4 人，拟建加速器工作场所施工期较短、规模较小，施工期的环境影响主要为施工废气、施工废水、施工噪声、施工固废。

施工期工艺流程及产污环节示意图见图 9-1。

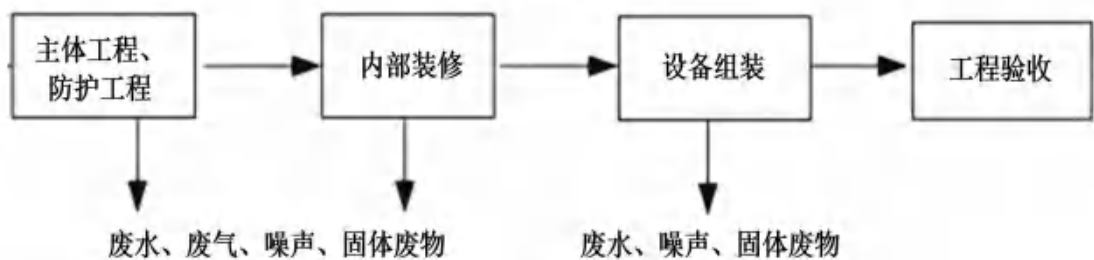


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节示意图

#### 9.1.2 施工期污染因素

##### (1) 噪声

施工期的噪声污染特点是随着施工阶段的不同，噪声源将发生明显的变化，噪声影响程度也有所不同。

施工噪声主要来自施工作业。施工作业噪声主要指一些零星的敲打声、装卸建材的撞击声、拆装模板的撞击声等，多为瞬间噪声。

本项目为防护施工及内部装修工程，主要考虑防护施工、装修工程阶段的噪声污染。根据《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ 2034-2013）中表 A.2 常见施工设备噪声源不同距离声压级，施工期主要施工机械设备的噪声源强见表 9-1，当多台机械设备同时作业时，产生噪声叠加，根据类比调查，叠加后的噪声增加（3~8）dB（A），一般不会超过 10 dB（A）。

表 9-1 施工期噪声声源强度表

施工阶段	施工设备	距声源 10 m 声源强度 dB（A）
整体项目施工	云石机、角磨机	84~90
	空压机	83~88

施工期噪声具有阶段性、临时性和不固定性，将对项目周边环境产生一定的不利影响，本项目施工过程在建筑内部施工，施工噪声对周边的环境影响较小。随着施工期的结

束，施工噪声影响也将结束。

### (2) 施工废气

施工期间对大气环境的影响主要表现为施工扬尘和装修过程中的有机气体污染。扬尘主要来源于：施工物料的堆放、装卸过程中产生的扬尘；建筑物料的运输造成的道路扬尘；清除固废和清理工作面引起的扬尘。有机废气污染主要来源于装修期的涂料废气，室内装修时采用环保水性涂料，不会对大气环境产生明显影响。施工期的废气污染影响是暂时性的，随着施工作业结束，影响将随之消失。

### (3) 施工废水

施工期废水主要为施工人员的生活污水。施工人员生活污水的主要污染物指标为COD、BOD<sub>5</sub>、SS和NH<sub>3</sub>-N。生活污水依托园区污水管网进入污水处理站处理，处理达到接管标准后接入市政污水管网，进入城市污水处理厂，因此施工人员的生活污水对地表水环境影响较小。

### (4) 固体废弃物

项目施工期固废主要有建筑施工和装修过程中产生的建筑垃圾、施工人员的生活垃圾。本项目在建设过程中产生的建筑垃圾主要有建材损耗产生的垃圾、装修产生的建筑垃圾等，可以重复使用的尽量回收利用，弃用建筑垃圾向市容环境卫生主管部门申请，运至指定地点作无害化处置。施工期生活垃圾集中收集后，委托环卫部门进行安全处置。

## 9.2 运行期

### 9.2.1 医用电子直线加速器简介

#### (1) 用途

医用电子直线加速器作为体外照射的一种医疗设备，利用其特定装置产生的高能电子、X射线，应用计算机通过立体定位系统进行图像三维重建和剂量分步重建，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁，同时肿瘤周围正常结构得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤疾病的目的。

#### (2) 医用电子直线加速器主要参数

根据建设单位提供的资料，本项目医用电子直线加速器主要参数详见表9-2。

表9-2 本项目医用电子直线加速器主要参数

型号	待定
厂家	/
加速粒子	电子
电子能量	最大 15 MeV
X 射线能量	6MV、10MV
最大方形照射野	40cm×40cm
X 射线最大输出剂量率	≤1400cGy/min
是否有 FFF 模式	无 FFF 模式
源轴距	100cm
等中心高度	1245mm
X 射线泄漏率	≤0.1%
射束最大出射角	±14°
靶材料	钨合金
恒温水机组水箱用水要求	蒸馏水
治疗头转动范围	-180°~180°
CBC T 模式	管电压：≤140kV； 管电流：≤630mA。

### (3) 设备组成

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2 cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 射线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

医用电子直线加速器内部结构见图 9-2，典型医用电子直线加速器见图 9-3。

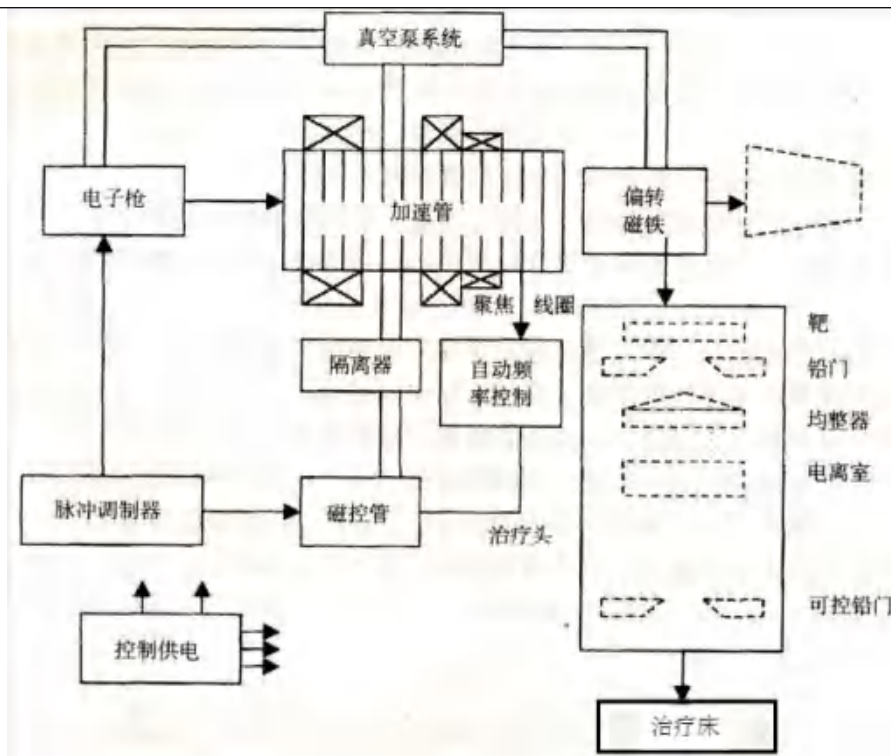


图 9-2 医用电子直线加速器内部结构图

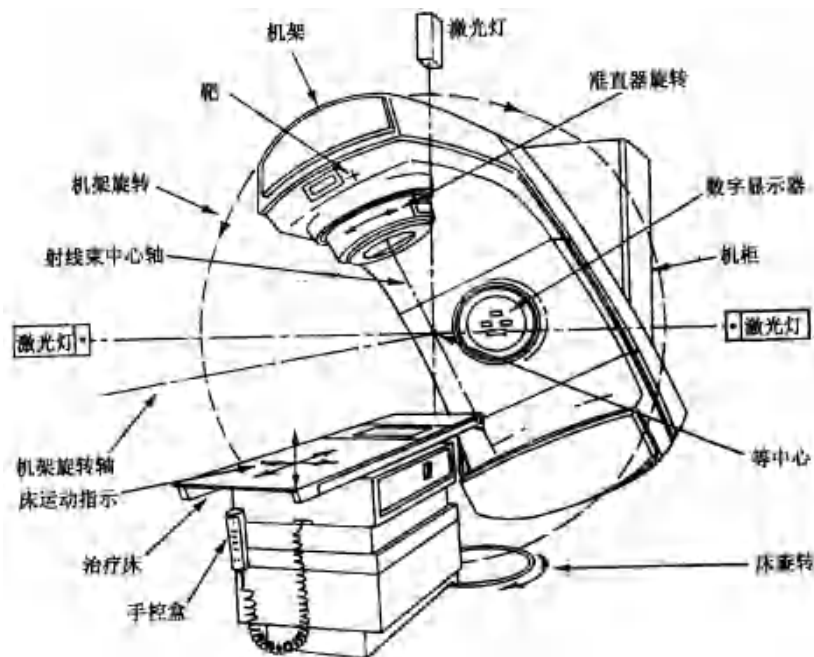


图 9-3 典型医用电子直线加速器示意图

#### (4) 工作原理

医用电子直线加速器：医用电子直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。利用高能电子束与靶物质相互作用时的韧致辐射产生 X 射线束。作为一种体外照射的治疗设备，医用电子直线加速器利用其特定装置产生的高能电子束或 X 射线，应用计算机立体定位系统进行图像三剂量分步重建，对人体有恶性肿瘤的部位进行

照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。可根据癌症类型及其在身体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗，同时肿瘤周围正常结构得到最大限度保护，达到治疗肿瘤疾病目的。

CBCT：X 射线发生器以较低的射线量围绕投照体做环形摄影（数字式投照），再将围绕投照体多次（180 次~360 次，依产品不同而异）数字投照后“交集”中所获得的数据在计算机中“重组”后进而获得三维图像。获取数据的投照原理和传统扇形扫描 CT 是完全不同的，而后期图像后处理的算法原理有类似之处。

#### （5）CBCT 图像配准原理

在基于 CBCT 图像的标准 IGRT 技术中，使用 CBCT 图像与治疗计划中的参考 CT 图像进行配准实现患者的摆位校正。CBCT 三维重建是利用 kV 级 X 射线发生器对物质进行周向扫描，并使用平板探测器获取一系列能够反映物质衰减信息的投影数据，最后基于该数据计算物质衰减分布的过程。锥束 CT 三维重建主要包括标准的解析算法和迭代算法。在解析算法中，近似算法由于数学上简单，实现起来容易，且当锥角比较小时，能够取得较好的重建效果，所以在实际中有着广泛的应用。迭代重建算法能够通过迭代优化目标来重建图像，以减少图像噪声，同时保持空间分辨率和图像对比度，同时，在 CBCT 重建过程中，会由于各种原因产生不同程度的伪影，伪影的存在会降低图像的质量，可能影响患者的 CBCT 图像与计划 CT 图像配准的精度，也有可能对医生的判断造成干扰，因此对伪影的去除技术是非常重要的，本项目设备针对可能存在的伪影情况设计去环形伪影、去金属伪影以及去骨硬化伪影方法。

### 9.2.2 工作流程

#### 9.2.2.1 生产、使用（调试）流程及产污分析

##### （1）机械安装

①底座安装；②机架安装；③治疗床安装；④微波、电控箱及电路连线；⑤恒温水系统：加速管、磁控管和波导系统回路冷水安装。

##### （2）电路调试

1) 低压通电测试：对机器进行通电，检测机器低压系统状况。

2) 联锁控制系统检测：对机器各项联锁控制系统进行调试和检测。

3) 运动控制电路及位置信号调试：对机器各项运动控制系统进行调试，运动性能检测，位置信号调试和校准。

4) 高压调制器调试：高压调制器系统的调试，保证机器的高压指标、电流波形正常，设备和人员安全联锁保护正常。

5) 微波传输调试和剂量系统调试：调试微波系统，自动稳频系统，电离室电源和剂量系统，调试检测磁控管和加速管电路。

### (3) 机器性能和辐射安全防护检测

1) 机器等中心调试和胶片验证。

2) 剂量的均整度、对称性、线性、重复性等物理指标测试。

3) 光射野重合性调试验证、十字线校准、光野灯和测距灯调整。

4) 机器辐射泄漏的安全防护测试。

5) CBCT 高对比度分辨力、低对比度分辨力、图像均匀性、测距误差。

### (4) 电器安全指标测试

1) 高压耐压测试

2) 漏电流测试

3) 接地电阻检测

由加速器的工作原理可知，加速的电子束、X 射线是随机器的高压电源开、关而产生和消失，10MV 及以下的 X 射线不考虑中子，因此可以忽略感生放射性。因此正常工况下在加速器各部件的生产、加速管的组装等工艺流程中都不可能产生放射性物质，只有在加速器各部件组装完成通电后，在微波系统和剂量系统调试过程、机器性能和辐射防护检测时，加速器正常运行时才会产生高能电子束，成为辐射源。

在微波系统和剂量系统调试过程、机器性能和辐射防护检测时，公司应注意对工作人员的辐射防护工作，调试过程需保证至少两人参与，工作人员必须佩戴剂量计、剂量报警仪，当加速器射线出束时，确保无人员在机房内停留，所有人员在机房外隔室操作，防护门处于联锁和关闭状态。

## 9.2.2.2 销售环节

### (1) 销售场所

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司医用加速器各部件加工完成后，需要在拟建医用电子直线加速器调试机房内组装，进行调试以确认各部件运行功能正常后销售给医疗机构。在

医疗机构的使用场所组装医用加速器完成后，使用方需要对产品进行验收，因此瑞迪欧康（青岛）科技有限公司将在使用场所再一次进行加速器的试运行或调试。产品验收完成后，加速器的责任方转为使用方，瑞迪欧康（青岛）科技有限公司对医用加速器的安全责任到此结束。

综上所述由于医用加速器设备只有在加速器各部件组装完成后通电运行时才会产生电子束、X射线，因此，该销售项目产生辐射影响和可能的放射性污染只集中在销售前期的调试和在使用方的安装调试期间，其余的产品部件组装和销售过程均不存在辐射和放射性污染。

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司取得辐射安全许可证后，在满足相关法律法规的场所生产/调试加速器，且只销售给持有辐射安全许可证的单位（使用方），使用方也必须在具有满足辐射防护要求的场所进行调试，因此瑞迪欧康（青岛）科技有限公司销售流程除在本公司调试场所和使用方安装场所外无加速器的开启，不会对相关人员造成外照射影响，销售中无产污流程，无其他固体、气体、液体废物产生。

为了杜绝事故发生，瑞迪欧康（青岛）科技有限公司必须严格按照销售流程进行作业，确保工作人员不在调试室和使用方专用加速器调试机房以外的场所操作、运行加速器，确保安全。

## （2）销售流程

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司与用户达成设备采购意向—提供相关资料给用户，协助用户先办理使用射线装置的辐射安全许可证—确认用户持有使用该类设备的辐射安全许可证—使用方与生产厂家签订购货合同—产品出库，由瑞迪欧康（青岛）科技有限公司负责运输至安装场所—瑞迪欧康（青岛）科技有限公司专业技术人员进行现场组装和调试—使用方试运行、验收后使用—使用方进行售后设备维护。

销售流程可见，在射线装置销售过程中瑞迪欧康（青岛）科技有限公司负责机器试运行或调试，厂家派出专业技术人员到使用现场进行操作，并协助发货运输、场地吊装、安装调试等工作。

### 9.2.3 工作负荷和工作人员

本项目辐射工作人员只负责设备产品在调试机房的安装、调试以及在客户单位的安

装、调试，设备产品的研发和售后维修维护由瑞迪欧康（青岛）科技有限公司负责。本项目直线加速器调试工作场所拟配套相应的调试机房和控制室，控制室与调试机房分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统对直线加速器进行出束调试，其采取的是隔室操作的工作方式。在客户单位进行出束调试时，辐射工作人员位于控制室内，也采取隔室操作的工作方式。

本项目配备 1 组调试人员（2 名工作人员），每组调试人员每年最多安装、调试 200 台加速器，加速器能量不超过 10 MV，在调试机房调试年出束时间不超过 1500 h，在客户单位调试年出束时间不超过 600 h。

本项目拟配备 2 名辐射工作人员，共同负责本项目加速器调试工作。建设单位拟组织辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，经考核合格后方可上岗，以满足本项目要求。

### 9.3 污染源项描述

#### （1）使用（调试）期间

##### 1) X 射线

加速器以 X 射线模式调试时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，运行时产生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。设备内部被加速的电子经设备完全屏蔽，不会对周围产生影响。因此在加速器开机的时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

内置 CBCT 在图像配准过程中也会产生 X 射线，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 630\text{mA}$ ，该射线能量较低，经加速器调试机房各墙体屏蔽后，对周围环境的辐射影响可以忽略。

##### 2) 电子束

本项目加速器按电子束模式调试时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出，产生的电子束初级辐射，贯穿物质时受物质库伦场的影响，贯穿深度有限。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束调试时，电子线对

周围环境辐射影响小于 X 射线。因此，本项目医用电子直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

### 3) 感生放射性

当入射电子加速电压大于 10 MV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，治疗室内的各种设备、器械，治疗室的墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。本评价项目使用的医用电子直线加速器的 X 射线能量最高为 10 MV，可产生少量感生放射性，可对摆位人员产生一定的辐射影响；当加速器靶、准直器等部件更换和退役时，如经检测超出豁免水平，则应委托有资质的部门进行处置。

### 4) 放射性废水

医用电子直线加速器设备中设计有冷却水循环系统，本项目加速器冷却水循环系统使用蒸馏水，直接外购蒸馏水，不自行制备。冷却水循环使用过程中不外排，只需定期补水，不会产生放射性废水。

### 5) 非放射性有害气体

医用电子直线加速器在开机调试时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO，NO<sub>2</sub>）。加速器调试机房设有强制排风系统，排风次数大于 4 次/h，可明显降低其浓度，满足 HJ 1198-2021 的要求。

综上所述，生产、使用（调试）期间医用电子直线加速器的主要污染因素是 X 射线、固体废物及非放射性有害气体。其中 X 射线为评价重点。

## （2）销售期间

在正常的销售过程中，射线装置均处于关机断电状态，不形成污染源不对环境和人员造成外照射影响。瑞迪欧康（青岛）科技有限公司销售期间应注意在销售场所开机演示期间和在客户安装调试场所的辐射安全。

销售项目涉及加速器试运行和安装调试，因此也需考虑高能 X 射线，电子束的穿透能力很弱，不考虑电子的防护问题，还应注意臭氧、氮氧化物。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全措施

#### 10.1.1 机房布局

本项目拟建医用电子直线加速器工作场所包括加速器调试机房、控制室、辅助机房等，其中控制室与加速器调试机房分开设置，位于加速器调试机房南侧，加速器主射束方向为向东、向西、向上及向下照射，控制室位于南墙次屏蔽区，避开了有用线束的照射，机房设计有直型迷路，满足HJ 1198-2021中关于布局的要求。

#### 10.1.2 项目分区

建设单位拟对医用电子直线加速器工作场所进行分区管理，将加速器调试机房四周墙壁围成的区域（含迷路）划为控制区，与加速器调试机房墙壁外部相邻区域的南侧控制室、辅助机房、东侧走廊、西侧走廊、北侧走廊划为监督区，并在控制区边界张贴电离辐射警告标志，满足HJ 1198-2021第5.2款中关于分区管理的要求。加速器调试机房剖面见图10-1，加速器调试机房平面布置见图10-2。

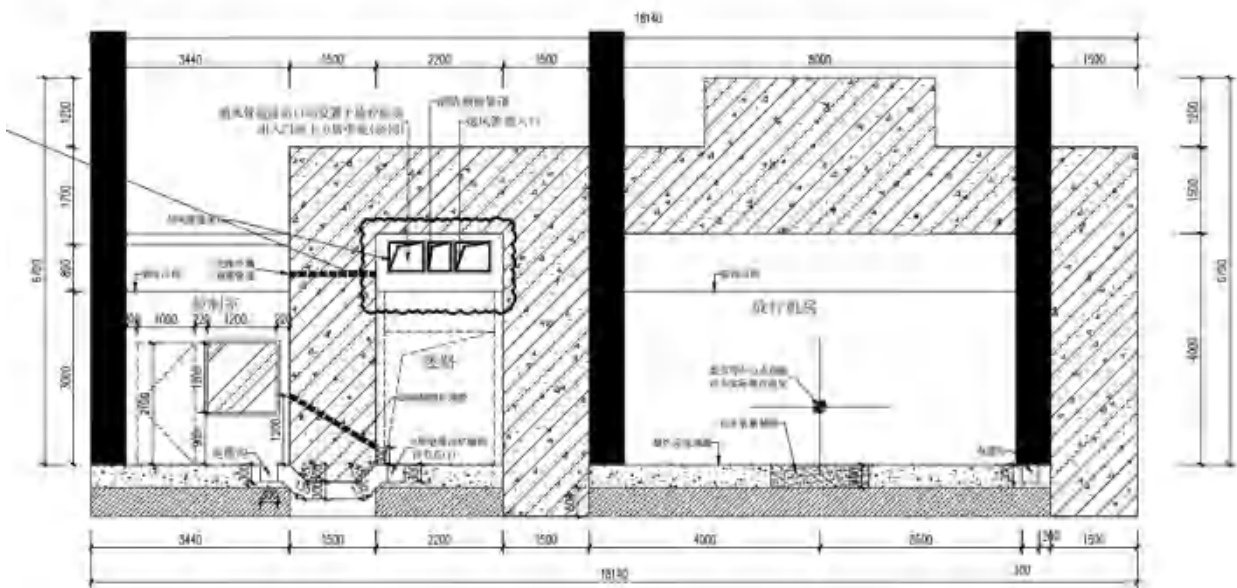


图10-1 医用电子直线加速器调试机房剖面图



表10-1 本项目医用电子直线加速器调试机房屏蔽设计

项目	屏蔽设计及尺寸等参数
加速器调试机房尺寸	南北长 8.0 m（北墙与南墙之间距离），东西宽 7.0 m（西墙主屏蔽和东墙主屏蔽之间距离），高 4.0 m，净面积：89.13 m <sup>2</sup> （含迷路），净容积：约 356.52 m <sup>3</sup> （含迷路）
东墙主屏蔽	厚度为 2700 mm 混凝土，宽度为 4000 mm
东墙次屏蔽	厚度为 1500 mm 混凝土
南墙	迷路内墙：厚度为 1500 mm 混凝土；迷路外墙：厚度为 1500 mm 混凝土
西墙主屏蔽	厚度为 2700 mm 混凝土，宽度为 4000 mm
西墙次屏蔽	厚度为 1500 mm 混凝土
北墙	厚度为 1500 mm 混凝土
室顶主屏蔽	厚度为 2700 mm 混凝土，宽度为 4000 mm
室顶次屏蔽	厚度为 1500 mm 混凝土
防护门	电动推拉门，铅钢复合材质，采用 12 mmPb+10 cm 含硼聚乙烯（5%硼），尺寸为 1.9 m×2.3 m（宽×高），搭接宽度与缝隙比例按照不低于 10:1 设计。
注：1.面积与容积已扣除主屏蔽内凸墙体所占部分，容积扣除了迷路内墙所占部分； 2.采用混凝土，密度不低于 2.35 g/cm <sup>3</sup> 。	

#### 10.1.4 空间、通风设计

加速器调试机房南北长8.0 m（南墙与北墙之间距离）、东西宽7.0 m（西墙主屏蔽和东墙主屏蔽之间距离），高4.0 m（地面与室顶之间距离），净面积89.13 m<sup>2</sup>，有足够的有效使用空间。

加速器调试机房设计有强制排风系统，加速器调试机房设计有2个进风口和2个排风口，进风口位于加速器调试机房室顶东侧，进风口尺寸为420 mm×420 cm，排风口位于加速器调试机房西墙下侧，距地面约20 cm，排风口尺寸为500 mm×200 mm；废气经排风管道向上延伸至吊顶后敷设至防护门上方“Z”形穿墙引出，最终引至加速器调试机房所在建筑室顶排放。满足“上进下出，对角布置”的原则，可保持室内空气充分交换。

进风管道和排风管道均在加速器调试机房吊顶上方布置，由防护门上方“Z”形穿墙，废气通过排风管道向上延伸至所在建筑物屋顶排放。加速器调试机房设计有效通风量不低于1600 m<sup>3</sup>/h，加速器调试机房净容积为356.52 m<sup>3</sup>，设计换气次数4.5次/h，大于4次/h。

排风口末端位于加速器调试机房所在建筑物室顶，避开了门窗，且此处一般无人员停

留。通风设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）关于通排风的要求。通风管道平面布置图见附图11。

### 10.1.5 安全防护设施和措施

安全防护设施和措施与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）相关要求的符合性分析如下：

表 10-2 安全防护设施设计与标准要求符合性分析

序号	标准要求	本项目设计	是否符合要求
1	HJ1198-2021 中 6.2.1：放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等； a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志； b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	拟在加速器调试机房入口处，即防护门外张贴电离辐射警告标志和中文警示说明；加速器调试机房防护门外拟设置工作状态指示灯；控制室拟设视频显示装置，能观察到加速器调试机房内部状态，加速器调试机房和迷路区域拟设视频监控装置，拟设置双向交流对讲系统。	是
2	HJ1198-2021 中 6.2.2：医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	加速器调试机房迷路的外口处拟设固定式辐射剂量监测仪，并有异常情况下报警功能，其显示单元设在控制室内。	是
3	HJ1198-2021 中 6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	电缆管线口位于南墙东侧，采用地下“U”形穿墙；进风管道和排风管道 Z 型穿墙体，通风管道穿墙处拟采取铅板屏蔽以进行屏蔽补偿，穿线口不减小墙体屏蔽效果；尽量减小门缝，防护门四周与墙体的搭接宽度与门缝比设计不小于 10: 1。	是
4	HJ1198-2021 中 8.4.1：放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。	加速器调试机房设有强制排风系统，排风量约为 1600 m <sup>3</sup> ，设计换气次数 4.5 次/h，大于 4 次/h，排风口末端位于加速器调试机房所在建筑楼顶，避开了门窗，且不属于人员密集区。	是
5	HJ1198-2021 中 6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施； a) 放射治疗室应设置门机连锁装置，防护门	加速器调试机房拟设置门机连锁装置，防护门与加速器连锁，防护门未关闭或未完全关闭时不能出束照射，出	是

	<p>未完全关闭时不能出束出源照射，出束状态下开门停止出束的安全位置。</p> <p>b) 放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示，能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；</p> <p>f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p> <p>HJ1198-2021 中 4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全联锁系统的物项应满足以下要求：</p> <p>a) 应满足冗余性要求，采用的物项应为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，保证运行过程中某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能；</p> <p>b) 应满足多元性要求，包括系统多元性和多重剂量监测，采用不同的运行原理、不同的物理变量和不同的运行工况、不同的元器件等；</p> <p>c) 应满足独立性要求，当某安全部件发生故障时，不会造成其他安全部件的功能出现故障或失去作用；</p> <p>d) 应满足失效安全的要求，当某一安全物项或部件出现故障时，应确保放射治疗装置重新回到安全状态。</p>	<p>束状态下开门，则停止出束；</p> <p>加速器调试机房迷路内拟设置紧急开门装置；</p> <p>加速器调试机房防护门拟设置红外线防夹装置；</p> <p>拟在控制室内、迷路外口、迷路内口、加速器调试机房四周墙体各设置 1 处紧急停机按钮，并设置醒目标识及文字显示，人员从各个方向均能观察到且便于触发；</p> <p>安全联锁系统一旦被触发，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路需经过建设单位辐射安全管理机构的批准与见证，相关工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试；设计有多项联锁，具备冗余性；各安全联锁独立运行，某一联锁失效，不影响其他联锁运行。</p>		
6	<p>HJ1198-2021 中 7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。</p>	<p>本项目拟配备 2 名辐射工作人员，拟做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室有工作人员值守。</p>	符合	

综上所述，加速器调试机房设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中4.5、6.1.3、6.2.1、6.2.2、6.2.3、7.2、8.4.1等要求。

加速器调试机房主要安全设施布置见附图8。

#### 10.1.6 其他安全防护措施

(1) 本项目配备2名辐射工作人员，拟为每位辐射工作人员配置个人剂量计，并每三个月检测一次。后续增加人员也纳入辐射工作人员统一管理。拟配置2部个人剂量报警仪、1台便携式环境X-γ剂量率仪。以上措施满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第（五）条相关要求“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”。

(2) 操作人员应严格遵守操作规程，对安全联锁系统定期进行试验自查，并保存自查记录，以保证安全联锁系统有效运行。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中7.1款要求。

(3) 加速器工作期间，至少2名工作人员协同操作，并做好当班记录，严格执行交接班制度。调试期间，密切关注控制台仪器状况，发现异常及时处理，操作人员不得擅自离开岗位。加速器试用、调试期间，控制室至少设置1名工作人员值守。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中7.2款要求。

(4) 未经许可人员不得进入控制区（加速器调试机房内）。工作人员在确认停止出束后，方可进入加速器调试机房。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中7.3款要求。

## 10.2 三废的治理

### (1) 废加速器靶、准直器等

当加速器靶、准直器等部件更换或退役时，如经检测超出豁免水平，则应委托有资质的部门进行处置。

### (2) 冷却水

本项目加速器X射线最大能量为10 MV，能量较低，冷却水可不考虑因感生放射性导致的活化，不会产生放射性废水。循环冷却水使用过程中不外排，只需定期补水。

### (3) 非放射性有害气体

加速器在调试运行时，X射线与空气作用可产生少量臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO，NO<sub>2</sub>）。加速器调试机房设计有强制排风系统，通风次数大于4次/h，可明显降低废气浓度。同时也满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于通排风的要求。加速器调试机房内产生的废气通过强制排风系统排至加速器调试机房所在建筑楼顶，避开了门窗，且不属于人员密集区。

表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目拟建加速器调试机房尚未施工建设。

本项目施工期主要包括基础施工、辐射防护工程建设、内部装修和设备安装等，主要产生噪声、废气、施工废水、生活污水及固体废物。施工期通过设置防尘罩等各项防尘抑尘措施控制扬尘污染；选用低噪声设备并合理控制施工时间以减少噪声污染；生活污水排入园区的污水处理站进一步处理后接入市政污水管网；施工废水上清水重复利用，淤泥集中堆放后期用作其他用途；并尽量回收尚可利用的建筑材料，生活垃圾和无利用价值的建筑垃圾由环卫部门清运，以减少固体废物对周围环境的影响。通过以上诸多措施，施工期对周围环境影响较小。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

#### 11.2.1 加速器调试机房外辐射水平估算与评价

本次评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中推荐公式，采取理论计算的方式分析加速器X射线对周围环境的影响。

按照加速器 X 射线最大能量 10 MV，X 射线最大输出剂量率为 1400 cGy/min（ $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ）进行评价；最大照射野为 40 cm×40 cm；X 射线泄漏辐射率 $\leq 0.1\%$ 。根据 GBZ/T 201.2-2011 表 B.1，10 MV 的 X 射线有用束在混凝土中 TVL<sub>1</sub>=41 cm，TVL=37 cm；泄漏辐射 TVL<sub>1</sub>=35 cm，TVL=31 cm；根据 GBZ/T 201.2-2011 表 B.4，患者散射辐射（患者散射角接近 30°，以 30°考虑）在混凝土中 TVL=28 cm。根据《辐射源室屏蔽设计与评价》（北京市放射卫生防护所，王时进，2002 年）P36，10 MV X 射线在铅中 TVL=46.2 mm，漏射线在铅中 TVL=0.5 cm。等中心距地面 1.245 m，距室顶 2.755 m，距南墙（迷路内墙）4.0 m，距北墙 4.0 m，距东墙 3.5 m，距西墙 3.5 m。加速器调试机房屏蔽见表 10-1。

在加速器调试机房周围设置参考点，见图 11-1。

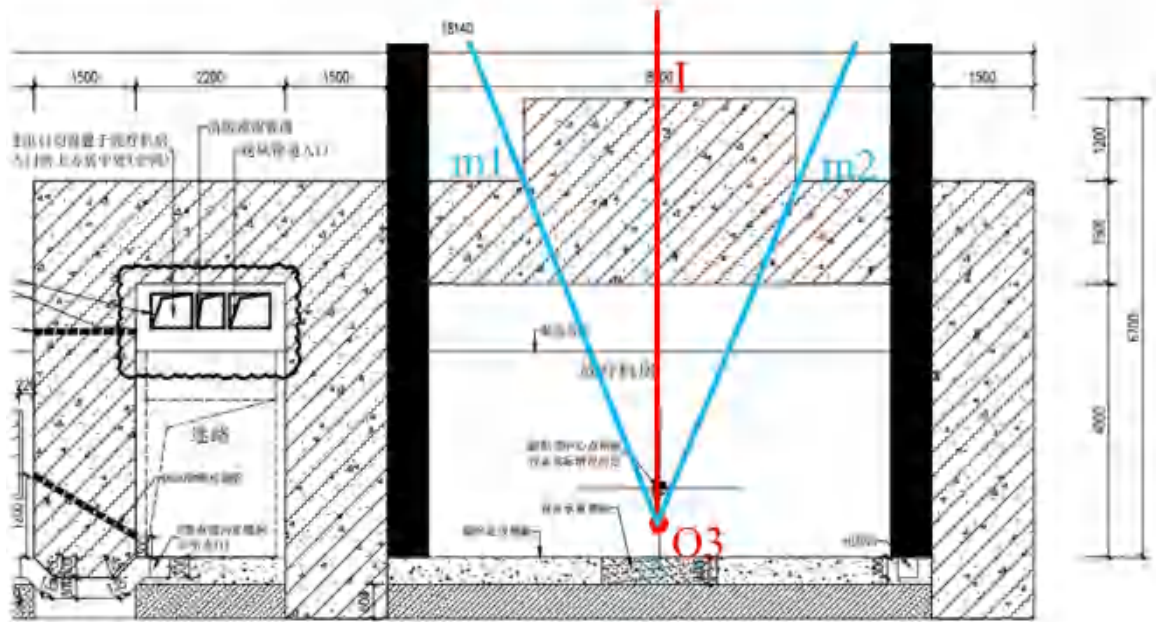


图 11-1 (a) 参考点与辐射路径示意图

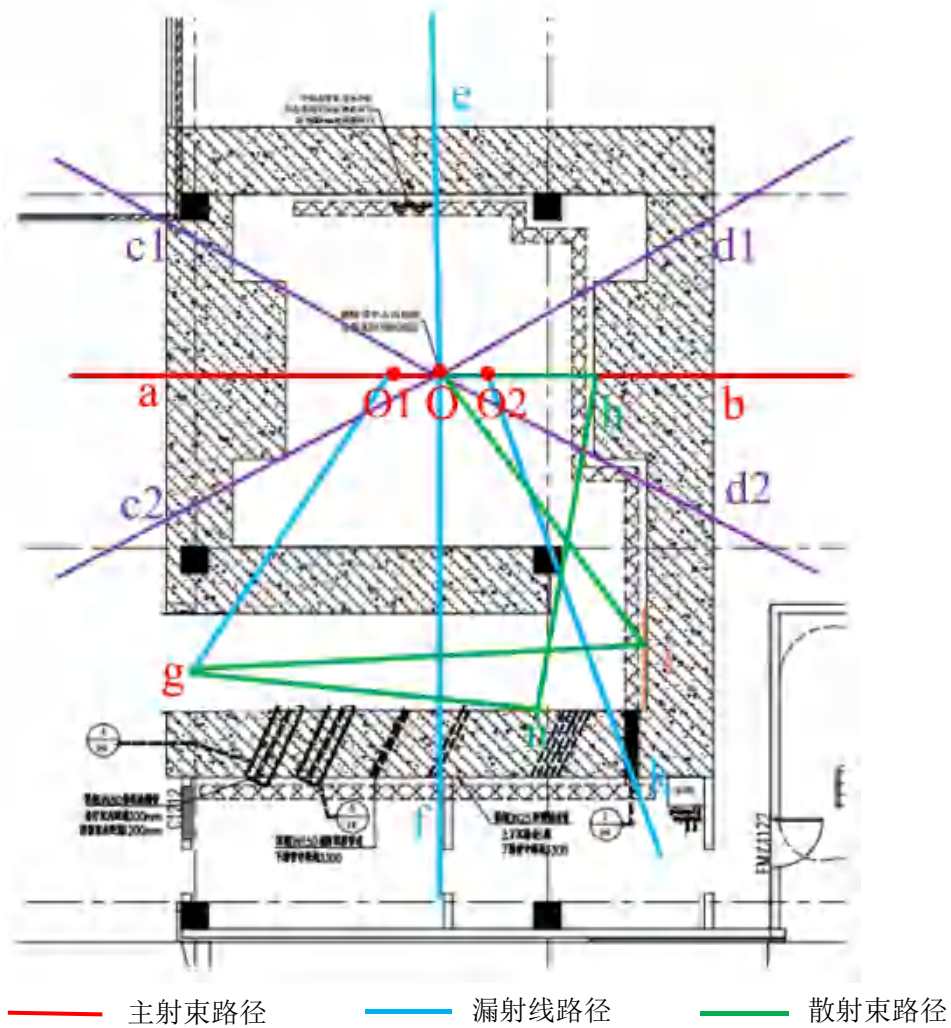


图 11-2 (b) 参考点与辐射路径示意图

(1) 有用束或漏射线

有效屏蔽厚度:

$$X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots \text{(式 11-1)}$$

式中:

- X<sub>e</sub>: 有效屏蔽厚度, cm
- X: 屏蔽厚度, cm
- θ: 斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角

屏蔽透射因子:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots \text{(式 11-2)}$$

式中:

- B: 屏蔽物质的屏蔽透射因子
- X<sub>e</sub>: 有效屏蔽厚度, cm
- TVL: 辐射在屏蔽物质中的平均什值层厚, cm
- TVL<sub>1</sub>: 辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, cm

主射线和漏射线剂量率:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots \text{(式 11-3)}$$

式中:

- $\dot{H}$ : 关注点剂量率, μSv/h;
- $\dot{H}_0$ : 距靶 1m 处的有用线束剂量率, μSv/h;
- R: 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;
- f: 对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 0.1%;

根据(式 11-1) ~ (式 11-3) 进行估算。

表 11-1 关注点剂量率

参考点 (辐射路径)	辐射类型	屏蔽墙	设计厚度 X (cm)	θ (°)	有效屏蔽层厚度 X <sub>e</sub> (cm)	屏蔽透射因子 B	至墙外 30cm 处距离 d (m)	墙外 30cm 处剂量率 (μSv/h)
o2-a	主射	西墙主屏蔽	270	0	270	6.469×10 <sup>-8</sup>	7.5	0.97
o1-b	主射	东墙主屏蔽	270	0	270	6.469×10 <sup>-8</sup>	7.5	0.97
o3-I	主射	室顶主屏蔽	270	0	270	6.469×10 <sup>-8</sup>	5.755	1.64

(2) 漏射和散射

与主屏蔽相连的次屏蔽区考虑: i) 加速器的泄漏辐射, 辐射路径为 o-c1 (c2)、o-d1

(d2)、o-m1 (m2)；ii) 有用线束水平照射时人体的散射辐射，辐射路径 o2-o-c1 (c2)、o1-o-d1 (d2)、o3-o-m1 (m2)。

i) 泄漏辐射

表 11-2 加速器调试机房次屏蔽区墙外泄漏辐射剂量率

参考点 (辐射路径)	辐射类型	屏蔽墙	设计厚度 X (cm)	$\theta$ (°)	有效屏蔽层厚度 (cm)	等中心至墙外 30 cm 处距离 d (m)	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
o-e	漏射	北墙	150	0	150	5.8	0.09
o-f	漏射	南墙	300	0	300	9.5	$2.63 \times 10^{-6}$
c1/c2 (o-c1/c2)	漏射	西墙次屏蔽	150	30	173.2	7.5	0.05
d1/d2 (o-d1/d2)	漏射	东墙次屏蔽	150	30	173.2	7.5	0.05
m1/m2 (o-m1/m2)	漏射	室顶次屏蔽	150	30	173.2	5.2	0.11
k (o2-k)	漏射	迷路外墙	150	0	150	9.5	0.18

ii) 患者散射辐射

按照 GBZ/T 201.2-2011 给出的患者一次散射辐射的剂量估算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11-4})$$

式中： $\dot{H}$ —关注点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$F$ —最大照射野面积， $\text{cm}^2$ ，本加速器取值  $1600 \text{ cm}^2$ ；

$R_s$ —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$a_{ph}$ —患者  $400 \text{ cm}^2$  面积上垂直之入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称  $400 \text{ cm}^2$  面积上的散射因子；取患者散射角为  $30^\circ$ ，根据 GBZ/T201.2-2011 附表 B.2 查得 10 MV  $30^\circ$  的  $a_{ph}$  为  $3.18 \times 10^{-3}$ 。

估算结果见表 11-3。

表 11-3 加速器调试机房次屏蔽区墙外患者散射辐射剂量率

参考点（辐射路径）	辐射类型	屏蔽墙	设计厚度（cm）	$\theta$ （°）	有效屏蔽层厚度（cm）	等中心至墙外 30cm 处距离 d（m）	剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
c1/c2（o2-o-c1/c2）	患者散射	西墙次屏蔽	150	30	173.2	7.5	0.12
d1/d2（o1-o-d1/d2）		东墙次屏蔽	150	30	173.2	7.5	0.12
m1/m2（o3-o-m1/m2）		室顶次屏蔽	150	30	173.2	5.2	0.26

则与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区墙外关注点剂量率见表 11-4。

表 11-4 加速器调试机房次屏蔽区墙外关注点剂量率

关注点	泄漏辐射剂量率贡献（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	患者散射辐射剂量率贡献（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	墙外 30cm 处剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
c1/c2	0.05	0.12	0.17
d1/d2	0.05	0.12	0.17
m1/m2	0.11	0.26	0.37

由上表可知，与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外关注点剂量率最大为  $0.37 \mu\text{Sv/h}$ ，低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  剂量率控制目标。

### （3）防护门外参考点剂量率

本项目加速器有用线束不向迷路内墙照射，X 射线能量最大为 10 MV。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），迷路入口（g）考虑的辐射有：

- ①入射至 i 墙的辐射散射至 g 处的辐射中，i 墙的入射辐射可能来自泄漏辐射、患者散射、向 b 处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 h 处的散射辐射。在计算 g 处的剂量率时通常以患者散射辐射作为以上三项之和的近似估计，辐射路径为 o1-o-i-g；
- ②泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 的辐射剂量，辐射路径 o1-g。

#### 1) o1-o-i-g 路径

患者散射辐射至 i 墙的辐射，散射至入口 g 处的剂量率：

$$H_g = H_0 \cdot \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \quad (\text{式 11-5})$$

式中：

$H_g$ —g 处散射辐射剂量率；

$H_0$ —距靶 1 m 处的辐射剂量率；

$a_{ph}$ —患者 400 cm<sup>2</sup> 面积上的散射因子，根据 GBZ/T201.2-2011 附表 B.2 查得 10 MV、45°的  $a_{ph}$  为  $1.35 \times 10^{-3}$ ；

$a_2$ —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，根据 GBZ/T201.2-2011，通常取 i 处入射角为 45°，散射角为 0°，散射能量通常取 0.5 MeV，查 GBZ/T 201.2-2011 附表 B.6， $a_2$  为  $22.0 \times 10^{-3}$ ；

A-i 处的散射面积，保守计散射区域宽按照 3.0 m，高为 4.0 m，面积为  $3.0 \times 4.0 = 12.0$  m<sup>2</sup>；

F-有用束在等中心处的最大治疗野面积，取  $40 \times 40 = 1600$  cm<sup>2</sup>；

$R_1$ -“o-i”之间的距离，取 7.1 m；

$R_2$ -“i-g”之间的距离，取 10.9 m。

根据（式 11-5），计算迷路入口 g 处散射辐射剂量率为：

$$8.4 \times 10^8 \times 1.35 \times 10^{-3} \times (1600/400) \times 22 \times 10^{-3} \times 12 / (7.1^2 \times 10.9^2) \approx 49.99 \mu\text{Sv/h}。$$

2) o1-g 路径

o1-g 的距离为 6.0 m，入射角为 45°，迷路内墙屏蔽厚度为 150 cm，则有效屏蔽厚度 Xe 为 212.1 cm。由（式 11-2）和（式 11-3）可得，10 MV 的 X 射线照射时， $B = 1.94 \times 10^{-7}$ ， $H_{o1g} = 0.0045 \mu\text{Sv/h}$ 。

3) 防护门外剂量率

根据 GBZ/T 201.2-2011 中 5.2.6.1 c)，铅中 TVL 值为 0.5cm，经 12 mmPb 防护门屏蔽后周围剂量当量率为  $(49.99 \mu\text{Sv/h} + 0.0045 \mu\text{Sv/h}) / 10^{(12/5)} \approx 0.20 \mu\text{Sv/h}$ ，该周围剂量当量率低于 2.5  $\mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制目标。

内置 CBCT 在图像配准过程中也会产生 X 射线，最大管电压 140 kV，该射线能量较低，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C（资料性附录）和《辐射防护手册第三分册 辐射安全》（李德平主编，原子能出版社，1990 年）中提供的屏蔽材料铅当量和拟合参数，140 kV 电压下，249 mm 厚混凝土等效 3 mmPb，则折算出本项目所用屏蔽材料最小参数（1500 mm 厚混凝土）的铅当量  $1500 \div 249 \times 3 = 18.1$  mmPb，远大于 GBZ 130-2020 表中要求的 2.5 mmPb 的要求，因此 CBCT 在图像配准过程中产生的 X 射线穿过加速器调试机房各墙体后，对周围环境的辐射影响可以忽略。

综上所述，加速器调试机房外各关注点剂量率为（ $2.63 \times 10^{-6}$ ） $\mu\text{Sv/h} \sim 1.64 \mu\text{Sv/h}$ ，各关注点剂量率均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  剂量率控制目标。各关注点处辐射剂量率理论估算结果汇总表如下：

表 11-5 各关注点剂量率计算结果汇总表

关注点		剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
东墙主屏蔽区外	b（走廊）	0.97
东墙次屏蔽区外	d1/d2（走廊）	0.17
	k（走廊）	0.07
西墙主屏蔽区外	a（走廊）	0.97
西墙次屏蔽区外	c1/c2（走廊）	0.17
南墙外	f（控制室）	$2.63 \times 10^{-6}$
北墙外	e（走廊）	0.09
室顶主屏蔽区外	I（室顶上方）	1.64
室顶次屏蔽区外	m1/m2（室顶上方）	0.37
防护门外	g（防护门外）	0.20

（4）保护目标处剂量率

对于保护目标16号楼101户、15号楼、17号楼、22号楼、13号楼、16号楼102户保守考虑有用束影响；14号楼、23号楼考虑漏射线影响。保守计仅考虑加速器调试机房屏蔽，经估算，环境保护目标剂量率如下：

表11-6 保护目标处剂量率

保护目标	方位和距离	辐射类型	屏蔽体	B	计算距离（m）	剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	
楼上实验室	室顶 3.7m	有用束	270mm混凝土	$6.469 \times 10^{-8}$	9.15	0.65	
16号楼101户	东侧约 4m	有用束	270mm混凝土	$6.469 \times 10^{-8}$	11.2	0.43	
15号楼	东侧约 44m	有用束	270mm混凝土	$6.469 \times 10^{-8}$	51.2	0.02	
14号楼	南侧约 33m	漏射	300mm混凝土	$2.829 \times 10^{-10}$	42.5	$1.32 \times 10^{-7}$	
17号楼	西侧约 28m	有用束	270mm混凝土	$6.469 \times 10^{-8}$	35.2	0.04	
23号楼	北侧约 33m	漏射	150mm混凝土	$1.951 \times 10^{-5}$	38.5	0.01	
22号楼	西北侧约 47m	漏射	150mm混凝土	$3.483 \times 10^{-6}$	55.3	$1.57 \times 10^{-4}$	$2.44 \times 10^{-3}$
		散射		$6.521 \times 10^{-7}$		$2.28 \times 10^{-3}$	
13号楼	西南侧约 47m	漏射	150mm混凝土	$3.483 \times 10^{-6}$	54.7	$9.79 \times 10^{-4}$	$3.31 \times 10^{-3}$
		散射		$6.521 \times 10^{-7}$		$2.33 \times 10^{-3}$	

16号楼 102户	加速器机 房所在建 筑	有用 束	270mm混 凝土	$6.469 \times 10^{-8}$	9.7	0.58
注：保守计，仅考虑加速器墙体屏蔽。						

综上所述，保护目标处剂量率最大为 $0.65 \mu\text{Sv/h}$ ，该剂量率较低，远低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

#### (5) 天空反射和侧散辐射

室顶上方剂量率低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标，本项目加速器调试机房位于一层，楼上有建筑，可不考虑天空散射和侧散辐射。

#### (6) 通风口和电缆管线口外辐射水平分析

加速器调试机房进风管道和排风管道穿墙处采用“Z”形穿墙方式，且采用铅板补偿防护，在“Z”形通风管道处射线至少经过3次散射，每次散射剂量率减小1~2个数量级。电缆管线口均采用地下“U”形墙体，通风管道和电缆管线口不会影响墙体的屏蔽效果，预计通风口和电缆管线口外剂量率可低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

#### (7) 主屏蔽宽度估算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》，主屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下式计算：

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD)\tan\theta + 0.3] \quad (\text{式 11-6})$$

式中：

$Y_p$ -机房主屏蔽区的宽度，m；

$SAD$ -治疗距离，1m；

$\theta$ -有用束最大张角（相对于束中的轴线），有用束半张角 $\theta$ 为 $14^\circ$ ；

$\alpha$ -等中心点至墙的距离，m，内凸时为等中心点到内墙的距离+内凸厚度。

计算结果见下表：

表 11-7 主屏蔽宽度计算结果

序号	墙体	$a + SAD$ (m)	所需宽度 (m)	设计宽度 (m)	是否合格
1	东墙主屏蔽/西墙主屏蔽（内凸）	$3.5+1.2+1=5.7$	3.44	4.0	是
2	室顶主屏蔽（外凸）	$2.755+2.7+1=6.455$	3.82	4.0	是

综上所述，加速器调试机房主屏蔽区设计宽度满足要求。

### 11.2.2 年有效剂量

#### (1) 估算公式

$$E = H \times t \times T \times U / 1000 \quad (\text{式 11-7})$$

式中：E——年有效剂量，mSv/a；

H——剂量当量率，μSv/h

t——年受照时间，h；

T——居留因子；

U——使用因子。

### (2) 照射时间

根据上文“9.2.1 工程设备和工艺分析--3、工作负荷和工作人员”。本项目配备1组调试人员（2名工作人员），每组调试人员每年最多安装、调试200台加速器，加速器能量不超过10MV，在调试机房调试年出束时间不超过1500h，在客户单位调试年出束时间不超过600h。

### (3) 居留因子

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录A。

表 11-8 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例	本项目
	典型值	范围		
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区	1: 南侧控制室, 16号楼101户、15号楼、14号楼、17号楼、23号楼、22号楼、13号楼、16号楼102户
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室	1/5: 西侧走廊、南侧辅助机房、北侧走廊、楼上实验室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、患者滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯	1/16: 防护门外、东侧走廊

### (4) 职业人员年有效剂量

本项目加速器调试机房周围对职业人员的影响区域主要在机房南侧的控制室，该区域主要受漏射线影响，根据表11-4，该区域剂量率为 $2.63 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取1。

职业人员附加年有效剂量计算如下：

表 11-9 职业人员年有效剂量估算

位置	对应区域/场所名称	射线类型	剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	居留因子 (T)	利用因子	照射时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)
南侧屏蔽区	控制室	漏射	$2.63 \times 10^{-6}$	1	1	1500	$3.95 \times 10^{-6}$

### (5) 公众成员年有效剂量

公众居留区域主要为加速器调试机房周围除控制室以外的区域以及保护目标处。各区域公众附加年有效剂量详见下表：

表11-10 加速器调试机房周围公众成员附加年有效剂量一览表

对应区域/场所名称	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子 (T)	利用因子	照射时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)
楼上实验室	0.65	1/4	1/16	1500	0.02
西侧走廊	0.97	1/16	1/16	1500	$2.68 \times 10^{-3}$
北侧走廊	0.09	1/4	1	1500	0.03
16号楼 101 户	0.43	1	1/16	1500	0.04
15号楼	0.02	1	1	1500	0.03
14号楼	$1.32 \times 10^{-7}$	1	1	1500	$1.98 \times 10^{-7}$
17号楼	0.04	1	1	1500	0.06
23号楼	0.01	1	1	1500	0.02
22号楼	$2.44 \times 10^{-3}$	1	1	1500	$3.66 \times 10^{-3}$
13号楼	$3.31 \times 10^{-3}$	1	1	1500	$4.97 \times 10^{-3}$
16号楼 102 户	0.58	1/4	1/4	1500	0.05

### (6) 销售过程辐射环境影响评价

公司生产、销售的直线加速器在公司厂区内调试、校验完成后，将拆除各系统装箱发往客户，在客户单位进行安装、调试，并对客户单位辐射工作人员进行相关操作培训。本项目辐射工作人员负责加速器的安装、调试，售后维修维护由瑞迪欧康（青岛）科技有限公司负责，本项目直线加速器调试人员与客户现场调试人员为同批工作人员，公司生产的直线加速器在客户单位进行安装、调试时，客户单位的直线加速器机房应已通过环境影响评价，且该机房的屏蔽防护能力能满足相关标准要求。本项目每名辐射工作人员在客户单位现场安装、调试直线加速器出束时间不超过 600 h，开机出束调试期间辐射工作人员位于控制室内，控制室内辐射剂量率保守取剂量率限值 ( $2.5 \mu\text{Sv/h}$ )，则在客户单位安装、调试过程所致本项目辐射工作人员年受照剂量最大约为  $2.5 \times 600 \div 1000 = 1.5 \text{ mSv/a}$ 。

综上所述，本项目辐射工作人员的年有效剂量最大为  $3.95 \times 10^{-6} + 1.5 = 1.5 \text{ mSv}$ ，该剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的 20 mSv 的年有效剂量限值，也低于本报告提出的 5 mSv 的年管理剂量约束值。加速器调试机房周围及环境保

护目标处公众成员年有效剂量最大为 0.05 mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的 1 mSv 的年有效剂量限值，也低于本报告提出的 0.1 mSv 的年管理剂量约束值。

### 11.2.3 三废环境影响分析

#### （1）废加速器靶、准直器等

本项目加速器能量最大为10 MV，可产生少量感生放射性，可对摆位人员产生一定的辐射影响；当加速器靶、准直器等部件更换和退役时，如经检测超出豁免水平，则应委托有资质的部门进行处置。

#### （2）冷却水

医用电子直线加速器设备中设计有冷却水循环系统，本项目加速器冷却水循环系统使用蒸馏水，直接外购蒸馏水，不自行制备。冷却水循环使用过程中不外排，只需定期补水，不会产生放射性废水。

#### （3）非放射性有害气体影响

医用电子直线加速器在开机调试时，产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO，NO<sub>2</sub>）。机房设有强制排风系统，排风次数大于4次/h，可明显降低其浓度。废气最终通过排风管道排至加速器调试机房所在建筑物楼顶，避开了门窗，楼顶上方无人员停留，不属于人员密集区，因此本项目产生的非放射性有害气体对周围环境和人员影响较小。同时也能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中 8.4.1。

#### （4）固体废物影响分析

本项目运行后不会产生放射性固体废物。辐射工作人员会产生少量生活垃圾，依托公司现有垃圾收集设施收集处置后，交给环卫部门清运，对周围环境影响较小。

#### （5）废水影响分析

本项目运行后工作人员会产生一定量的生活污水，产生的生活污水进入公司污水管网，最终进入生活污水处理厂处理。

## 11.3 事故影响分析

### 11.3.1 可能的辐射事故

（1）调试机房门-机联锁装置发生故障，人员误入正在出束调试的机房导致误照射；

(2) 人员还未全部撤离调试机房，即进行出束调试，致使人员受到不必要的照射；

(3) 门-机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束调试，给工作人员和周围公众造成不必要的照射；

(4) 工作人员停机后立即进入加速器调试机房，受到感生放射性及吸入内照射辐射影响；

(5) 调试机房的防护门屏蔽受损，泄漏至机房外的射线给机房外人员造成不必要的照射。

### 11.3.2 辐射事故预防措施

针对上述事故风险，应从如下方面准备：

(1) 严格执行门-机联锁、急停开关等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案；

(2) 一旦发现门-机联锁系统或急停开关等辐射安全措施存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门-机联锁系统、急停开关等辐射安全措施恢复正常后，方能重新投入加速器调试工作；

(3) 加强对工作人员安全教育，制定加速器调试操作规程，并张贴在控制走廊的醒目位置，使每个调试人员均可看到该提示，并严格按操作规程操作；

(4) 调试工作人员在进行加速器安装、调试时，佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪，并使个人剂量报警仪保持常开状态；同时使用辐射巡测仪定期对调试机房周围的辐射剂量进行检测。

### 11.3.3 辐射事故处置措施

(1) 如发生误照射，应立即切断电源或按下急停按，确保装置停止工作；

(2) 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

(3) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗；

(4) 如发生机房屏蔽受损，应尽快修复，待屏蔽满足要求后，方可重新启用。依照国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号文）中的规定，发生辐射事故时，公司应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

**表 12 辐射安全管理**

## **12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置**

### **12.1.1 管理机构**

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及生态环境主管部门要求，作为持有辐射安全许可证单位，建设单位已设立辐射安全与环境保护管理领导机构，负责辐射安全与环境保护，签订有辐射工作安全责任书，法人代表为辐射安全工作第一责任人。辐射安全与环境保护管理领导主要工作职责如下：

- 1.制定、修订放射治疗质量保证方案；
- 2.制定、修订辐射防护管理的相关制度；
- 3.监督辐射防护管理相关工作；
- 4.定期召开工作例会；
- 5.组织辐射工作人员健康体检、培训考核、个人剂量监测、相关档案管理；
- 6.制定应急预案，定期组织应急演练，开展应急处置。

### **12.1.2 职业人员培训**

根据建设单位提供资料，本项目配置 2 名辐射工作人员。建设单位拟组织辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护考核，通过相应考核后，方能从事辐射工作。

此外，本项目辐射工作人员上岗前均拟参加公司组织的各类专业技术培训，培训内容主要包括直线加速器的原理及其应用、直线加速器的辐射安全防护、直线加速器的安装调试流程等内容，确保辐射工作人员具备完成设备安装调试的工作能力。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和环境保护主管部门的要求，建设单位已制定各项辐射安全管理规章制度：

《辐射防护与安全保卫制度》《辐射防护档案管理制度》《辐射监测方案》《辐射安全与防护制度》《射线装置检修维护制度》《辐射工作人员个人剂量监测与辐射安全培训制度》《电离辐射危害告知》《辐射防护用品发放及使用管理制度》《射线装置使用登记制度》《辐射工作人员培训计划》《自行检查与年度评估制度》《岗位职责》《加速器机房自查与监测制度》《监测仪表使用与校验管理制度》《加速器调试操作规程》等规章制度。在完善并落实各项管理制度下，可以满足本项目环境管理要求。

## 12.3 辐射监测

### 12.3.1 辐射监测方案

建设单位已制定《辐射监测制度》，拟配备 1 台射线检测仪、2 台个人剂量报警仪，定期或不定期地对工作场所和周围环境进行监测。如发现异常情况或怀疑有异常情况，及时对工作场所和环境进行监测。建设单位制定的《辐射监测制度》主要包括以下内容：

#### (1) 个人剂量监测

- 1) 严格遵守国家辐射环境管理法规；
- 2) 所有辐射工作人员必须接受个人剂量监测，建立个人剂量档案，个人剂量档案应包括个人基本信息、工作单位及剂量监测结果等信息，并终生保存；
- 3) 每位辐射工作人员工作期间须按要求佩戴个人剂量计；
- 4) 个人剂量计送检周期一般为一个月，最长不应超过三个月；
- 5) 辐射工作人员受照剂量超过年管理剂量约束值时，应查明原因，采取改进措施；
- 6) 安排专人负责个人剂量监测管理。

#### (2) 辐射工作场所监测

本项目开展生产、使用、销售 II 类射线装置，根据《核技术利用单位自行监测技术规范》（DB34/T 4571-2023），建设单位日常监测计划详见表 12-1。

表 12-1 日常监测计划

监测类型		监测对象	监测项目	评价指标	监测频次	监测单位
外部监测	验收监测	本次核技术利用项目屏蔽体外及辐射工作场所	X-γ辐射空气吸收剂量率	按环评文件及批复执行	项目运行前监测一次	具备相应监测项目资质认定的单位
	年度监测	全部核技术利用项目屏蔽体外及辐射工作场所	X-γ辐射空气吸收剂量率	较验收监测结果，无异常升高	不少于 1 次/年	
	累计剂量监测	全部辐射工作人员	X-γ累积剂量	满足项目的剂量约束值	3 个月 1 次	
内部监测	日常监测	机房屏蔽墙或自屏蔽体外 30cm 人员可达处	X-γ辐射空气吸收剂量率	较验收监测结果，无异常升高	不少于每季度 1 次	建设单位
	安全措施检查	全部核技术利用项目的安全防护措施	急停按钮、灯光报警、视频监控及对讲	功能正常	不少于每季度 1 次	

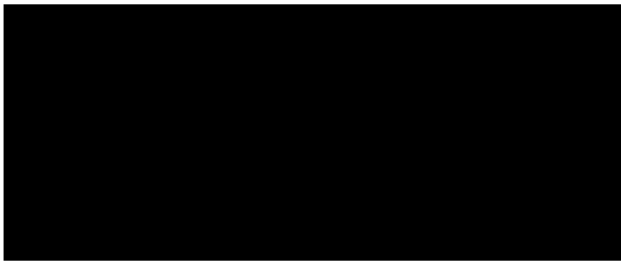
## 12.4 辐射事故应急

### 12.4.1 应急措施

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》等法律法规，建设单位已制定《放射事件应急处理预案》，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。应急预案主要内容如下：

#### 一、辐射事故应急处理机构与职责

(一) 成立辐射事故应急处理领导小组。



(二) 主要职责：

1.定期组织对加速器调试场所、设备和人员进行放射防护情况自查和监测，发现事故隐患及时上报至公司并落实整改措施；

2.发生人员受超剂量照射事故，应启动本预案；

3.事故发生后立即组织有关部门和人员进行放射性事故应急处理；

4.负责向卫生行政部门、环保部门及时报告事故情况；

5.负责放射性事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

6.放射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；

7.负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延；

8.公司后勤部负责应急需要的物资、通讯、技术的供需，并对各种应急物资设备等进行定期检验，确定应急物资和设备维持在可用状态；

9.公司财务部负责供应应急中各类需求的资金输出。

#### 二、放射事故应急救援应遵循的原则

1.迅速报告原则；

- 2.主动抢救原则；
- 3.生命第一的原则；
- 4.科学施救，控制危险源，防止事故扩大的原则；
- 5.保护现场，收集证据的原则。

### 三、应急处理措施

1.当结束曝光时，如果还能听到驱动电机的声音，或者曝光指示灯还亮时，应采取如下措施：

(1) 立即按下应急按钮，断开主电路器（即关掉整机动力电源）。

(2) 操作人员不得试图再次开机，在确保机器能够正常工作和操作开关电路正常时才能重新开机。

2.工作人员在机房内做准备工作时，控制台处操作人员误开机曝光：

在加速器调试过程中，因调试人员误操作导致曝光。在上述两种情况下，应立即切断电源，迫使设备停止曝光。

3.当机器出现故障，联锁装置失效时，有可能造成机器损坏或放射事故，此时应采取以下措施：

(1) 立即停止调试，通知专业人员检查维修；

(2) 若无法停止出束，可以按下紧急停机按钮，关闭设备；

(3) 紧急停机按钮失效时，立即断开控制柜电源。

4.对意外受照人员进行剂量评估，采取必要的医学处理措施。

### 四、应急培训和演练

为保证本单位一旦发生放射性事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员及公众及环境的安全，辐射安全管理领导小组和辐射事故应急处理领导小组联合制定应急救援培训和演练制度。

1.每年进行一次综合性放射事故应急培训，并做好培训记录。

2.参加培训的人员为各级应急指挥机构成员和应急保障系统、应急信息系统的有关人员。

3.培训的主要内容是应急管理程序的有关规定以及放射事故发生后的应急基础知识、运行组织方式和抢险救助措施。

4.结合本单位实际情况制定放射事故应急救援培训计划，每年进行一次有针对性的应

急救援培训并做好应急培训记录，参加培训的人员和培训的主要内容。

#### 5.应急演习

(1) 辐射事故应急处理领导小组制定应急演习计划。

(2) 每年至少组织一次应急演习，针对具体的放射事件进行演习，由建设单位应急小组和有关部门人员参加演习，必要时还应联络各有关单位和公司参加演习。

(3) 每次演习前，应制定详细的演习流程，包括：演习时间、地点、人员等。

(4) 演习结束后，由辐射事故应急处理领导小组负责人组织对整个演习情况进行讨论总结，并做好记录。

**该应急预案内容较为全面，具有较好的针对性和可操作性，建议补充如下内容：**

1.给出辐射事故报告程序和给出当地相关部门辐射事故应急联系方式。

2.发生辐射事故时建设单位辐射事故应急处理领导小组立即上报生态环境部门、卫健部门，根据需要上报公安部门，并在2小时内填写《辐射事故初始事故表》，及时报告生态环境部门、卫健部门和公安部门。

其他详细内容应按照《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发〔2006〕145号）以及《突发环境事件信息报告办法》（环保部令第17号）中的有关要求进一步完善。

表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### (1) 项目概况

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司位于山东省青岛市高新区汇智桥路 20 号 1 期 16 号楼 102 户。在本项目前，建设单位无核技术利用建设项目。

为满足市场对高端医疗设备需求，瑞迪欧康（青岛）科技有限公司拟在生产车间一层南侧建设 1 间医用电子直线加速器调试机房，供公司生产的医用电子直线加速器进行整机调试，公司每年拟生产、销售 200 台医用电子直线加速器。本次评价涉及生产、销售、使用医用电子直线加速器，核技术利用类型为生产、销售、使用 II 类射线装置。

本项目主要用于生产、调试、销售医用电子直线加速器，符合当前国家对国产医疗器械的扶持及公司的发展规划，可满足医疗机构对设备的需要，具有良好的社会效益和经济效益，从代价利益分析，项目可行，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

#### (2) 选址合理性

瑞迪欧康（青岛）科技有限公司位于城镇开发边界，城镇发展区和工业发展区。本项目位于建设单位内部，不新增用地，建设单位所在地属工业用地。本项目拟建医用电子直线加速器调试机房目前为室内空地，位于生产车间内部南侧。拟建医用电子直线加速器调试机房 50 m 范围内东侧为走廊、16 号楼 101 户、室外道路、15 号楼；南侧为控制室、辅助机房、室外道路、14 号楼；西侧为走廊、实验室 1、实验室 2、配电间、卫生间、室外道路、17 号楼；北侧为走廊、室外道路、23 号楼；西北侧 22 号楼；西南侧 13 号楼；楼上为实验室；楼下无建筑，避开了特殊人群及人员密集区域。加速器调试机房周围 50 m 范围内存在 8 处保护目标，经分析，加速器调试机房采取了有效的屏蔽措施，周围剂量率及人员受照剂量满足评价标准。加速器调试机房选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中第 5.1 款关于选址的要求，项目选址可行。

#### (3) 现状检测

现状检测结果表明，本项目各辐射工作场所拟建区域及周围环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率处于青岛市环境天然辐射水平范围内。

#### (4) 环境影响评价结论

1) 安全防护措施：加速器调试机房为混凝土结构，拟采用的混凝土密度为 $2.35\text{g/cm}^3$ 。防护门防护能力为 $12\text{ mmPb}$ 。建设单位拟对加速器调试工作场所进行分区管理，将加速器调试机房四周墙壁围成的区域（含迷路）划为控制区，拟在控制区边界设置电离辐射警告标志。与加速器调试机房墙壁外部相邻区域的南侧控制室、辅助机房、东侧走廊、西侧走廊、北侧走廊划为监督区。加速器调试机房设计强制排风系统，有效通风量不低于 $1600\text{ m}^3/\text{h}$ ，排风次数大于 $4\text{ 次}/\text{h}$ 。加速器调试机房和迷路区域设有视频监控装置，监视器设置在控制室内；加速器调试机房内和控制室之间设置双向交流对讲系统；迷路内口附近设置固定式辐射剂量监测仪；防护门与加速器联锁，加速器调试机房内设置紧急开门装置，防护门设置红外线防夹装置，控制室内和加速器调试机房内设置若干紧急停机按钮；电缆管线口位于南墙东侧，采用地下“U”形穿墙方式，进风管道和排风管道于防护门上方穿墙，采用“Z”形穿墙方式，穿线口采用铅板补偿防护。拟设置的安全防护措施满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）有关要求。

2) 加速器调试机房外各关注点剂量率为 $(2.63\times 10^{-6})\text{ }\mu\text{Sv}/\text{h}\sim 1.64\text{ }\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，低于 $2.5\text{ }\mu\text{Sv}/\text{h}$ 剂量率控制目标，加速器调试机房主屏蔽宽度符合要求。

### 3) 人员所受辐射剂量估算

辐射工作人员年有效剂量为 $1.5\text{ mSv}$ ，低于本评价采用的职业人员年有效剂量管理约束值 $5.0\text{ mSv}/\text{a}$ 。公众成员年有效剂量最大为 $0.05\text{ mSv}$ ，低于本评价采用的公众成员年有效剂量管理约束值 $0.1\text{ mSv}/\text{a}$ 。

4) 三废环境影响分析结论：机房内设计有强制排风系统，通风次数大于 $4\text{ 次}/\text{h}$ ，产生的少量非放射性有害气体通过排风系统排至外环境，排风口末端位于拟建加速器调试机房所在建筑物楼顶，避开了门窗，楼顶不属于人员密集区，对周围环境和人员影响较小；加速器靶、准直器等部件更换或退役时，如经检测超出豁免水平，则应委托有资质的部门进行处置；本项目加速器冷却水循环系统使用蒸馏水，循环冷却水循环使用不外排，只需定期补水。

### (5) 辐射安全管理结论

1) 建设单位已成立辐射安全管理领导小组，制定有各项辐射安全管理规章制度以及《辐射事故应急处理预案》，并严格落实，建立辐射安全管理档案，保障辐射工作人员和公众的健康和安全。

2) 本项目拟配 2 名辐射工作人员，建设单位拟组织辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护考核，通过相应考核后，方能从事辐射工作。满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。

3) 加速器调试机房拟设置固定式剂量率监测报警装置，拟配置 2 台个人剂量报警仪和 1 台便携式环境 X- $\gamma$ 剂量率仪。拟为本项目辐射工作人员每人配置个人剂量计，拟委托有资质的单位对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测。拟配置监测仪器满足自主监测使用和本项目辐射管理要求。

4) 建设单位已制定的各项辐射管理规章制度基本合理，具有一定的可操作性，能够满足本项目的工作需求，建设单位应严格落实各项管理规章制度，以保障全院辐射工作人员和公众的健康和安全。建设单位现有的辐射管理制度以及辐射应急预案基本可以满足拟建项目需求。

综上所述，瑞迪欧康（青岛）科技有限公司生产、销售、使用医用电子直线加速器应用项目在切实落实报告中提出的辐射管理、辐射防护等各项措施，在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，在落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，该项目对职业人员和公众成员是安全的，对周围环境产生的辐射影响较小，不会引起周围辐射水平的明显变化。因此，从环境保护角度分析，项目建设是可行的。

## 13.2 承诺和建议

### 13.2.1 承诺

(1) 落实环评报告提出的各项辐射安全防护措施；

(2) 完善并严格落实各项辐射安全管理规章制度，修订辐射事故应急预案；

(3) 按照国家有关规定，按时申领《辐射安全许可证》，以及组织建设项目竣工环境保护验收。

(4) 组织辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护考核，通过相应考核后，方能从事辐射工作。

### 13.2.2 建议

(1) 建设单位应结合工作实际情况对《辐射监测方案》和《辐射事故应急处理预案》进行不断修改和完善；

(2) 加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，防止辐射事故的发生。

表 14 审批

下一级生态环境部门意见

公 章

经办人：

年 月 日

审批意见

公 章

经办人：

年 月 日