2022-F-112

核技术利用建设项目

南通大学附属医院
一台医用直线加速器项目
环境影响报告表

南通大学附属医院（公章）

2022 年 12 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

一台医用直线加速器项目

环境影响报告表

建设单位名称：南通大学附属医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：南通市西寺路 20 号

邮政编码：226000 **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="7">一台医用直线加速器项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">南通大学附属医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>******</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="7">南通市西寺路 20 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">南通市西寺路 20 号 19 号楼负二层</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>2800</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>200</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">7.14%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☐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="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 用放射性物质</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>其它</td><td colspan="7">/</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。医院占地面积近 130 亩，建筑面积 8.8 万余平方米，医院共有 31 个临床科室，20 个医技科室，17 个研究室、实验室。医院现有职工 3000 多名，其中正高级职称 270 余人，博士生、硕士生导师 300 余人。

1.2 项目建设规模及任务由来

医院放疗科位于 19 号楼负二层，放疗科设有两座加速器机房（1#加速器机房和 2#加速器机房）、两座模拟定位机房（1#模拟定位机房和 2#模拟定位机房），放疗科

2#加速器机房和两座模拟定位机房于 2011 年 11 月取得了环评批复（见附件 4），1#加速器机房为预留机房未履行环评手续，1#加速器机房作为 19 号楼主体结构的一部分于 2012 年与 19 号楼同步建设完成。医院在 2#加速器机房内配备 1 台 Precise 型直线加速器，已于 2018 年 9 月完成了竣工验收，并已获得辐射安全许可（见附件 4）。

医院 17 号楼内的瓦里安 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 月取得了竣工验收意见的函，环评批复及竣工验收意见的函见附件 5。现因发展需要，医院将瓦里安 Trilogy 型医用直线加速器搬迁至 19 号楼 1#加速器机房内。Trilogy 型医用直线加速器 X 射线能量包括 6、15MV 两档，最大剂量率为 1000cGy/min。由于 1#加速器机房屏蔽不能满足 X 射线能量 15MV 的屏蔽防护要求，因此 2020 年医院已与瓦里安签订直线加速器去除高能 X 线协议（见附件 8），即关闭 Trilogy 型医用直线加速器 15MV 档 X 射线，仅使用 6MV 档 X 射线。医院本次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	场所名称	活动种类
医用直线加速器	Trilogy	X 射线能量 MV：6 X 最大剂量率：1000cGy/min； 电子线能量 MeV：6、9、12、15、18、21 电子线最大剂量率：600cGy/min	1#加速器机房	使用

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》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，本项目使用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 项目周边保护目标及项目选址情况

南通大学附属医院位于南通市西寺路 20 号，其东侧为南大街和白家园小区，南侧和西侧均为濠河，北侧为西寺路和健康路，医院地理位置图见附图 1，医院总平面图及项目周围环境见附图 3。放疗科位于 19 号楼负二层，放疗科东侧、南侧、西侧和北侧均为停车场和土层，上方为停车场，下方为土层，19 号楼负二层见附图 4。

根据《辐射环境保护管理导则-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格

式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，确定以加速器机房边界外周围 50m 区域作为评价范围。根据现场调查分析可知，本项目辐射工作场所周围 50m 范围内无居民区、学校等环境敏感目标，评价范围内未涉及《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号》中划分的环境管控单元中的优先保护单元（见附图 2）。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的医务人员、患者及患者家属。

3 建设单位已有核技术利用项目许可情况

南通大学附属医院目前已重新申领江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为“苏环辐证【00215】”，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”，发证日期为 2022 年 10 月 8 日，有效期至：2027 年 10 月 7 日。许可内容包含使用 2 枚 V 类 ^{68}Ge 校验源，PET-CT 中心使用 F-18 核素诊断的乙级非密封工作场所，核医学科使用 ^{131}I、^{99m}Tc 以及 ^{89}Sr 的乙级非密封工作场所；使用医用直线加速器共 2 台、DSA 共 4 台、CT、DR 等 III 类射线装置共 42 台，辐射安全许可证详见附件 3。

4 实践正当性分析

本项目在运行期间将会产生电离辐射，可能会增加项目周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目将满足患者的医疗需求，创造更大的经济效益和社会效益，在落实辐射安全与防护管理措施后，带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

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	Trilogy	电子	X 射线：6MV 电子线：21MeV	X 最大剂量率：1000cGy/min； 电子线最大剂量率：600cGy/min	放射肿瘤治疗	1#加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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	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
加速器废靶	固态	/	/	/	/	/	暂无废靶(加速器退役或更换靶时产生)	由设备厂家或有资质单位回收处置
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	不暂存	通过排风系统直接进入大气，臭氧 50 分钟后可自行分解为氧气
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 号公布，2015 年 1 月 1 日起施行 （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 24 号公布，自 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 号公布，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682#公布，2017 年 10 月 1 日起施行 （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 号公布，2019 年 3 月 2 日起施行 （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年修正版），生态环境部令第 7 号公布，自 2019 年 8 月 22 日起施行 （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （8）《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》，国家环境保护总局文件，环发[2006] 145 号文，2006 年 9 月 26 日发布 （9）《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 （10）关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103 号，2014 年 1 月 1 日起施行 （11）《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 （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 11 月 1 日起施行 （13）《生态环境部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 日生成 （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，2020 年 1 月 1 日起施行 （15）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修改版），江苏省人大常委会公告第 2#，2018 年 3 月 28 日修改，2018 年 5 月 1 日起施行 （16）《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日起施行 （17）《江苏省国家级生态保护红线规划》，江苏省人民政府（苏政发[2018]74 号），2018年6月9日发布 （18）《江苏省生态空间管控区域规划》，江苏省人民政府（苏政发[2020]1#），2020年1月8日发布 （19）《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 （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。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016） （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》（HJ10.1-2016） （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （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）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021） （8）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020） （9）《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） （10）《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）辐射安全许可证（附件3） （4）19号楼2#加速器机房、模拟机环评批复及竣工验收意见（附件4） （5）Trilogy型医用直线加速器环评批复及竣工验收意见的函（附件5） （6）辐射环境现状检测报告（附件6） （7）2021年第二季度至2022年第一季度个人剂量检测报告（附件7） （8）南通大学附属医院瓦里安直线加速器去除高能X线协议（附件8） （9）2#加速器防护检测报告（（2021）苏清环科（放）字第（463）号，见附件9） （10）17号楼加速器机房退役监测报告（附件10）

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 的区域，见附图 3。

保护目标

本项目辐射工作场所周围 50m 范围内无居民区、学校等环境敏感目标，且评价范围内未涉及《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）中划分的环境管控单元中的优先保护单元（详见附图 2）。放疗科位于 19 号楼负二层，放疗科东侧、南侧、西侧和北侧均为停车场和土层，上方为停车场，下方为土层，19 号楼负二层见附图 4。本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的医务人员、患者及患者家属。保护目标详见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

序号	保护目标名称		方位	最近距离	规模
1	辐射工作人员		四周	紧邻	23 人
2	公众	19 号楼内医护人员	上方	7m	约 150 人
3	公众	19 号楼内患者及家属	东、南、西、北和上方	3m	流动

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
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；

11.4.3.2剂量约束值通常在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）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（见4.3.4）。

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 10 MV 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 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 $\dot{H}c,d$ (μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}c \leqslant 100$ μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}c \leqslant 5$ 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： $\dot{H}c,max \leqslant 2.5$ μSv/h；

人员居留因子 $T \leqslant 1/2$ 的场所： $\dot{H}c,max \leqslant 10$ 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；

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。

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《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可

以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

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；通风换气次数应不少于 4 次/h。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置：含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

6.4.2 联锁装置：放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统：控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

4 项目管理目标限值

根据 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中相关规定及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）	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/k	1	1/2	5	12.5	0.8	10	0.8
南墙 a	1/4	1	100	12.5	32	2.5	2.5
南墙 c_1/c_2	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5
西墙 f	1	1/40	5	12.5	16	10	10
顶部 l	1/4	1/40	5	12.5	64	10	10
顶部 m_1/m_2	1	1/40	5	12.5	16	10	10
防护门 g	1	1/8	5	12.5	3.2	10	3.2

注：机房北侧与南侧屏蔽设计一致，选择南侧屏蔽墙参考点；参考点见图 11-1。

综上所述，机房东墙外30cm处的剂量率控制水平限值为0.8μSv/h，南墙外30cm处的剂量率控制水平限值取值为2.5μSv/h，西墙、北墙和顶部外30cm处的剂量率控制水平限值取值为10μSv/h，防护门外30cm处的剂量率控制水平限值取值为3.2μSv/h。

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《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》（HJ1198-2021）等评价标准要求，本项目管理目标限值为：**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**。

5 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 江苏省室内、室外天然贯穿辐射所致（空气吸收）剂量率（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

南通大学附属医院位于南通市西寺路 20 号，其东侧为南大街和白家园小区，南侧和西侧均为濠河，北侧为西寺路和健康路，医院地理位置图见附图 1，医院总平面图及项目周围环境见附图 3。放疗科位于 19 号楼负二层，放疗科东侧、南侧、西侧和北侧均为停车场和土层，上方为停车场，下方为土层，19 号楼负二层见附图 4。1#加速器机房位于放疗科西侧，其东侧为 2#加速器机房、电梯厅等，南侧为送风机房、2#模拟定位机房等，西侧为停车场、土层等，北侧为电梯、消防通道等，上方为停车场，下方为土层。本项目周围环境现状见图 8-1。



图 8-1 本项目周围环境现状图

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：项目场址周围辐射环境

监测因子：γ辐射空气吸收剂量率

监测点位：在项目场址周围布监测点位，共计6个点位

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

监测项目：γ辐射空气吸收剂量率

监测布点：在项目拟建址周围进行布点，具体点位见图8-2

监测时间：2022年10月27日

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

监测仪器：FH40G 型辐射剂量检测仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：J0317，检定有效期：2022.10.10~2023.10.09，能量响应：48keV～4.4MeV，测量范围：1nSv/h～100μSv/h）

监测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

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。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 393-2018，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取1.20Sv/Gy。

3.2 质量保证措施

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

监测布点质量保证：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

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《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

监测人员、监测仪器及监测结果质量保证：监测人员均经过公司内部考核，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测报告实行二级审核。

3.3 监测结果

评价方法：参照江苏省天然贯穿辐射剂量水平调查结果，监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件6。

表 8-1 本项目γ辐射空气吸收剂量率测量结果

测点编号	测点位置描述	测量结果(nGy/h)	备注
1	机房内	38.1	检测过程中 2#加速器机房内加速器、模拟定位机房内模拟机未开机。
2	机房外东侧 2#加速器机房迷道	55.8	
3	机房外南侧控制室	68.9	
4	机房外西侧停车场	35.4	
5	机房外北侧通道	61.1	
6	机房楼上停车场	61.7	
7	拟建放疗中心顶部通道	74.5	

注：检测结果已扣除仪器宇宙射线响应值；检测点位均位于 19 号楼内，对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.8；仪器测量单位为 nSv/h，转换系数取 1.2 即 1nGy/h=1.2nSv/h。

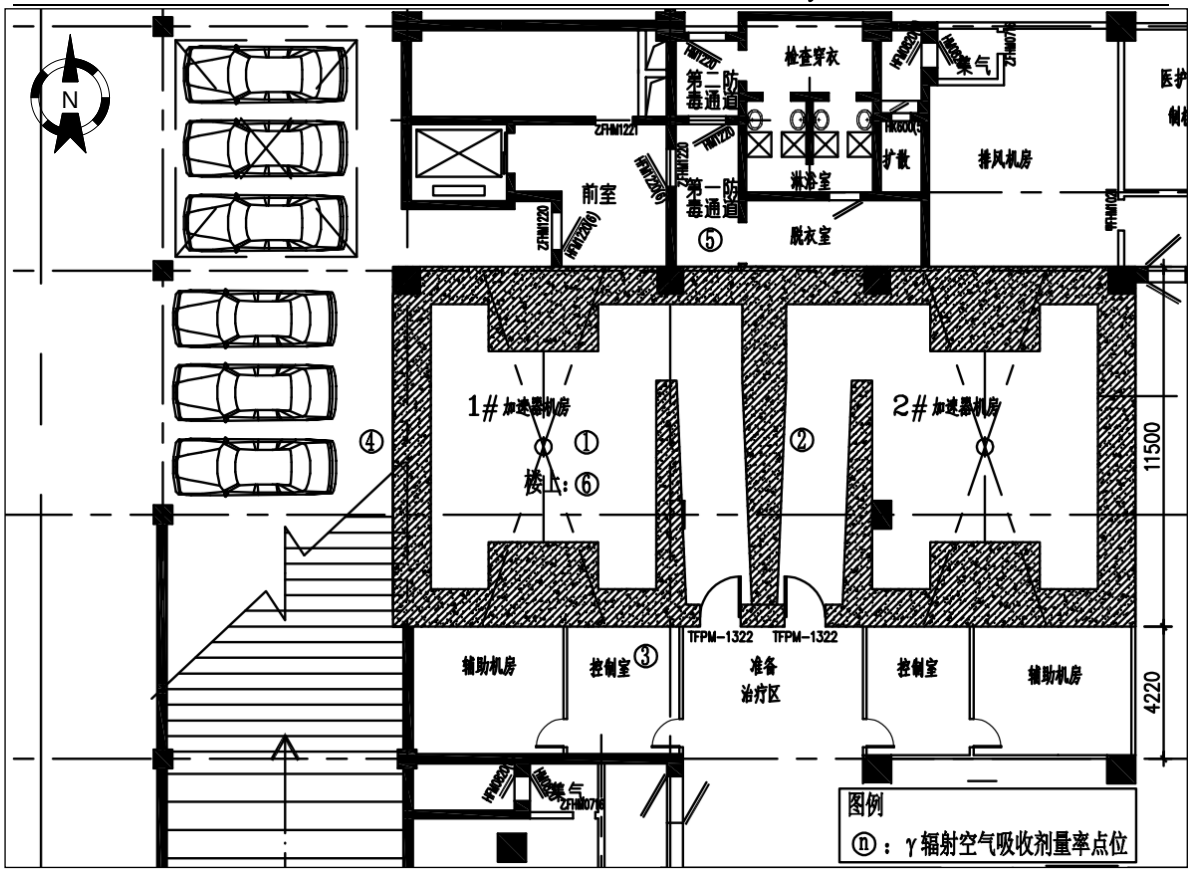


图 8-2 本项目γ辐射空气吸收剂量率监测点位示意图

4 环境现状调查结果评价

由表 8-1 监测结果可知，本项目周围辐射环境γ辐射空气吸收剂量率为(35.4~68.9)nGy/h，在江苏省环境天然贯穿辐射水平涨落范围内。

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

医院已在 1 号加速器机房内配备一台 Trilogy 型直线加速器，技术参数见表 9-1，加速器结构图见图 9-1，加速器外观见图 9-2。

表 9-1 医用直线加速器技术参数

加速器型号	Trilogy
能量	X 射线（MV）：6 电子线（MeV）：6、9、12、15、18、21
距靶 1m 处剂量率	X 射线：1000cGy/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	1.25m
机架旋转	±180°
靶材料	钨合金

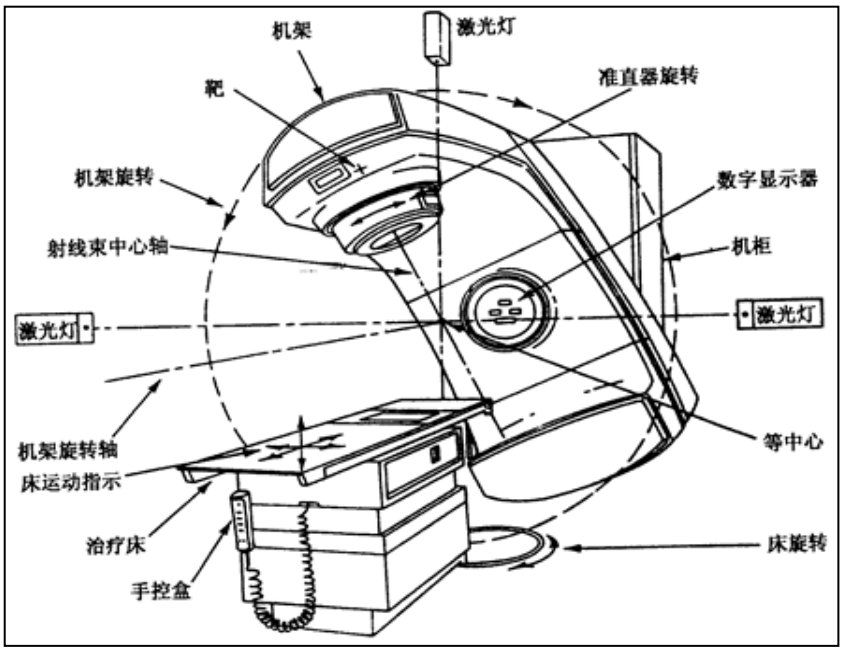


图 9-1 加速器结构图



图 9-2 Trilogy 加速器外观图

2 工作原理

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 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。

3 工作流程及产污环节分析

加速器工作流程及产污环节示意见图 9-3。

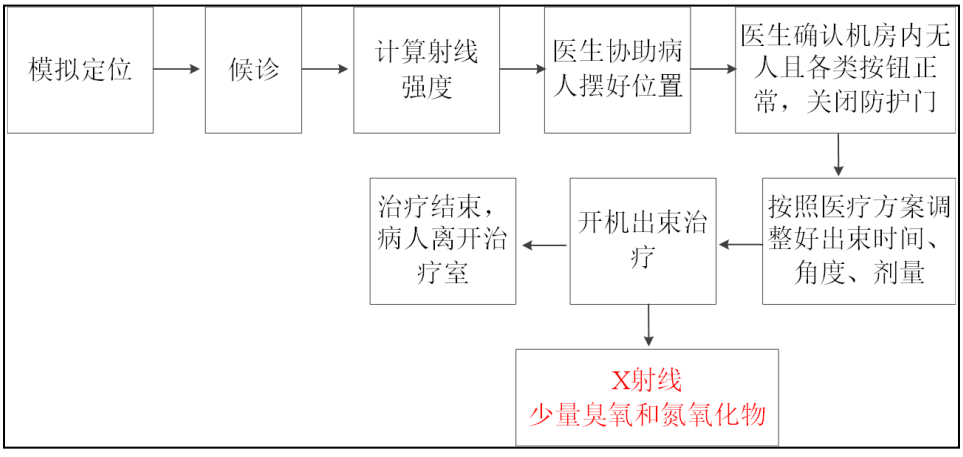


图 9-3 工作流程及产污环节示意图

1）模拟定位：先通过模拟定位机对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和射野大小，拍片定位；

2）候诊登记：对已做模拟定位检查的患者进行登记候诊；

3）计算射线强度：根据患者疾病性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

4）摆位准备：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及视野；

5）实施照射：根据已制定的诊疗计划，实施照射；照射过程加速器开机会产生的 X 射线、电子线对治疗室外工作人员、公众及周围环境有一定的辐射影响； 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。

6）治疗结束。

7）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，关闭治疗室门；

②选择运行模式；

③输入治疗参数；

④确认后开始治疗；

⑤治疗中通过电视屏幕监视病人情况和机器运行情况，一旦发现异常，立即停机、停束等妥善措施，及时报告维修、物理人员，做好记录。

4 工作负荷

加速器每天治疗最多 50 人，每周工作 5 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均为 3min，总的周治疗出束时间约为 12.5h，年治疗出束时间为 625h。

污染源项描述

1 放射污染源分析

（1）主射线辐射：当加速器中光阑完全打开时，从辐射头靶端射出的 X 射线为一个半角为 14°的锥形线束，其能量最大为 6MV，最大剂量率为 1000cGy/min。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用射线。

（2）漏射线辐射：由靶向外从各个方向上穿过辐射头泄漏出来射线称为漏射线。漏射线遍布机架各处，因此漏射线辐射源到任一点的距离会因为机架角度不同而各异。通常假定漏射线能量与主射线相同。

（3）散射线辐射：当主射线射入治疗台上的人体时，会产生散布于各个方面上的次级散射辐射，这种散射线能量和剂量率比主射线低得多，此剂量率决定于被

照区域，初级射线能量和散射角度。

（4）电子线辐射：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。

（5）废靶：加速器运行过程中更换靶和加速器退役产生废靶，废靶由设备厂家回收或者委托有资质单位回收处置。

综上所述，本项目污染源项主要为加速器运行时候产生的电子束和X射线，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。

1.2 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，臭氧在常温下很快自行分解为氧气，对环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 选址、布局与分区

1.1 选址与布局

放疗科位于 19 号楼负二层，其东侧、南侧、西侧和北侧均为停车场和土层，上方为停车场，下方为土层，周围无儿科病房、产房等特殊人群及密集区域。放疗中心主要包括两座加速器机房、两座模拟定位机房、辅助机房、控制室、物理师室、制模室等。其中辅助机房、控制室、物理师室、制模室等均位于加速器机房外，与治疗室分离，治疗室内设有迷路，迷路口设有防护门；机房周围除控制室外无其他居留因子较大的用室。综上所述，本项目选址与布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

1.2 工作场所分区分析

放疗科已进行控制区和监督区划分管理，已将加速器机房内区域和模拟定位机房内区域划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将辅助机房、控制室区域划为监督区域，对监督区实施监控管理。控制区与监督区划分见图 10-1。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《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。



图 10-1 放疗科工作场所布局及分区图

2 机房屏蔽设计

1#加速器机房屏蔽见图 10-2，辐射防护屏蔽参数见表 10-1：

表 10-1 1#加速器机房辐射防护屏蔽设计参数

分类		屏蔽参数
东墙	迷道内墙	650mm~950mm 混凝土
	迷道外墙	800mm~1400mm 混凝土
南墙	主屏蔽	厚度：2700mm 混凝土；宽度：3.5m
	次屏蔽	1200mm 混凝土
西墙	次屏蔽	1200mm 混凝土
北墙	主屏蔽	厚度：2700mm 混凝土；宽度：3.5m
	次屏蔽	1200mm 混凝土
顶部	主屏蔽	厚度：2400mm 混凝土；宽度：3.5m
	次屏蔽	1200mm 混凝土
底部		土层
防护门		15mmPb+15cm 含硼石蜡

注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.35g/cm^3。

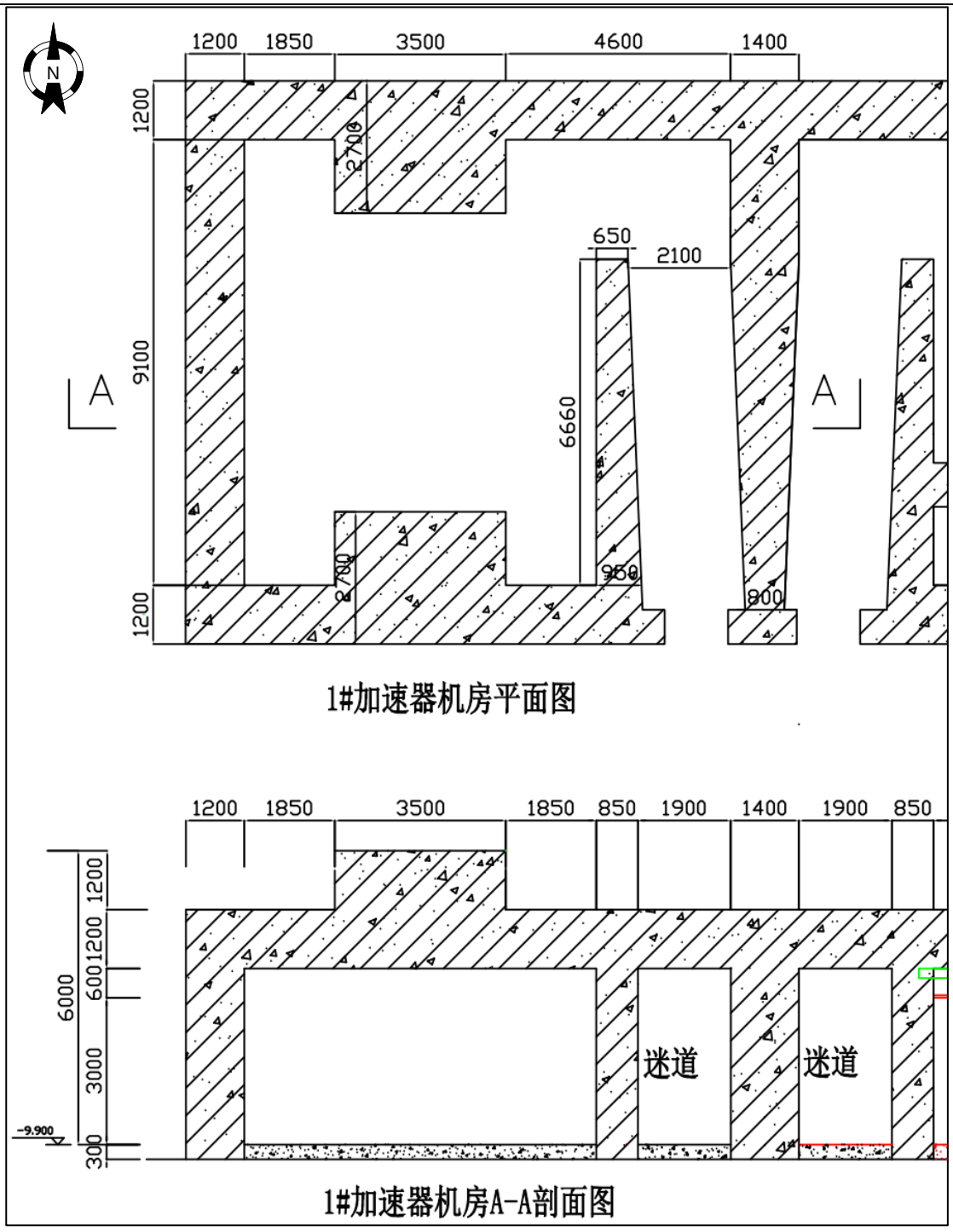


图 10-2 1#加强机房屏蔽设计图

2.2 电缆沟设计

加速器机房电缆线布设采用了地下穿墙管道，管道埋地深约 55cm，见图 10-3。电缆沟未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，且 X 射线最少经过 8 次散射后才可到达电缆沟出口，能够满足辐射防护要求。

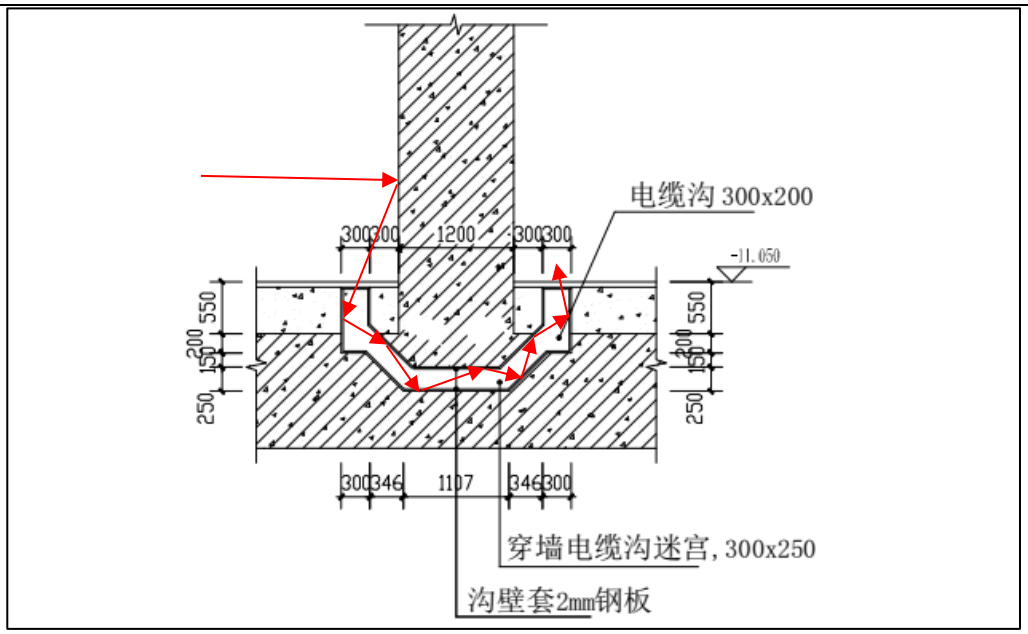


图 10-3 电缆沟穿墙及 X 射线散射路径图

3 辐射安全措施设计

医院根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，已设置有相应的辐射安全措施，加速器工作场所辐射安全装置核查表见表 10-2，安全措施图见图 10-4：

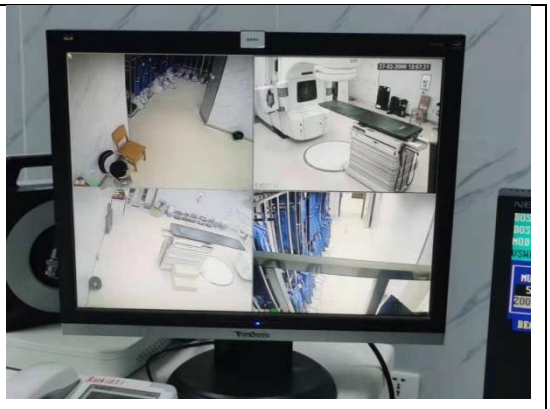
表 10-2 加速器工作场所辐射安全装置核查表

序号	核查内容	现场核查结果	判断
1	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。	加速器机房和控制室之间配有双向对讲装置和监视系统（图 10-4）。医院在机房东北角设置了 2 个摄像头，在加速器上方设置了 1 个摄像头，在机房迷道内墙设置了 1 个摄像头，在操作台和机房之间设置有监控和对讲装置。经检查，该机房监视系统和对讲装置均有效。 在加速器机房的入口上方设置有工作状态指示灯（图 10-5），机房防护门上设置了电离辐射警告标志。	符合
2	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。	已配备 1 台巡测仪和 2 台个人剂量报警仪，供工作人员进出该加速器机房使用。医院在控制室内配备了 1 台北京中康联医疗器械开发有限公司生产的 X/γ 固定式射线报警仪（图 10-6）。	符合
3	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设	加速器机房设置了迷路。防护门并设置	

	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； 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。	了门机联锁，防护门未关好，加速器不能出束，加速器出束过程中打开防护门，加速器自动停止照射。此外，防护门设置了红外防碰撞系统。 加速器机房、控制室内配有急停开关（图 10-7）。在治疗床两侧各 1 个、加速器机架两侧各 1 个，机房东北角 1 个，迷道内墙 1 个，西墙 1 个。经检查，按下操作台上的急停开关，加速器立即断电，工作人员需将急停开关复位，重新开机后，加速器方可出束。	
4	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。	通风装置（图 10-8），治疗室顶部设有 2 个进风口，治疗室西北角和西南角各设有 1 个排风口；进风系统与排风系统呈对流设置，排气管经迷道顶部弯型出口接入大楼专用排风井。风机最大风量为 2500m^3/h，机房容积（含迷道）约为 269m^3，治疗室内通风换气频率约为 9.3 次/h。	



对讲装置



控制室监控







图 10-4 加速器监控现场图



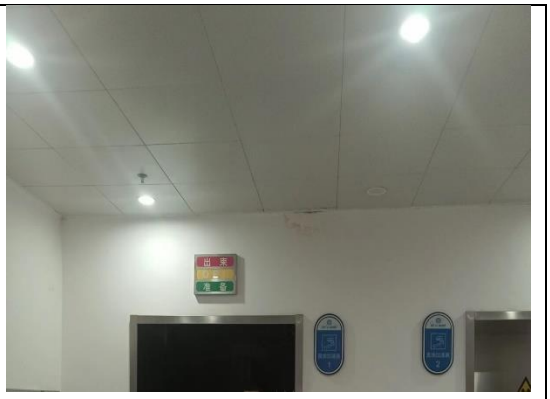


图 10-5 加速器机房工作状态指示灯和电离辐射警告标志现场图





固定式射线报警仪





图 10-6 辐射监测仪器现场图











图 10-7 急停按钮现场图



图 10-8 加速器机房通风系统现场图

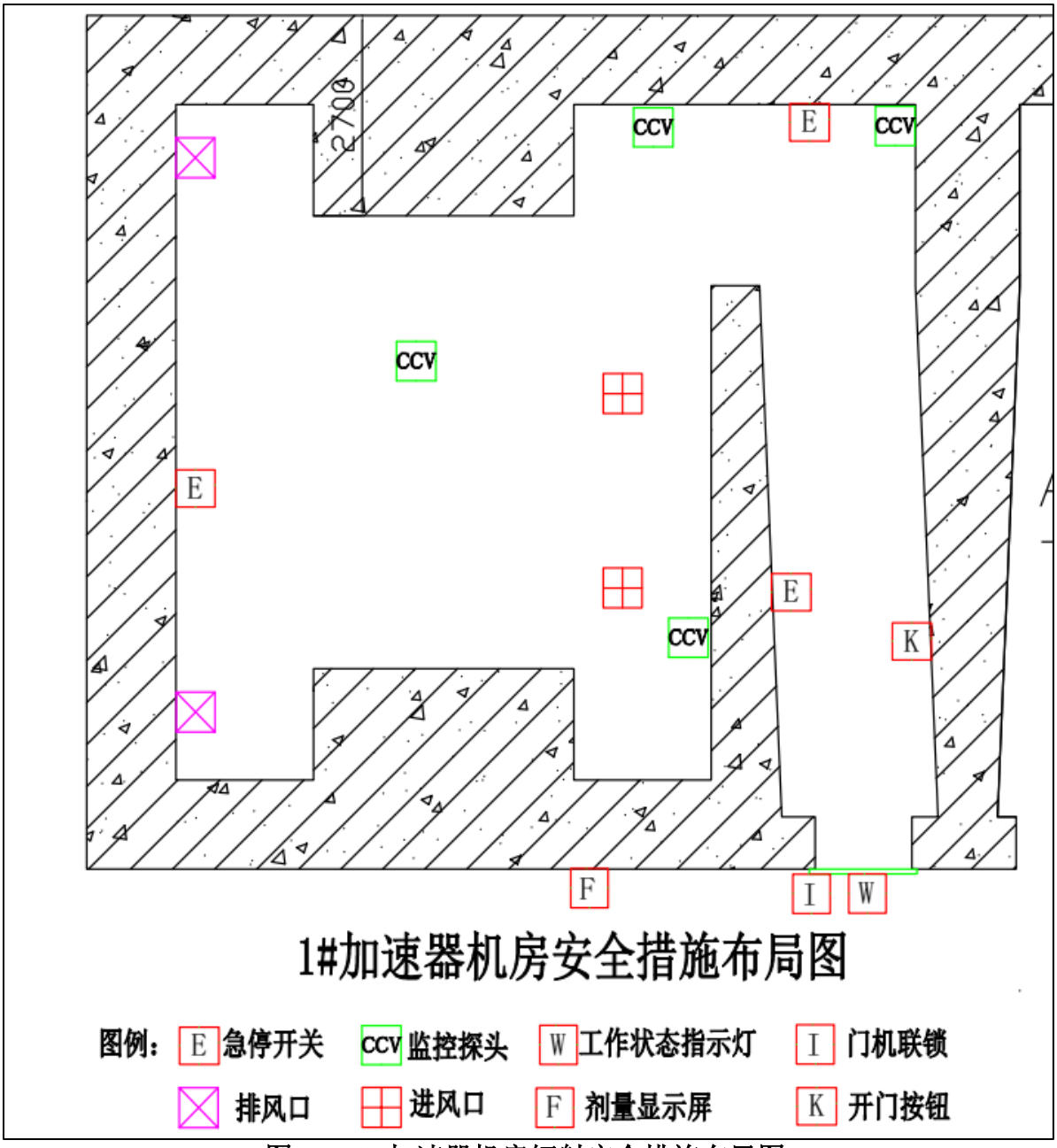


图 10-9 1#加速器机房辐射安全措施布局图

三废处理

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。故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。加速器机房设计有通风系统（见图 10-10），治疗室顶部南侧设有 2 个进风口，治疗室西北角和西南角各设有 1 个排风口；进风系统与排风系统呈对流设置，排气管经迷道顶部弯型出口接入大楼专用排风井。加速器机房已配备 1 台风机，最大风量为 2500m^3/h，机房容积（含迷道）约为 269m^3，治疗室内通风换气频率约为 9.3 次/h，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的换气次数不少于 4 次/h 的要求。

根据图 10-10 可知，X 射线在排风管道内最少经过 4 次散射才可到达机房入口，在进风管道内最少经过 4 次散射才可到达机房入口，能够满足辐射防护要求。

加速器运行过程中更换靶和加速器退役产生废靶，废靶由设备厂家回收或者委托有资质单位回收处置。

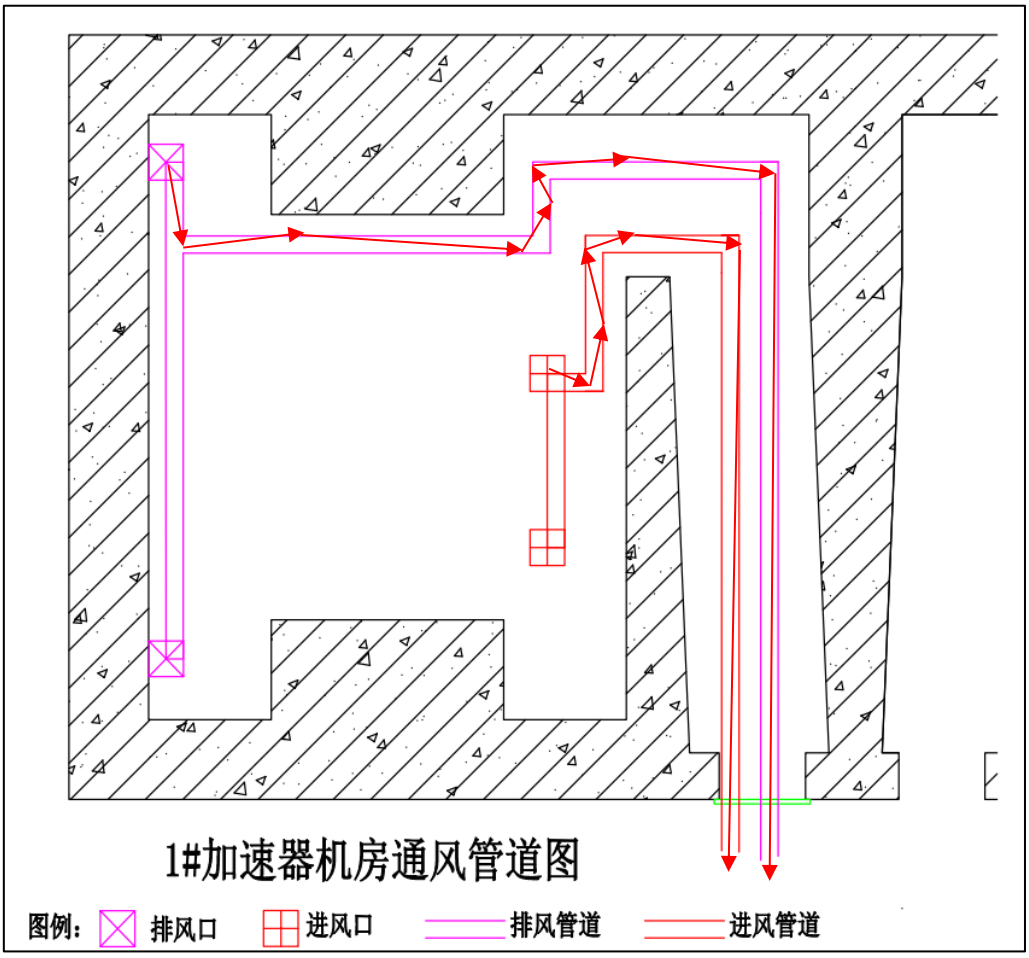


图 10-10 加速器机房通风管道及 X 射线散射示意图

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目已建设完成，不存在建设阶段对环境的影响。

运行阶段对环境的影响

1 参考点选取

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，以加速器最大工况（X 射线能量：6MV，距靶 1m 处的剂量率 1000cGy/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。加速器机房北侧与南侧屏蔽设计一致，选择南侧屏蔽墙体进行预测。机房各屏蔽墙外的预测参考点见图 11-1。

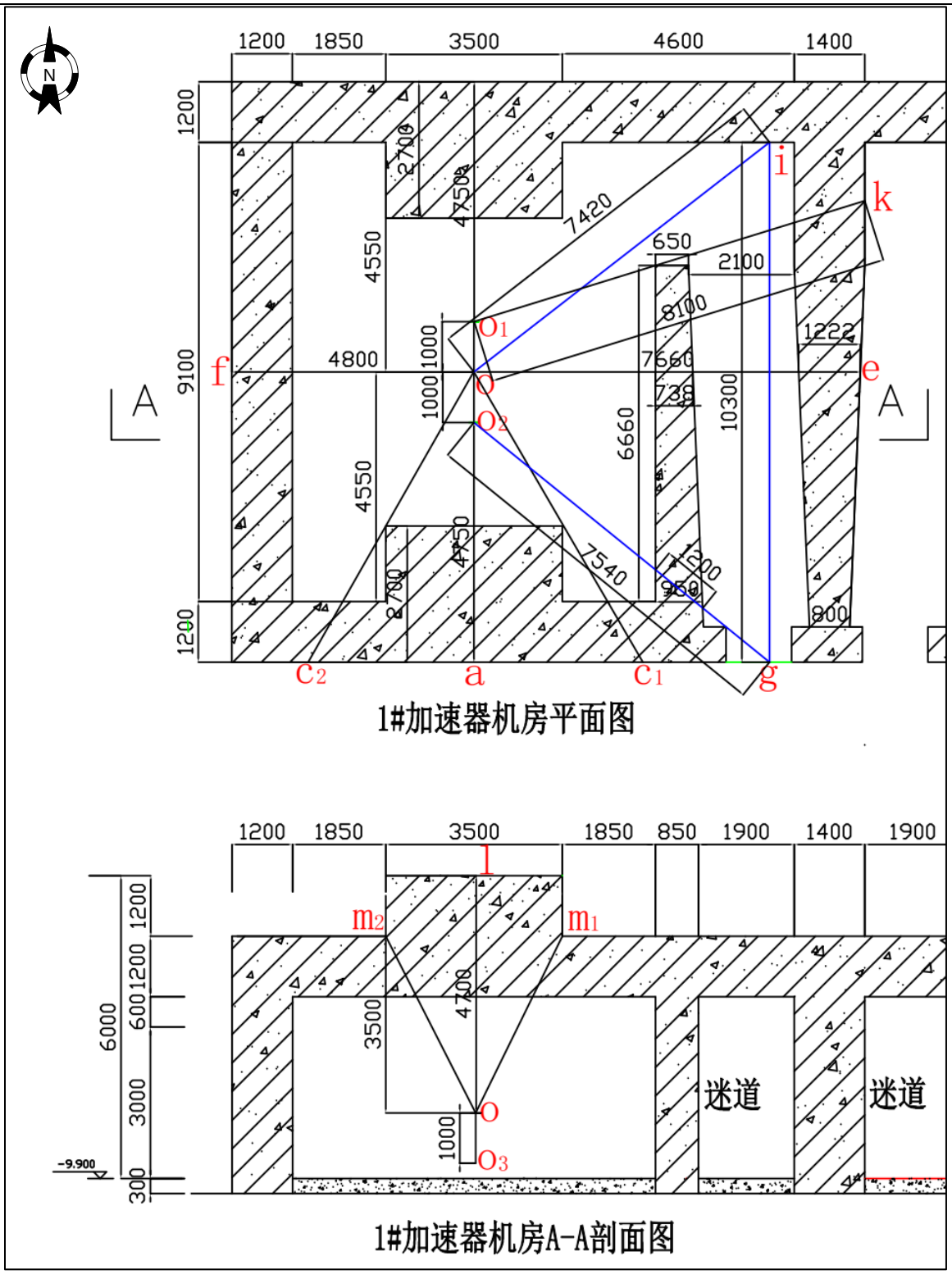


图 11-1 加速器机房关注点位示意图

2 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。

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

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	屋顶主屏蔽
a（m）	4.55	4.55	4.7
SAD（m）	1	1	1
θ(°)	14	14	14
计算宽度 Y_p（m）/半宽度	3.37/1.68	3.37/1.68	3.44/1.72
设计宽度（m）/最小半宽度	3.5/1.75	3.5/1.75	3.5/1.75
评价	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直线加速器有用射线束宽度的防护要求。

3 主屏蔽墙防护效果预测（南侧主屏蔽墙 a 点和屋顶 l 点）

（1）主射线路径：南侧主屏蔽墙：O_1→a，屋顶 O_3→l

（2）计算模式及参数选择：

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：

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2}\cdot B \quad \cdots\cdots（2）$$

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}，本报告以最大剂量率进行估算。

R：辐射源（靶点）至参考点的距离，m。

f：对有用线束为 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：

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

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 11-2 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果

参数		南墙（a 点）	屋顶（1 点）
混凝土建筑厚度 X（*cm*）		270	240
有效屏蔽厚度 Xe（cm）		270	240
TVL_1		37	37
TVL		33	33
B		8.70×10^{-9}	7.05×10^{-8}
$\dot{H}_0$（μSv·m^2·h^{-1}）（以 1m 处最大剂量率预测）		6.0×10^{8}	6.0×10^{8}
R（*m*）		7.05	6.0
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv·h^{-1})	$\dot{H}$ 估算值	0.10	1.18
	$\dot{H}$ 控制值	2.5	10
	评价结果	满足	满足

注：①R 值均从图 11-1 中参数计算得出。

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

4 与主屏蔽相连的次屏蔽防护效果预测（c_1、c_2 点和屋顶 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；屋顶：O→m_1、O→m_2

散射辐射：南墙：O_1→O→c_1、O_1→O→c_2；屋顶：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）），斜射角 θ 可取 30°

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，

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

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，查 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 中表 B.2，本项目保守取能量为 6MV 散射角度 30 度下α_{ph}值，2.77×10^{-3}。

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 11-3。

表 11-3 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果

参数		南墙 c_1 和 c_2	顶部 m_1 和 m_2
泄漏辐射	混凝土建筑厚度 X（*cm*）	120	120
	θ（º）	30	30
	有效屏蔽厚度 Xe（cm）	138.5	138.5
	TVL_1	34	34
	TVL	29	29
	B	2.48×10^{-5}	2.48×10^{-5}

	$\dot{H}_0$（μSv·m²·h⁻¹）	6.0×10^{8}	6.0×10^{8}
	R（*m*）	5.78	5.73
	泄露辐射比 f	0.001	0.001
	$\dot{H}$ 估算值(μSv·h⁻¹)	0.45	0.45
患者散射辐射	有效屏蔽厚度 Xe（cm）	138.5	138.5
	TVL_1	26	26
	TVL	26	26
	B	4.69×10^{-6}	4.69×10^{-6}
	α_{ph}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}
	Rs	5.78	5.73
	$\dot{H}$ 估算值(μSv·h⁻¹)	0.93	0.95
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 $\dot{H}$ (μSv·h⁻¹)		1.38	1.40
$\dot{H}$ 控制值(μSv·h⁻¹)		2.5	10
评价结果		满足	满足

注：①散射角取 30°；②根据图 11-1 中相关参数，可计算出 $R_{(c1)}$=等中心点 o 至参考点垂直距离 4.75m/cos(30°)+0.3=5.78m；$R_{(m1)}$=等中心点 o 至顶部次屏蔽墙外表面距离 4.7m/cos30°+0.3=5.73m。

根据表 11-3 可知，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。

5 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：

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

屏蔽墙外参考点 e、点 f 的位置见图 11-1，其辐射水平预测结果见表 11-4。

表 11-4 加速器机房屏蔽墙防护能力计算结果

参数		东墙（e 点）	西墙（f 点）
混凝土建筑厚度 X（*cm*）		196（迷道内墙 73.8+外墙 122.2）	120
有效屏蔽厚度 Xe（cm）		196	120
TVL_1		34	34
TVL		29	29
B		2.59×10^{-7}	1.08×10^{-4}
f 泄漏辐射比率		0.001	0.001
$\dot{H}_0$（$\mu Sv\cdot m^2\cdot h^{-1}$）		6.0×10^{8}	6.0×10^{8}
R（*m*）		7.96	5.1
参考点处辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu Sv\cdot h^{-1}$)	$\dot{H}$ 估算值	0.002	2.50
	$\dot{H}$ 控制值	0.8	10
	评价结果	满足	满足

根据表 11-4 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。

6 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_1 点（偏离 O 点 1m）时，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_1 点至 k 的泄漏辐射的斜射角较小，取 0º 进行估算。根据公式（2），可估算出加速器机房迷道外墙 k 点处辐射剂量率水平，计算结果见表 11-5。

表 11-5 迷路外墙 k 处的散射辐射剂量率

参数	厚度 X（cm）	斜射角度	有效厚度 Xe（cm）	TVL_1	TVL	B	*R*（*m*）	$\dot{H}$（μSv /h）
6MV	140	0	140	34	29	2.21×10^{-5}	8.4	0.19

根据表 11-5 可知，加速器机房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。

7 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_2→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 11-6。

表 11-6 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

参 数	g 点
X（cm）	120
TVL_1（cm）	34
TVL（cm）	29
B	1.08×10^{-4}
R（m）	7.54
f	0.001
H_0（μSv•m²/h）	6.0×10^{8}
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）（无防护门）	1.14

注：X、R 均由图 11-1 读取。

（2）迷路入口 g 处的散射辐射影响分析（射线路径 O_2-O-i-g）

迷路入口处 g 点处散射辐射剂量预测时保守取患者散射 X 射线经屏蔽墙（i 点）二次散射值，可以通过下面的估算模式进行估算：

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

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：砼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

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 11-7 加速器机房迷道口处的散射辐射剂量率

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）
6MV	6.0×10^{8}	0.00139	1600	0.0064	7.56	7.42	10.3	27.63

（3）防护门外辐射剂量率计算

加速器机房防护门为 15mmPb+15cm 含硼石蜡防护门，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 11-8：

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

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，m

表 11-8 防护门外辐射剂量率计算结果

参数	X（cm）	E（MeV）	TVL_{-Pb}	$\dot{H}_g$（μSv /h）	$\dot{H}_{og}$（μSv /h）	$\dot{H}$（μSv /h）
6MV	1.5	0.2	0.5cm	27.63	1.14	1.17

注：E 为砼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。

8 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 11-9：

表 11-9 加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表

位置		辐射类型	剂量率值（μSv/h）	控制水平（μSv/h）	结论
东墙	e	漏射线	0.002	0.8	满足
	k	漏射线	0.19	0.8	满足
南墙	a	有用线束	0.10	2.5	满足
	c_1、c_2	漏射线、散射线	1.38	2.5	满足
西墙 f		漏射线	2.5	10	满足
顶部	l	有用线束	1.18	10	满足
	m_1、m_2	漏射线、散射线	1.40	10	满足
防护门 g		漏射线、散射线	1.17	3.2	满足

根据表 11-9 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》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求。

9 通风系统及电缆沟辐射防护评价

加速器机房内设计有通风装置，治疗室顶部南侧设有 2 个进风口，治疗室西北角和西南角各设有 1 个排风口；进风系统与排风系统呈对流设置，排气管经迷道顶部弯型出口接入大楼专用排风井。开机时产生的 X 射线在管道内至少经过 4 次散射后到达出口，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穿墙管道，管道埋地深约 55cm，见图 10-3。电缆沟未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

10 加速器机房电子线治疗时防护评价

加速器最大 X 射线能量为 6MV，电子线最大能量为 21MeV。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要的厚度也低于对 X 射线的屏蔽要求。

11 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：

$$H_e = \dot{H}_{e,d} \cdot t \cdot U \cdot T \qquad \text{……（7）}$$

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 625h。

根据公式（8），辐射工作人员及周围公众年有效剂量计算结果见表 11-10。

表 11-10 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（2#机房）	南墙（控制室）	西墙（停车场）	北墙（前室、脱衣室）	顶部（停车场）	防护门
参考点剂量率值（μSv/h）①	0.19	1.38	2.5	1.38	1.40	1.17
使用因子 U	1	1	1	1	1	1
居留因子 T	1/2	1	1/40	1/16	1/40	1/8

周工作时间（h）	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
周剂量（μSv/周）	1.19	17.25	0.78	1.08	0.44	1.83
周剂量控制值（μSv/周）	5	100	5	5	5	5
年工作周	50					
年有效剂量（mSv/a）	0.06	0.86	0.04	0.05	0.02	0.09
年有效剂量控制值（mSv/a）	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同一侧墙体参考点剂量率值取估算最大值； ②有用线束使用因子取 1/4，漏射线和散射线束使用因子取 1。						

根据表 11-10 可知，辐射工作人员和公众年有效剂量最大分别为 0.86mSv 和 0.09mSv，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。

医院放疗科目前配备有 45 名辐射工作人员，计划抽调 23 名辐射工作人员负责本项目工作。医院已委托江苏省疾病预防控制中心对放射工作人员进行了个人剂量检测，根据医院提供的 2021 年第二季度至 2022 年第一季度个人剂量检测结果（见附件 7）可知，放疗科工作人员年有效剂量最大值为 0.53mSv。本项目投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最大为 0.86mSv，累加后年有效剂量为 1.39mSv。因此本项目建成后，在做好个人防护措施和安全措施及合理安排放射工作人员工作的情况下，辐射工作人员的职业照射年剂量不会超过本院管理目标值的要求。

根据放疗科两座加速器机房布局，两台加速器同时运行时，主要考虑防护门外辐射叠加影响。根据表 11-10 可知，1#加速器机房防护门外公众年有效剂量最大为 0.06mSv。放疗科 2#加速器机房内现已安装一台 Precise Digital Accelerator 型加速器，其 X 射线能量最大为 10MV，剂量率为 600cGy/min。根据医院提供的 2021 年度 2#加速器机房防护检测报告（（2021）苏清环科（放）字第（463）号，见附件 9）可知，在 X 线能量 10MV、600cGy/min 检测工况下，机房防护门入口外 X-γ 剂量当量率为 0.12μSv/h，2#加速器年开机时间与本项目加速器年开机时间相近即 625h，防护门入口处居留因子取 1/8，则估算公众年有效剂量为 0.009mSv。则考虑两台加速器同时运行，防护门入口处公众年有效剂量为 0.069mSv，能够满公众照射年有效剂量不超过

0.1mSv。

3 三废治理措施评价

加速器机房内设计有通风装置（图 10-6），治疗室顶部南侧设有 2 个进风口，治疗室西北角和西南角各设有 1 个排风口；进风系统与排风系统呈对流设置，排气管经迷道顶部弯型出口接入大楼专用排风井。加速器机房已配备 1 台风机，最大风量为 2500m^3/h，机房容积（含迷道）约为 269m^3，治疗室内通风换气频率约为 9.3 次/h，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的换气次数不少于 4 次/h 的要求。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，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 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

加速器运行过程中更换靶和加速器退役产生废靶，废靶由设备厂家回收或者委托有资质单位回收处置。

事故影响分析

1 主要辐射事故

医用加速器主要用于肿瘤放射治疗，只有在治疗期间时才会产生 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，造成意外照射；

（2）加速器治疗期间辐射工作人员或其他人员误留在治疗室内，使其受到大剂量辐照；

（3）由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入加速器机房内受到误照射；

（4）加速器维修调试过程中，维修人员误操作导致加速器出束，发生误照射。

2 辐射事故处置方法及预防措施

（1）建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，在工作过程中严格执行。

（2）加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识。

（3）定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态，加强门机联锁故障和检维修过程中事故情况的预防。

（4）发生误照射，应立即切断电源，确保加速器停止工作。

（5）发生辐射事故立即向单位领导汇报，控制现场区域，防止无关人员进入。

（6）对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

（7）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，同时向卫生部门报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生部门调查事故原因，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。

医院已成立放射防护管理领导小组，以文件形式明确其管理职责，且辐射安全管理人员已通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。本项目工作人员为放疗科现有工作人员，其均已通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，辐射工作人员熟悉专业技术，而且对安全防护与相关法规知识也有所了解，实际操作中能够按照操作规程行事，自觉遵守规章制度，努力做好各项安全工作。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，在其通过考核方能开展本项目工作。

辐射安全管理规章制度

医院放疗科成立了相应的辐射安全管理机构、制定了可行的辐射安全管理制度；放疗中心现有辐射工作人员均已按要求参加了辐射安全与防护知识培训，委托有资质的单位开展了个人剂量监测和职业健康体检，建立了个人剂量档案和职业健康体检档案，每年委托有资质单位对放疗科工作场所进行了相关监测且对监测报告进行了留档。医院放疗中心运行至今尚未发生过辐射事故和放射诊疗事故。

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。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对完善。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。

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。

监测方案：明确监测频次和监测项目，监测结果定期上报环境保护行政主管部门。此外，根据 18 号令，使用放射源和射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

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，该措施中要明确应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。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小时内向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，还应同时报告当地卫生主管部门。

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。

医院已为本项目配备1台环境辐射巡测仪，用于定期对放疗科工作场所周围环境

辐射水平监测，并做好监测记录；配备了一台 X/γ 固定式射线报警仪；配备了 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

医院放射治疗已运行多年，根据辐射管理要求已制定相关监测方案，方案主要内容如下：

（1）每年委托有资质单位对各个辐射工作场所周围环境辐射水平进行监测。

（2）定期对辐射工作场所和周围环境的辐射水平、进行监测，若结果显示异常时需及时查找原因，并做好相关记录。

（3）辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（一季度 1 次）送有资质部门进行监测，建立了个人累积剂量档案。每两年组织辐射工作人员进行职业健康体检，并建立了职业健康监护档案。

（4）建立发现个人剂量异常、工作场所及周围环境监测时发现异常情况时的报告制度：1）对工作场所及周围环境进行监测时，发现异常情况的，立即采取措施，并在一小时内向环境保护行政主管部门报告；2）发现个人剂量异常的，对有关人员采取保护措施，在接到监测报告之日起五日内报告发证的环境保护、卫生健康部门调查处理。

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于应急报告与处理的相关要求，医院应针对本项目可能产生的辐射事故情况制定事故应急方案，应急方案内容应包括：

（1）应急机构和职责分工；（2）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；（3）辐射事故分级与应急响应措施；（4）辐射事故调查、报告和处理程序；（5）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

医院目前已制定有辐射事故应急预案，尚未进行辐射事故应急演习。医院应依据《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》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求，补充完善辐射事故应急预案，在预案中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，医院应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地环境保护和公安部门报告，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，同时向卫生部门报告。事故发生后医院应积极配合环境保护部门、公安部门及卫生部门调查事故原因，并做好后续工作。

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

南通大学附属医院位于南通市西寺路 20 号，其东侧为南大街和白家园小区，南侧和西侧均为濠河，北侧为西寺路和健康路 1。放疗科位于 19 号楼负二层，放疗科东侧、南侧、西侧和北侧均为停车场和土层，上方为停车场，下方为土层。本项目 1#加速器机房位于放疗科西侧，其东侧为 2#加速器机房、电梯厅等，南侧为送风机房、2#模拟定位机房等，西侧为停车场、土层等，北侧为电梯、消防通道等，上方为停车场，下方为土层。根据现场调查可知，本项目 50m 范围内无居民区、学校等敏感点。

1.2 项目分区及布局

1.2.1 选址与布局

放疗科位于 19 号楼负二层，其东侧、南侧、西侧和北侧均为停车场和土层，上方为停车场，下方为土层，周围无儿科病房、产房等特殊人群及密集区域。放疗中心主要包括两座加速器机房、两座模拟定位机房、辅助机房、控制室、物理师室、制模室等。其中辅助机房、控制室、物理师室、制模室等均位于加速器机房外，与治疗室分离，治疗室内设有迷路，迷路口设有防护门；机房周围除控制室外无其他居留因子较大的用室。本项目选址与布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

1.2.2 工作场所分区分析

医院已将加速器机房内区域和模拟定位机房内区域划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将辅助机房、控制室区域划为监督区域，对监督区实施监控管理。本项目工作场所控制区和监督区划分明显，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《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

（1）决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制；（2）加速器机房和控制室之间配有双向对讲装置和监视系统；（3）加速器机房设置了迷

路，防护门并设置了门机联锁和红外防碰撞系统；（4）在加速器机房的入口上方设置有工作状态指示灯，机房防护门上设置了电离辐射警告标志；（5）加速器机房和控制室内、治疗床两侧和加速器机架两侧均设有急停开关；（6）加速器机房电缆线布设采用了地下型穿墙管道，管道埋地深约 55cm。

1.4 监测设备

医院已为本项目配备 1 台环境辐射巡测仪，用于定期对放疗科工作场所周围环境辐射水平监测，并做好监测记录；配备了一台 X/γ 固定式射线报警仪；配备了 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

医院已成立放射防护管理领导小组，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，在其通过考核方能开展本项目工作。

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、事故应急制度等，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，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

根据理论预测可知，本项目工作场所的屏蔽设计能够满足辐射防护要求。在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（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）的剂量限值要求。

3 三废处理处置

加速器机房内设计有通风装置，治疗室顶部南侧设有 2 个进风口，治疗室西

北角和西南角各设有 1 个排风口；进风系统与排风系统呈对流设置，排气管经迷道顶部弯型出口接入大楼专用排风井。风机最大风量为 2500m^3/h，机房容积（含迷道）约为 269m^3，治疗室内通风换气频率约为 9.3 次/h，能够满足标准中换气次数不少于 4 次/h 的要求。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 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

加速器运行过程中更换靶和加速器退役产生废靶，废靶由设备厂家回收或者委托有资质单位回收处置。

4 产业政策符合性分析

本项目使用医用加速器开展放射治疗，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订，国家发展和改革委员会 2021 年令第 49 号）的相关规定，不属于限制类、淘汰类，故本项目符合国家和地方现行产业政策。

5 可行性分析结论

综上所述，南通大学附属医院一台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能够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）项目建设完成后，应及时办理辐射安全许可证。

（2）项目建成后应在 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。

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管理领导小组，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。	/
辐射安全和防护措施	东侧迷道内墙为650mm~950mm混凝土，迷道外墙为800mm~1400mm混凝土；南侧、北侧主屏蔽墙均为2700mm混凝土，次屏蔽墙均为1200mm混凝土，西侧屏蔽墙为1200mm混凝土；顶部主屏蔽墙为2400mm混凝土，次屏蔽墙为1200mm混凝土；防护门为15mmPb+15cm含硼石蜡。	机房外墙表面、防护门及顶部外30cm处的剂量率控制水平满足《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）标准中相关要求；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。	200
	（1）决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制；（2）加速器机房和控制室之间配有双向对讲装置和监视系统；（3）加速器机房设置了迷路，防护门并设置了门机联锁和红外防碰撞系统；（4）在加速器机房的入口上方设置有工作状态指示灯，机房防护门上设置了电离辐射警告标志；（5）加速器机房和控制室内、治疗床两侧和加速器机架两侧均设有急停开关；（6）加速器机房电缆线布设采用了地下型穿墙管道，管道埋地深约55cm。	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》（GBZ121-2020）标准中相关要求。	
通风设施	加速器机房配备1台风机，最大风量2500m^3/h，机房容积（含迷道）约为269m^3，治疗室内通风换气频率约为9.3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》（GBZ121-2020）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均已通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训；已开展个人剂量监测，送检周期为三个月，并建立了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	已配备1台环境辐射巡测仪、一台X/γ固定式射线报警仪和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。	5
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、事故应急制度等，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。	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：   <