核技术利用建设项目

无锡市第二人民医院
改建医用直线加速器项目
环境影响报告表

无锡市第二人民医院

2023 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

无锡市第二人民医院改建
医用直线加速器项目
环境影响报告表

建设单位名称：无锡市第二人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：无锡市梁溪区中山路68号、兴源北路585号

[redacted]

[redacted]

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 ..... - 10 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 15 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 19 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 24 -
表 11　环境影响分析 ..... - 30 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 42 -
表 13　结论与建议 ..... - 47 -
表 14　审批 ..... - 52 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">无锡市第二人民医院
（统一社会信用代码：123202004662860049）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td colspan="3">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">无锡市梁溪区中山路 68 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">无锡市梁溪区中山路 68 号无锡市第二人民医院外科楼负 1 楼加速器机房</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>2980</td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td>20</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>0.67%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☐新建 ☑ 改建 ☐扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="6">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐Ⅰ类（医疗使用）☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

无锡市第二人民医院（以下简称“医院”） 医院始建于 1908 年，现为三级甲等综合医院。医院设南北两个院区，南院位于无锡市中山路 68 号，北院位于兴源北路 585 号。

为了适应医院发展要求，服务患者，医院拟将南院外科楼负 1 楼加速器机房内原有的一台医用直线加速器（型号：PRIMUS-M，X 射线能量为 6MV，X 线 1m 处最大

剂量率为200cGy/min）拆除（该设备于2008年3月20号取得原江苏省环境保护厅的批复，批复文号：苏核表复[2008]173号，于2010年7月完成环境保护竣工验收工作。医院已完成该设备的环保手续，无历史遗留问题，见附件6），原有加速器机房进行改建（改建情况见表1-1）。利用外科楼负1楼1台CT模拟定位机（型号：Discovery RT，最大管电压140kV，最大管电流800mA，属Ⅲ类射线装置）进行模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗（模拟定位机机房位置见附图3）。

表1-1 本项目加速器机房改建前后情况一览表

屏蔽体		屏蔽设计（改建前）	屏蔽设计（改建后）
东墙	迷路内墙	174cm砼	174cm砼
	迷路外墙	173cm砼	173cm砼
南墙		125cm砼	130cm砼
西墙		200cm砼	200cm砼
北墙		130cm砼	130cm砼
屋顶		170cm砼	180cm砼
防护门		7mmPb	15mmPb

注：铅密度为11.3g/cm^3，混凝土密度为2.35g/cm^3。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《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》等法律法规的规定，无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目需进行环境影响评价工作。受无锡市第二人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位改建医用直线加速器项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部部令第16号），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用Ⅱ类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。医院改建医用直线加速器项目情况见下表：

表1-2 无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目情况一览表

序号	射线装置名称型号	数量	最大能量	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评及审批情况	备注

1	医用直线加速器（Halcyon）	1 台	X 射线：6MV X 射线 1m 处剂量率：800cGy/min	II类	南院外科楼负 1 楼加速器机房	未使用	本次环评	设备自带 172mm 铅板辐射屏蔽结构

二、项目选址情况

无锡市第二人民医院南院位于无锡市梁溪区中山路 68 号，医院东侧为新生路，南侧为永兴巷，西侧为中山路，北侧为沙巷、新开河小区。本项目地理位置示意见附图 1，无锡市第二人民医院平面布置和周围环境示意图见附图 2。

医院本次改建医用直线加速器项目位于外科楼负 1 楼，外科楼东侧为警务室，南侧为中心广场、病房综合楼，西侧为急救中心，北侧为院区食堂。加速器机房东侧为加速器辅助机房、走道，南侧为楼梯、电梯，西侧、北侧、下方为土层，上方为空调机房。本项目外科楼负 1 楼、空调机房、1 楼平面布局及周围环境示意图见附图 3~附图 5。

本项目周围 50m 评价范围除北侧至沙巷、新开河小区，其余方向均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及陪同家属和院外沙巷、新开河小区处其他公众等。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

无锡市第二人民医院现持有江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证（见附件 4），证书编号：苏环辐证〔00557〕，有效期至 2023 年 12 月 27 日，许可种类和范围为：使用Ⅴ类放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。原有核技术利用项目情况见附件 3。医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。

五、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏

政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图 6。

表 2　放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活度种类	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（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	Halcyon	电子	X 射线：6MV	X 线最高剂量率：800cGy/min	放射治疗	加速器机房	本次环评

（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	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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约 50 分钟可自然分解为氧气
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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^3；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^3）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》（修订版），中华人民共和国主席令第9号，2015年1月1日起实施； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施； （4）《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日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； （5）《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行； （10）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施； （11）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日起施行； （12）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布； （13）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布；

	（14）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布； （15）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行； （16）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布； （17）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布； （18）《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布； （19）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； （20）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，江苏省生态环境厅办公室，2021年5月31日印发； （21）《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改），国家发展和改革委员会2021年令第49号，2021年12月30日起施行。
技术标准	（1）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （3）《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）； （4）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； （5）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （6）《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）； （7）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （8）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （9）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； （10）《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）；

	（11）《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）； （12）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。
其他	**附图：** （1）无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目地理位置示意图； （2）无锡市第二人民医院平面布置和周围环境示意图； （3）无锡市第二人民医院外科楼负 1 楼平面布局示意图； （4）无锡市第二人民医院外科楼空调机房平面布局示意图； （5）无锡市第二人民医院外科楼 1 楼平面布局示意图； （6）本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）射线装置使用承诺书； （3）医院原有核技术项目情况一览表； （4）辐射安全许可证正本复印件； （5）辐射环境现状监测报告； （6）原有加速器的环评情况。

表 7　保护目标与评价标准

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）中“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 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次改建医用直线加速器项目工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目周围 50m 评价范围除北侧至沙巷、新开河小区，其余方向均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及陪同家属和院外沙巷、新开河小区处其他公众等。详见表 7-1。

表 7-1 无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目保护目标一览表

保护目标分类	保护目标名称	方位	最近距离	规模
本项目辐射工作人员	加速器机房	东侧：控制室	约 2.5m	4 人
评价范围内公众	外科楼	本项目辐射工作场所东侧、南侧及上方	0~50m	流动人员，若干
	中心广场	南侧	约 20m	流动人员，若干
	急救中心	西侧	约 10m	流动人员，若干
	院区食堂	北侧	约 30m	流动人员，若干
	沙巷、新开河小区	北侧	约 40m	流动人员，若干

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。

公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%～30%（即 0.1mSv/a～0.3 mSv/a）的范围之内。	

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，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的范围。

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

4 一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-02002 中剂量限值相关规定。

4.9 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 5mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

5.1.1 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 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。

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

5.2 分区原则

5.2.1 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、束流输运通道和治疗室，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 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要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的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面 30cm 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，距治疗室顶外表面 30cm 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 H_c（μSv/h）：

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（H_c）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$（μSv/h）：

机房外辐射工作人员：H_c≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：H_c≤5μSv/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 $H_{c,\max}$（μSv/h）：

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

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$H_{c,\max}$≤10μSv/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 250μSv 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 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

3、《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）：

4.2 治疗机房布置要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

4、《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）；

4.3 不同关注点应考虑的辐射

5 屏蔽估算方法

5.2.6 加速器(≤10MV)机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

5、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部， 进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小

于 4 次/h。

6、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；

4.1 建筑施工过程中场界环境噪声不得超过表 1 规定的排放限值。

表 1 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）

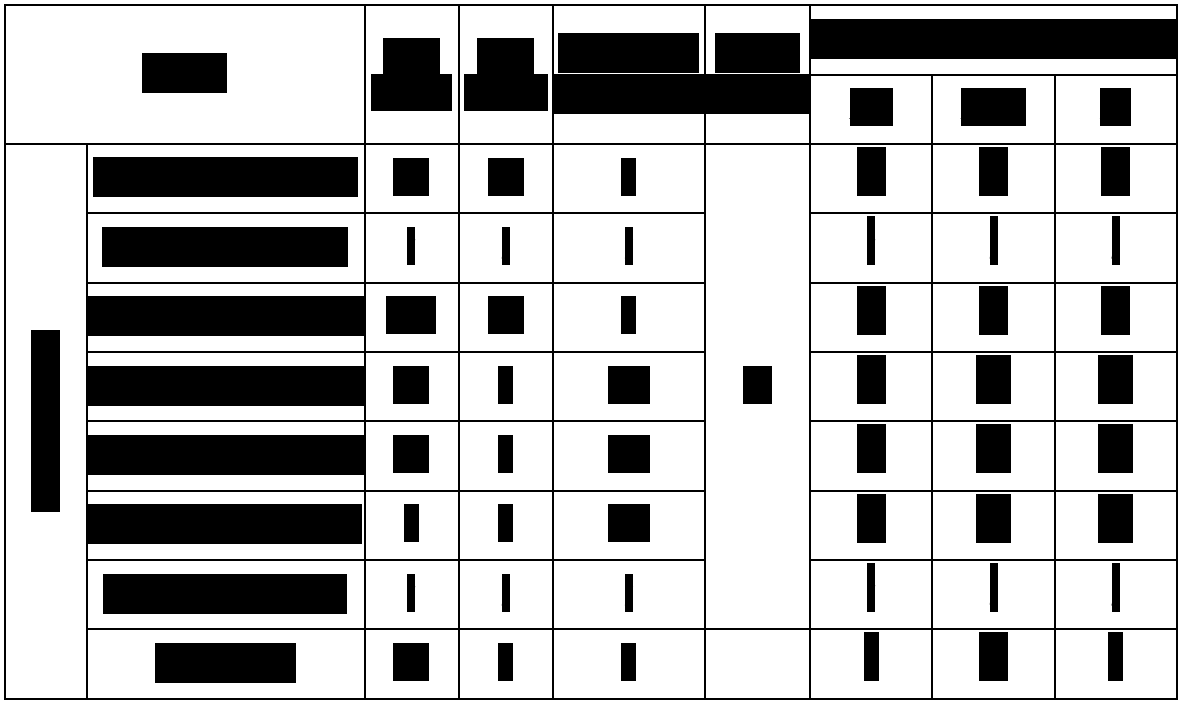
昼间	夜间
70	55

7、辐射环境评价标准

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a，公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目放疗机房周开机治疗时间，估算得到放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c，见下表：

表 7-2 本项目加速器机房周围各关注点剂量率参考水平一览表



注：1、医用直线加速器机房参考点点位布设详见图 11-1；

2、根据医院提供资料，医用直线加速器投入使用后，每次治疗有效出束时间 2~3 分钟，每天治疗人数 40 人，年开展工作 50 周，年出束运行时间约 500h，则周工作时间 t 为 10h。

3、根据 HJ1198-2021，人员居留因子>1/2 的场所：$H_{c,max}$≤2.5μSv/h；人员居留因子≤1/2 的场所：$H_{c,max}$≤10μSv/h。

9、参考资料：

（1）《辐射防护导论》，方杰主编。

（2）《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第13卷第2期，1993年3月），江苏省环境监测站。

江苏省环境天然γ辐射剂量率（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

（均值±3s）*	50.4±21.0	47.1±36.9	89.2±42.0

注：*测量值已扣除宇宙射线响应值，评价时采用“均值±3s”作为辐射现状评价的参考数值。

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

无锡市第二人民医院南院位于无锡市梁溪区中山路 68 号，医院东侧为新生路，南侧为永兴巷，西侧为中山路，北侧为沙巷、新开河小区。

本项目位于外科楼负 1 楼，外科楼东侧为警务室，南侧为中心广场、病房综合楼，西侧为急救中心，北侧为院区食堂。加速器机房东侧为加速器辅助机房、走道，南侧为楼梯、电梯，西侧、北侧、下方为土层，上方为空调机房。

本项目周围 50m 评价范围除北侧至沙巷、新开河小区，其余方向均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患、公众和院外沙巷、新开河小区的部分公众等。本项目周边环境现状见下图。



图 8-1 本项目拟建址东侧（走道）

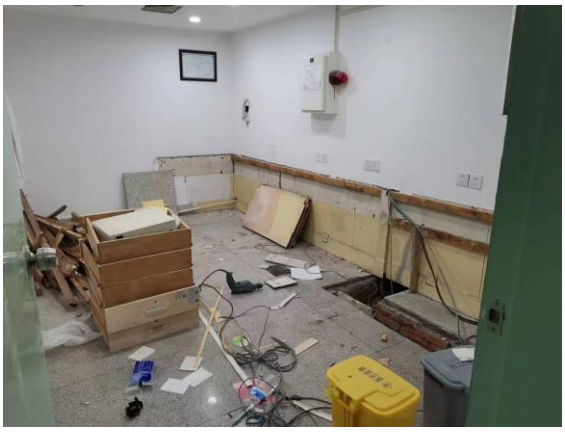


图 8-2 本项目拟建址东侧（控制室）





图 8-3 本项目加速器机房上方（空调机房）

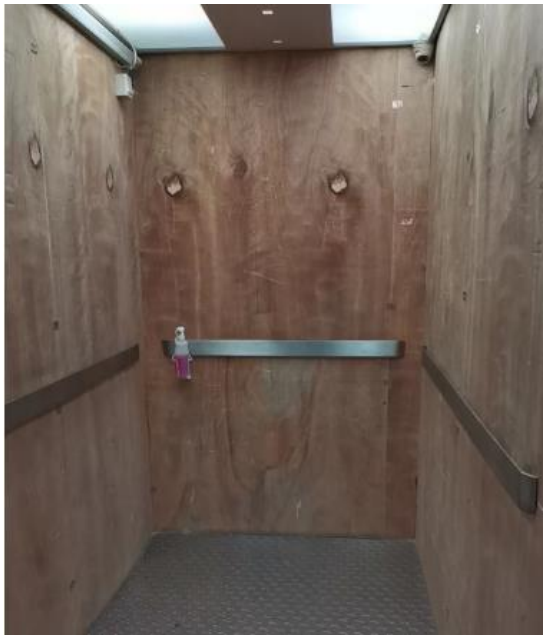


图 8-4 本项目加速器机房南侧（电梯）



图 8-5 本项目加速器机房内

二、辐射环境现状调查

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-6。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司（公司检测资质见附件 5）

监测日期：2023 年 2 月 17 日

监测因子：γ辐射剂量率

天气：晴

温度：12℃

湿度：51%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（检测资质见附件 5），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。保持仪器探头中心距离地面（基础面）

为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省天然γ辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

检测仪器：6150 AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X-γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2022 年 11 月 14 日～2023 年 11 月 13 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量响应：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

表 8-1 无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目拟建址周围γ辐射剂量率

测点编号	测点描述		测量结果（nGy/h）
1	加速器机房东侧	走道	69
2		控制室	74
3		辅助机房	75
4	加速器机房南侧（电梯）		65
5	加速器机房内		69
6	加速器机房上方（空调机房）		75
7	沙巷		68
8	新开河小区 27 号楼栋前道路		70
9	医院食堂内		69

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值；

2、本项目加速器机房拟建址西侧、北侧及下方为土层，人员不可达。

由表 8-1 监测结果可知，无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目拟建址周

围环境天然γ辐射剂量率在 65nGy/h～75nGy/h 之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平涨落区间。

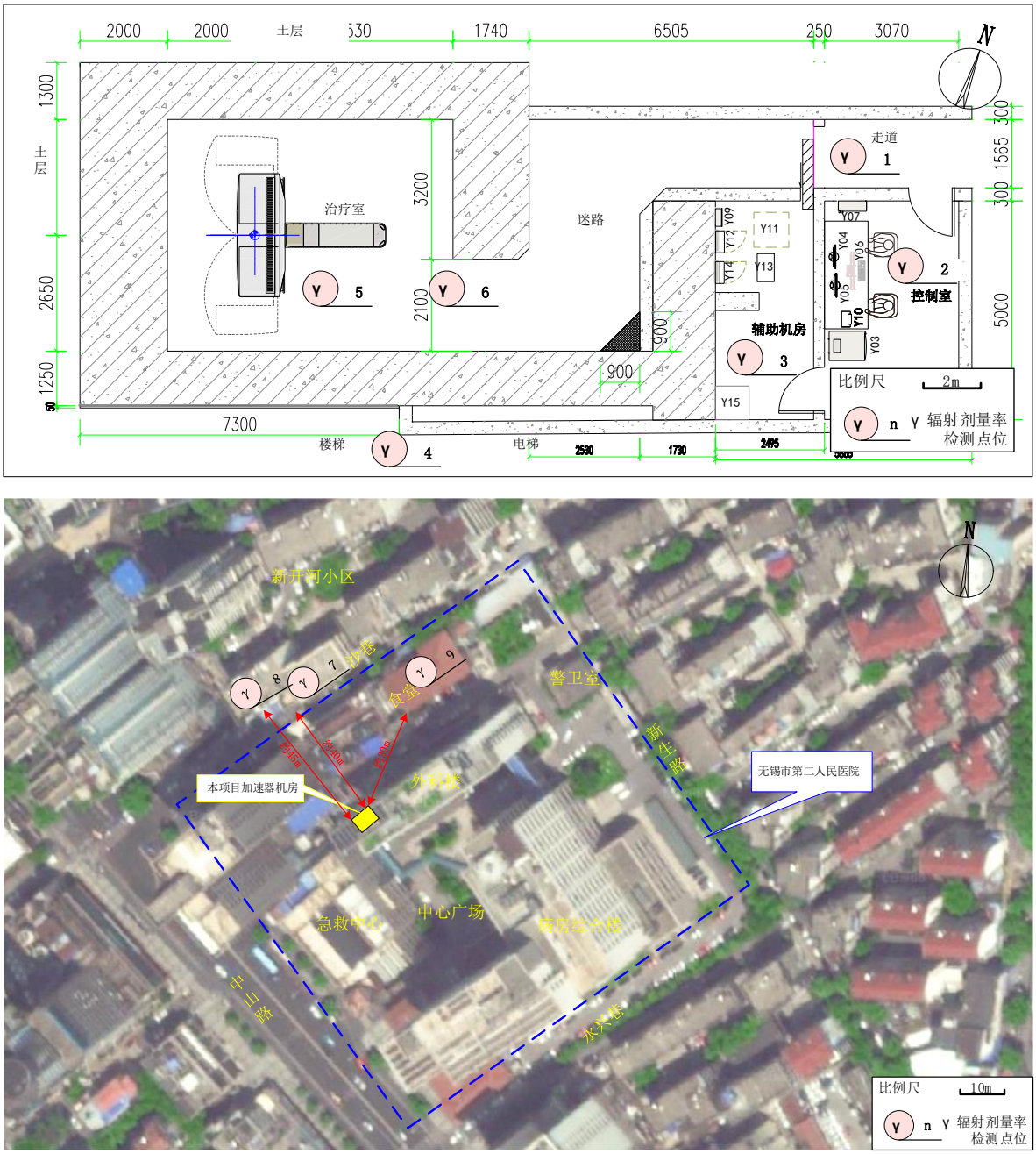


图 8-6 本项目拟建址周围γ辐射剂量率监测点位示意图

表 9　项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

无锡市第二人民医院拟在外科楼负 1 楼改建 1 座加速器机房，并配置 1 台 Halcyon 型直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最高剂量率：800cGy/min），用于肿瘤的放射治疗。Halcyon 型直线加速器外观见图 9-1。

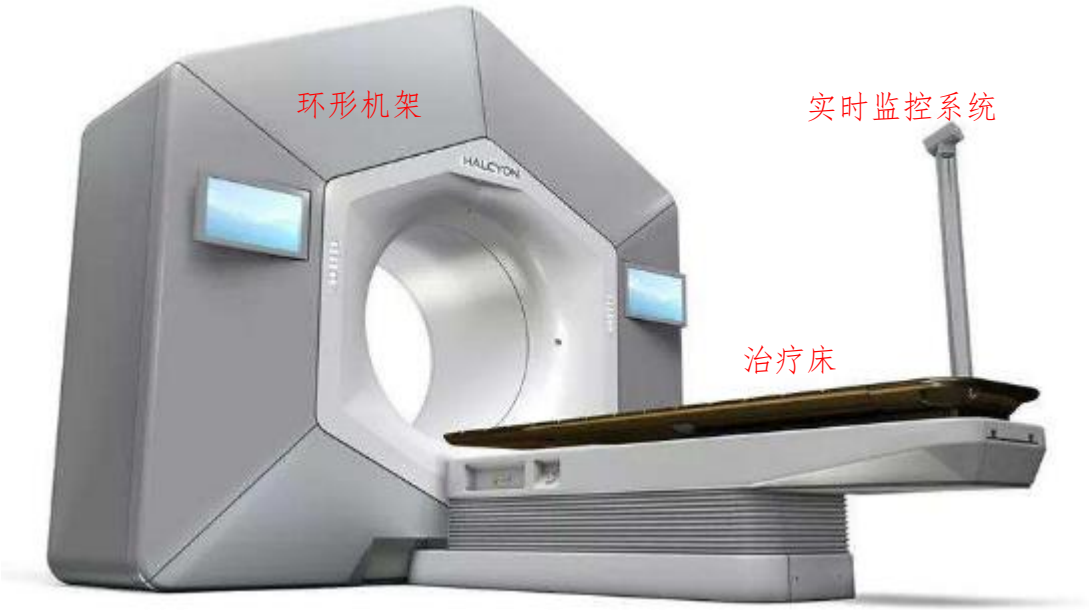


图 9-1 Halcyon 型医用直线加速器外观图

Halcyon 型医用直线加速器是美国瓦里安公司推出的区别于经典 C 型臂加速器的创新型放射治疗系统，其结构设计仿照 CT 的造型，体积较小重量较轻，该设备采用环形封闭机架设计，主束自屏蔽体随机架转动可覆盖全部射野；整体装置非常紧凑由高压调制器驱动的磁控管射频源可出束 6MV X 射线，经双层多叶光栅（高强度钨合金）配合 Eclipse 治疗计划系统，可做高速旋转容积调强放射治疗，治疗效率是传统经典构型加速器的 2 倍。

Halcyon 型医用直线加速器主要的设备组成与普通医用电子直线加速器相似，通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，主要由三大部分组成，即电子发射单元，电子加速单元和电子束引出单元，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。其机架运动方式为顺时针或逆时针 360° 单圈旋转，运动轨迹随机架旋转绕圆环中心

处旋转，自屏蔽铅块位于靶点对侧，运动方式为绕圆环中心旋转而旋转，Halcyon 型医用直线加速器系统示意图见图 9-2，自屏蔽设计示意图见图 9-3。

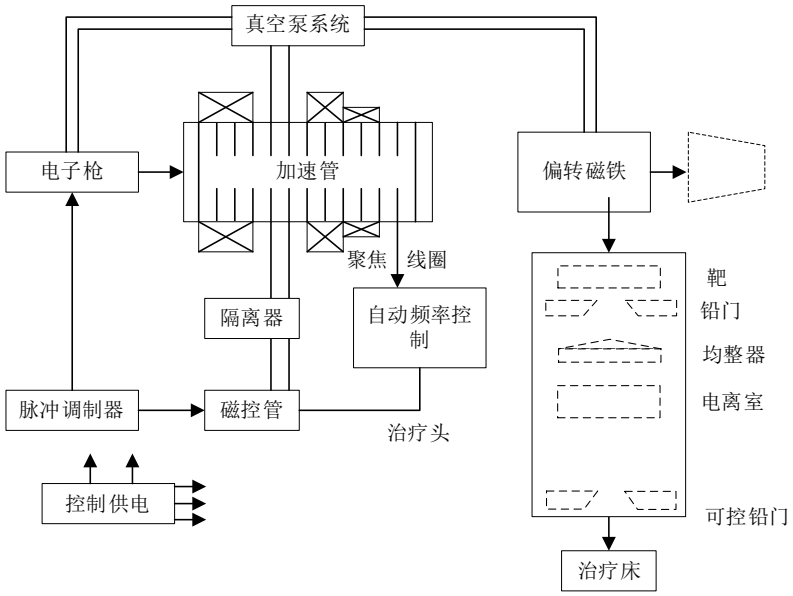


图 9-2 Halcyon 型医用直线加速器系统示意图

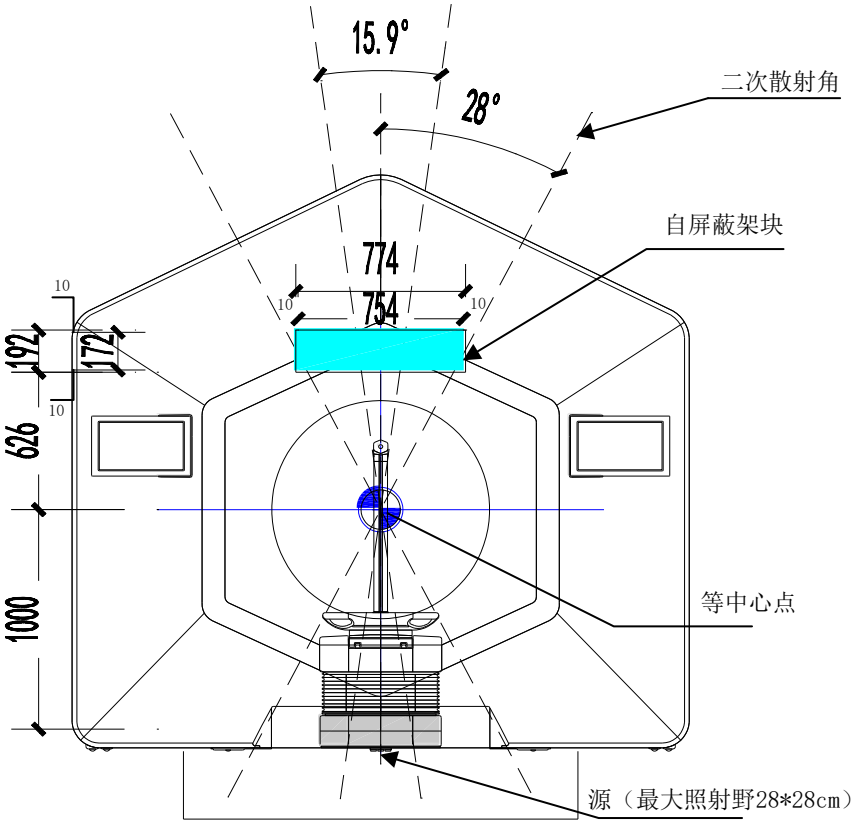


图 9-3 Halcyon 型医用直线加速器自屏蔽设计示意图

医院拟引进的 Halcyon 型医用直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用直线加速器技术参数情况一览表

项目名称	技术参数*
型　号	Halcyon
位　置	外科楼负 1 楼
主要技术指标	X 射线：6MV
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.10m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	800cGy/min
最大照射野大小	28cm×28cm
自带屏蔽壳体	内含 172mm 铅板
靶材料	钨合金
用途	放射治疗

注：*本项目 Halcyon 型医用直线加速器技术参数由建设单位设备供货商提供。

本项目改建 1 台 Halcyon 型医用直线加速器对肿瘤病人进行治疗，不开刀，损伤小，病人痛苦小，恢复快，对肿瘤周围正常组织损害小，相较于医院现有的医用直线加速器缩短了治疗时间，提高了治疗效率，对提高肿瘤放疗水平具有重大意义；同时也为院方创造更大的经济效益，具有十分突出的社会效益。

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 线治疗。

Halcyon 型医用直线加速器相对于普通医用电子直线加速器，该类型加速器大幅精简治疗操作步骤，减少误差发生的可能性，其系统性优化了多弧容积调强、多野调强治疗等先进技术。叶片速度提高到 5cm/s，机架旋转速度提升至四倍，从而提供高质量和高效率的治疗；该加速器采用双重多叶光栅，其在等中心点的最大照射野范围为 28cm×28cm，比常规直线加速器小，自屏蔽系统具备 100%射野面积覆盖能力；CBCT 图像采集和正侧位成像时间短，无论是常规放射治疗还是调强放射治疗，射束投照时间通常只需约 3 分钟，大大减少了出束时间；叶片布局“层叠交错”，优化了调强能力，并减少叶片间漏射。该类型直线加速器自带自屏蔽系统（内含 172mm 铅板），使得机房尺寸及防护要求变低，主射线方向线束在穿过病人身体后经屏蔽系统屏蔽，使主射线透射率小于 0.1%。同时加速器照射野范围比常规加速器小，因此正常组织损伤、放疗副作用等也大大减小。该设备运行过程中，仅产生 6MV 的 X 射线束，不产生电子束。

（二）工作流程

1、进行定位：先通过 CT 定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

2、制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

3、固定患者体位：在利用医用直线加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

4、技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

5、治疗结束后，停止出束，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用直线加速器放疗工作一般流程见图 9-4。

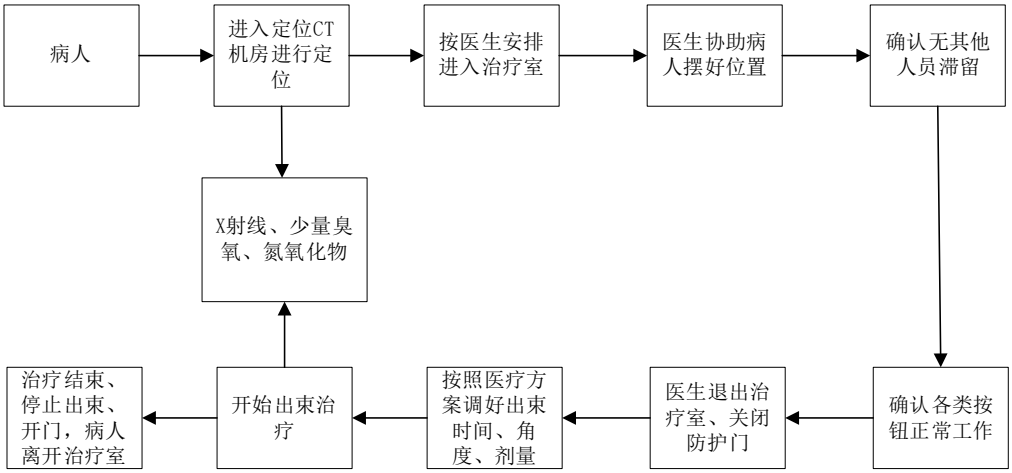


图 9-4 医用直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、放射性污染

（一）X 射线：外照射医用直线加速器以 X 射线模式运行时，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。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、关注点到源的距离等因素有关。

本项目拟新增的医用直线加速器 X 射线最大能量为 6MV，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 800cGy/min。由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

（二）电子束：本项目医用直线加速器只产生 X 射线，无电子束产生。

（三）中子：本项目拟配备的 1 台 Halcyon 型医用直线加速器 X 射线能量为 6MV，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 800cGy/min，依据《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）规定（§4.3.2.5），当加速器 X 射线≤10MV 时，中子的影响可忽略。

综上所述，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），本项目医用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。

二、非放射性污染

加速器机房内的空气在 X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，工作人员产生的生活污水及生活垃圾。

表 10　辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

无锡市第二人民医院拟在外科楼负 1 楼改建 1 座加速器机房，并配置 1 台 Halcyon 型直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最高剂量率：800cGy/min），用于肿瘤的放射治疗。加速器机房东侧为加速器辅助机房、走道，南侧为楼梯、电梯，西侧、北侧、下方为土层，上方为空调机房。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定。

机房控制室与治疗室分离，治疗室南北长 5.3m，东西长 10.8m，面积约 63.6m^2（含迷路），机房顶部吊顶至地面约 2.8m；加速器机房设置“L”型迷路，迷路口设有防护门，迷路横宽 1.74m，迷路内口宽 2.53m。加速器机房布局符合《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需求”、“治疗机房均应设置迷路”等规定，布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）将直线加速器治疗室作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；将控制室、辅助机房作为辐射防护监督区（见附图 3）。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。

二、辐射防护屏蔽设计

本项目辐射防护屏蔽设计包括两个部分，医用直线加速器自带的辐射屏蔽结构（172mm 铅板）以及机房辐射屏蔽结构，机房四周墙体采用混凝土浇筑，迷路入口采用铅防护门，为减少机房周围辐射工作人员与公众的受照剂量，本项目在原有加速器机房基础上进行部分墙体的拆除与加厚（见图 10-1），拟在南墙外侧采用支模浇筑方式浇筑 5cm 混凝土，将空调机房（加速器机房上方）地面装饰面拆除，浇筑 10cm 混凝土，机房具体屏蔽设计参数见表 1-1。

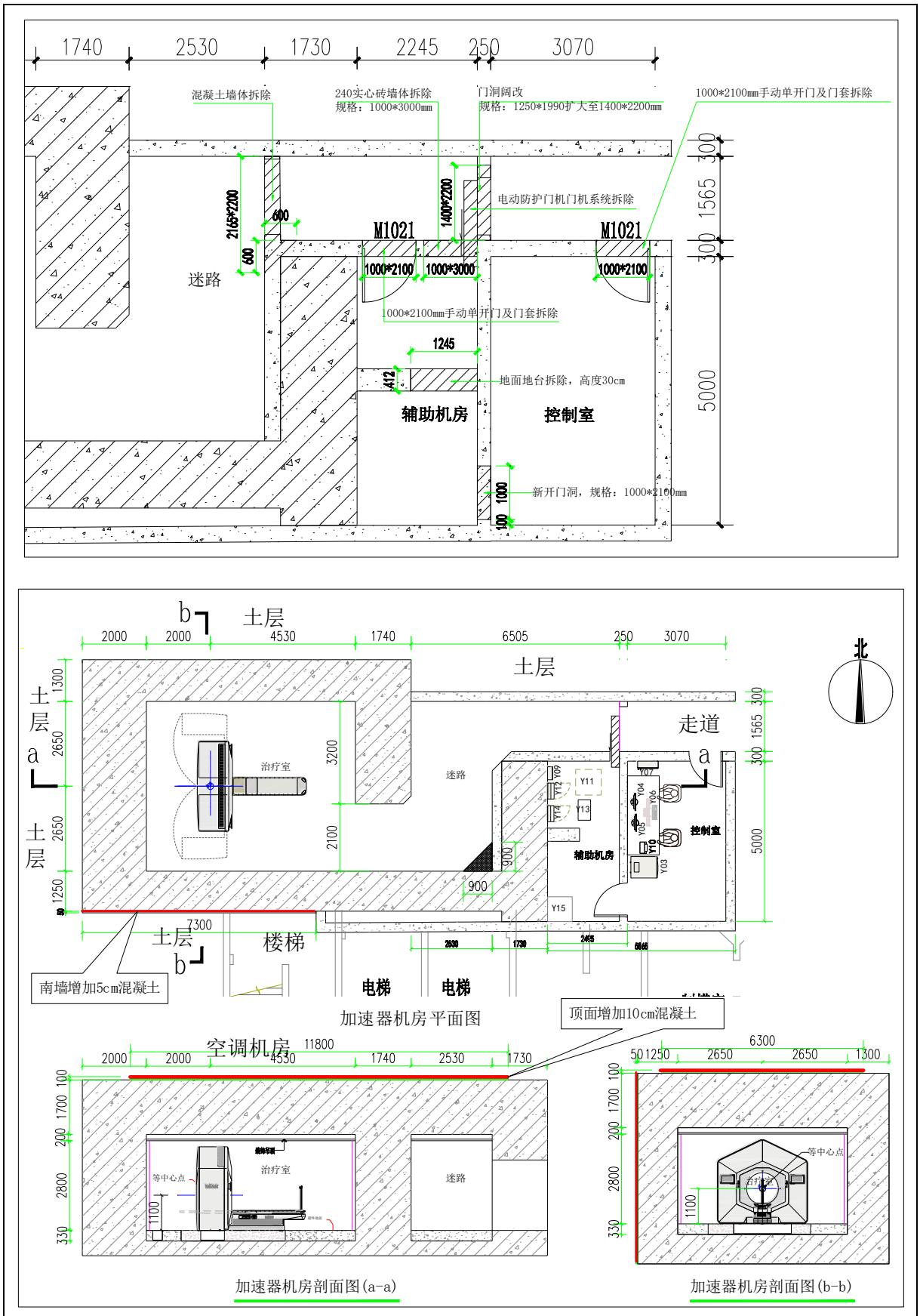


图 10-1 本项目加速器机房拆除及屏蔽设计示意图

三、辐射安全措施

（一）电线电缆布设：加速器机房电缆线穿墙方式（见图 10-2）拟采用“U”型穿墙管道，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

（二）防护门搭接方式：机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，还要考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。根据经验，建议门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度应大于门缝的 10 倍，方能有效避免门缝处的射线泄漏。

（三）本项目加速器机房拟设计有通风装置（见图 10-2、图 10-3），通风管道穿墙处采用倒“U”型设计，管道内径为 300mm×300mm。治疗室内拟采用机械进、出风，从防护门上方至机房内，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿与治疗室地面齐平，通风换气频率为不低于 4 次/h。加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

（四）加速器机房入口拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，防止无关人员逗留和误入。

（五）安全联锁装置：除医用直线加速器自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭时加速器才能出束进行治疗。

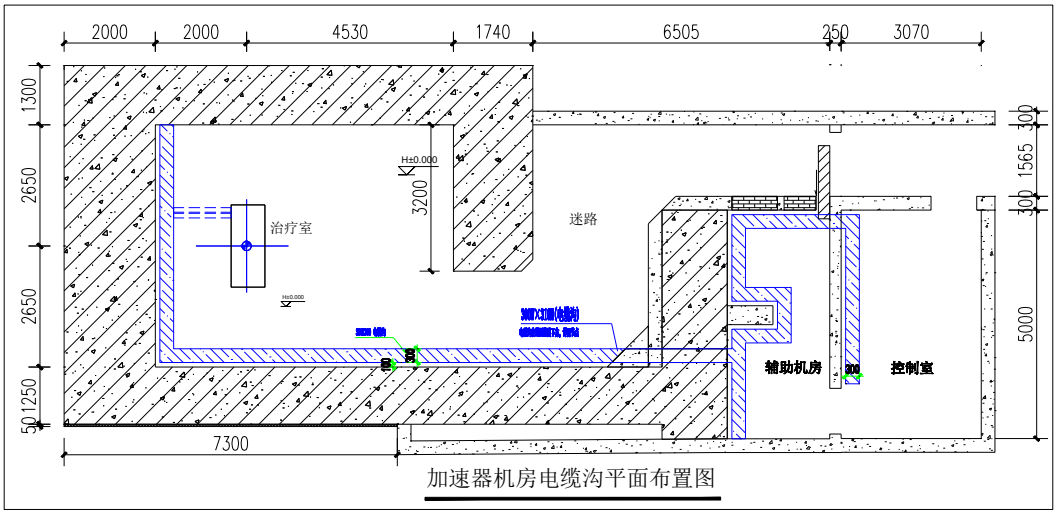
（六）紧急停机装置：除加速器上应设急停按钮外，治疗室靠近迷路位置、防护门内迷路入口处和控制室控制台上均应设置急停按钮，以避免加速器机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

（七）监视和对讲装置：本项目加速器机房拟设计安装监控系统和对讲装置，实时观察机房内的动态。

（八）开门装置：加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。

（九）固定式报警仪：本项目加速器机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

以上辐射防护措施合理可行，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准要求。



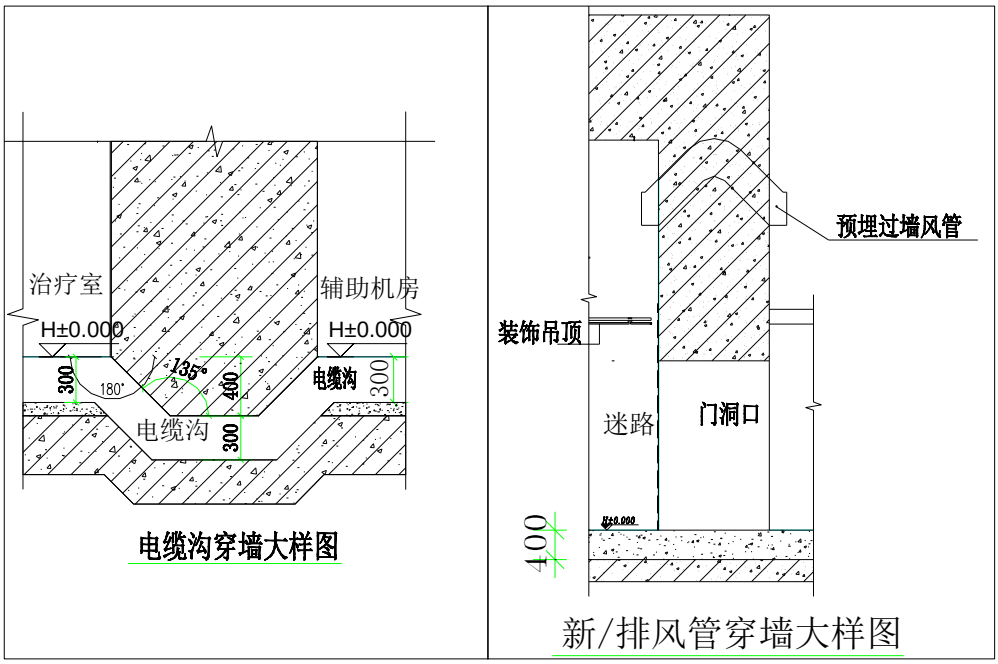


图 10-2 加速器机房电缆沟、预留风管道穿墙示意图

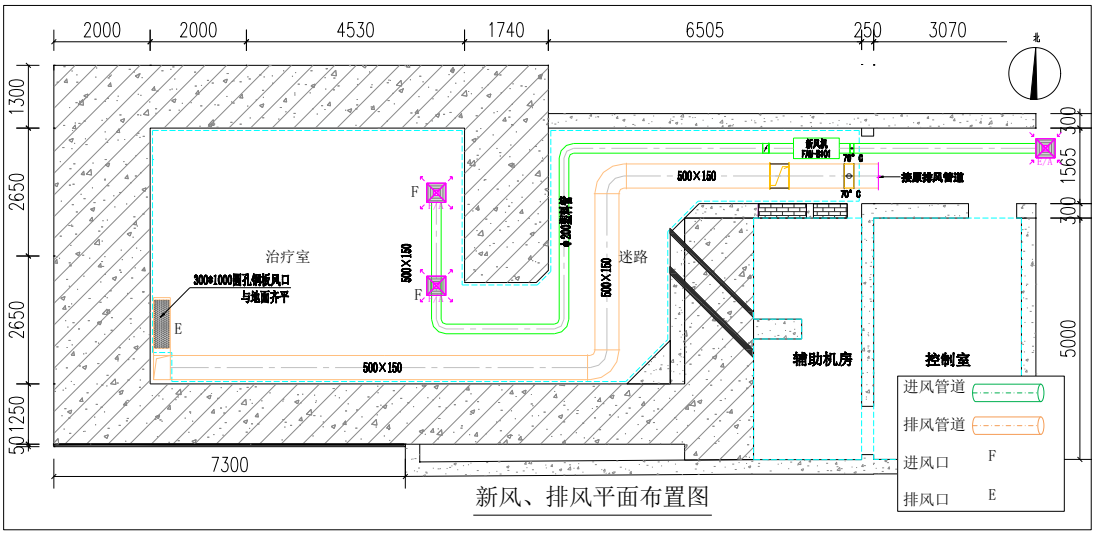


图 10-3 加速器机房新风、排风平面布置图

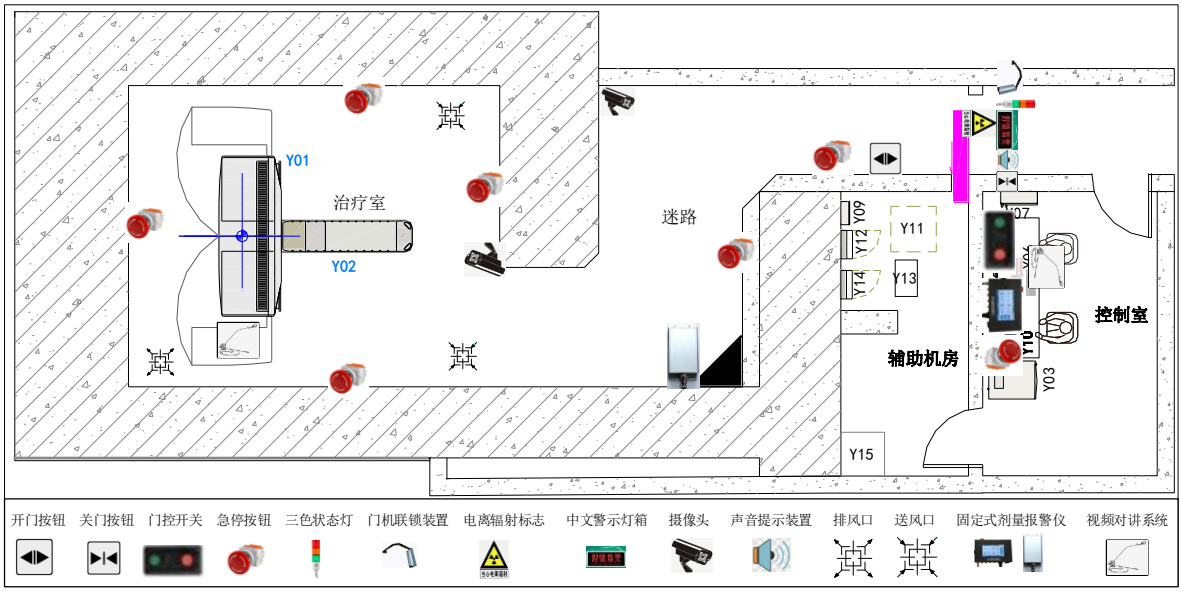


图 10-4 加速器机房主要安全设施位置示意图

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射治疗的单位应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。

无锡市第二人民医院已配备 1 台辐射巡测仪，并已为本项目配备一套固定式剂量辐射监测仪，2 台个人剂量报警仪。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废治理

一、放射性三废

本项目医用直线加速器开机期间无放射性废物产生。

二、非放射性三废

（一）废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理达标排放至市政管网。

（二）废气：加速器机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排出室外。臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第 6.2.2 条款的要求：放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机

房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

本项目加速器机房治疗室容积约 178.1m^3（包括迷路），加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式，排风机的拟设计通风量为 1700m^3/h，通风换气次数约为 9.5 次/h。放射治疗机房采用上进下出的通风系统，从防护门上方至机房内，进风口设置 2 个，分别位于治疗室东南角与东北角顶部吊顶处，排风口设置 1 个，位于西南角，其下沿与治疗室地面齐平，东北角进风口与西南角排风口位置为对角设置。

本项目加速器机房通风设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换”及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的相关要求。

（三）固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类收集后，交由市政环卫部门处理。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次改建医用直线加速器项目建设时主要工作为建筑施工与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气：本项目各种施工将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

二、噪声：整个建筑施工阶段，如混凝土浇筑等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

三、固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托由有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

四、废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，回收用于施工场地洒水降尘。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院区内部，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

根据建设单位提供的资料，医院拟配备的 1 台医用直线加速器型号为 Halcyon，X 射线最大能量为 6MV，1m 处输出剂量率最大为 800cGy·m^2/min

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）的要求，在本项目医用直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在医用直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

由于 Halcyon 型医用直线加速器有用线束方向自带自屏蔽装置，有用线束在穿过患者的身体前会穿过该设备内部的屏蔽壳体（内含 172mm 铅板），故有用线束方向

墙体未设置次屏蔽区，有用线束方向墙体全按有用线束屏蔽考虑，本项目加速器机房西墙（*e* 点）、北墙（*b* 点）为土层，人员不可达，故不予计算，南墙 *a* 点处为土层，故选取人员可达处的最近距离 *a'* 点进行估算。

本项目加速器机房的关注点设定如图 11-1。

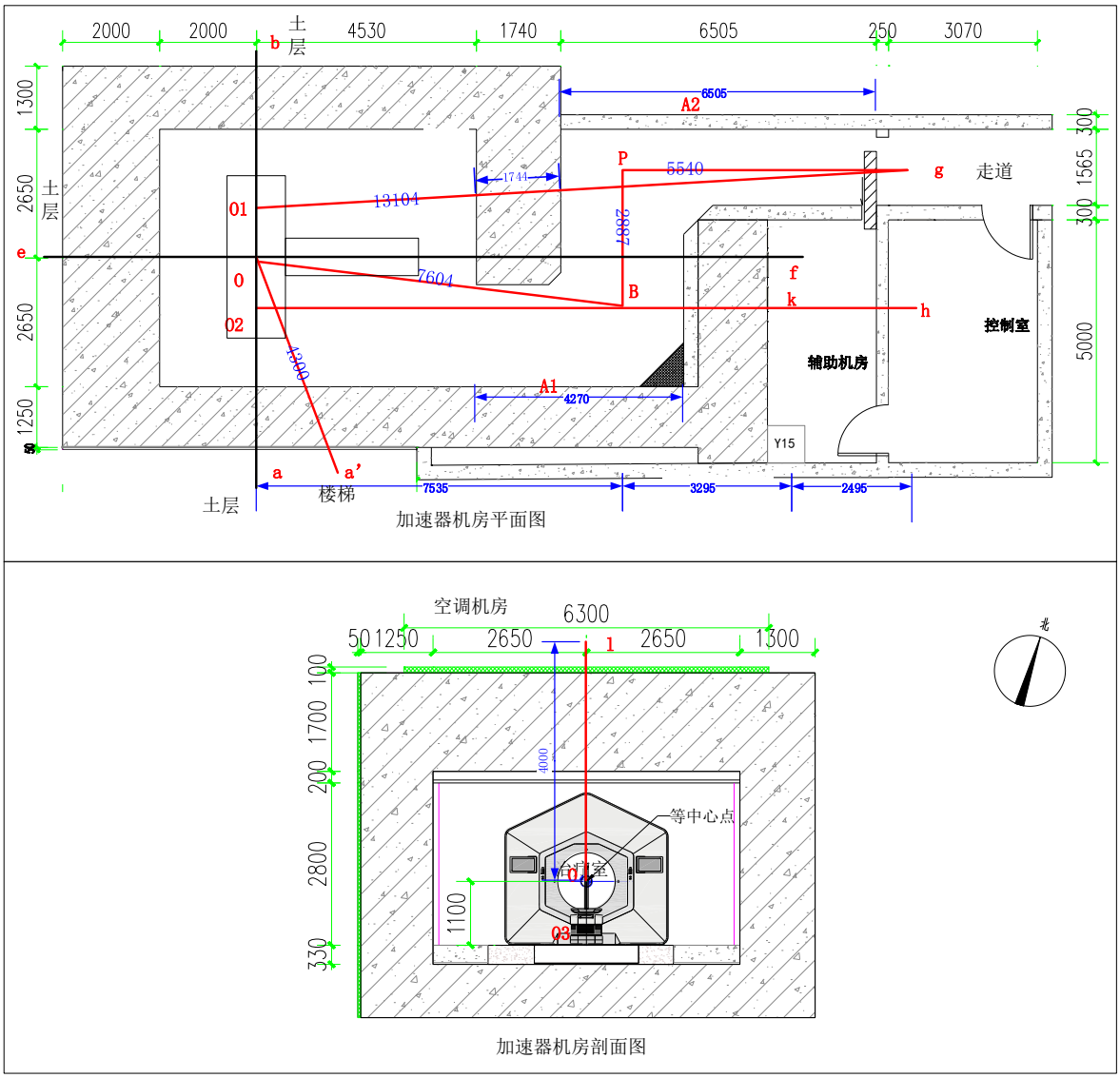


图 11-1 加速器机房估算点位示意图

（二）辐射防护效果预测

1、有用线束辐射水平计算（*a'* 点、*l* 点）

（1）主射线路径：南墙 $o_1 \rightarrow a'$，屋顶 $o_3 \rightarrow l$。

（2）计算模式及参数选择

使用《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）的相关公式进行有用线束主屏蔽设计计算，在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式 11-1 计算有效厚度 X_e（cm），按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \qquad \text{公式 11-1}$$

式中：X—设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角。

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

式中，TVL_1（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，TVL_1=TVL。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1 为 37cm，TVL 为 33cm。本项目中，a' 点 l 点相应厚度主屏蔽的 B 值计算见表 11-1。

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad \text{公式 11-3}$$

式中：H_0—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h，本项目为 4.8×10^{8}μSv·m^2/h；

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

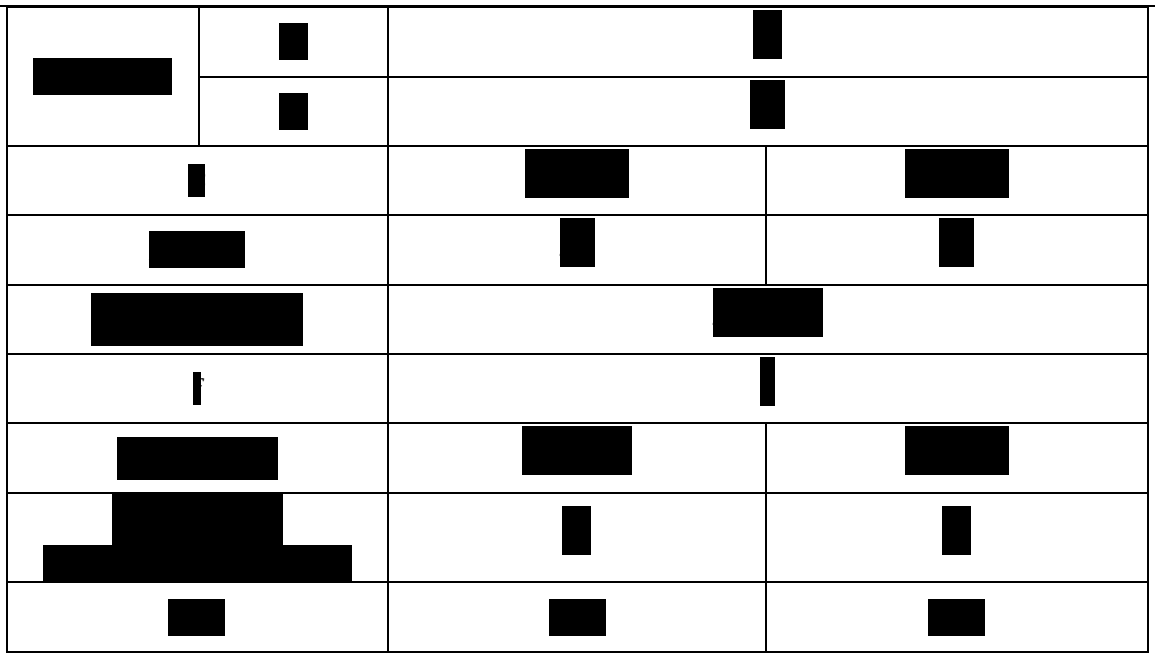
f—对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

（3）预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 H_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-1。

表 11-1 主屏蔽外参考点辐射剂量率预测值

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]



2、侧屏蔽墙外辐射水平计算（东墙 *f* 点、*k* 点）

（1）射线路径（射线类型）： $o \rightarrow f$（泄漏射线）、$o_2 \rightarrow k$（泄漏射线）、$o_2 \rightarrow h$（泄漏射线）。

（2）计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。公式 11-3 中，f=0.001（泄漏辐射比率，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/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3}）。公式 11-3 的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL_1=34cm，TVL=29cm。本项目 *f* 点处远小于 *k* 点处辐射剂量率，当 *k* 点的辐射剂量率满足相关要求，*f* 点也满足要求，故 *f* 点不予计算。

（3）预测计算结果

k、*h* 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-2，其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-2 加速器机房迷路外墙外泄漏辐射剂量率预测值

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

注：关注点 *h* 点处的辐射剂量率未考虑控制室墙体的屏蔽。

3、迷路入口处辐射水平计算（*g* 点）

根据 GBZ/T 201.2-2011，*g* 点处同时受到迷道内散射辐射（$o_2 \rightarrow o \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$，$o_2 \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$）及加速器的泄漏辐射 o_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 *g* 点的辐射剂量。

（1）射线路径（射线类型）：$o_1 \rightarrow g$（泄漏射线），$o_2 \rightarrow o \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$（散射射线），$o_2 \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$（散射射线）。

（2）泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量预测方法同 *k* 点。

其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读出，取泄漏因子 *f*=0.001，公式 11-2 的 TVL_1 和 *TVL* 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL_1=34cm，*TVL*=29cm。计算结果见表 11-3。

表 11-3 迷路入口处的泄漏辐射剂量率预测值

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

（3）散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T 201.2-2011，入口 g 点处的散射辐射剂量率 H_g 按公式 11-4 计算。

$$H_g = \frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2}\cdot\frac{\alpha_2\cdot A}{R_2^2}H_0 \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：H_g—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者 400cm^2 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45°散射角的值；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取入射角为 45°，散射角为 0°；α_2 值见附录 B 表 B.6，保守使用其 0.5MeV 栏内的值；

A_1—B 处的散射面积，m^2；

A_2—P 处的散射面积，m^2；

R_1—“$o\rightarrow B$”或“$o_2\rightarrow B$”之间的距离，m；

R_2—“$B\rightarrow P$”之间的距离，m；

R_3—“$P\rightarrow g$”之间的距离，m；

H_0—加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，μSv·m^2/h。

表 11-4 迷路入口处的散射辐射剂量率预测值

[redacted]	[redacted]	
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

（4）预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外 g 点处的辐射剂量率 H（μSv/h）按公式 11-7 计算，预测结果见下表 11-5。

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{og} \qquad \text{公式 11-7}$$

式中：H_{og}—g 处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

H_g—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在铅中的什值层，cm。

表 11-5 迷路入口防护门外的辐射剂量率预测值

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

（三）预测计算结果汇总及评价

综上所述，加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-6。

表 11-6 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

[redacted]			

由表 11-6 可知，本项目加速器机房外辐射剂量率能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。

1、天空反散射和侧散射辐射影响评价

本项目加速器机房顶部剂量率最大值为 0.134μSv/h，其天空反散射和侧散射辐射对加速器机房外的附近公众的照射较小，能够满足防护要求。

2、门缝处辐射防护评价

本项目医用直线加速器机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

3、电缆沟辐射影响评价

本项目电缆沟位置在机房迷道外墙（辅助机房西墙）处，电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，本项目射线在机房内经 2 次散射，在电缆沟内经 1 次散射（图 11-2）后到达辅助机房处（散射路径 $o \rightarrow m_1 \rightarrow m_2 \rightarrow n$），根据 GBZ/T 201.2-2011，电缆沟出口处 n 点处的散射辐射剂量率 H 按公式 11-4 计算。

$$H = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} H_0 \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：H—n 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者 400cm^2 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45°散射角的值；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取入射角为 45°，散射角为 0°；α_2值见附录 B 表 B.6，保守使用其 0.5MeV 栏内的值；

A—*m* 处的散射面积，m^2；

R_1—“$o \rightarrow m_1$”之间的距离，m；

R_2—“$m_1 \rightarrow m_2$”之间的距离，m；

R_3—“$m_2 \rightarrow$n”之间的距离，m；

H_0—加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，$\mu Sv \cdot m^2/h$。

表 11-7 迷路入口处的散射辐射剂量率预测值

根据表 11-7 中的计算结果，本项目加速器机房的电缆沟出口处辐射剂量率为 1.44μSv/h，能够满足辐射防护要求。

4、穿墙管道处辐射防护评价

本项目加速器机房通风管道穿墙处采用倒“U”型设计，管道内径为 300mm×300mm。医用直线加速器机房通风管道经防护门上方由迷路到达机房内，管道穿迷路上方屏蔽到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线在机房内经过 3 次散射到达管道入口处（散射路径可参照防护门处散射路径 o→B→P→g），在管道内射线经不少于 1 次散射后，过墙风管道出口处辐射剂量将在控制范围内（管道散射线路径见图 11-2）。

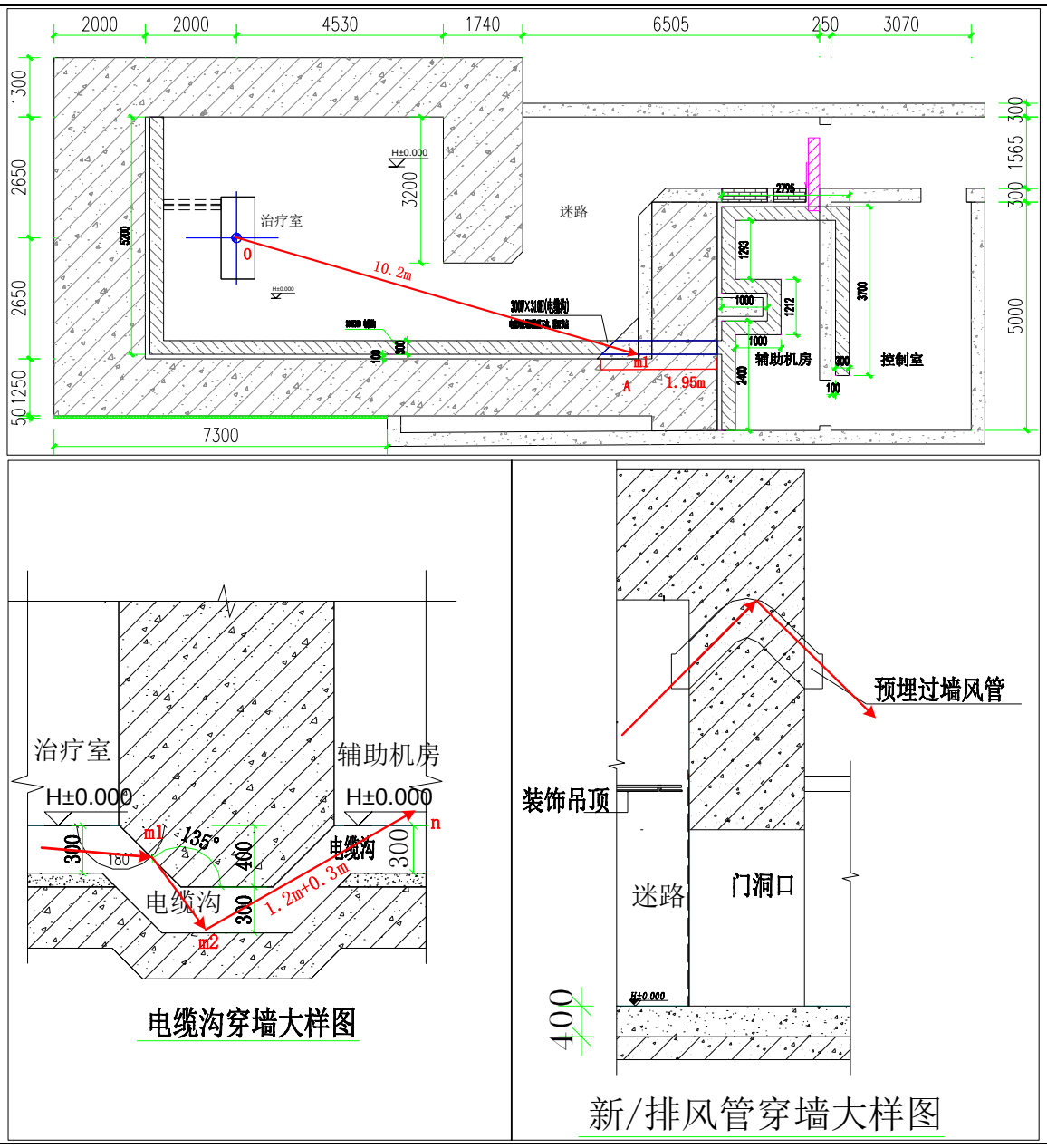


图 11-2 预留电缆沟内、新/排风管道内散射路径示意图

（四）保护目标有效剂量评价

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U \qquad \text{公式 11-5}$$

式中：D_{Eff} 一关注点人员有效剂量（Sv）；

H一关注点的周围辐射剂量率（Sv/h）；

t一关注点处年受照时间（h）；

T一居留因子；

U一使用因子。

将表 11-6 中加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8。本项目医用直线加速器年出束运行时间约 500h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-5 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-8。

表 11-8 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							

注：1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 表 A.1；

2、医用直线加速器机房下方、西侧、北侧为土层，人员不可达；

根据表 11-8 结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最大为 0.002mSv，周围公众年有效剂量最高为 0.059mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

二、非放射性“三废”影响分析

（一）废气：加速器机房内在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，常温下 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（二）废水：工作人员和部分患者产生的生活污水，由医院污水处理站统一处理，对周围环境影响较小。

（三）固体废物：工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

事故影响分析

本项目新增的医用直线加速器为II类射线装置，医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

一、医用直线加速器工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房

内，导致发生误照射。

二、加速器机房门机联锁失效，导致防护门未关闭时，设备开机或无关人员勿入，导致防护门外工作人员或公众受到误照射。

三、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

一、发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机联锁装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保医用直线加速器停止工作。

二、迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

三、对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

四、医院应定期对加速器机房辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

五、事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。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；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12　辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

无锡市第二人民医院拟在外科楼负 1 楼改建 1 座医用直线加速器机房，配置 1 台医用直线加速器，用于开展放射治疗。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用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，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，无锡市第二人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次改建医用直线加速器项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院已为本项目配备 4 名辐射工作人员，为医院原有辐射工作人员，且不兼职其它辐射工作。辐射安全管理人员与辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，辐射安全管理人员应参加“辐射安全管理”辐射防护上岗考核。放射治疗的辐射工作人员应参加“放射治疗” 辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

辐射安全管理规章制度

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用射线装置的单位要“有健全操作规程、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，并有完善的辐射事故应急措施”。 目前无锡市第二人民医院已制定相关辐射安全与防护管理制度，如《岗位职责》《设备维修保养制度》《职业安全培训制度》《放射防护服安全管理制度及流程》《放射人

员职业健康管理制度》《个人剂量和辐射环境监测制度》《放射防护制度》《放射事故报告及应急处置制度》及不同设备相应的《操作规程》等。医院现有管理制度内容较为全面，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，拟根据本次改建医用直线加速器项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

一、操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

（一）确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

（二）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（三）在工作场所严禁吸烟、进食。

二、岗位职责：明确射线装置使用工作人员、台帐管理人员、辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度：根据射线装置操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

（二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

四、设备维修制度：明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警告标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、人员培训计划和健康管理制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据18号令及《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》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。医院应组织新进辐射工作人员

定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

六、监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保Ⅱ类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

（一）明确监测项目和频次；

（二）辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

（三）医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

（四）委托有资质监测单位对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，无锡市第二人民医院已配备辐射巡测仪 1 台，已为本项目配备 1 套固定式剂量辐射监测仪和个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

一、工作场所监测

（一）应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30 cm 处、顶棚、操作位、防护门，以及其他关注处点开展 X-γ 辐射周围剂量当量率监测；

（二）放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标；

二、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，周期：1～2 次/年；

三、辐射工作人员开展个人剂量监测，定期（不少于 1 次/季）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

四、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

五、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于1次/2年），并建立个人职业健康档案；

六、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在1小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

无锡市第二人民医院已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于 1 次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

无锡市第二人民医院已为辐射工作人员配备个人剂量计，已委托无锡市疾病预防控制中心对辐射工作人员进行个人剂量监测（1次/季）和职业健康体检（1次/2年），医院公共卫生处负责全院人员个人剂量的收发和管理，职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于公共卫生处。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急预案应明确以下几个方面：

一、应急机构和职责分工；

二、应急的具体人员和联系电话；

三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

五、辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》(原国家环保总局,环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，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；并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

无锡市第二人民医院已经制定了《放射事故报告及应急处置制度》，该预案已包

括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关科室，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。医院开展核技术利用项目至今，未发生过辐射事故。

表 13　结论与建议

结论

一、实践正当性

无锡市第二人民医院拟在南院外科楼负 1 楼改建 1 座加速器机房，并配置 1 台 Halcyon 型直线加速器（X 射线能量：6MV，X 线最高剂量率：800cGy/min），用于肿瘤的放射治疗。

本项目的建设，可为医院提供多种诊断、治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断及治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。具有良好的社会效益和经济效益，经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后，本项目的建设和运行对受照个人和社会公众所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修正），本项目不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

二、选址合理性

无锡市第二人民医院南院位于无锡市梁溪区中山路 68 号，医院东侧为新生路，南侧为永兴巷，西侧为中山路，北侧为沙巷、新开河小区。

本项目位于南院外科楼负 1 楼，外科楼东侧为警务室，南侧为中心广场、病房综合楼，西侧为急救中心，北侧为院区食堂。加速器机房东侧为加速器辅助机房、走道，南侧为楼梯、电梯，西侧、北侧、下方为土层，上方为空调机房。

本项目周围 50m 评价范围除北侧至沙巷、新开河小区，其余方向均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及陪同家属和院外沙巷、新开河小区处的部分公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境

准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目治疗室与控制室分开，区域划分明确，选址及布局合理。

三、辐射环境现状评价

无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目拟建址周围本底辐射剂量率在65nGy/h～75nGy/h之间，与江苏省环境天然γ辐射水平调查结果相比较，未见异常。

四、环境影响评价

根据预测估算结果，无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后：

辐射防护影响预测：本项目加速器机房外30cm处的周围剂量当量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中的相关要求。

剂量约束值：本项目辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对本项目职业人员和公众剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

五、“三废”的处理处置

加速器机房内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入室外，臭氧常温下约50分钟可自行分解为氧气；本项目加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。机房采用上进下出的通风系统，进风口2个、排风口1个，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿与治疗室地面齐平。进风口和排风管道未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。本项目加速器机房治疗室容积约178.1m^3（包括迷路），加速器机房内排风机的拟设计通风量为1700m^3/h，通风换气次数约为9.5次/h。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“通风换气次数应不小于4次/h”的要求。工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。对环境影响较小。

六、辐射安全防护措施评价

无锡市第二人民医院拟配备的1台医用直线加速器的X射线最大能量为6MV，医用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。本项目加速器机

房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设置固定式剂量辐射监测仪，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的安全管理要求。

七、辐射安全管理评价

无锡市第二人民医院已设立辐射安全与环境保护管理机构,指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

医院需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。无锡市第二人民医院已配备辐射巡测仪 1 台，已为本项目配备 1 套固定式剂量辐射监测仪及个人剂量报警仪 2 台。

综上所述,无锡市第二人民医院改建医用直线加速器项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后,该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

一、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想,以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响,使对环境的影响降低到最低。

二、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、医院取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施		预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。		满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：加速器机房四侧墙体、顶面采用混凝土进行辐射防护，防护门采用铅防护门进行辐射防护。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对本项目职业人员和公众的剂量约束值要求。	20
	安全措施	加速器机房设置门机联锁装置，并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置，防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。在治疗室内设置固定式剂量监测报警装置。机房内设有通风装置，采用机械排风方式。机房采用上进下出的通风系统，设置进风口 2 个、排风口 1 个，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿与治疗室齐平。进风口和排风管道未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。本项目加速器机房治疗室容积约本项目加速器机房治疗室容积约 178.1m^3，拟设计通风量为 1700m^3/h，通风换气次数约为 9.5 次/h。	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。		满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。			
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立放射工作人员职业健康档案。			
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪 1 台。		满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）有关要求。	/
	已配备 1 套固定式剂量辐射监测仪			
	已配备个人剂量报警仪 2 台。			

辐射安全管理制度	制定操作规程、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、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	20

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

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