2024-F-040

核技术利用建设项目

南通大学附属医院
医用直线加速器机房改建项目
环境影响报告表
（公示版）

南通大学附属医院（公章）

2024 年 5 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南通大学附属医院
医用直线加速器机房改建项目
环境影响报告表
（公示版）

建设单位名称：南通大学附属医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：南通市西寺路 20 号

邮政编码：216000　　联系人：

电子邮箱：/　　联系电话：

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">医用直线加速器机房改建项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">南通大学附属医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>施炜</td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">南通市西寺路 20 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">南通市西寺路 20 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</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>1900</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>81</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>4.26%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">□新建 ☑ 改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□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="5">□制备 PET 用放射性物质</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>☑ 使用</td><td colspan="5">☑II类 □III类</td></tr>
<tr><td>其它</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1 建设单位基本情况、项目建设规模及任务由来

1.1 建设单位基本情况

南通大学附属医院创建于 1911 年，是一所省属大型综合性教学医院，1994 年被卫生部审定为三级甲等医院，1998 年被卫生部确定为国际紧急救援中心网络医院。医院西院区（老院区）占地面积 146 亩，建筑面积 23.8 万平方米，位于南通市西寺路 20 号。东院区（新院区）占地面积 281 亩，建筑面积 56.6 万平方米，位于南通市青年东路 699 号。现有职工 4000 多名，拥有 38 个临床医技科室、下属 3 个科研机构。

1.2 项目建设规模及任务由来

医院西院区 16 号楼一层有一座加速器机房，机房内原有一台瓦里安 Trilogy 型医用直线加速器，于 2013 年 3 月取得了环评批复，于 2015 年 7 月通过竣工环保验收，环评

批复及竣工验收意见见附件 3。该机房内加速器于 2019 年 10 月搬迁至 19 号楼 1 号加速器机房，自搬迁完成后，该机房及辅助用房一直空置至今。现因医院发展需要，计划对该机房进行改造，并在改造后机房内计划配备一台医科达 Versa HD 型医用直线加速器，用于肿瘤治疗。该加速器 X 射线能量包括 6MV、10MV 和 6MV FFF，6MV FFF 模式下最大剂量率为 1400cGy/min，10MV 模式下最大剂量率为 600cGy/min；电子线能量包括 6、8、10、12、15MeV 五档，最大剂量率为 600cGy/min。

医院加速器机房改造内容主要包括：（1）医院计划在迷道内墙北侧部分增加 10cm 硫酸钡水泥；（2）医院计划拆除机房现有防护门，并更新防护门；（3）由于机房辐射安全措施不能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求。因此，医院根据标准相关要求重新设计相应的辐射安全装置和保护措施，使其能够满足 Versa HD 型加速器的辐射防护要求。

瓦里安 Trilogy 型医用直线加速器在 16 号楼加速器机房安装后，至 2019 年 10 月搬迁为止一直正常运行，期间未发生辐射事故，2018 年度检测报告见附件 7，2018 年度辐射工作人员个人剂量监测报告见附件 8。

医院本次核技术利用建设项目情况一览表见下表 1-1：

表 1-1 医院本次核技术利用建设项目一览表

装置名称	型号	设备参数	装置类别	场所名称	活动种类	环评情况
医用直线加速器	Versa HD	X 射线能量：6MV、10MV，最大剂量率：600cGy/min X 射线能量：6MV FFF，最大剂量率：1400cGy/min 电子线能量：6MeV、8MeV、10MeV、12MeV、15MeV 最大剂量率：600cGy/min	II	16 号楼加速器机房	使用	改建项目本次环评

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》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，本项目加速器属于II类射线装置需要编制环境影响报告表。受南通大学附属医院委托，江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的放射治疗需求，提供患者治疗能力。本项目的开展可达到一般非放射性治疗方法所不能及的治疗

效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了身份重要的作用。医院通过采取相应的辐射防护措施和管理措施，本项目运行后产生的辐射影响很小。因此，本项目所带来的利益是大于付出的代价的，符合辐射防护“实践的正当性”原则。

3 项目周边保护目标及项目选址情况

南通大学附属医院西院区位于南通市西寺路 20 号，地理位置见附图 1。其东侧为健康路、南大街、崇川大厦，南侧为濠河，西侧为濠河、西寺路，北侧为西寺路，医院平面布局见附图 2。

本项目加速器机房位于 16 号楼一层，16 号楼为 2 层独栋建筑，地下为土层。加速器机房东侧为绿化带、院内道路、崇川大厦，南侧为控制室、水冷机房、院内道路、17 号楼，西侧为 16 号楼候诊室、设备机房和空地，北侧为院内道路、食堂楼、19 号楼等。机房正上方为杂物间，下方为土层。16 号楼一层平面图见附图 3、16 号楼二层平面图见附图 4。

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）中 1.5 的规定，本项目评价范围确定为加速器机房边界外 50m 范围内区域。根据现场调查可知，本项目加速器机房 50m 内，无居民区、学校等环境敏感目标。因此本项目保护目标主要为辐射工作人员，崇川大厦内的公众，16 号楼内患者及患者家属、17 号楼内的医护人员、患者及患者家属，19 号楼内的医护人员、患者及患者家属，及院内道路的行人等。

4 原有核技术利用建设项目许可情况

南通大学附属医院现持有辐射安全许可证（苏环辐证[00215]），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”，有效期至：2027 年 10 月 07 日。医院辐射安全许可证正副本见附件 4，医院原有核技术利用项目均已履行环保手续。

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	日等效最大操作量	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	Versa HD	电子	X 射线：10MV 电子线：15MeV	X 射线：10MV 时最大剂量率为 600cGy/min X 射线：6MV FFF 时最大剂量率为 1400cGy/min 电子线：15MeV 时最大剂量率为 600cGy/min	放射治疗	16 号楼加速器机房	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统直接排入大气，臭氧在常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度(Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m^3)，年排放总量分别用 Bq 和 kg。

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），国家主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 修正版），中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日修订，2018 年 12 月 29 起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，国家主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修正版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行 （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日公布施行 （6）《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 日实施 （7）《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 年 1 月 1 日起施行 （8）《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、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 （9）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日施行 （10）《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 （11）《放射性废物安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行 （12）《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 年 9 月 26 日起施行 （13）《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 （14）《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 11 月 1 日起施行

	（15）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》生态环境部公告第 39 号，2019 年 11 月 1 日起施行 （16）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正版），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日起施行 （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 日起施行 （18）《江苏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 （19）《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 （20）《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 （21）《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，2021 年 11 月 9 日 （22）《市政府办公室关于印发南通市“三线一单”生态环境分区管控管理暂行办法的通知》，通政办发〔2022〕55 号，2022 年 5 月 24 日 （23）《南通市濠河风景名胜区条例》，苏人发〔2022〕27 号，2022 年 7 月 1 日起施行
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （2）《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） （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） （5）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021） （6）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） （7）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020） （8）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）

	（9）《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）
其它	**与本项目相关附件：** （1）委托书（附件 1） （2）射线装置使用承诺书（附件 2） （3）加速器项目环评批复及验收意见的函（附件 3） （4）辐射安全许可证（附件 4） （5）辐射环境现状检测报告（附件 5） （6）个人剂量监测报告（见附件 6） （7）原加速器运行期间年度检测报告（附件 7） （8）原加速器运行期间辐射工作人员个人剂量报告（附件 8）

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目加速器属于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）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”相关规定，确定本项目评价范围为加速器机房边界外 50m 范围内区域。

保护目标

1.1 辐射环境保护目标

根据现场调查可知，本项目评价范围确定为加速器机房边界外 50m 范围内区域。根据现场调查可知，本项目加速器机房 50m 范围内区域中，无居民区、学校等环境敏感目标。因此本项目保护目标主要为辐射工作人员，崇川大厦内的公众，16 号楼内患者及患者家属，17 号楼内的医护人员、患者及患者家属，19 号楼内的医护人员、患者及患者家属，及院内道路的行人等。保护目标详见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

保护目标分类	方位	保护目标名称	最近距离（m）	规模（人数）	剂量约束值（mSv/a）
辐射工作人员	控制室	辐射工作人员	/	5 人	5
公众	东侧	院内道路行人	5	流动人员	0.1
		崇川大厦内公众	30	流动人员	
	南侧	院内道路行人	5	流动人员	
		17 号楼内医护人员	15	约 30 人	
		17 号楼内患者及患者家属		流动人员	
	西侧	院内道路行人	5	流动人员	
		16 号楼内患者及患者家属	5	流动人员	
	北侧	食堂楼人员	5	流动人员	
		19 号楼内医护人员	10	约 80 人	
		19 号楼内患者及患者家属		流动人员	
		院内道路行人	5	流动人员	
	楼上	16 号楼医护人员	5	1 人	

1.2 生态环境保护目标

根据《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》及《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》，本项目位于南通濠河风景名胜区生态空间管控区范围。本项目的建设行为不违反有关生态红线的功能管控要求，本项目的建设符合《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》相关规定。

评价标准

1《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： 1、由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； 2、任何一年中的有效剂量，50mSv； 3、眼晶体的年当量剂量，150mSv； 4、四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
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，1mSv； 2、特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv； 3、眼晶体的年当量剂量，15mSv； 4、皮肤的年当量剂量，50mSv

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%～30%（即 0.1mSv～0.3 mSv）的范围之内，但剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限。

2《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

4 一般要求

4.6 从事放射治疗的医疗机构应规范收集、妥善暂存和处理放射治疗活动中产生的放射性废物。

4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 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 5 mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/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。

5.2 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

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 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 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

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。

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 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 $\dot{H}c,d(\mu Sv/h)$：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}c \leq 100$ μSv/周；

机房外非辐射工作人员：Ḣc≤5 μSv/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 Ḣc,mAx (μSv/h)：

人员居留因子 T＞1/2 的场所： Ḣc,mAx≤2.5 μSv/h；

人员居留因子 T≤1/2 的场所： Ḣc,mAx≤10 μSv/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 30 cm 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）。

6.2 安全防护设施和措施要求

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，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

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。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、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。

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联锁措施：

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门－机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

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、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；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；

d）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。

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固态废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

8.2.2 其他固态废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

8.4 气态废物管理要求

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。

3 项目管理目标限值

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的关注点最高剂量率参考控制水平的取值要求：

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，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 $\dot{H}_{c,d}$(μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100 μSv/周；

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

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

人员居留因子 T≤1/2 的场所： $\dot{H}_{c,max}$≤10 μSv/h。

根据本项目加速器周开机治疗时间，估算得到加速器机房外 30cm 处的剂量率控制水平，见表 7-3：

表7-3 加速器机房外30cm处的剂量率控制水平估算值

参考点	使用因子U	居留因子T	周剂量控制值（μSv/周）	周工作时间（h）	周围剂量当量率计算控制水平（μSv/h）	标准控制水平（μSv/h）	控制水平（μSv/h）
东墙 e (绿化带、道路)	1	1/40	5	12.5	16	10	10
南墙 a (水冷机房)	1/4	1/40	5	12.5	64	10	10
南墙 c_1 （控制室）	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5
南墙 c_2 (水冷机房)	1	1/40	5	12.5	16	10	10
西墙 f/k (候诊室)	1	1	5	12.5	0.4	2.5	0.4
北墙 b (道路)	1/4	1/40	5	12.5	64	10	10
北墙 d_1/d_2 (道路)	1	1/40	5	12.5	16	10	10
顶部 l （杂物间）	1/4	1/20	5	12.5	32	10	10
顶部 m_1/m_2 （杂物间）	1	1/20	5	12.5	8	10	8
防护门 g	1	1/8	5	12.5	3.2	10	3.2

注：本项目医用直线加速器投入运行后，预计日接诊量最大 50 人次，周工作 5 天，患者治疗照射时间平均按 3min 计，则周工作时间为 12.5h。

综上所述，（1）取加速器机房西墙外30cm处（候诊室）的剂量率控制水平限值为0.4μSv/h；南墙外30cm处（控制室）的剂量率控制水平限值为2.5μSv/h；东墙、南墙（水冷机房）、北墙外30cm处的剂量率控制水平限值均取值为10μSv/h，顶部距地30cm处的剂量率控制水平限值均取值为8μSv/h；防护门外30cm处的剂量率控制水平限值为3.2μSv/h；（2）辐射工作人员年有效剂量不超过5mSv，公众照射年有效剂量不超过0.1mSv。

4 参考资料

《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。

表7-4 江苏省环境天然γ辐射水平（单位：nGy/h）

类别 \ 类型	原野γ辐射剂量率	道路γ辐射剂量率	室内γ辐射剂量率
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

注：1、测量值已扣除宇宙射线响应值；

2、现状评价时，以“均值±3s”作为参考值：原野为（50.4±21.0）nGy/h；道路为（47.1±36.9）nGy/h；室内为（89.2±42.0）nGy/h。

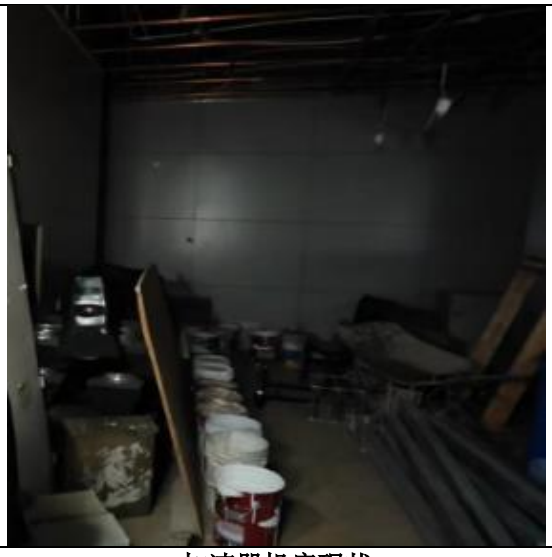
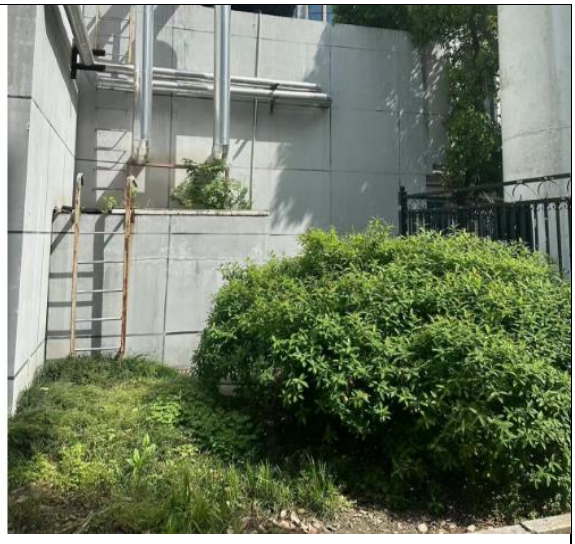
表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 项目地理位置及场所位置

南通大学附属医院西院区位于南通市西寺路 20 号。其东侧为健康路、南大街、崇川大厦，南侧为濠河，西侧为濠河、西寺庙，北侧为濠南路、健康路，医院地理位置见附图 1，院区平面布局见附图 2。

本项目加速器机房位于 16 号楼一层，16 号楼为 2 层独栋建筑，地下为土层。加速器机房东侧为绿化带、院内道路、崇川大厦，南侧为控制室、水冷机房、院内道路、17 号楼，西侧为 16 号楼候诊室、设备机房和空地，北侧为院内道路、食堂楼、19 号楼等。机房正上方为杂物间，下方为土层。本项目周围环境现状见图 8-1。

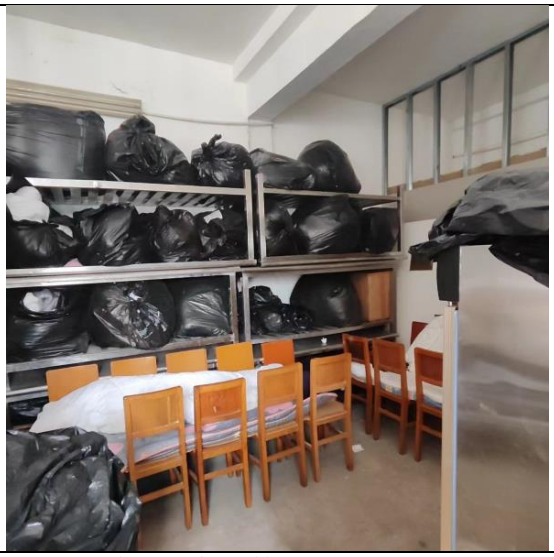
<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>加速器机房现状</td><td>加速器机房东侧（绿化带）</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>加速器机房东侧（道院内路）</td><td>加速器机房南侧（控制室）</td></tr>
</table>



加速器机房西侧（设备机房）



加速器机房北侧（院内道路）



加速器机房楼上（杂物间）



崇川大厦

图 8-1 加速器机房周围环境现状图

2 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，在加速器机房及周围进行布点，测量γ辐射剂量率。监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-2。

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

监测仪器：FH40G 型多功能环境辐射剂量率仪（探头型号 FH672E-10）（设备编号：J2718，检定有效期：2023 年 05 月 08 日-2024 年 05 月 07 日，检定单位：江苏省计量科学研究院）

监测日期：2024 年 3 月 22 日

天气：多云

温度：24.2℃

湿度：51.4%RH

监测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

数据记录及处理：γ辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取10个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。

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：本项目监测单位江苏玖清玖蓝环保科技有限公司已通过检验检测机构资质认定（见附件 5），具备有相应的检测资质和检测能力，本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果质量保证：监测人员均经过考核并持有检测上岗证，监测仪器均经过计量部门检定，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：参照江苏省环境天然 γ 辐射水平调查结果。监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目加速器机房周围γ辐射水品测量结果

测点编号	测点位置描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	加速器机房室内	96.0	室内楼房
2	加速器机房东侧院内道路	75.7	室外道路
3	加速器机房南侧控制室	76.5	室内楼房
4	加速器机房西侧候诊室	76.2	室内楼房
5	加速器机房北侧院内道路	71.9	室外道路
6	加速器机房楼上杂物间	96.0	室内楼房

*表中结果已扣除仪器宇宙响应值 15.60nGy/h，已进行宇宙射线的屏蔽修正，修正因子楼房取 0.8，道路取 1.0。

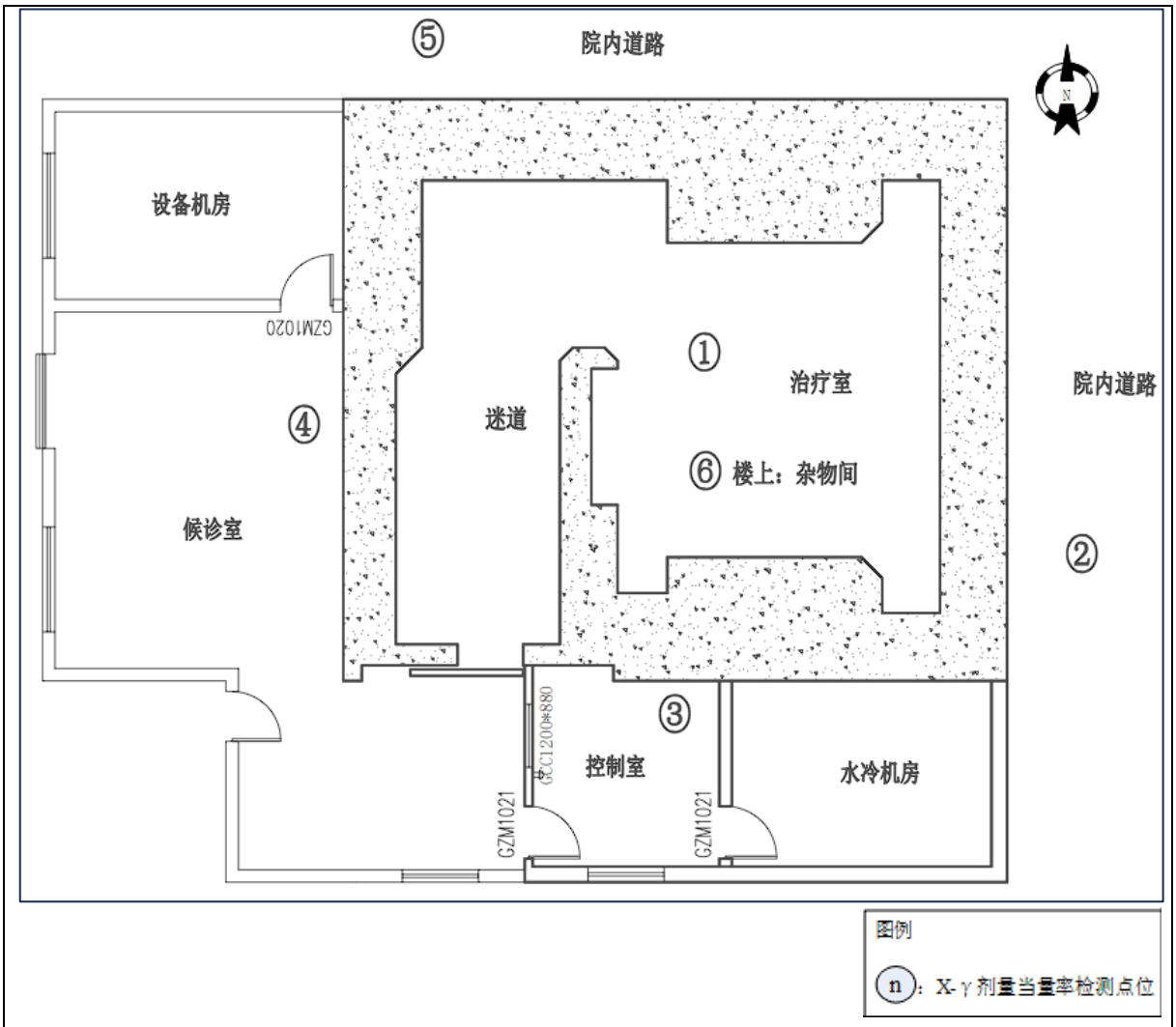


图 8-2 加速器机房周围环境 X-γ 辐射监测点位示意图

从现场监测结果可知，本项目加速器机房周围环境室内 γ 辐射水平为（76.2~96.0）nGy/h，处于江苏省室内环境天然 γ 辐射水平涨落范围；加速器机房周围环境室外 γ 辐射水平为（71.9~75.7）nGy/h，处于江苏省道路环境天然 γ 辐射水平涨落范围。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1 工程设备

南通大学附属医院加速器机房位于 16 号楼一层，根据实际工作的需要，医院计划对加速器机房进行改造，在改造后机房内计划配备 1 台 Versa HD 型医用直线加速器，用于放射治疗。本项目拟购置的直线加速器技术参数见表 9-1，射线装置使用承诺书见附件 2，加速器结构见图 9-1，加速器外观见图 9-2。

表 9-1 医院加速器技术参数

加速器型号	Versa HD
能量	X 射线（MV）：6、10 电子线（MeV）：6、8、10、12、15
距靶 1m 处剂量率	X 射线：6MV、10MV 模式：600cGy/min X 射线：6MV FFF 模式：1400cGy/min 电子线：600cGy/min
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
最大照射野大小	40cm×40cm
等中心点至机房地坪的高度	1.24m
机架旋转	±180°
靶材料	钨合金

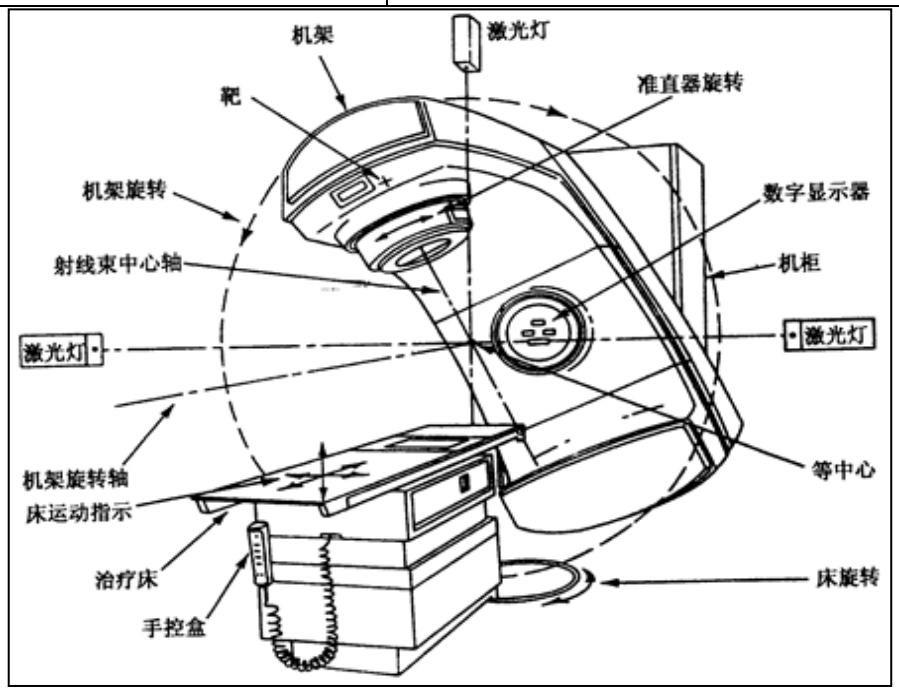


图 9-1 加速器结构图



图 9-2 Versa HD 加速器外观图

2 工作原理

医用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 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 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。医用直线加速器结构见图 9-1，Versa HD 型加速器外观见图 9-2。

3 工作流程及产污环节分析

本项目加速器的工作流程及产污环节示意见图 9-3。

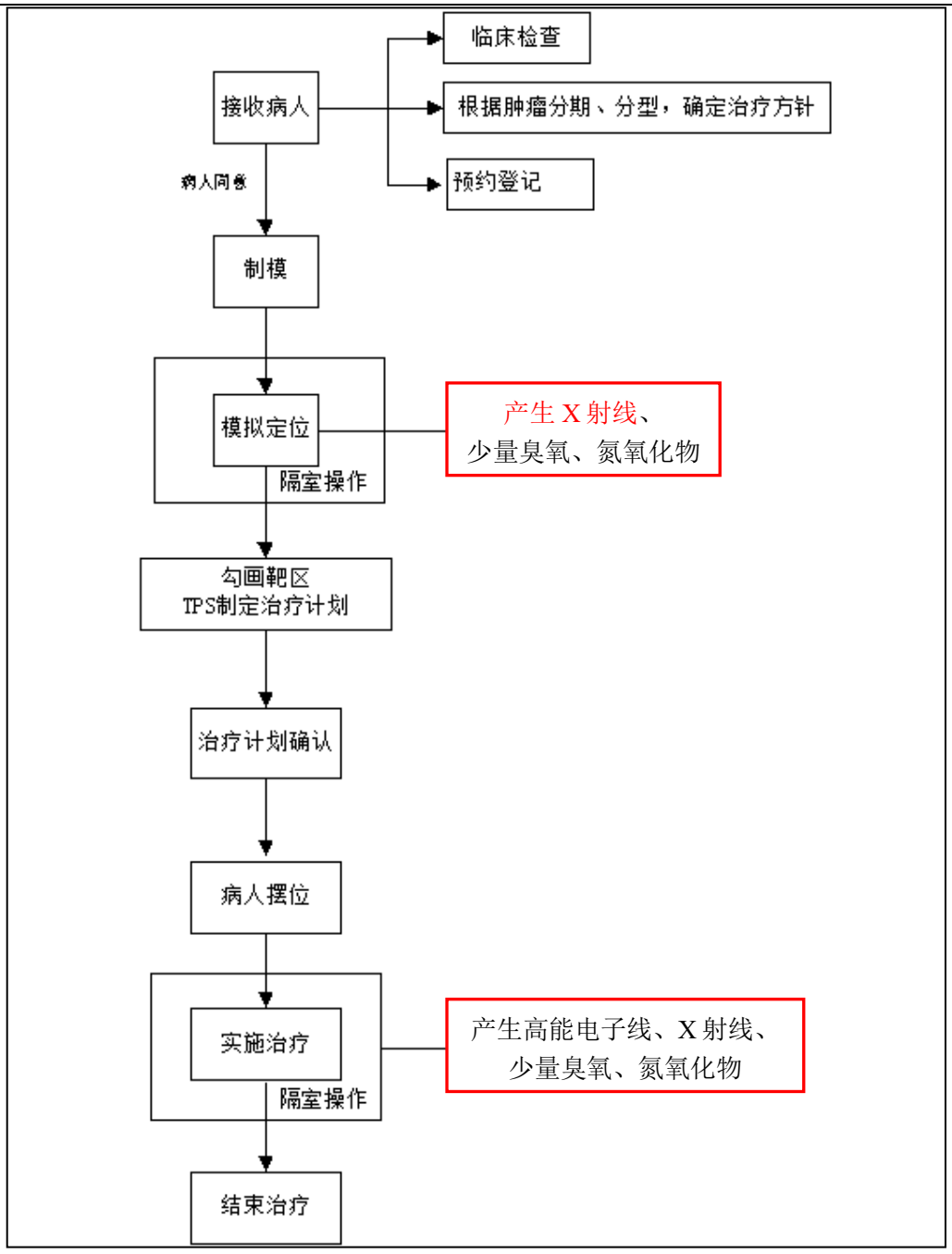


图 9-3 加速器项目工作流程及产污环节示意图

4 工作步骤

1）接收病人：对病人进行登记，进行临床检查，经医师集体讨论后，根据肿瘤分期、分型制定合适的个体放疗方案，确定初步的放疗原则。该项工作主要由临床医师在办公室内完成，不接触射线照射。

2）制模：精确放疗的首要条件是要有可靠的体位固定保证，保证每次放疗时良好的体位重复性，并尽量使患者感觉舒适，减少因体位变动误差对精确放疗的影响。一般情况下，头颈部肿瘤患者选择热塑面膜固定，而胸腹部肿瘤患者选择真空

垫或热塑体膜固定。固定模具的制作在放疗科模具室内完成，因此工作人员不接触射线。

3）模拟定位：本项目使用 Acuity 型模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查。该模拟定位机为利旧设备，机房位于 19 号楼地下二层放疗中心 CT 模拟定位机房 1 内，已履行环保手续。模拟定位机确定肿瘤的具体位置和形状，工作人员隔室操作，定位完成后，即将影像数据传输至 TPS 计划系统，由物理师进行初步的影像数据处理。当模拟定位机使用时，会产生 X 射线、少量臭氧、氮氧化物。医生和技师位于模拟定位机控制室内，可能受到小部分漏射线的照射，受到照射的量取决于机房的防护条件和时间。少量臭氧和氮氧化物会通过排风系统直接排入大气，臭氧在常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对环境和人员影响较小。

4）勾画靶区 TPS 制定治疗计划：影像数据经过初步的处理后，即由医师勾画放疗靶区和要保护的重要器官组织轮廓图，放疗靶区和重要器官组织轮廓勾画完成后，由物理师根据医师要求设计放疗计划。放疗计划设计完成后，要由医师和物理师进行评估优化，评估优化目标是在保证肿瘤获得足够放疗剂量的同时，尽可能控制重要器官组织的照射剂量不超其耐受剂量，而保护重要器官组织的功能和患者生活质量。该项工作由工作人员在办公室内完成，不接触射线照射。

5）治疗计划确认：放疗前最后一步准备工作包括三项流程：放射治疗中心位置验证（即复位）、射野验证和剂量验证。放射治疗中心位置验证：依照计划系统给出的肿瘤中心位置，找出对应的体表标志作为放疗时摆位的依据。射野验证：指在确定放射治疗中心位置后，利用模拟定位机拍摄 X 光片，或在直线加速器下使用电子射野验证系统（EPID 进行拍摄验证片，核对中心位置、每个照射野形状、入射角度和射野大小等是否正确，可将位置误差控制在 2～3mm 以内。在放疗计划验证过程中，工作人员需要在机房内进行摆放验证用相关设备，可能会受到感生放射性的照射，但感生放射性在很短的时间内就会降低直至消失；此外，加速器出束时工作人员还可能受到穿过防护墙的 X 射线照射。

6）病人摆位：每位病人的摆位时间约 2～5min，该过程在治疗室内完成。病人首次治疗时放射治疗医师也要进入治疗室，工作人员位置距离治疗床约 30cm，距离治疗机头约 80cm~1m。摆位完成后，放射治疗工作人员返回控制室，关闭防护门。工作人员在病人摆位过程中可能会受到感生放射性的照射，但感生放射性在很

短的时间内就会降低直至消失。

7）实施治疗：从 TPS 中提取病人的治疗计划，经过核对治疗单，确定所有安全措施到位后，对病人启动治疗进行照射。在放疗实施过程中，会产生产生高能电子线、X 射线、少量臭氧和氮氧化物，放射工作人员位于控制室内，大部分电子线和 X 射线会被治疗室四周屏蔽墙屏蔽，受到的照射影响较小。少量臭氧和氮氧化物会通过排风系统直接排入大气，臭氧在常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对环境和人员影响较小。

8）结束治疗：病人离开治疗室，摆位人员进行下一个患者摆位准备。

9）加速器工作人员进行肿瘤放射治疗时正常的开机治疗程序为：

①核对病人的姓名和治疗数据，仔细按治疗单要求摆位，除病人外全部离开治疗室，关闭治疗室防护门，门外工作状态指示灯开启以警示公众请勿靠近；

②通过钥匙开关控制加速器主要控制系统的开启；

③选择运行模式，输入治疗参数；

④确认后开始治疗；

⑤治疗中通过相应的监控装置等辐射安全装置和保护措施监视病人情况和机器运行情况，通过对讲装置及时与患者交流沟通，一旦发现紧急异常，立即按下急停开关停机、停束，患者也可按下防护门内侧的紧急开门按钮及时出治疗室，工作人员立即报告维修、物理人员，做好记录。

5 工作负荷

南通大学附属医院放疗科为本项目配备 5 名辐射工作人员，均为医院现有辐射工作人员，包括 2 名放射肿瘤医师、1 名影像专业医师、1 名物理师和 1 名放疗技师。放射肿瘤医师负责诊断肿瘤、指导治疗计划、进行放射治疗等工作。影像专业医师负责配合完成模拟定位等工作。物理师负责配合放射肿瘤医师制定治疗计划。放疗技师负责帮助病人摆位及操作加速器设备等工作。5 名辐射工作人员还承担其他放射诊疗工作。本项目辐射工作人员每天工作 8h，年工作 50 周，每年工作 250 天。本项目辐射工作人员均已参加辐射安全与防护知识培训，并委托有资质的单位开展了个人剂量监测和职业健康体检。

本项目医用直线加速器投入使用后，预计日接诊量最大 50 人次，每周工作 5 天，患者治疗照射时间平均按 3min 计，则年出束运行时间为 625h。

污染源项描述

1 放射性污染源分析

（1）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、考察点到源的距离等因素有关。

该院拟在院内 16 号楼一层改建 1 座加速器机房并配备 1 台 Versa HD 型医用直线加速器，X 射线能量分为 6MV、10MV 和 6MV FFF 三档，6MV、10MV 模式时 X 射线最大剂量率为 600cGy/min，6MV FFF 模式时 X 射线最大剂量率为 1400cGy/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。

（2）电子束：拟配备的 Versa HD 型医用直线加速器电子线能量分为 6MeV、8MeV、10MeV、12MeV 和 15MeV 五档，电子线最大剂量率为 600cGy/min。当医用直线加速器按电子束模式运行时，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用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。医用直线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，在医用直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗，可忽略对外环境的影响。

（3）中子：医院拟配备的医用直线加速器，X 射线能量为 6、10MV。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/T 201.2-2011）规定（§4.3.2.5），当加速器 X 射线≤10MV 时，中子及其影响可忽略。

因此，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。本项目以对辐射环境影响较大的 **X 射线**模式重点评价辐射防护措施合规性。

2 非放射性污染源分析

加速器工作时产生的高能 X 射线能使加速器机房内空气分子发生电离，产生的少量有害气体臭氧和氮氧化物。臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗机房，臭氧在常温下 50min 后可自行分解为氧气，对环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 工作场所布局合理性分析

本项目加速器机房位于 16 号楼一层，16 号楼为 2 层独栋建筑，地下为土层。加速器机房东侧为绿化带、院内道路、崇川大厦，南侧为控制室、水冷机房、院内道路、17 号楼，西侧为 16 号楼候诊室、设备机房和空地，北侧为院内道路、食堂楼、19 号楼等。机房正上方为杂物间，下方为土层。综上所示，16 号楼为独栋建筑，且周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，因此机房选址合理。

本项目加速器机房位于 16 号楼一层，16 号楼为 2 层独栋建筑，地下为土层。其中一楼为加速器机房、控制室、水冷机房、设备机房、候诊室，二楼为杂物间。医院计划将加速器工作场所划分为控制区和监督区，如图 10-1 所示。控制区包括加速器机房室内，在加速器机房进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、注意事项等，在正常工作过程中，禁止无关人员进入。监督区包括控制室、候诊室、水冷机房、设备机房和机房上方杂物间区域。对该区实施监控管理，定期检测其辐射剂量率，在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。综上所述本项目工作场所控制区和监督区划分明显，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

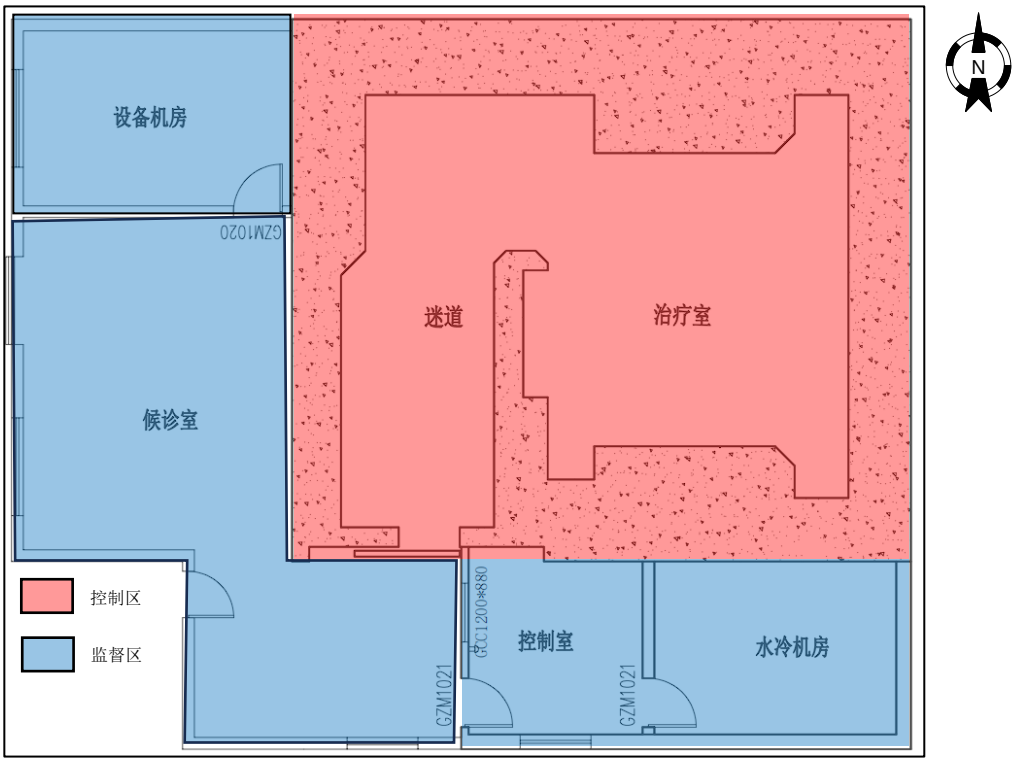


图 10-1 加速器机房布局及分区图

2 辐射防护屏蔽设计

加速器机房屏蔽图见图 10-2，辐射防护屏蔽设计参数见表 10-1：

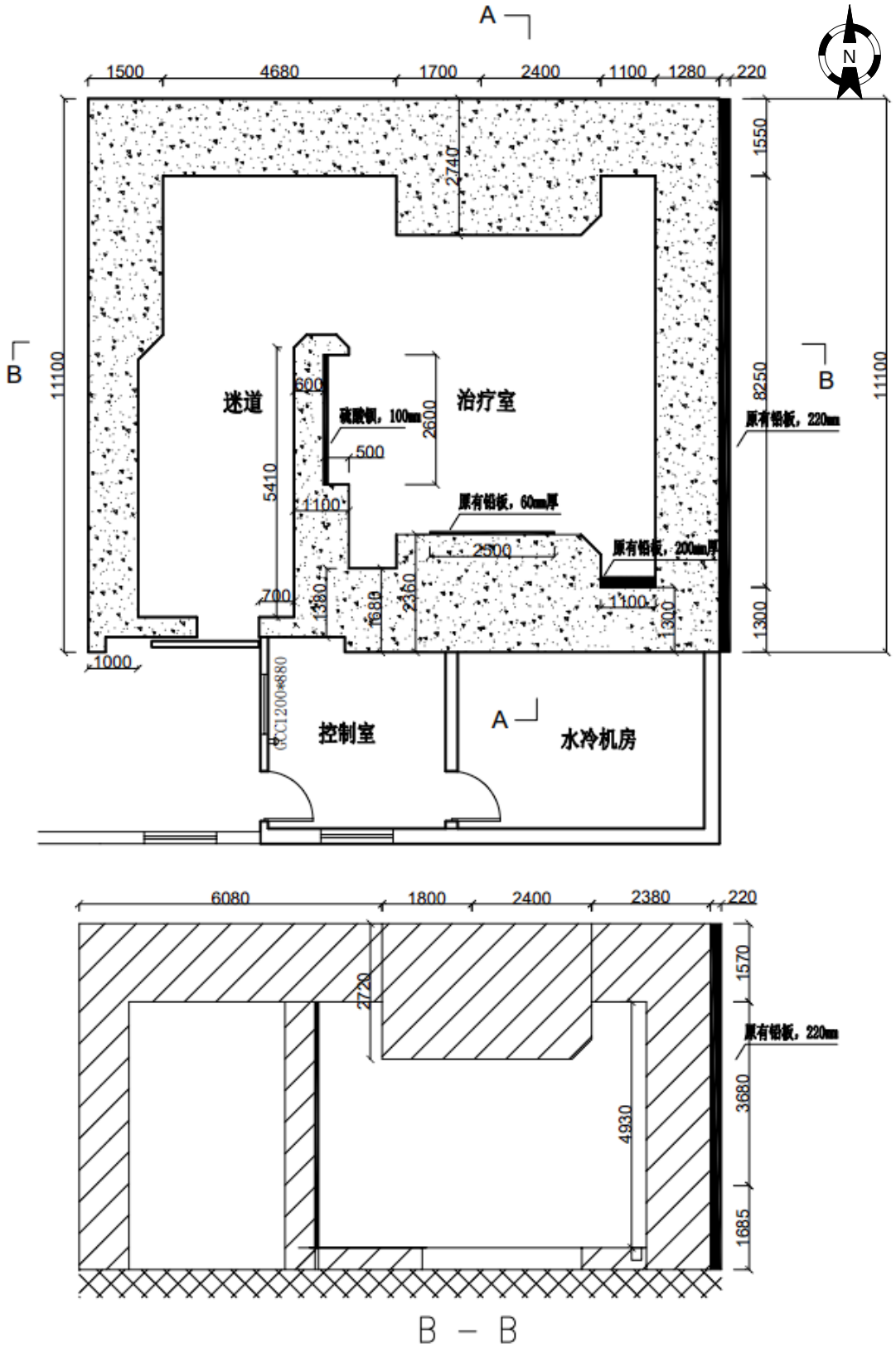


图 10-2 加速器机房屏蔽图

表 10-1 加速器机房辐射防护屏蔽设计参数

分类		屏蔽参数	
		原有参数	改建后参数
东墙	次屏蔽	1280mm 混凝土 +220mm 铅板，宽：11.1m	不变
南墙	主屏蔽	2360mm 混凝土 东段：2.4m；西段：1.7m +60mm 铅板，宽：2.5m	不变
	次屏蔽	东段：1300mm 混凝土 +200mm 铅板，宽度：1.1m； 西段：1380 mm 混凝土	不变
西墙	迷道内墙	600mm~1100mm 混凝土	600mm~1100mm 混凝土 +10cm 硫酸钡水泥 宽度：2600mm
	迷道外墙	1000mm~1500mm 混凝土	不变
北墙	主屏蔽	2740mm 混凝土 东段：2.4m；西段：1.7m	不变
	次屏蔽	1550mm 混凝土	不变
顶部	主屏蔽	2720mm 混凝土 东段：2.4m；西段：1.8m	不变
	次屏蔽	1570mm 混凝土	不变
防护门		20mmPb	25mmPb+15cm 含硼石蜡
机房高度		4.93m	

注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，硫酸钡水泥密度为 3.8g/cm^3。

3 辐射安全措施

医院为确保辐射安全，保障加速器安全运行，医院根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的相关要求，设计相应的辐射安全装置、保护措施和铅防护门（见图 10-3）。主要有：

（1）钥匙开关控制：决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙控制。

（2）门机联锁装置：加速器防护门拟安装门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启加速器；在加速器出束状态下意外打开防护门，立即停止出束。

（3）开门开关和防夹装置：在机房防护门内侧拟设置紧急开门按钮，紧急情况下按开门按钮防护门打开；防护门拟设置红外线防夹装置（距离地面约 60cm），防护门关闭过程中有人穿过防护门时，防护门自动开启。

（4）急停开关：拟在控制室内、控制台上、治疗室迷道出入口处及防护门内

侧、治疗室四周墙壁、设置急停按钮；急停按钮旁拟设置醒目文字：“急停按钮”。

（5）工作状态指示灯及警示标志：在防护门上方拟安装工作状态指示灯，其中红灯代表加速器开机工作，黄灯代表加速器准备工作，绿灯代表加速器停止工作。门外拟张贴醒目、规范的电离辐射警告标志。

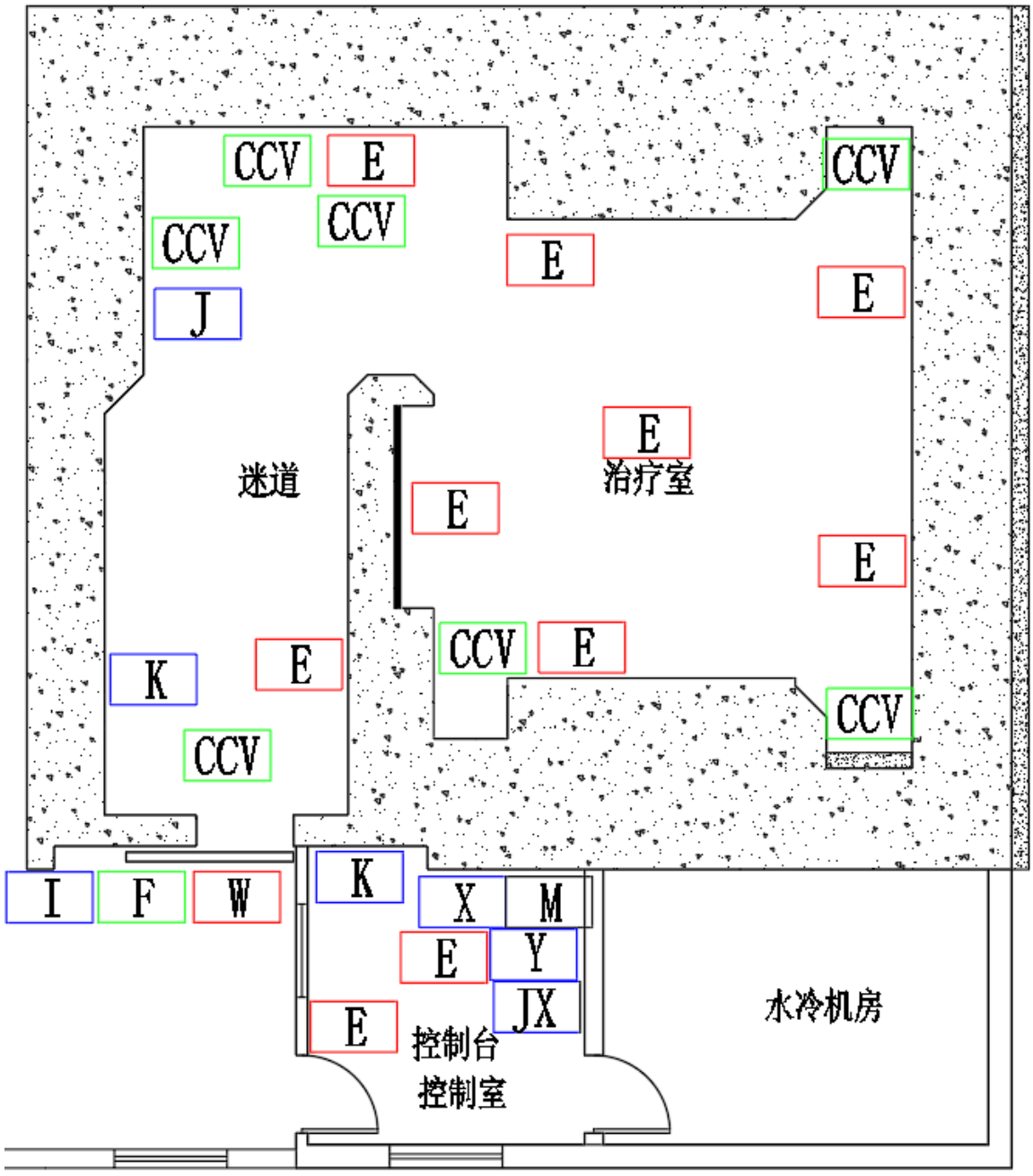
（6）监控与对讲装置：在机房内拟安装实时监控装置，监控终端显示器位于控制室内，并拟配备对讲装置，在治疗过程中辐射工作人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

（7）通风措施：如图 10-4，医院计划在加速器机房内治疗室北侧天花板上安装两个新风口，通过“L”型新风管道连接新风机组；医院在机房南墙上设有两“Z”型排风管道连接排风管道。新风口与排风口成对流设置，能够保证加速器机房的通风效果，排风管道排放口位于 16 号楼楼顶。

（8）固定式辐射剂量监测仪：拟在迷道的内入口处设置固定式辐射剂量监测仪剂量探头，有异常情况下可以报警，剂量报警显示器设置在控制室内。

（9）电缆布设：如图 10-5，加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 30cm，能够满足辐射防护要求；机房在南墙东南角设有一根加速器测试管，测试管采用内高外低型管道沿机房南墙内穿出至控制室内。

本项目建成后，医院计划每次在加速器开机之前对辐射安全措施进行检查，每个季度自行使用环境辐射巡测仪对工作场所和周围区域辐射水平进行监测，至少每年委托有资质单位对加速器机房周围辐射水平进行监测。



图例：

E	急停按钮	M	对讲装置
CCV	监控探头	K	开门按钮
X	监视屏	F	防夹装置
I	门机联锁	W	工作状态指示灯
J	剂量探头	Y	钥匙开关
JX	剂量报警显示器		

图 10-3 加速器机房辐射安全措施图

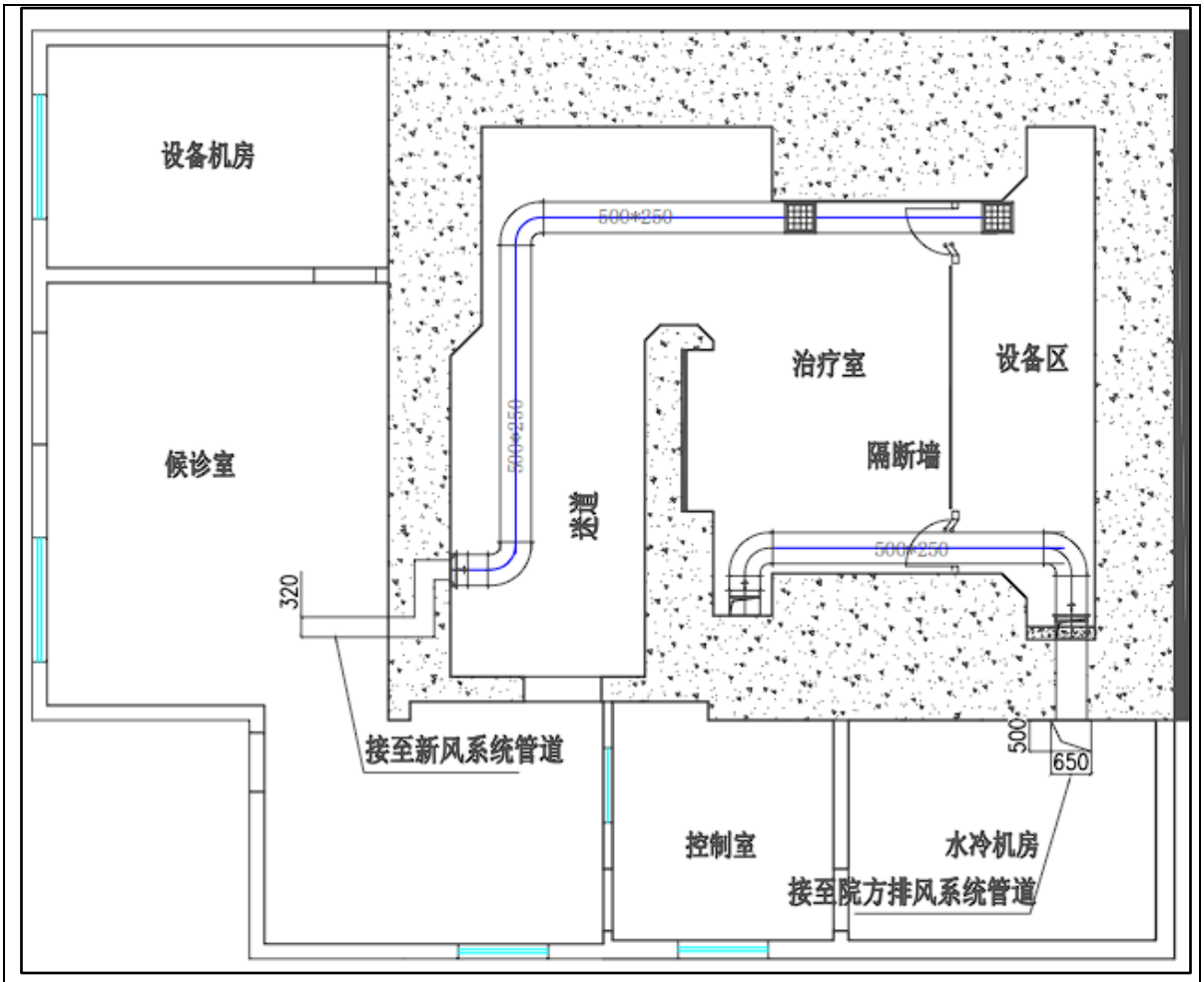


图 10-4 加速器机房通风系统图

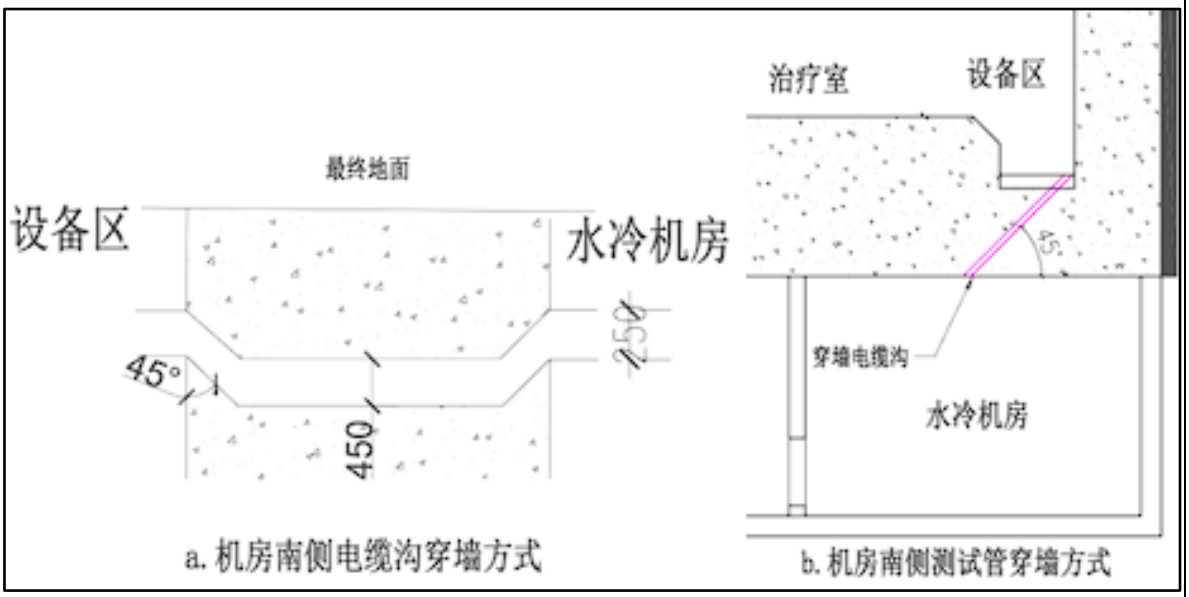


图 10-5 机房电缆沟和测试管图

三废处理

1 废气

加速器运行过程中会使治疗室内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀治疗室内设备。臭氧和氮氧化物将通过通风系统排出治疗机房，臭氧在常温下50min后可自行分解为氧气，对环境影响较小。

本项目加速器治疗室内设计有通风装置，通风设计见图 10-4。医院计划在加速器机房内治疗室北侧天花板上安装两个新风口，通过“L”型新风管道连接医院已有新风机组；医院在机房南墙上设有两“Z”型排风管道连接排风管道。新风口与排风口成对流设置，能够保证加速器机房的通风效果。加速器机房拟配备 1 台排风机，最大风量不小于 2000m^3/h，排风管道排放口位于 16 号楼楼顶。治疗室净体积约为 251m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.97 次/h。因此，本项目加速器机房的通风次数能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

2 废水

主要是工作人员和患者产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3 固体废物

放疗过程中产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物作为普通医疗废物处理。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后统一处理，对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目加速器机房为改建机房，需要安装新设备、对机房进行屏蔽加厚、装潢和安装防护铅门等。因此工程量较小，影响主要为装潢工程中产生的扬尘、废水和少量固体废弃物：

1、大气：本项目施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆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及附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：

①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；

②车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；

③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、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，委托有资质的单位清运，并做好固体废物清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

3、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，并经隔渣后排放。

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内局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

1 加速器机房辐射防护评价

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，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计尺寸的基础上，以加速器两种模式下最大工况，即 X 射线能量：6MV FFF，距靶 1m 处的剂量率 1400cGy/min，照射野 40cm×40cm；X 射线能量：10MV，距靶 1m 处的剂量率 600cGy/min，照射野 40cm×40cm 运行，并针对关注点最不利的情况进行预测计算。加速器机房各屏蔽墙外的预测参考点见图 11-1。

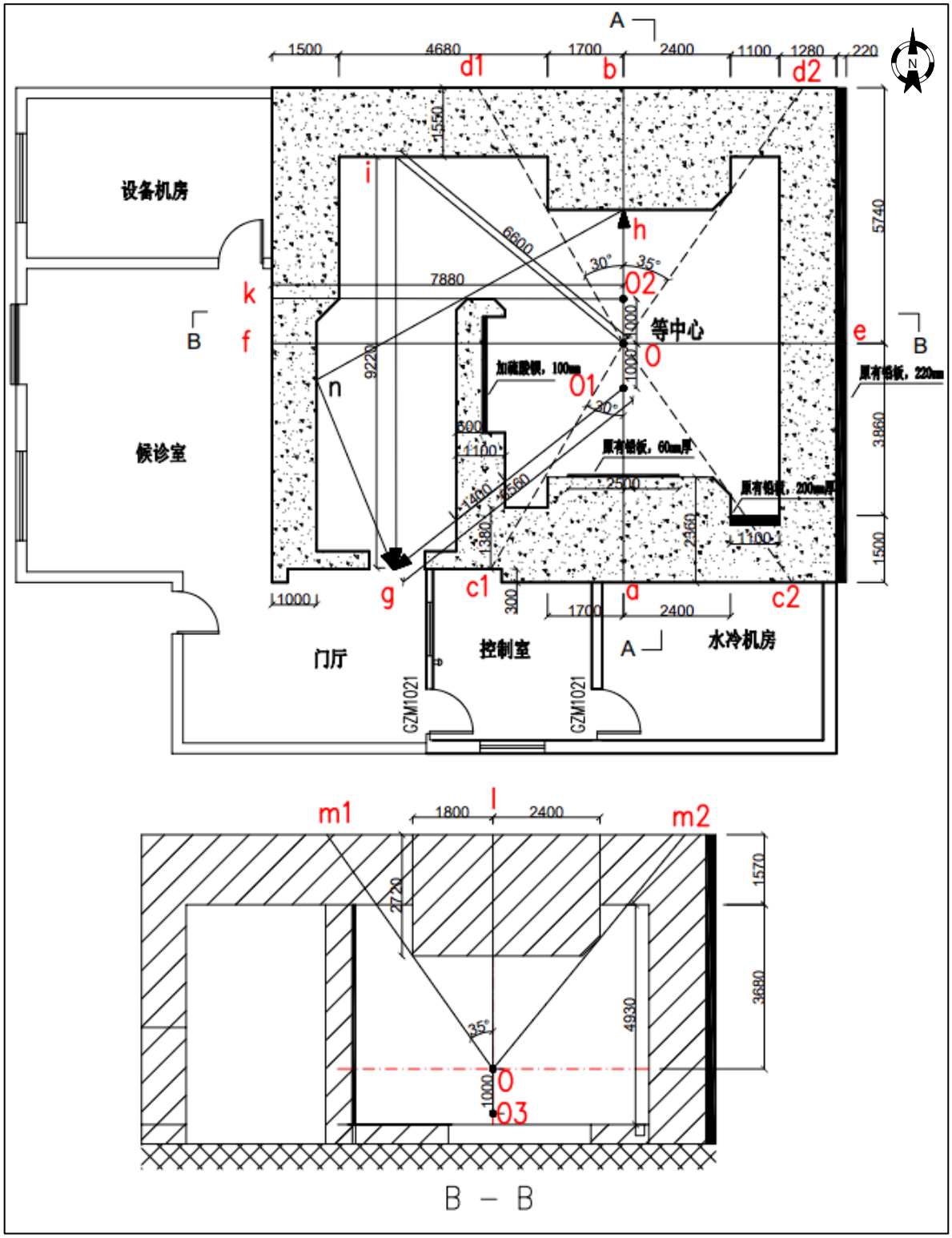


图 11-1 加速器机房关注点位示意图

1.1 有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式，可计算出有用线束主屏蔽区宽度。

$Y_p=2[（a+SAD）\cdot\tan\theta+0.3]$ ……（1）

式中，Y_p：治疗室有用束主屏蔽区域宽度，m；

SAD：源轴距，m；

θ：治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

a：等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向治疗室内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向治疗室外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

将各参数代入式（1）可估算出加速器机房主屏蔽墙宽度，见下表：

表 11-1 加速器机房主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	取值					
	南侧主屏蔽		北侧主屏蔽		顶部主屏蔽	
	东段	西段	东段	西段	东段	西段
a（m）	3.86	3.68	4.19		3.68	
SAD（m）	1		1		1	
θ(°)	14		14		14	
计算宽度 Y_p（m）/半宽度	1.51	1.47	1.60	1.60	1.47	1.47
设计宽度（m）/最小半宽度	2.40	1.70	2.40	1.70	2.40	1.80
评价	满足	满足	满足	满足	满足	满足

根据表 11-1 可知，加速器机房主屏蔽区域屏蔽墙宽度能够满足配置的医用加速器有用射线束宽度的防护要求。

1.2 主屏蔽墙防护效果预测（南侧主屏蔽墙 a 点、北侧主屏蔽墙 b 点和顶部 l 点）

（1）主射线路径：南侧主屏蔽墙：O_2→a，北侧主屏蔽墙 O_1→b、屋顶 O_3→l

（2）计算模式及参数选择：

加速器主射线照射方向为南墙、北墙及顶部。主屏蔽区域受到辐射主要有有用射线束、泄漏射线及散射射线。与有用射线相比，泄漏射线及散射射线影响较小，因此主要考虑有用射线的影响。辐射防护预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，相关参数均取自该标准中的附录 B：

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2}\cdot B \qquad \text{……（2）}$$

式中：$\dot{H}$：参考点辐射剂量水平，$\mu Sv\cdot h^{-1}$

$\dot{H}_0$：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处最高剂量率，μSv·m^2·h^{-1}，本报告分别以 6MV FFF 及 10MV 下剂量率进行估算，6MV FFF 下加速器的最大剂量率为 1400cGy/min，10MV 下加速器的最大剂量率为 600cGy/min

R：辐射源（靶点）至参考点的距离，m。

f：对有用线束 f 取 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，一般取有用线束的 0.1%。

B: 屏蔽透射因子，可通过下式进行计算：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \cdots\cdots\cdots（3）$$

式中：Xe 为有效屏蔽厚度（cm），TVL 和 TVL1 为辐射在在屏蔽物质中平衡什值层厚度和第一什值层厚度（cm）。

有效屏蔽厚度与射线与屏蔽墙的斜射角 θ 有关，主屏蔽墙取 0°。设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，各参考点处的辐射水平理论估算结果见表 11-2、表 11-3。

表 11-2 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果（6MV FFF，1400cGy/min）

参数	南墙（a 点）	北墙（b 点）	顶部（1 点）
混凝土建筑厚度 X（cm）	236	274	272
混凝土有效屏蔽厚度 Xe（cm）	236	274	272
混凝土 TVL_1（cm）	37	37	37
混凝土 TVL（cm）	33	33	33
铅建筑厚度 X（cm）	6	/	/
铅有效屏蔽厚度 Xe（cm）	6	/	/
铅 TVL_1（cm）	5.7	/	/
铅 TVL（cm）	5.7	/	/
B 混凝土	9.33×10^{-8}	6.58×10^{-9}	7.56×10^{-9}
B 铅	8.86×10^{-2}	/	/
B 总	8.26×10^{-9}	6.58×10^{-9}	7.56×10^{-9}
$\dot{H}_0$（μSv·m^2·h^{-1}）	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}

（以 1m 处最大剂量率预测）				
R（m）		6.66	7.04	6.55
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv·h^{-1})	$\dot{H}$ 估算值	0.16	0.11	0.15
	$\dot{H}$ 控制值	10	10	10
	评价结果	满足	满足	满足

注：①R 值均从图 11-1 中参数计算得出。

表 11-3 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果（10MV，600cGy/min）

参数		南墙（a 点）	北墙（b 点）	顶部（1 点）
混凝土建筑厚度 X（cm）		236	274	272
有效屏蔽厚度 Xe（cm）		236	274	272
混凝土 TVL_1（cm）		41	41	41
混凝土 TVL（cm）		37	37	37
铅建筑厚度 X（cm）		6	/	/
铅有效屏蔽厚度 Xe（cm）		6	/	/
铅 TVL_1（cm）		5.7	/	/
铅 TVL（cm）		5.7	/	/
B 混凝土		5.37×10^{-7}	5.04×10^{-8}	5.71×10^{-8}
B 铅		8.86×10^{-2}	/	/
B		4.75×10^{-8}	5.04×10^{-8}	5.71×10^{-8}
$\dot{H}_0$（μSv·m^2·h^{-1}）（以 1m 处最大剂量率预测）		3.60×10^{8}	3.60×10^{8}	3.60×10
R（m）		6.66	7.04	6.55
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv·h^{-1})	$\dot{H}$ 估算值	0.39	0.37	0.48
	$\dot{H}$ 控制值	10	10	10
	评价结果	满足	满足	满足

注：①R 值均从图 11-1 中参数计算得出。

根据表 11-2、表 11-3 可知，该加速器机房主屏蔽区域的辐射防护设计能够满足配置的加速器主射线防护要求。

1.3 与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果预测（c_1、c_2 点、d_1、d_2 点和顶部 m_1 点、m_2 点）

与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域受到辐射主要为来自加速器机头的泄漏射线和来自患者的一次散射射线及治疗室地面、墙面的二次或多次散射射线。二次或多次散射射线影响较小，因此主要考虑泄漏射线和患者的一次散射射线的影响。

（1）射线路径：

泄漏辐射：南墙：O→c_1、O→c_2；北墙：O→d_1、O→d_2；顶部：O→m_1、O→m_2

散射辐射：南墙：O_2→O→c_1、O_2→O→c_2；北墙：O_1→O→d_1、O_1→O→d_2；顶部：O_3→O→m_1、O_3→O→m_2

（2）计算模式及参数选择：

泄漏辐射的屏蔽能力计算：在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%。辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（2））。

患者一次散射辐射的屏蔽能力计算：散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2 - 2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \qquad \cdots\cdots\cdots（4）$$

式中：$\dot{H}$、$\dot{H}_0$及 B 均与（2）式相同

R_s：患者（位于等中心点）至参考点的距离，m

F：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积（cm^2），取 40×40cm^2

α_{ph}：400cm^2面积上的散射因子，可查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 中表 B.2，本项目取能量为 6MV 散射角度 30 度下 α_{ph} 值，2.77×10^{-3}；取能量为 10MV 散射角度 30 度下 α_{ph} 值，3.18×10^{-3}。

由图 11-1 可知，c_2 点的屏蔽厚度大于 c_1 点，所以对于南侧与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果计算只需计算 c_1 点即可；d_2 点的半宽度大于 d_1 点，所以对于北侧与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果计算只需计算 d_1 点即可；m_2 点的半宽度大于 m_1 点，所以对于顶部与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果计算只需计算 m_1 点即可。设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，各参考点处的泄漏辐射及散射辐射水平理论估算结果见表 11-4、表 11-5。

表 11-4 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果

（6MV FFF，1400cGy/min）

参数		南墙	北墙	顶部
		c_1 点	d_1 点	m_1 点
泄漏辐射	混凝土建筑厚度 X（cm）	138	155	157
	θ（º）	30	30	35
	混凝土有效屏蔽厚度 Xe（cm）	159.3	179.0	191.6
	混凝土 TVL_1（cm）	34	34	34
	混凝土 TVL（cm）	29	29	29
	B 混凝土	4.77×10^{-6}	1.00×10^{-6}	3.67×10^{-7}
	$\dot{H}_0$（$\mu Sv\cdot m^2\cdot h^{-1}$）	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}
	R（m）	6.14	6.93	6.71
	泄露辐射比 f	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
	$\dot{H}$ 估算值($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	0.11	0.02	0.01
患者散射辐射	混凝土有效屏蔽厚度 Xe（cm）	159.3	179.0	191.6
	混凝土 TVL_1（cm）	26	26	26
	混凝土 TVL（cm）	26	26	26
	B 混凝土	7.45×10^{-7}	1.31×10^{-7}	4.27×10^{-8}
	α_{ph}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}
	Rs	6.14	6.93	6.71
	$\dot{H}$ 估算值($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	0.18	0.03	0.01
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 $\dot{H}$ ($\mu Sv\cdot h^{-1}$)		0.29	0.05	0.02
$\dot{H}$ 控制值($\mu Sv\cdot h^{-1}$)		2.5	10	8
评价结果		满足	满足	满足

注：根据图 11-4、表 11-5 中相关参数，可计算出 $R_{(c1)}$=等中心点 O 至南次屏蔽墙外表面的垂直距离为：5.36-0.3m/cos(30/180*3.14)+0.3=6.14m；可计算出 $R_{(d1)}$=等中心点 O 至参考点垂直距离为：5.74m/cos(30/180*3.14)+0.3=6.93m；$R_{(m1)}$=等中心点 O 至顶部次屏蔽墙外表面的垂直距离为：5.25m/cos(35/180*3.14)+0.3=6.71m。

表 11-5 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果

（10MV，600cGy/min）

参数		南墙	北墙	顶部
		c_1 点	d_1 点	m_1 点
泄漏	混凝土建筑厚度 X（cm）	138	155	157

辐射	θ（º）	30	30	35
	混凝土有效屏蔽厚度 Xe（cm）	159.3	179.0	191.6
	混凝土 TVL_1（cm）	35	35	35
	混凝土 TVL（cm）	31	31	31
	B 混凝土	9.76×10^{-6}	2.27×10^{-6}	8.87×10^{-7}
	$\dot{H}_0$（$\mu Sv\cdot m^2\cdot h^{-1}$）	3.60×10^{8}	3.60×10^{8}	3.60×10^{8}
	R（m）	6.14	6.93	6.71
	泄露辐射比 f	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
	$\dot{H}$ 估算值($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	0.09	0.02	0.01
患者散射辐射	混凝土有效屏蔽厚度 Xe（cm）	159.3	179.0	191.6
	混凝土 TVL_1（cm）	28	28	28
	混凝土 TVL（cm）	28	28	28
	B 混凝土	2.04×10^{-6}	4.06×10^{-7}	1.43×10^{-7}
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	Rs	6.14	6.93	6.71
	$\dot{H}$ 估算值($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	0.25	0.04	0.01
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 $\dot{H}$ ($\mu Sv\cdot h^{-1}$)		0.34	0.06	0.02
$\dot{H}$ 控制值($\mu Sv\cdot h^{-1}$)		2.5	10	8
评价结果		满足	满足	满足

注：根据图 11-4、表 11-5 中相关参数，可计算出 $R_{(c1)}$=等中心点 O 至南次屏蔽墙外表面的垂直距离为：5.36-0.3m/cos(30/180*3.14)+0.3=6.14m；可计算出 $R_{(d1)}$=等中心点 O 至参考点垂直距离为：5.74m/cos(30/180*3.14)+0.3=6.93m；$R_{(m1)}$=等中心点 O 至顶部次屏蔽墙外表面的垂直距离为：5.25m/cos(35/180*3.14)+0.3=6.71m。

根据表 11-4、表 11-5 可知，南侧 c_1 点处、北侧 d_1 点处和顶部 m_1 点处在泄漏辐射和散射辐射的复合作用下，泄漏辐射及散射辐射水平理论估算值均未超过剂量率控制水平，所以 c_2 点处、d_2 点处和 m_2 点处的防护设计也满足要求。加速器机房与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域辐射防护设计能够满足配置的加速器的泄漏射线和一次散射 X 射线的辐射防护要求。

1.4 侧屏蔽墙屏蔽效果预测（e 点、f 点）

（1）射线路径：O→e、O→f

（2）计算模式及参数选择：

加速器机房东墙、西墙为侧屏蔽墙，主要考虑泄漏射线的辐射影响，辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（2））。

（3）预测计算结果

根据《辐射防护导论》P88 给出的相应公式估算硫酸钡水泥的等效混凝土厚度：

$$d_1/d_2=\rho_2/\rho_1 \quad \text{……（4）}$$

式中： d_1—硫酸钡水泥厚度，单位 mm，本项目取 100mm

d_2—等效混凝土厚度，单位 mm

ρ_1—硫酸钡水泥密度，单位 g/cm^3，本项目取 $4.2g/cm^3$

ρ_2—混凝土密度，单位 g/cm^3，本项目取 $2.35\ g/cm^3$

迷道墙增加 100mm 硫酸钡水泥，经计算折合等效混凝土厚度约为 179mm。屏蔽墙外参考点 e、f 点的位置见图 11-1，其辐射水平预测结果见表 11-6、表 11-7。

表 11-6 加速器机房屏蔽墙防护能力计算结果（6MV FFF，1400cGy/min）

参数		西墙（f 点）	东墙（e 点）
混凝土建筑厚度 X（cm）		177.9（迷道内墙 60+外墙 100 +等效混凝土 17.9）	128
铅厚度 X（cm）		/	22
混凝土有效屏蔽厚度 Xe（cm）		177.9	128
铅有效屏蔽厚度 Xe（cm）		/	22
混凝土 TVL_1（cm）		34	34
混凝土 TVL（cm）		29	29
铅 TVL_1（cm）		/	5.7
铅 TVL（cm）		/	5.7
混凝土 B		1.09×10^{-6}	5.74×10^{-5}
铅 B		/	1.38×10^{-4}
总 B		1.09×10^{-6}	7.92×10^{-9}
f 泄漏辐射比率		0.001	0.001
$\dot{H}_0$（$\mu Sv\cdot m^2\cdot h^{-1}$）		8.40×10^{8}	8.40×10^{8}
R（m）		8.18	5.30
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	$\dot{H}$ 估算值	0.01	0.0002
	$\dot{H}$ 控制值	0.4	10
	评价结果	满足	满足

表 11-7 加速器机房屏蔽墙防护能力计算结果（10MV，600cGy/min）

参数		西墙（f 点）	东墙（e 点）
混凝土建筑厚度 X（cm）		177.9（迷道内墙 60+外墙 100+等效混凝土 17.9）	128
铅厚度 X（cm）		/	22
混凝土有效屏蔽厚度 Xe（cm）		177.9	128
铅有效屏蔽厚度 Xe（cm）		/	22
混凝土 TVL_1（cm）		35	35
混凝土 TVL（cm）		31	31
铅 TVL_1（cm）		/	5.7
铅 TVL（cm）		/	5.7
混凝土 B		2.46×10^{-6}	1.00×10^{-4}
铅 B		/	1.38×10^{-4}
总 B		2.46×10^{-6}	1.38×10^{-8}
f 泄漏辐射比率		0.001	0.001
$\dot{H}_0$（$\mu Sv\cdot m^2\cdot h^{-1}$）		3.60×10^{8}	3.60×10^{8}
R（m）		8.18	5.30
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	$\dot{H}$ 估算值	0.01	0.00018
	$\dot{H}$ 控制值	0.4	10
	评价结果	满足	满足

根据表 11-6、表 11-7 可知，加速器机房侧屏蔽墙体的防护设计均能够满足配置的加速器的泄漏射线防护要求。

1.5 迷路外墙设计核算（k 点）

加速器机房主射线不向迷道照射，加速器靶点位于 O_2 点（偏离 O 点 1m）时，西侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用。O_2 点至 k 的泄漏辐射的斜射角 0º 进行估算。根据公式（2），可估算出加速器机房西侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率水平，计算结果见表 11-8、表 11-9。

表 11-8 迷路外墙 k 处的辐射剂量率（6MV FFF，1400cGy/min）

参数 / 屏蔽材料	有效厚度 Xe（cm）	TVL_1（cm）	TVL（cm）	B	R（m）	$\dot{H}$（μSv /h）
加速器机房 混凝土	150	34	29	1.00×10^{-5}	8.18	0.13

表 11-9 迷路外墙 k 处的辐射剂量率(10MV，600cGy/min)

参数 / 屏蔽材料	有效厚度 Xe（cm）	TVL_1（cm）	TVL（cm）	B	R（m）	$\dot{H}$（μSv /h）
加速器机房 混凝土	150	35	31	1.95×10^{-5}	8.18	0.11

根据表 11-8、表 11-9 可知，加速器机房西侧迷道外墙的防护设计能够满足拟配置的加速器的泄漏射线防护要求。

1.6 迷路入口处辐射水平核算（g 点）

（1）穿透过迷路内墙的泄漏 X 射线在 g 点处的辐射影响

射线路径（射线类型）：O_1→g（泄漏射线）

g 点泄露辐射剂量核算方法同 e 点，计算参数和计算结果见表 11-10、表 11-11。

表 11-10 治疗室入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

（6MV FFF，1400cGy/min）

参 数	g 点
Xe（cm）	140
TVL_1（cm）	34
TVL（cm）	29
B	2.21×10^{-5}
R（m）	6.56
f	0.001
H_0（μSv•m^2/h）	8.40×10^{8}
入口门外关注点泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$（μSv/h）（无防护门）	0.43

注：X、R 均由图 11-1 读取。

表 11-11 治疗室入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

（10MV，600cGy/min）

参 数	g 点
Xe（cm）	140
TVL_1（cm）	35
TVL（cm）	31

B	4.10×10^{-5}
R（m）	6.56
f	0.001
H_0（μSv•m²/h）	3.60×10^{8}
入口门外关注点泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$（μSv/h）（无防护门）	0.34

注：X、R 均由图 11-1 读取。

由上述表 11-10、表 11-11 计算结果可知加速器在 6MV FFF（1400cGy/min）和 10MV(600cGy/min)两种工况下，泄漏辐射 O_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量最大为 0.43μSv/h，满足标准要求（剂量率应小于参考控制水平的 1/4，即 0.8μSv/h）。

（2）迷路入口 g 处的散射辐射影响分析（射线路径 O_1-O-i-g）

迷路入口处 g 点的散射辐射剂量率可以通过下面的估算模式进行估算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2}\cdot\frac{\alpha_2\cdot A}{R_2^2}\cdot\dot{H}_0 \qquad \cdots\cdots（5）$$

式中，$\dot{H}_g$：g 点处散射辐射剂量率，μSv /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，μSv•m²/h

α_{ph}：患者 400cm² 面积上的散射因子，计算时取 45°入射散射角的值

F：加速器有用线束在等中心处的最大治疗野面积，计算时取 40×40cm²

α_2：混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子

A：i 点处的散射面积，m² 。i 处的散射面积为自迷道外入口 g 处和等中心位置 o 共同可视见的区域（2.63m×3.19m）。

R_1：O-i 的距离，m

R_2：i-g 的距离，m

根据公式（5），代入相关参数，可以估算出患者散射 X 射线经屏蔽墙（i 点）二次散射后在迷道入口处（g 点）的辐射剂量率，计算结果见下表：

表 11-12 加速器机房迷道口处的散射辐射剂量率（6MV FFF，1400cGy/min）

参数	$\dot{H}_0$（μSv /h）	α_{ph}	F（cm²）	α_2	A（m²）	R_1（m）	R_2（m）	$\dot{H}_g$（μSv /h）
加速器机房	8.40×10^{8}	1.39×10^{-3}	1600	6.4×10^{-3}	8.4	6.60	9.22	67.81

表 11-13 加速器机房迷道口处的散射辐射剂量率（10MV，600cGy/min）

参数	$\dot{H}_0$（μSv /h）	α_{ph}	F（cm^2）	α_2	A（m^2）	R_1（m）	R_2（m）	$\dot{H}_g$（μSv /h）
加速器机房	3.60×10^{8}	1.35×10^{-3}	1600	5.1×10^{-3}	8.4	6.60	9.22	22.49

（3）防护门外辐射剂量率计算

加速器机房拟设 25mmPb+15cm 含硼石蜡的防护门，机房入口 g 点处无防护门时泄露辐射剂量率最大为 0.43μSv/h，g 点处散射辐射水平小于 67.81μSv/h，根据 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2.6.1，防护门外的辐射水平计算公式见公式（6），计算结果见表 11-14、表 11-15：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-X/TVL} + \dot{H}_{og} \qquad \cdots\cdots（6）$$

式中，$\dot{H}$：防护门外辐射剂量率，μSv/h

$\dot{H}_g$：迷道口处散射辐射剂量率，μSv/h

$\dot{H}_{og}$：穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率

X：屏蔽物质厚度 cm

TVL：屏蔽物质的什值层厚度，cm

表 11-14 防护门外辐射剂量率计算结果(6MV FFF，1400cGy/min)

参数	X（cm）	E（MeV）	TVL_{-Pb}	$\dot{H}_g$（μSv /h）	$\dot{H}_{og}$（μSv /h）	$\dot{H}$（μSv /h）
加速器机房	2.5	0.2	0.5cm	67.81	0.43	0.43

注：E 为混凝土墙入射患者的散射辐射能量。

表 11-15 防护门外辐射剂量率计算结果(10MV，600cGy/min)

参数	X（cm）	E（MeV）	TVL_{-Pb}	$\dot{H}_g$（μSv /h）	$\dot{H}_{og}$（μSv /h）	$\dot{H}$（μSv /h）
加速器机房	2.5	0.2	0.5cm	22.49	0.34	0.34

注：E 为混凝土墙入射患者的散射辐射能量。

由理论估算结果可知，加速器机房防护门能够满足配置的加速器防护要求。

1.7 加速器机房辐射防护评价

加速器机房屏蔽墙、顶部及防护门外理论估算结果汇总见表 11-16、表 11-17：

表 11-16 加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表

（6MV FFF，1400cGy/min）

位置	东墙	南墙		西墙	北墙		顶部		防护门
	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	
参考点	e	a	c_1（c_2）	k/f	b	d_1（d_2）	l	m_1（m_2）	g
辐射类型	泄漏辐射	有用线束	泄漏和散射辐射	泄漏辐射	有用线束	泄漏和散射辐射	有用线束	泄漏和散射辐射	泄漏和散射辐射
参考点剂量率值（μSv/h）	0.0002	0.16	0.29	0.13/0.01	0.11	0.05	0.15	0.02	0.43
控制水平（μSv/h）	10	10	2.5	0.4	10	10	10	8	3.2
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-17 加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表

（10MV，600cGy/min）

位置	东墙	南墙		西墙	北墙		顶部		防护门
	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	
参考点	e	a	c_1（c_2）	k/f	b	d_1（d_2）	l	m_1（m_2）	g
辐射类型	泄漏辐射	有用线束	泄漏和散射辐射	泄漏辐射	有用线束	泄漏和散射辐射	有用线束	泄漏和散射辐射	泄漏和散射辐射
参考点剂量率值（μSv/h）	0.00018	0.39	0.34	0.11/0.01	0.37	0.06	0.48	0.02	0.34
控制水平（μSv/h）	10	10	2.5	0.4	10	10	10	10	3.2
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

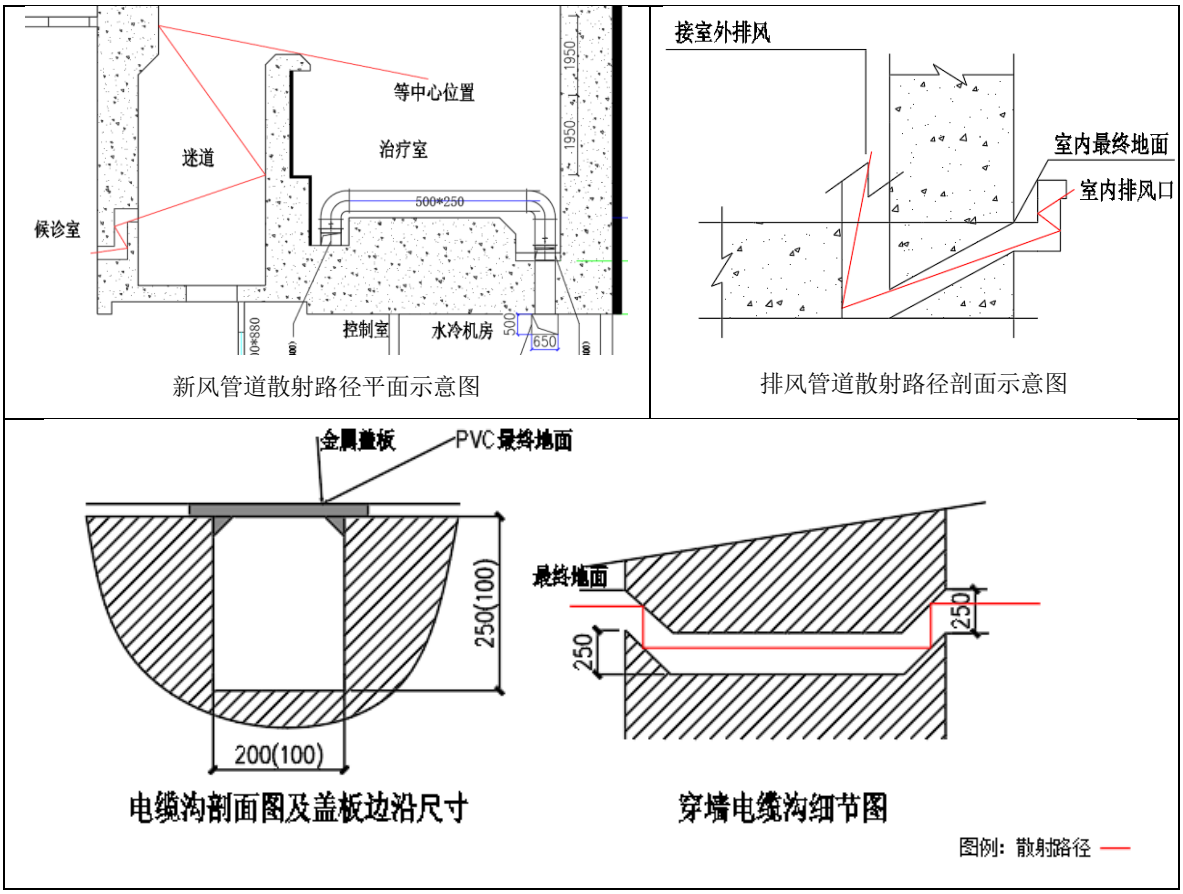
根据表 11-16、表 11-17 可知，加速器运行过程中治疗室屏蔽墙和防护门外的剂量当量率均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

1.8 通风系统及电缆沟辐射防护评价

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。医院计划在加速器机房内治疗室北侧天花板上安装两个新风口，通过“L”型新风管道连接新风机组；医院在机房南墙上设有两“Z”型排风管道连接排风管道。新风口与排风口成对流设置，能够保证加速器机房的通风效果，排风管道排放口位于 16 号楼楼顶。

根据图 11-2 可知，开机时产生的 X 射线在排风管道和新风管道内经过 3 次以上散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 30cm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线经过 4 次以上散射后到达控制室，满足辐射防护要求。



新风管道散射路径平面示意图　　排风管道散射路径剖面示意图

图 11-2 通风管道、电缆沟穿墙方式及散射路径示意图

1.9 加速器机房电子线治疗时防护评价

本项目加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 15MeV。由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽治疗室完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需的厚度也低于对 X 射线的屏蔽要求。

2 辐射工作人员和公众年有效剂量估算

工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad \cdots\cdots\cdots（7）$$

由式（7）可得到：

$$H_e = \dot{H}_{e,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \cdots\cdots（8）$$

上式中：H_e－年剂量，mSv/a；

$\dot{H}_{e,d}$－参考点处剂量率，μSv/h；

U－使用因子；

T－人员在相应关注点驻留的居留因子；

t－照射时间，单位为 h/a，本项目不超过 500h。

根据公式（8），工作人员及治疗室周围公众年有效剂量计算结果见表 11-18。

表 11-18 辐射工作人员及治疗室周围公众年有效剂量计算结果

位置	东墙（绿化带、院内道路）	南墙		西墙（候诊室）	北墙（院内道路）	顶部（杂物间）	防护门
		水冷机房	控制室				
参考点剂量率值（μSv/h）	0.0002	0.39	0.34	0.13	0.37	0.48	0.43
使用因子 U①	1	1/4	1	1	1/4	1/4	1
居留因子 T	1/40	1/40	1	1	1/40	1/20	1/8
周工作时间（h）	12.5						
周剂量（μSv/周）	0.0001	0.03	4.25	1.63	0.03	0.08	0.67
周剂量控制值（μSv/周）	5	5	100	5	5	5	5
年工作周	50						
年有效剂量（mSv/a）	＜0.001	0.002	0.213	0.081	0.001	0.004	0.033
年有效剂量控制值（mSv/a）	0.1	0.1	5	0.1	0.1	0.1	0.1
结论	满足	满足		满足	满足	满足	满足

注：①有用线束使用因子取 1/4，漏射线和散射线数使用因子取 1。②本项目医用直线加速器投入运行后，预计日接诊量最大 50 人次，周工作 5 天，患者治疗照射时间平均按 3min 计，则周工作时间为 12.5h。

根据表 11-18 可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大为 0.213mSv， 5 名辐射工作人员还承担其他放射诊疗工作。为进一步评价辐射工作人员年有效剂量，根据医院提供的 2023 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日的个人剂量监测报告可知，本项目配备的 5 名辐射工作人员每季度监测结果均＜MDL，MDL 为 0.04mSv。当监测结果＜MDL 时，应取 1/2MDL 作为当期个人剂量值。即 5 名工作人员年剂量≤0.08mSv。经叠加 5 名辐射工作人员年有效剂量最大为 0.293mSv，能够满足本项目管理目标剂

量约束值要求：辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv。本项目公众年有效剂量最大为 0.033mSv，能够满足本项目管理目标剂量约束值要求：公众照射年有效剂量不超过 0.1mSv。

3 三废治理措施评价

医用直线加速器在工作状态时，会使治疗室内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

本项目加速器机房拟配备 1 台排风机，最大风量不小于 2000m^3/h，治疗室净体积约为 251m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.97 次/h。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“治疗室通风换气次数不小于 4 次/h”的要求。

医院计划在加速器机房内治疗室北侧天花板上安装两个新风口，通过“L”型新风管道连接新风机组；医院在机房南墙上设有两“Z”型排风管道连接排风管道。新风口与排风口成对流设置，能够保证加速器机房的通风效果，排风管道排放口位于 16 号楼楼顶。

在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。治疗室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧常温下可自行快速分解为氧气，对环境影响较小。

事故影响分析

1 主要辐射事故

医用直线加速器主要用于肿瘤放射治疗，加速器只有在治疗期间时才会产生大量 X 射线，因此，该项目辐射事故多为人员误留或误入加速器治疗机房产生的误照射事故，主要有：

（1）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

（2）医用直线加速器工作过程中，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；

（3）医用直线加速器机房门机联锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射；

（4）防护门或治疗室墙体屏蔽防护出现缝隙、破损等情况，导致加速器出束治疗时墙外人员受到误照射；

（5）加速器维修调试过程中，维修人员的错误操作导致加速器出束，可能发生

误照射。

2 辐射事故处置方法及预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

（1）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；防护门或治疗室墙体出现缝隙、破损等），应立即按下急停开关，确保医用直线加速器停止工作。

（2）发生辐射事故应立即向单位领导汇报，并控制现场，防止无关人员进入。

（3）迅速安排受照人员接受医学检查和救治；

（4）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。

（5）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。

（6）医院应定期对医用直线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，提高个人的技能和辐射安全防范意识，尽可能避免辐射事故的发生。

（7）建立辐射安全管理机构，制定完善的规章防护制度，在实际工作过程中严格执行。

（8）依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定辐射事故应急预案，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练。发生辐射事故时，应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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，同时向卫健委报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫健委调查事故原因，并做好后续工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

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；辐射工作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。

南通大学附属医院已成立专门的放射防护及质量保证工作领导小组，负责全院放射医疗设备的辐射防护和安全管理工作。

本项目配备的5名辐射工作人员均为放疗科现有工作人员，已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并取得考核合格证书。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》等法律法规要求，医院已制定一系列的辐射安全管理制度，如《辐射防护和安全保卫制度》《医用直线加速器操作规程》《设备维修制度》《射线装置使用登记、台账管理制度》《岗位职责》《人员培训计划》《辐射监测方案》《辐射事故应急预案》。医院应对现有的辐射安全管理制度进行完善和补充，使其具有较强的针对性和可操作性。现对各项制度提出相应的建议和要求：

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目具体情况对辐射防护和安全保卫制度进行不够完善。重点是：①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，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；②辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

医用直线加速器操作规程：针对本项目加速器制定操作规程，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：①提高辐射工作人员对加速器的熟练程度；②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；③辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

设备维修制度：明确辐射安全与防护设施以及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，确保辐射安全与防护设施以及剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

射线装置使用登记、台账管理制度：完善使用登记制度，规范射线装置台帐和使用登记记录，对购入的加速器的使用情况进行登记和跟踪记录。

岗位职责：明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的辐射工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

人员培训计划：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。

辐射监测方案：制定辐射工作人员剂量监测工作制度和工作场所定期监测制度。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部门、卫生健康部门调查处理。发现工作场所监测异常的，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部门报告。

辐射事故应急预案：针对本项目可能产生的辐射事故完善辐射事故应急措施，该措施中已明确应急机构和职责分工、事故现场应急处置及事故处理程序等。当发生辐射事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在1小时内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时，还应报告当地卫健委。

辐射监测

1 监测设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射源、非密封放射性物质和II类射线装置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。

本项目属于改建项目，医院放疗科已配备 1 台环境辐射巡测仪，4 台个人剂量报警仪。医院计划为本项目新配置1台环境辐射巡测仪，用于定期对加速器工作场所周围环境辐射水平监测，并做好监测记录；计划新配备2台个人剂量报警仪，工作人员佩戴个人剂量报警仪后方可进入机房。

医院已委托江苏省疾病预防控制中心对辐射工作人员进行个人剂量检测，并按

相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案。医院每两年安排辐射工作人员进行职业健康体检，并按要求建立了辐射工作人员职业健康监护档案。在加速器运行过程中，加速器操作人员及相关工作人员均未发生过个人剂量检测结果超标情况，均低于 5mSv/年。

2 监测方案

医院使用的医用直线加速器属II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目须配置至少 1 台便携式 X-γ 剂量率巡检仪，以满足射线装置日常运行时，对加速器机房周围 X 射线的辐射泄漏和散射的巡测。

医院拟配备 1 台剂量率巡检仪及 2 台个人剂量报警仪，能够满足审管部门对于监测仪器配备的要求。

医院拟每年委托有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测；本项目辐射工作人员拟佩带个人剂量计监测累积剂量，定期（每 1 个月/次，最长不超过 3 个月/次）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案。医院拟定期（两次检查的时间间隔不应超过2年）安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。医院拟每年对辐射安全和防护状况进行年度评估，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至国家核技术利用申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

本项目辐射监测方案见表 12-1。

表 12-1 辐射监测方案

监测对象	监测项目	监测方式	监测周期	监测点位
加速器机房	X-γ 周围剂量当量率	验收监测	1 次	1、在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应 包括：四面墙体、顶棚、机房门、管线洞口、工作人员操作位等。 2、治疗机房周围 50m 范围内有高于机房室顶的建筑时，应检测侧散射。
		工作场所年度监测，委托有资质的单位进行	1 次/年	
		定期自行开展辐射监测	每 1 个月/次	
辐射工作人员	个人剂量当量	委托有资质的单位进行	每 3 个月/次	/

辐射事故应急

根据 HJ 1198-2021 中 4.10 要求：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。

为有效预防、及时控制、缓解和消除辐射事故所致的危害，加强医院射线装置安全监测和控制等管理工作，保障辐射工作人员、受检者以及周围人员的健康安全，避免环境辐射污染，医院已制定《辐射事件应急预案》，该方案明确了以下内容：辐射事件应急组织机构、组成人员和职责；应急处理物资与设备、事故现场应急处置、辐射事故程序与处理；24 小时辐射事故应急联系电话等内容。医院应在今后工作中严格落实《辐射事件应急预案》制度，根据实际工作情况进行修订完善。做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，留存相关演习资料。确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置

南通大学附属医院西院区位于南通市西寺路 20 号。其东侧为健康路、南大街、崇川大厦，南侧为濠河，西侧为濠河、西寺庙，北侧为濠南路、健康路。本项目加速器机房位于 16 号楼一层。根据现场调查可知，本项目加速器机房 50m 范围内区域中，无居民区、学校等环境敏感目标。

1.2 项目分区及布局

本项目加速器机房位于 16 号楼一层，16 号楼为 2 层独栋建筑，地下为土层。加速器机房东侧为绿化带、院内道路、崇川大厦，南侧为控制室、水冷机房、院内道路、17 号楼，西侧为 16 号楼候诊室、设备机房和空地，北侧为院内道路、食堂楼、19 号楼等。机房正上方为杂物间，下方为土层。综上所示，16 号楼为独栋建筑，且周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，因此机房选址合理。

医院计划将加速器工作场所划分为控制区和监督区，控制区包括加速器机房室内，在加速器机房进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、注意事项等，在正常工作过程中，禁止无关人员进入。监督区包括控制室、水冷机房、设备机房和机房上方杂物间区域。对该区实施监控管理，定期检测其辐射剂量率，在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。综上所述本项目工作场所控制区和监督区划分明显，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

1.3 辐射安全措施

为确保辐射安全，保障加速器安全运行，本项目辐射安全装置和保护措施主要有：决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙控制；加速器防护门拟安装门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启加速器；在加速器出束状态下意外打开防护门，立即停止出束；开门开关和防夹装置：在机房防护门内侧拟设置紧急开门按钮，紧急情况下按开门按钮防护门打开；防护门拟设置红外线防夹装置（距离地面约 60cm），防护门关闭过程中有人穿过防护门时，防护门自动开启；拟在控制室内、控制台上、治疗室迷道出入口处及防护门内

侧、治疗室四周墙壁、设置急停按钮；急停按钮旁设有醒目文字：“急停按钮”；在防护门上方拟安装工作状态指示灯，其中红灯代表加速器开机工作，黄灯代表加速器准备工作，绿灯代表加速器停止工作。门外拟张贴醒目、规范的电离辐射警告标志；在机房内拟安装实时监控装置，监控终端显示器位于控制室内，并拟配备对讲装置，在治疗过程中辐射工作人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生；加速器治疗室内拟设计通风装置；拟在迷道的内入口处设置固定式辐射剂量监测仪剂量探头，有异常情况下可以报警，剂量报警显示器设置在控制室内。加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 30cm，能够满足辐射防护要求。

1.4 监测设备

本项目属于改建项目，医院放疗科已配备 1 台环境辐射巡测仪，4 台个人剂量报警仪。医院计划为本项目新配置 1 台环境辐射巡测仪，用于定期对加速器工作场所周围环境辐射水平监测，并做好监测记录；计划新配备 2 台个人剂量报警仪，工作人员佩戴个人剂量报警仪后方可进入机房。

1.5 辐射安全管理

南通大学附属医院已成立专门的放射防护及质量保证工作领导小组，并以文件形式明确其管理职责。本项目配备的辐射工作人员为放疗科现有工作人员，其均已参加并通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。医院应根据《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》的要求，辐射工作人员辐射安全培训证书到期前，应安排其通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习辐射安全和防护专业知识，在工作人员通过考核方能开展本项目工作。

南通大学附属医院计划针对本项目对现有辐射安全管理制度进行补充和完善，主要包括《辐射防护和安全保卫制度》《医用直线加速器操作规程》《设备维修制度》《射线装置使用登记、台账管理制度》《岗位职责》《人员培训计划》《辐射监测方案》《辐射事故应急预案》，并在实际工作中不断对其进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

医院已委托江苏省疾病预防控制中心对辐射工作人员进行个人剂量检测，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的限值要

求，并按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案。医院每两年安排辐射工作人员进行职业健康体检，并按要求建立了辐射工作人员职业健康监护档案。

2 环境影响分析结论

本项目医用加速器机房屏蔽防护为：东侧次屏蔽墙为 1500mm 混凝土；南侧主屏蔽墙 2460mm 混凝土，东段次屏蔽墙 1500mm 混凝土，西段次屏蔽墙 1680mm 混凝土；西侧迷道内墙 600mm~1100mm 混凝土+100mm 硫酸钡水泥，迷道外墙 1000mm~1500mm 混凝土；北侧主屏蔽墙 2740mm 混凝土，次屏蔽墙 1550mm 混凝土；防护门 25mmPb+15cm 含硼石蜡。

根据理论预测可知，本项目加速器机房的屏蔽墙、屋顶及防护门的屏蔽能够满足辐射防护要求。根据理论预测可知，本项目投入运行后能够满足本项目管理目标剂量约束值要求：辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众照射年有效剂量不超过 0.1mSv。

2.1 三废处理处置

1 废气

医院计划在加速器机房内治疗室北侧天花板上安装两个新风口，通过“L”型新风管道连接医院已有新风机组；医院在机房南墙上设有两“Z”型排风管道连接排风管道。新风口与排风口成对流设置，能够保证加速器机房的通风效果。加速器机房拟配备 1 台排风机，最大风量不小于 2000m^3/h，排风管道排放口位于 16 号楼楼顶。治疗室净体积约为 251m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.97 次/h。能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体不会对人员和设备产生危害。治疗室内产生的臭氧和氮氧化物将通过通风系统排出治疗机房，臭氧在常温下 50min 后可自行分解为氧气，对环境影响较小。

2 废水

主要是工作人员和患者产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3 固体废物

放疗过程中产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物作为普通医疗废物处理。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后统一处理，对周围环境影响较小。

4 可行性分析结论

综上所述，南通大学附属医院加速器机房改建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具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议与承诺

（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）项目建设完成后，企业应及时办理辐射安全许可证。

（3）项目建成后医院应在 3 个月内完成环境保护验收，需对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

（4）定期核查辐射屏蔽措施有效性。

附表：本项目“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	投资（万元）
辐射安全管理机构	医院已成立专门的放射防护及质量保证工作领导小组，并以文件形式明确其管理职责。	满足《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的要求。	/
辐射安全和防护措施	本项目医用加速器机房屏蔽防护为：东侧次屏蔽墙为 1280mm 混凝土+220mm 铅板；南侧主屏蔽墙 2360mm 混凝土+60mm 铅板，东段次屏蔽墙 1300mm 混凝土+200mm 铅板，西段次屏蔽墙 1380mm 混凝土；西侧迷道内墙 600mm~1100mm 混凝土+100mm 硫酸钡水泥，迷道外墙 1000mm~1500mm 混凝土；北侧主屏蔽墙 2740mm 混凝土，次屏蔽墙 1550mm 混凝土；顶棚主屏蔽墙 2720mm 混凝土，次屏蔽墙 1570mm 混凝土；防护门 25mmPb+15cm 含硼石蜡。	机房外墙表面、防护门及顶部外 30cm 处等关注点的剂量率控制水平均符合 HJ 1198-2021 中 6.1.4 剂量控制要求；辐射工作人员年有效剂量应<5mSv/a，公众年有效剂量应<0.1mSv/a。	80
	为确保辐射安全，保障加速器安全运行，本项目辐射安全装置和保护措施主要有：决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙控制；加速器防护门拟安装门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启加速器；在加速器出束状态下意外打开防护门，立即停止出束；开门开关和防夹装置：在机房防护门内侧拟设置紧急开门按钮，紧急情况下按开门按钮防护门打开；防护门拟设置红外线防夹装置（距离地面约 60cm），防护门关闭过程中有人穿过防护门时，防护门自动开启；拟在控制室内、控制台上、治疗室迷道出入口处及防护门内侧、治疗室四周墙壁、设置急停按钮；急停按钮旁设有醒目文字：“急停按钮”；在防护门上方拟安装工作状态指示灯，其中红灯代表加速器开机工作，黄灯代表加速器准备工作，绿灯代表加速器停止工作。门外拟张贴醒目、规范的电离辐射警告标志；在机房内拟安装实时监控装置，监控终端显示器位于控制室内，并拟配备对讲装置，在治疗过程中辐射工作人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生；加速器治疗室内拟设计通风装置；拟在迷道的内入口处设置固定式辐射剂量监测仪剂量探头，有异常情况下可以报警，剂量报警显示器设置在控制室内。加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 30cm，能够满足辐射防护要求。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）关于辐射安全设施的相关要求。	

通风设施	加速器机房计划配备 1 台排风机，最大风量不小于 2000m³/h，治治疗室净体积约为 251m³（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.97 次/h。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。	
人员配备	本项目辐射工作人员为放疗科现有工作人员，已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。 医院已委托江苏省疾病预防控制中心对辐射工作人员进行个人剂量检测，检测周期为三个月，并按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案。 医院每两年安排辐射工作人员进行职业健康体检，职业健康体检周期为两年，并按要求建立了辐射工作人员职业健康监护档案。	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》中关于人员培训、个人剂量监测及职业健康体检的相关要求。	定期投入
监测仪器和防护用品	医院放疗科已配备 1 台环境辐射巡测仪和 4 台个人剂量报警仪。计划为本项目新配备 1 台环境辐射巡测仪和 2 台个人剂量报警仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用II类射线装置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要求。	1
辐射安全管理制度	计划针对本项目对现有辐射安全管理制度进行补充和完善，主要包括：辐射防护和安全保卫制度、医用直线加速器操作规程、设备维修制度、射线装置使用登记、台账管理制度、岗位职责、人员培训计划、辐射监测方案、辐射事故应急预案，并在实际工作中不断对其进行补充完善，使其具有较强的针对性和可操作性。	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》等法律法规要求。	/

以上措施必须在项目运行前落实。

表 14 审批

审批意见：   <