检索号	2024-HP-0186
商密级别	普通商密

核技术利用建设项目

江苏省人民医院扩建放射治疗项目

环境影响报告表

（公开本）

江苏省人民医院

2025 年 1 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江苏省人民医院扩建放射治疗项目

环境影响报告表

建设单位名称：江苏省人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省南京市鼓楼区广州路300号

邮政编码：210000 联系人：/

电子邮箱：/ 联系电话：/

打印编号：1735893921000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	up1245
建设项目名称	江苏省人民医院扩建放射治疗项目
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	江苏省人民医院
统一社会信用代码	12320000466000838D
法定代表人（签章）	刘云
主要负责人（签字）	马旺
直接负责的主管人员（签字）	马旺
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	江苏辐环环境科技有限公司
统一社会信用代码	913201003393926218
三、编制人员情况	

1. 编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
符晶晶	2015035320350000003510320304	BH005877	

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
刘成	第1、2、3、4、5、6、7、8、12章	BH069439	
符晶晶	第9、10、11、13章	BH005877	

全国环境影响评价信用平台



编制主持人环境影响评价工程师职业资格证书（复印件）

江苏省社会保险权益记录单

（参保单位）

请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称： 江苏辐环环境科技有限公司　　现参保地： 建邺区

统一社会信用代码： 913201003393926218　　查询时间： 202410-202412

共1页，第1页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数	[illegible]	[illegible]	[illegible]

序号	姓名	公民身份号码（社会保障号）	缴费起止年月	缴费月数
1	刘成	[illegible]	202410 - 202412	3
2	符晶晶	[illegible]	202410 - 202412	3

说明：
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期内（6个月），如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。

江苏省社会保险 电子专用章

打印时间：2024年12月18日

编制人员社保证明

目录

表 1 项目基本情况 1

表 2 放射源 6

表 3 非密封放射性物质 6

表 4 射线装置 7

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 8

表 6 评价依据 9

表 7 保护目标与评价标准 12

表 8 环境质量和辐射现状 23

表 9 项目工程分析与源项 31

表 10 辐射安全与防护 40

表 11 环境影响分析 53

表 12 辐射安全管理 81

表 13 结论与建议 86

表 14 审批 90

附图

附图 1：江苏省人民医院地理位置图

附图 2：江苏省人民医院平面布局及周围环境示意图

附图 3-1：医院 11 号后勤综合楼地下二层改建前平面布局图

附图 3-2：医院 11 号后勤综合楼地下二层改建后平面布局图

附图 4：医院 11 号后勤综合楼地下一层平面布局图

附图 5：医院 11 号后勤综合楼一层平面布局图

附图 6：本项目直线加速器机房结构示意图

附图 7：本项目后装机房结构示意图

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">江苏省人民医院扩建放射治疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">江苏省人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>刘云</td><td>联系人</td><td colspan="2">/</td><td>联系电话</td><td>/</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">江苏省南京市鼓楼区广州路 300 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">江苏省南京市鼓楼区广州路 300 号</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="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>2349</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>129</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>5.49%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">√新建 √改建 √扩建 □其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>247</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 用放射性药物</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>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位基本情况

江苏省人民医院暨南京医科大学第一附属医院、江苏省临床医学研究院、江苏省红十字医院。医院目前是江苏省综合实力最强的三级甲等医院，担负全省医疗、教学、科研、公益四项中心任务。医院位于南京市鼓楼区广州路 300 号，占地面积约 300 亩，现有建筑面积约 41 万平方米，开放床位 3685 余张，职工 5300 余人。

医院现有国家重点学科 1 个，国家临床重点专科建设单位 18 个，省临床医学研究中心 5 个，江苏高校优势学科 1 个，省重点学科 2 个，省“国家重点学科”培育建设点 1 个，省“科教兴卫”工程临床医学中心 4 个，医学重点学科（实验室）16 个。

1.1.2 项目由来及建设规模

医院在 11 号后勤综合楼地下二层放疗科建设了 3 间直线加速器机房，该 3 间机房于 2009 年 8 月 25 日履行了环评手续，并取得原江苏省环境保护厅的批复，批复文号为苏环辐（表）审〔2009〕261 号，其中的 1 号、2 号机房已配备加速器并投入使用，3 号机房为预留加速器机房，未投入使用。

2020 年，医院在不改变 3 号预留直线加速器机房屏蔽防护的情况下，配备 1 台 Flexitron HDR 型后装机，使用 ^{192}Ir 放射源开展近距离放射治疗，该项目于 2020 年 9 月 14 日通过了江苏省生态环境厅的批复，批复文号为苏环辐（表）审〔2020〕44 号，并于 2021 年 11 月 29 日通过了自主竣工环保验收；医院于 2024 年 8 月将后装治疗用放射源 ^{192}Ir 交由原生产厂家回收，于 2024 年 9 月 6 日委托有资质检测公司对该 3 号机房、后装机和检查床进行了退役检测，根据检测结果，该 3 号机房、后装机和检查床不存在污染，并于 2024 年 9 月 9 日对该后装治疗工作场所（3 号机房）进行了退役备案（备案号：202432010600000075）。该 ^{192}Ir 后装放射治疗项目的环评批复、验收意见、退役备案材料见附件 7。

现为满足患者就诊需求和医院的发展规划，医院将该 3 号机房由后装机房改回至直线加速器机房，拟对该 3 号机房重新装修，同时将迷道内墙增厚 10cm，其他屏蔽防护措施不变，并拟新购 1 台 Elekta Infinity 型 X 射线最大能量为 10MV 的直线加速器放置在该 3 号机房内，利用放疗科现有的模拟定位 CT 进行模型定位来开展肿瘤放射治疗。

同时，医院拟拆除放疗科地下二层的 2 间制模室和 1 间模具间，并拟在该址新建 1 间后装机房，新购 1 枚 ^{192}Ir 放射源，利用原有的 Flexitron HDR 型后装机开展后装放射治疗，该后装机最大装源活度为 3.7×10^{11}Bq。

本项目建成后，仍由医院放疗科现有的 21 名操作技师、10 名物理师、30 名医师负责，本项目核技术利用具体情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况一览表

放射源									
序号	放射源名称	数量	单枚活度（Bq）	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	备注
1	^{192}Ir	1	3.7×10^{11}	III	11 号楼放疗科后装机房	使用	**搬迁项目本次环评**	未许可	/
射线装置									
序号	射线装置名称	数量	最大能量（MeV）	类别	工作场所名称		环评情况	X 线最大剂量率（Gy/h）	
1	Elekta Infinity 型直线加速器	1	X 线：6/10MV，电子线：6/8/10/12/15MeV	II	11 号楼放疗科 3 号加速器机房		**扩建项目本次环评**	6MV：840，10MV：360	

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，医院应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

本项目为使用 III 类放射源、使用 II 类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。受江苏省人民医院的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该医院本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察等工作的基础上，编制了该项目的环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

1、医院位置

江苏省人民医院位于南京市广州路 300 号，医院地理位置示意图见附图 1。医院东侧为南京市脑科医院，医院南侧为广州路，医院西侧为虎踞关路，西北侧为虎踞关 60 号小区，医院北侧为南京师范大学操场，医院平面布置及周围环境情况见附图 2。

2、本项目位置

医院 11 号后勤综合楼位于医院西北部，该楼为地下两层、地上四层（该楼位于斜坡处，其中地下二层位于地面以下；地下一层的东侧、部分南侧位于地面以下，西侧、北侧及部分南侧位于地面以上），地下两层均为放疗科，地上一层至三层均为食堂，四层为食堂办公室和库房。本项目加速器机房和后装机房均位于 11 号后勤综合楼地下二层的放疗科，加速器机房占据地下二层和地下一层两层建筑，加速器控制室占据地下二层一层建筑，后装机房和控制室均占据地下二层一层建筑。

本项目加速器机房东侧 50m 评价范围楼内依次为 2 号加速器机房、1 号加速器机房、土层，楼外依次为医院道路、10 号新干部病房 A 楼；南侧 50m 评价范围楼内地下二层依次为 3 号机房控制室和辅助机房、过道和库房、拟建后装机房、CT 模拟定位机房等放疗科其他工作场所、土层，楼内地下一层依次为空调机房、放疗科档案室和小会议室、办公室、护士站和诊室等放疗科其他工作场所，楼外为医院道路；西南侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、9 号后勤保障综合楼、12 号门急诊病房综合楼；西侧 50m 评价范围楼内地下二层依次为伽玛刀机房和过道、卫生间和楼梯间等、土层，楼内地下一层依次为示教室和过道、卫生间和楼梯间等，楼外为医院道路；西北侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、虎踞关 60 号小区；北侧 50m 评价范围楼内地下二层依次为配电间和冷冻机房、锅炉房等、土层，楼内地下一层依次为换热站和管道井、水处理间和锅

炉房上空等，楼外为医院道路；楼上为食堂后厨；楼下无建筑。

本项目后装机房东侧 50m 评价范围楼内依次为后装机控制室、服务器机房、CT 模拟定位机房、土层，楼外依次为医院道路、10 号新干部病房 A 楼；南侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、8 号新干部病房 B 楼；西南侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、9 号后勤保障综合楼、12 号门急诊病房综合楼；西侧 50m 评价范围楼内依次为排烟/排风机房、模具间等、土层，楼外为医院道路；西北侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、虎踞关 60 号小区；北侧 50m 评价范围楼内依次为过道和库房、加速器机房和伽玛刀机房、配电间和冷冻机房、锅炉房等、土层，楼外为医院道路；楼上为诊室和统计室；楼下无建筑。

医院 11 号后勤综合楼地下二层改建前平面布局见附图 3-1，地下二层改建后平面布局见附图 3-2，地下一层平面布局见附图 4，一层平面布局见附图 5。

3、项目选址合理性分析

本项目加速器机房和后装机房均位于11号后勤综合楼的底端一角，不邻接儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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”、“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”的要求，以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端”的要求，周围无环境制约因素，项目选址合理。

医院西北侧的虎踞关60号小区的5幢居民楼距本项目最近约为28m，7幢居民楼距本项目最近约为49m，为本项目环境敏感点。本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员以及虎踞关60号小区5幢和7幢的居民。本项目不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，也不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域。根据现场监测与环评预测，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。

综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

1.3 实践正当性评价

本项目的投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本

项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《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。

1.4 医院现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1.4.1 医院现有核技术利用项目许可情况

医院目前持有的辐射安全许可证证书编号为苏环辐证[00341]，许可种类和范围：使用 I 类、III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；生产、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 12 月 27 日，医院现有辐射安全许可证见附件 5，医院现有核技术利用项目一览表见附件 11。

1.4.2 医院现有辐射安全管理情况

医院已成立了专门的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，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，监测结果满足相关标准要求。并每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足环保相关管理要求。

医院现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全与防护的培训和考核，合格证书均在有效期内。医院现有辐射工作人员的数量满足现有核技术利用项目对人员的需求。医院已安排所有辐射工作人员参加了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可从事放射工作或可继续原放射工作；医院委托江苏省疾病预防控制中心对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a，满足环保相关管理要求。

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
1	^{192}Ir	$3.7\times10^{11}\times1$ 枚	III	使用	后装近距离治疗	11 号楼放疗科后装机房	安装在后装机屏蔽体内，定期更换，报废或退役的废源由原生产厂家回收	本次搬迁，工作场所由放疗科原 3 号机房搬迁至新建的后装机房
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	直线加速器	II	1	Elekta Infinity	电子	X 线：6/10MV，电子线：6/8/10/12/15MeV	10MV 1m 处剂量率 360Gy/h，6MV 1m 处剂量率 840Gy/h	放射治疗	11 号楼放疗科 3 号加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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	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
^{192}Ir 废源	固态	^{192}Ir	＜6.86×10^{10}	/	/	/	随设备存放	由原生产厂家回收处理
加速器机房、后装机房内产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经机房通风系统排出机房，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50 分钟，可自动分解为氧气
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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），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），自 2018 年 12 月 29 日起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，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 号，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，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》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，自 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》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （9）《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 （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）《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日发布 （12）《关于发布射线装置分类的公告》（2017 年修订版），环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布，自 2017 年 12 月 5 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）《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 （16）《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

	（17）《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 号，2018 年 3 月 28 日修改，2018 年 5 月 1 日起施行 （18）《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 （19）《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 （20）《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 号），2020 年 1 月 8 日发布 （21）《江苏省生态空间管控区域调整管理办法》（苏政办发[2021]3号），2021年1月6日发布，2021年2月1日起施行 （22）《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函[2023]880号），2023年10月10日发布 （23）《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》江苏省人民政府（苏政发[2020]49 号），2020 年 6 月 21 日发布 （24）《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 5 月 31 日发布
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）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022） （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （6）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） （7）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007） （8）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011） （9）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014） （10）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021） （11）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

其他	报告附件： 附件 1：项目委托书 附件 2：射线装置使用承诺书 附件 3：放射性核素使用承诺书 附件 4：废源退役回收、处置承诺书 附件 5：医院辐射安全许可证复印件 附件 6：本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质 附件 7：^{192}Ir 后装放射治疗项目环评批复、验收意见、退役备案 附件 8：本项目直线加速器技术参数 附件 9：医院放射治疗工作场所 2023 年度检测报告 附件 10：医院放疗科辐射工作人员 2023 年度个人剂量检测报告 附件 11：医院现有核技术利用项目一览表 附件 12：编制主持人踏勘现场照片

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

本项目为使用 III 类放射源，使用 II 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，本项目评价范围应分别为加速器机房和后装机房实体屏蔽边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

7.2 保护目标

本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》第三条（一）中的国家公园、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，不涉及《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）中的生态保护目标；经对照《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发[2020]1号）、《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调整管理办法》（苏政办发[2021]3号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函[2023]880号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线区和江苏省生态空间管控区范围，无生态敏感目标。

根据附图 2~附图 5，医院西北侧的虎踞关 60 号小区的 5 幢居民楼距本项目最近约为 28m，7 幢居民楼距本项目最近约为 49m，为本项目环境敏感点。本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员以及虎踞关 60 号小区 5 幢和 7 幢的居民，其中加速器评价范围内敏感点包含虎踞关 60 号小区 5 幢的一、二单元（共 24 户）和 7 幢一单元的东边户（共 6 户），后装机评价范围内敏感点包含虎踞关 60 号小区 5 幢一单元的东边户（共 6 户）。

医院放疗科现有 21 名操作技师、10 名物理师、30 名医师，物理师和医师主要负责制定患者的治疗方案和放疗计划，在每位患者首次治疗时需要进入控制室观察患者的治疗情况；操作技师主要负责设备操作和患者的摆位，21 名操作技师分为 2 人一组，定期轮岗，共同负责本项目直线加速器和后装机以及放疗科现有的 1 号直线加速器、2 号直线加速器、伽玛刀和 2 台模拟定位 CT。本项目加速器环境保护目标见表 7-1，本项目后装机环境保护目标见表 7-2。

表 7-1 本项目加速器环境保护目标分布一览表

环境保护目标			方位	距机房最近距离	人口规模	管理限值
本项目辐射工作人员	控制室、辅助机房	物理师、医师、操作技师、	机房南侧	紧邻	放疗科共 21 名操作技师、10 名物理师、30 名医师，每次 2 名操作技师	5mSv/a
评价范围内公众	2 号加速器机房	病患及陪同家属等流动人员	机房东侧	紧邻	流动人员	0.1mSv/a
	1 号加速器机房	病患及陪同家属等流动人员		约 10m	流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 19m	流动人员	
	10 号新干部病房 A 楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 37m	约 20 名人员，其余为流动人员	
	地下二层过道和库房等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	机房南侧	紧邻	流动人员	
	地下二层拟建后装机房、CT 模拟定位机房等放疗科其他工作场所	病患及陪同家属等流动人员		约 11m	流动人员	
	地下一层空调机房、档案室和小会议室	医院工作人员		紧邻	流动人员	
	地下一层办公室、护士站和诊室等放疗科其他工作场所	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 2m	约 10 名人员，其余为流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 19m	流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	机房西南侧	约 19m	流动人员	
	9 号后勤保障综合楼	医院工作人员		约 36m	约 15 名人员	
	12 号门急诊病房综合楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 48m	约 10 名人员，其余为流动人员	
	地下二层伽玛刀机房和过道	病患及陪同家属等流动人员	机房西侧	紧邻	流动人员	
	地下二层卫生间和楼梯间等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 2m	流动人员	
	地下一层示教室和过道	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		紧邻	流动人员	

	地下一层卫生间和楼梯间等	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 2m	流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 7m	流动人员	
	地下二层配电间和冷冻机房、锅炉房等	医院工作人员	机房北侧	紧邻	约 6 名人员	
	地下一层换热站和管道井、水处理间等	医院工作人员		紧邻	约 3 名人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 25m	流动人员	
	食堂后厨	医院工作人员	机房楼上	紧邻	约 10 名人员	
敏感点	虎踞关 60 号小区 5 幢居民	小区居民	机房西北侧	约 28m	约 24 户，共约 96 人	
	虎踞关 60 号小区 7 幢居民	小区居民		约 49m	约 6 户，共约 24 人	

表 7-2 本项目后装机环境保护目标分布一览表

环境保护目标			方位	距机房最近距离	人口规模	管理限值
本项目辐射工作人员	控制室	物理师、医师、操作技师	机房东侧	紧邻	放疗科共 21 名操作技师、10 名物理师、30 名医师，每次 2 名操作技师	5mSv/a
评价范围内公众	服务器机房	医院工作人员	机房东侧	约 2m	平时无人员逗留	0.1mSv/a
	CT 模拟定位机房	病患及陪同家属等流动人员		约 5m	流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 19m	流动人员	
	10 号新干部病房 A 楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 45m	约 10 名人员，其余为流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	机房南侧	紧邻	流动人员	
	8 号新干部病房 B 楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 33m	约 30 名人员，其余为流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	机房西南侧	紧邻	流动人员	

	9 号后勤保障综合楼	医院工作人员		约 20m	约 20 名人员	
	12 号门急诊病房综合楼	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 47m	约 10 名人员，其余为流动人员	
	排烟/排风机房、模具间等	医院工作人员	机房西侧	紧邻	流动人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 8m	流动人员	
	过道和库房	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	机房北侧	紧邻	流动人员	
	加速器机房和伽玛刀机房等	病患及陪同家属等流动人员		约 11m	流动人员	
	配电间和冷冻机房、锅炉房等	医院工作人员		约 24m	约 6 名人员	
	医院道路	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		约 49m	流动人员	
	诊室和统计室	医院工作人员	机房楼上	紧邻	约 4 名人员	
敏感点	虎踞关 60 号小区 5 幢居民	小区居民	机房西北侧	约 47m	约 6 户，共约 24 人	

7.3 评价标准

（1）剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-3。

表 7-3 照射剂量限值

	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，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

（2）剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射

安全与防护要求》（HJ1198-2021），制定的本项目剂量约束值管理目标见表 7-4。

表 7-4 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射	5mSv/a
公众照射	0.1mSv/a

（3）辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，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。

对于需要专门防护手段或安全措施的区域划分为控制区，对于未被设定为控制区，不需要专门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的区域，划分为监督区。对控制区和监督区的人员活动进行限制，辐射控制区和辐射监督区以外区域对人员活动不限制。

（4）辐射剂量率控制水平

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

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。

6.1.3 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$\dot{H}_{c,d}$(μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

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

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

人员居留因子T≤1/2的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤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）。

（5）其他评价标准

①《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）

②《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）

③《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）

④《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

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），加速器机房各关注点剂量率参考控制水平见表 7-5 和表 7-6，后装机房各关注点剂量率参考控制水平见表 7-7，加速器机房周围关注点布设见图 7-1 和图 7-2，后装机房周围关注点布设见图 7-3。

表 7-5 本项目加速器机房外地下二层及顶部关注点剂量率参考控制水平

位置	对应场所	周剂量参考控制水平（μSv/周）	周工作时间 t（h）	使用因子 U	居留因子 T	剂量率参考控制水平（μSv/h）		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
东墙主屏蔽（a 点）	2 号加速器机房	100	20	1/4	1/2	40	10	**10**
东墙次屏蔽（c_1 和 c_2 点）	2 号加速器机房	100		1	1/2	10	10	**10**
南侧迷道外墙（f 点）	3 号加速器控制室	100		1	1	5	2.5	**2.5**
南侧迷道外墙（k 点）	加速器辅助机房	100		1	1/16	80	10	**10**
西墙主屏蔽（b 点）	伽玛刀机房	100		1/4	1/2	40	10	**10**
西墙次屏蔽（d_1 和 d_2 点）	过道	5		1	1/5	1.25	10	**1.25**
北侧屏蔽墙（e 点）	配电间和冷冻机房	5		1	1/16	4	10	**4**
顶部主屏蔽（1 点）	食堂后厨	5		1/4	1	1	2.5	**1**

屋顶次屏蔽（m_1 和 m_2 点）	食堂后厨	5		1	1	0.25	2.5	**0.25**
防护门（g 点）	过道	5		1	1/8	2	10	**2**

注：①居留因子取值见 HJ 1198-202 附录表 A.1。

②c_1 点保守按 c_2 点 2 号加速器机房进行计算，d_1 点保守按 d_2 点过道进行计算。

表 7-6 本项目加速器机房外地下一层关注点剂量率参考控制水平

位置	**对应场所**	**周剂量参考控制水平（μSv/周）**	**周工作时间 t（h）**	**使用因子 U**	**居留因子 T**	**剂量率参考控制水平（μSv/h）**		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
南侧迷道外墙（F 点）	档案室和空调机房	5	20	1	1/16	4	10	**4**
南侧迷道外墙（K 点）	档案室	5		1	1/16	4	10	**4**
南侧迷道外墙（P 点）	小会议室	5		1	1/16	4	10	**4**
西墙主屏蔽（B 点）	示教室	5		1/4	1/16	16	10	**10**
西墙次屏蔽（D_1 点）	医院道路	5		1	1/16	4	10	**4**
西墙次屏蔽（D_2 点）	过道	5		1	1/5	1.25	10	**1.25**
北侧屏蔽墙（E 点）	换热站	5		1	1/16	4	10	**4**

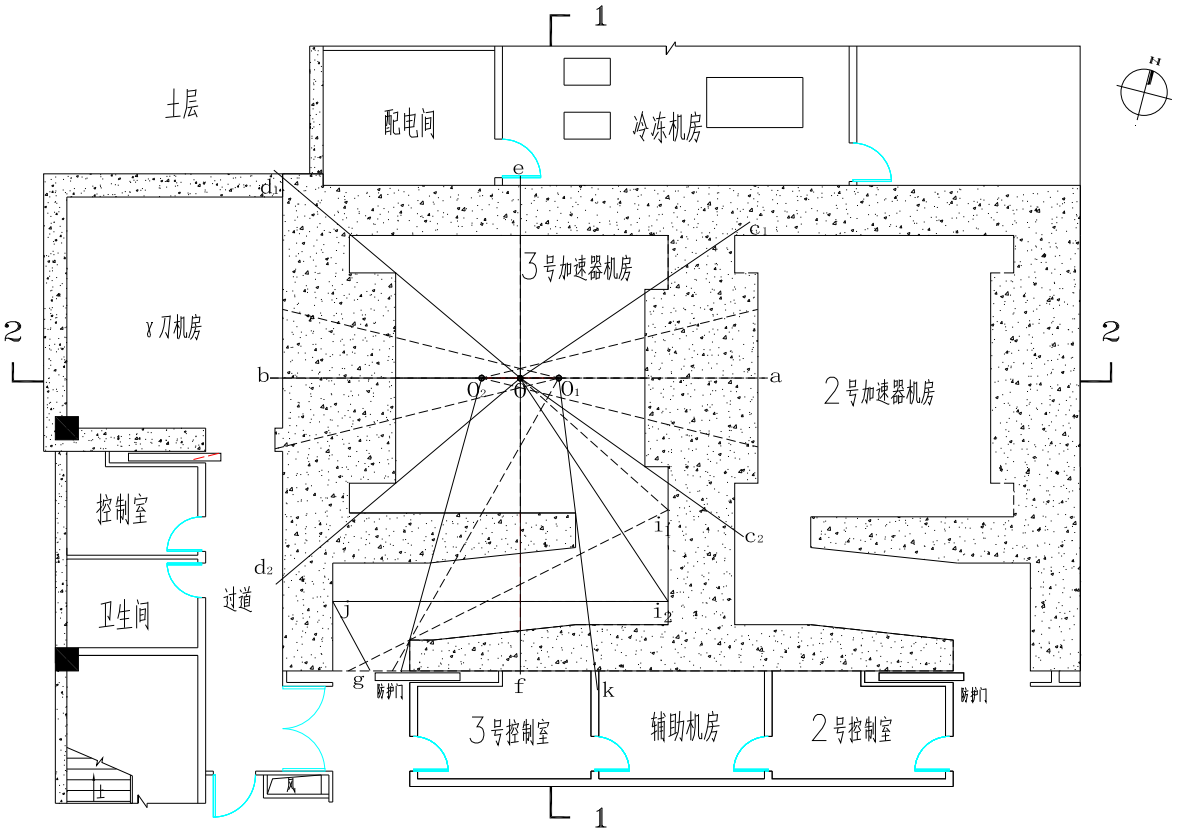
注：居留因子取值见 HJ 1198-202 附录表 A.1。

表 7-7 本项目后装机房外关注点剂量率参考控制水平

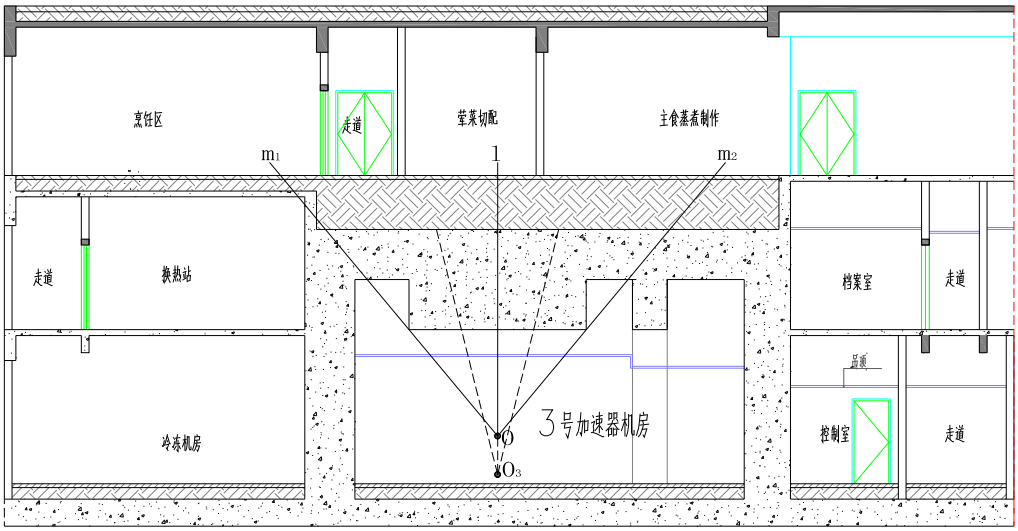
位置	**对应场所**	**周剂量参考控制水平（μSv/周）**	**周工作时间 t（h）**	**使用因子 U**	**居留因子 T**	**剂量率参考控制水平（μSv/h）**		
						$\dot{H}_{c,d}$	**$\dot{H}_{c,max}$**	**$\dot{H}_c$**
东墙（a 点）	控制室	100	20	1	1	5	2.5	**2.5**
东侧迷路外墙（k 点）	控制室	100		1	1	5	2.5	**2.5**
西墙（b 点）	排烟/排风机房	5		1	1/16	4	10	**4**
北墙（c 点）	过道	5		1	1/5	1.25	10	**1.25**
顶部（m 点）	诊室或统计室	5		1	1	0.25	2.5	**0.25**
防护门（g 点）	过道	5		1	1/8	2	10	**2**

注：①居留因子取值见 HJ 1198-202 附录表 A.1。

②南墙外为土层，人员不可达。

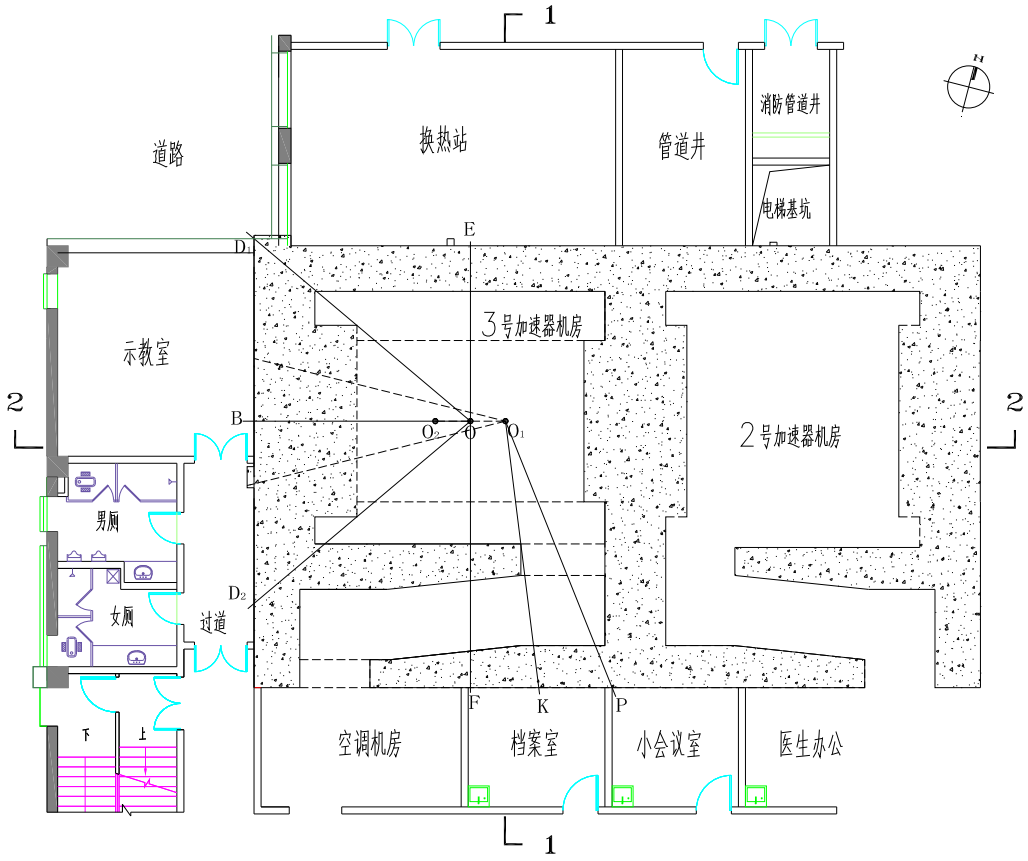


平面图

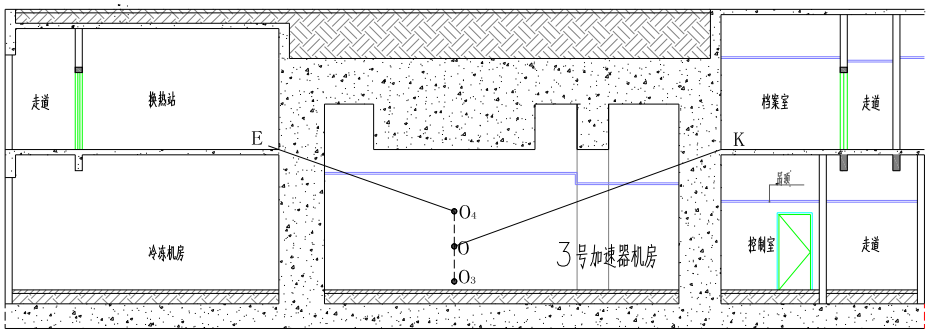


1-1剖面图

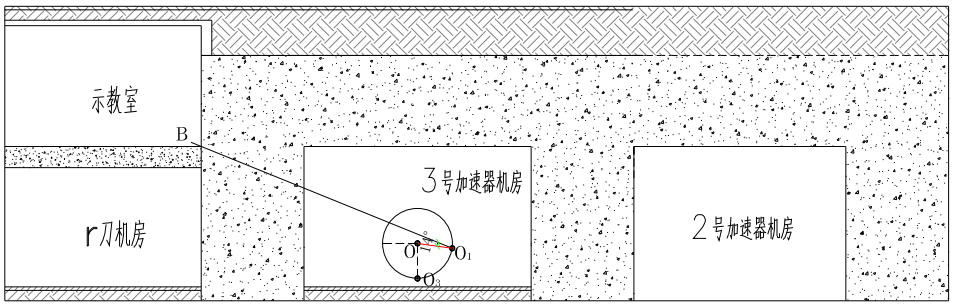
图 7-1 本项目加速器机房外地下二层及顶部关注点位示意图



平面图



1-1剖面图



2-2剖面图

图 7-2 本项目加速器机房外地下一层关注点位示意图

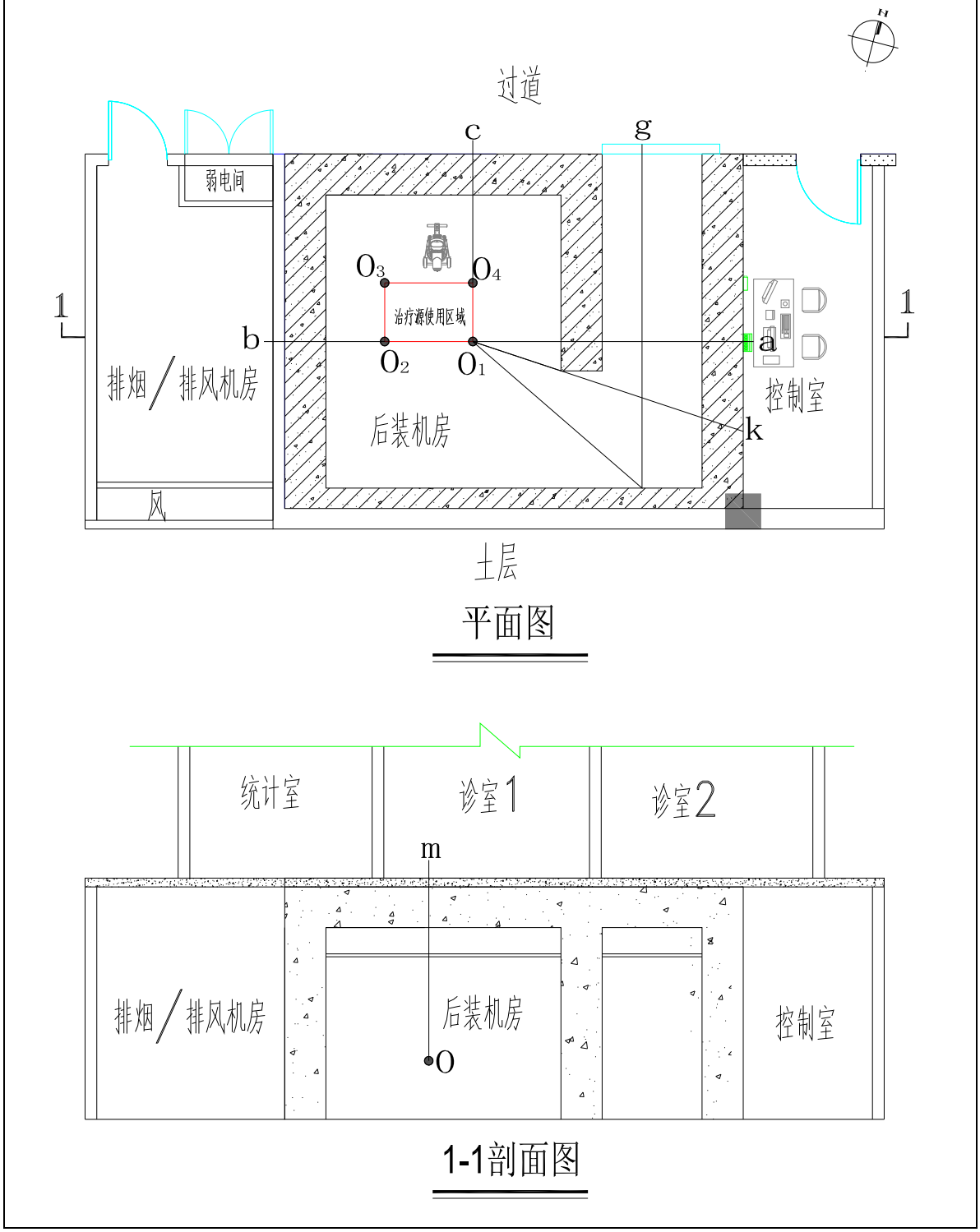


图 7-3 本项目后装机房外关注点位示意图

（6）参考资料

①《辐射防护导论》，方杰主编

②《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编

③《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》，贾斌等，中国辐射卫生，2021 年 10 月第 30 卷第 5 期

④《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

江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

类别	原野	道路	室内
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

注：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时，取测值范围数值：即原野为（33.1～72.6）nGy/h；道路为（18.1～102.3）nGy/h；室内为（50.7～129.4）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

1、医院位置

江苏省人民医院位于南京市广州路 300 号，医院地理位置示意图见附图 1。医院东侧为南京市脑科医院，医院南侧为广州路，医院西侧为虎踞关路，西北侧为虎踞关 60 号小区，医院北侧为南京师范大学操场，医院平面布置及周围环境情况见附图 2。

2、本项目位置

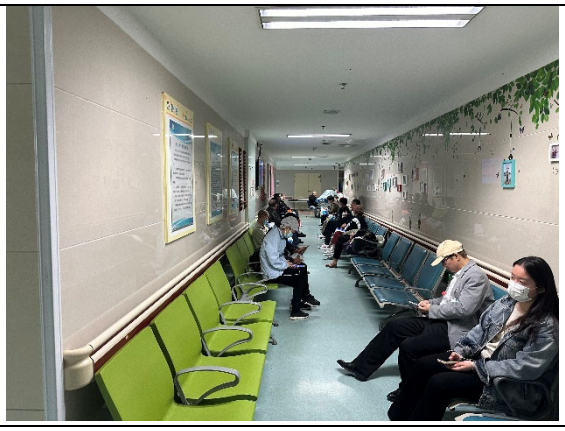
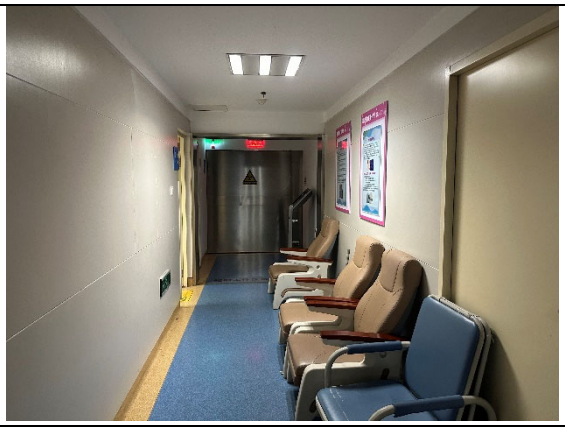
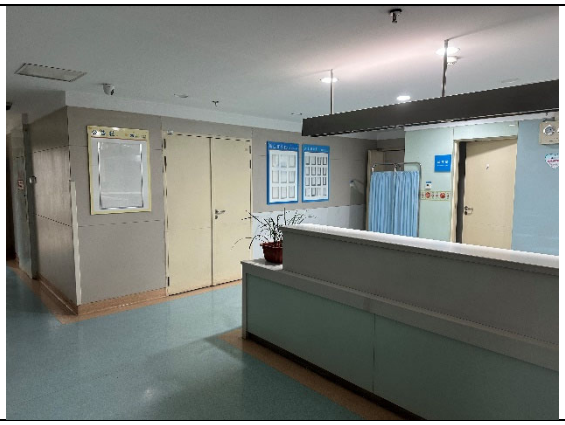
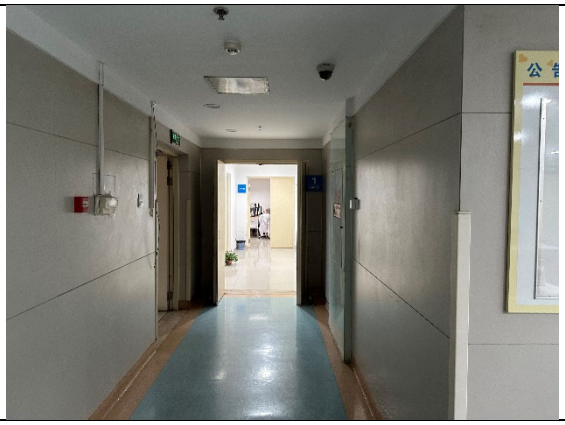
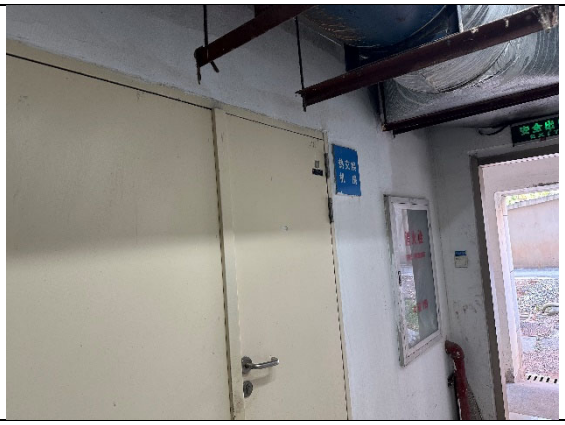
本项目加速器机房和后装机房均位于 11 号后勤综合楼地下二层，加速器机房占据地下二层和地下一层两层建筑，后装机房占据地下二层一层建筑。

本项目加速器机房东侧 50m 评价范围楼内依次为 2 号加速器机房、1 号加速器机房、土层，楼外依次为医院道路、10 号新干部病房 A 楼；南侧 50m 评价范围楼内地下二层依次为 3 号机房控制室和辅助机房、过道和库房、拟建后装机房、CT 模拟定位机房等放疗科其他工作场所、土层，楼内地下一层依次为空调机房、放疗科档案室和小会议室、办公室、护士站和诊室等放疗科其他工作场所，楼外为医院道路；西南侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、9 号后勤保障综合楼、12 号门急诊病房综合楼；西侧 50m 评价范围楼内地下二层依次为伽玛刀机房和过道、卫生间和楼梯间等、土层，楼内地下一层依次为示教室和过道、卫生间和楼梯间等，楼外为医院道路；西北侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、虎踞关 60 号小区；北侧 50m 评价范围楼内地下二层依次为配电间和冷冻机房、锅炉房等、土层，楼内地下一层依次为换热站和管道井、水处理间和锅炉房上空等，楼外为医院道路；楼上为食堂后厨；楼下无建筑。

本项目后装机房东侧 50m 评价范围楼内依次为后装机控制室、服务器机房、CT 模拟定位机房、土层，楼外依次为医院道路、10 号新干部病房 A 楼；南侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、8 号新干部病房 B 楼；西南侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、9 号后勤保障综合楼、12 号门急诊病房综合楼；西侧 50m 评价范围楼内依次为排烟/排风机房、模具间等、土层，楼外为医院道路；西北侧 50m 评价范围楼外依次为医院道路、虎踞关 60 号小区；北侧 50m 评价范围楼内依次为过道和库房、加速器机房和伽玛刀机房、配电间和冷冻机房、锅炉房等、土层，楼外为医院道路；楼上为诊室和统计室；楼下无建筑。

医院 11 号后勤综合楼地下二层改建前平面布局见附图 3-1，地下二层改建后平面布局见附图 3-2，地下一层平面布局见附图 4，一层平面布局见附图 5。

本项目加速器机房和后装机房拟建址及周围环境现状见图 8-1。

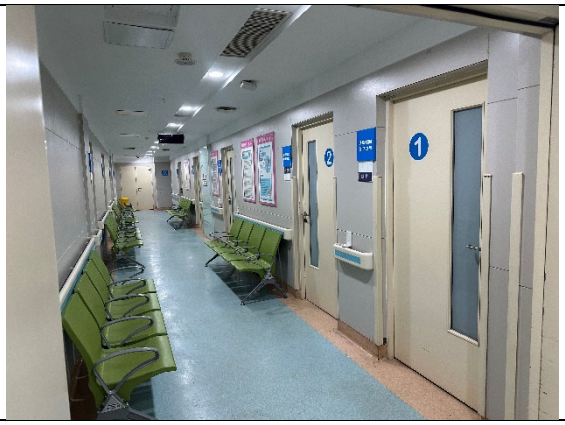
	
3 号机房内现状	3 号机房东侧 2 号加速器机房
	
3 号机房南侧地下二层过道	3 号机房西侧地下二层过道和伽玛刀机房
	
3 号机房北侧地下二层冷冻机房和配电间	3 号机房南侧地下一层空调机房和档案室
	
3 号机房西侧地下一层过道和示教室	3 号机房北侧地下一层换热站



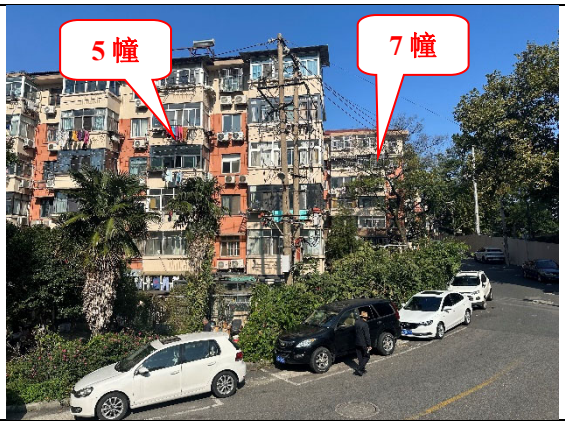
3 号机房楼上食堂



后装机房拟建址（现为制模室和模具间）



后装机房拟建址楼上诊室



项目敏感点虎踞关 60 号小区

图 8-1 本项目加速器机房和后装机房拟建址及周边环境现状图

8.1.2 环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为后装机用放射源产生的 γ 射线以及直线加速器产生的 X 射线等电离辐射污染。本项目在进行现状调查时，主要调查本项目拟建址及周围环境的γ辐射空气吸收剂量率。

1、环境现状评价对象、检测因子、检测点位

环境现状评价对象：本项目拟建址及周围辐射环境；

检测因子：γ辐射空气吸收剂量率；

检测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关布点原则进行布点，在本项目拟建址及周围环境共计布设 19 个γ辐射空气吸收剂量率检测点位，具体点位分别见图 8-2。

2、检测方案

（1）检测单位：江苏辐环环境科技有限公司（CMA 证书编号：231012341512）

（2）检测报告编号：（2024）辐环（检）字第（0757）号

（3）检测时间：2024 年 11 月 11 日

（4）检测天气：晴

（5）检测仪器：

仪器名称：多功能射线检测仪

仪器型号：BG9512PG03

仪器编号：1TR5GSKW

能量响应范围：25keV～3MeV

量程范围：10nGy/h～200μGy/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2024-0051024

检定有效期：2024.5.22~2025.5.21

（6）检测方法及数据处理：按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中的要求进行，每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

3、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 6；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

4、检测结果及评价

本项目拟建址及周围环境的γ辐射水平检测结果见表 8-1，检测点位见图 8-2，详细检测结果见附件 6。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平检测结果

序号	检测点位描述	建筑物	检测结果（nGy/h）	标准差	备注
1	3 号机房内	楼房	64	1.58	检测时，放疗科的 1 号、2 号加速器、伽玛刀、2 台模拟定位 CT 均未开机出束。
2	3 号机房控制室内	楼房	67	1.35	
3	3 号机房东侧 2 号加速器机房内	楼房	68	1.43	
4	3 号机房门口过道处（地下二层）	楼房	63	1.37	
5	3 号机房西侧过道处（地下二层）	楼房	64	1.41	
6	3 号机房西侧伽玛刀机房东墙处（地下二层）	楼房	228	2.76	

7	3 号机房北侧冷冻机房内 （地下二层配电间门口）	楼房	77	1.25	
8	后装机房拟建址（模具间内）	楼房	67	1.27	
9	后装机房控制室拟建址（制模室内）	楼房	66	1.50	
10	后装机房拟建址西侧模具间内	楼房	68	1.19	
11	后装机房拟建址北侧过道处	楼房	68	1.30	
12	3 号机房南侧档案室内（地下一层）	楼房	82	1.60	
13	3 号机房西侧过道处（地下一层）	楼房	80	1.62	
14	3 号机房西侧示教室内（地下一层）	楼房	80	1.36	
15	3 号机房北侧换热站内（地下一层）	楼房	79	1.49	
16	后装机房拟建址楼上诊室 1 内（地下一层）	楼房	79	1.25	
17	3 号机房楼上食堂后厨过道处（地上一层）	楼房	80	1.42	
18	虎踞关 60 号小区 5 幢居民楼楼下东南角	道路	57	1.30	
19	虎踞关 60 号小区 7 幢居民楼楼下东南角	道路	58	1.80	

注：①上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值，已考虑建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子；
②建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，道路取 1。
③后装机房拟建址南侧为土层，人员不可达。
④后装机房拟建址西侧的排烟/排风机房上锁，未能进入，检测时未设点位。
⑤伽玛刀内含集束源^{60}Co，出厂总活度为$2.33\times10^{14}Bq$，出厂时间为2019年3月1日。

根据表8-1可知，由于受伽玛刀内集束源的辐射影响，3号机房西侧伽玛刀机房东墙测点处的γ辐射水平为228nGy/h，高于江苏省室内环境天然γ辐射水平范围。除此之外，本项目拟建址及周围环境的室内γ辐射水平为（63～82）nGy/h，室外道路γ辐射水平为（57～58）nGy/h，对照江苏省室内环境天然γ辐射水平调查结果（50.7~129.4）nGy/h，室外道路环境天然γ辐射水平调查结果（18.1~102.3）nGy/h，本项目拟建址及周围环境γ辐射水平均处于江苏省环境天然γ辐射水平范围内，属正常辐射水平。

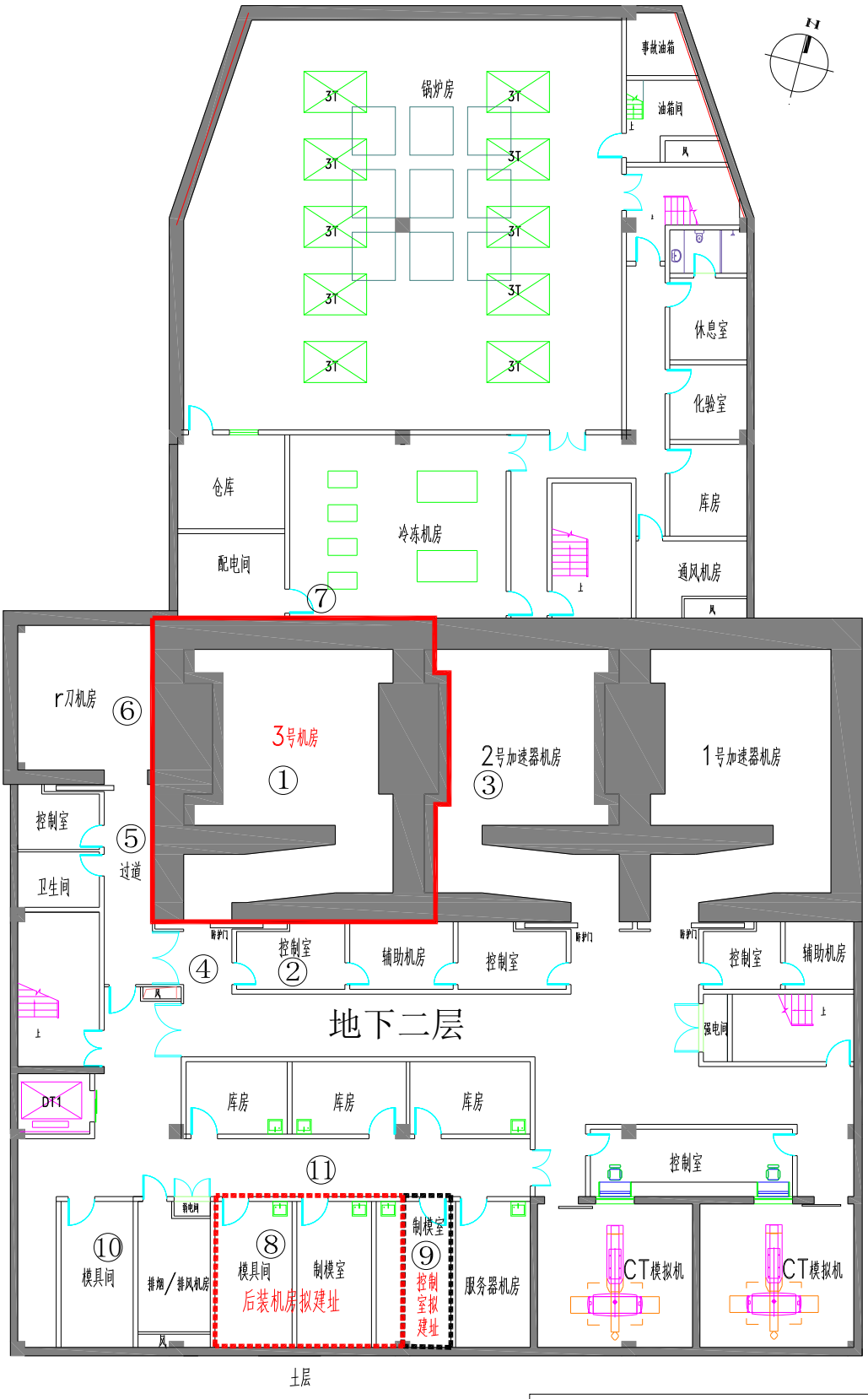


图 8-2 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平检测点位示意图一（地下二层）



图 8-2 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平检测点位示意图二（地下一层）

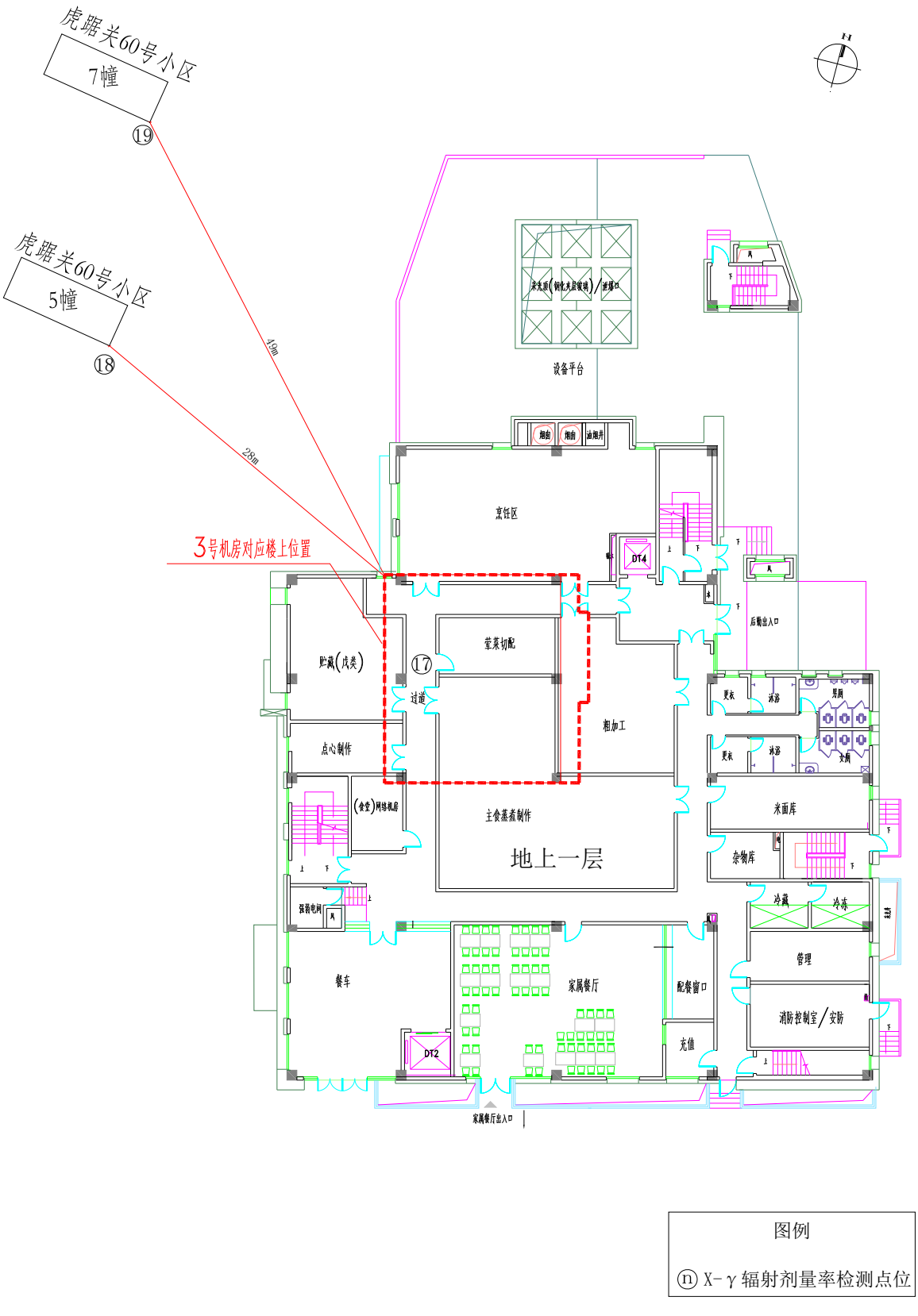


图 8-2 本项目拟建址及周围环境γ辐射水平检测点位示意图三（地上一层）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

1、直线加速器

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，它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。

医院拟购置的Elekta Infinity型直线加速器是目前国际上先进的放疗设备之一，可开展全身各部位恶性肿瘤的容积旋转调强放疗、立体定向放疗、体部立体定向放疗、立体定向放射外科、图像引导放疗等多项先进放疗技术。该设备具有全新数字化控制平台、在线四维CBCT图像引导及呼吸运动管理系统、Agility精确治疗机头、Monaco治疗计划系统、六维治疗床等先进性能，可实现治疗过程中对患者肿瘤及周围正常器官进行实时监控，并根据器官位置变化调整加速器的瞄准系统使射线紧紧“追随”肿瘤靶区，确保将杀灭肿瘤射线的照射准确度成倍提高，从而使肿瘤受到致死打击的同时大幅度减少正常器官照射，降低放疗不良反应的产生；该设备在射线能量为6MV下拥有FFF模式（Flattening Filter-Free非均整模式），可使放疗剂量率达到1400MU/min，较低能量、超高剂量率、高精度多叶光栅和精准清晰的影像引导的有机结合，可大大加快治疗速度、有效缩短治疗时间，调强放疗由原来的每次10多分钟缩短为每次3分钟左右；高精度六维床可在上下、左右、前后、倾斜、俯仰、旋转六个方向上校准治疗位，极大的提高了治疗的精确度；独特的X刀立体定向放射外科治疗系统，最小5mm的X刀立体定向限光筒，可准确聚焦治疗靶区，对于头体部实体小肿瘤不用开刀即可获得手术同样的效果。

本项目 Elekta Infinity 型直线加速器外观见图 9-1，结构示意图见图 9-2，内部结构见图 9-3，主要技术参数见表 9-1 和附件 8。



图9-1 本项目Elekta Infinity型直线加速器外观示意图

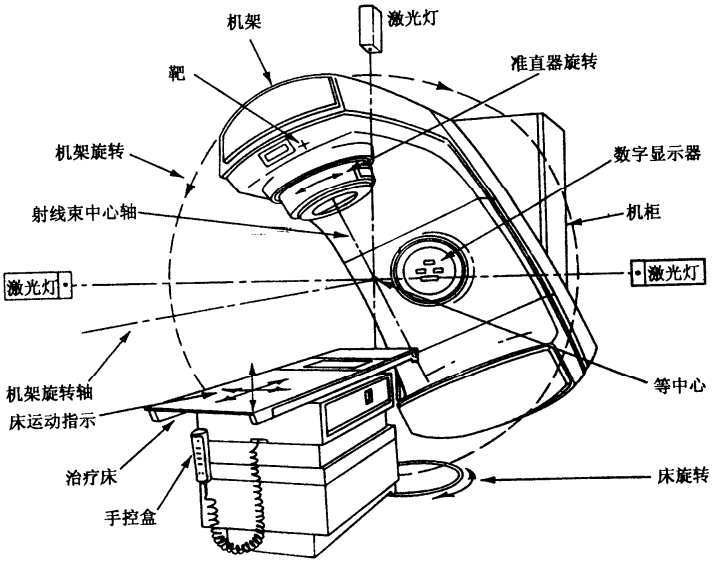


图 9-2　医用直线加速器结构示意图

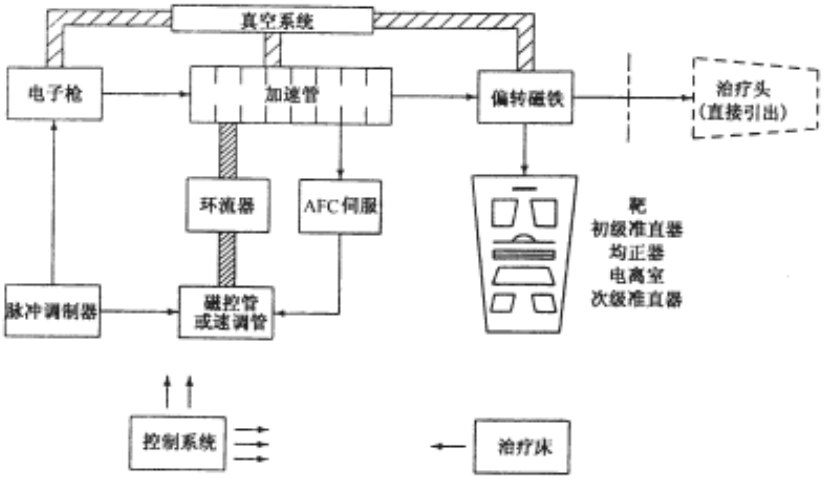


图 9-3　医用直线加速器内部结构框图

表 9-1　本项目 Elekta Infinity 型直线加速器技术参数一览表

参数名称	参数值
X 射线能量	X 射线最大能量：10MV，电子线最大能量：15MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
距靶 1m 处最高剂量率	X 射线剂量率：10MV 下为 600MU/min（3.6×10^{8}μSv /h） 6MV FFF 模式下为 1400MU/min（8.4×10^{8}μSv/h） 电子线最高剂量率：600MU/min（3.6×10^{8}μSv/h）
泄漏 X 射线	在所有的方向上，距离电子加速路径 1 m 处的 X 线吸收剂量，将不超过等中心处吸收剂量的 0.1%
最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨靶
等中心点离地高度	1240mm

2、后装机

后装机即近距离后装治疗机，是使用放射性核素产生的射束治疗肿瘤的设备。它的功能是近距离放射治疗，后装治疗机的结构组成为：施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备和施源器、治疗床。

医院配置的后装机为医科达公司的 Flexitron HDR 型，使用放射源 ^{192}Ir 进行照射治疗，最大装源活度为 $3.7\times10^{11}Bq$（10Ci），其外观示意图见图 9-4。



图 9-4 Flexitron HDR 型后装机外观图

9.1.2 工作原理、工艺流程及产污环节

1、直线加速器

（1）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。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些，便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗两种。前者剂量较大，照射较彻底，适用于较早期及部分晚期患者，以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者，多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量，以达改善症状，减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

本项目拟配置的直线加速器最大能量为 10MV，其有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当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，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X 线治疗模式，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。

（2）工作流程及产污环节分析

CT 模拟定位系统是模拟加速器治疗的几何条件而定出照射部位的放射治疗辅助设备，当病人被诊断患有肿瘤并决定施行放射治疗时，在放射治疗前要制定周密的放疗计划，然后在 CT 模拟定位机上定出要照射的部位，并做好标记后才能到医用加速器上去执行放疗。本项目直线加速器依托放疗科现有的模拟定位 CT 进行放疗前的定位，本项目直线加速器进行肿瘤放射治疗的流程与现有直线加速器的流程基本一致，主要为：

①制定治疗方案

放疗前，医师集体讨论每位患者的治疗方案，根据每位患者的临床特征、病理诊断、实验室和影像检查资料、一般情况等，制定合适的个体治疗方案，确定初步的放疗原则。

②体位固定

确定初步的放疗原则后，由医生、物理师和技师根据患者具体情况选择和制作固定模具，保证每次放疗时体位的重复性，并尽量使患者感觉舒适，减少体位变动误差对精确放疗的影响。

③影像学资料的获取

体位固定完成后，要由医生和技师共同完成患者影像学资料的获取工作，即放疗定位和扫描工作。本项目采用模拟定位 CT 获取患者肿瘤及其周围器官组织详细的影像数据。定位扫描完成后，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。

④放疗靶区的确定

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，放疗靶区包括 GTV（CT 显示的肿瘤轮廓）、CTV（包括 GTV 和肿瘤可能侵犯的亚临床灶）、PTV（考虑了患者器官运动和摆位误差的 CTV）。

⑤计划设计和评估优化

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。

⑥挡块制作

放疗计划完成后，技师根据照射野形状，用切割机进行泡沫切割，在切割的泡沫基

础上制作出与照射野形状一致的铅挡块，目的是遮挡住要保护的重要器官组织免受照射。

⑦放疗计划验证

放疗计划验证包括三项流程：放疗中心位置验证（即复位）、射野验证和剂量验证。

放疗中心位置验证：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：指在确定放疗中心位置后，利用模拟定位 CT 拍摄 X 光片，或在直线加速器下使用电子射野验证系统（EPID）、锥形束 CT 系统进行拍摄验证片，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。

剂量验证：物理师核实体内所接受的射线照射剂量与计划系统所设计的照射剂量是否一致。

⑧放疗实施

上述准备工作全部完成且核对无误，才可实施真正的放射治疗。治疗前，技师先检查工作状态指示灯、门机联锁、紧急停机按钮等各项辐射安全措施的有效性，确保各项辐射安全措施正常运行。然后操作技师在机房内对患者进行摆位，按照标记线摆好患者，加入挡块、楔形板等辅助器材之后就可以离开机房，关闭防护门后进入控制室输入放射治疗参数，开启直线加速器进行出束治疗，在治疗中通过患者监视系统和对讲系统，密切监视患者体位是否移动，如果发现患者体位移动或发出求助信息，应立即停止治疗并做相应处理，纠正后再行照射。开机治疗过程会产生 X 射线、电子线和少量的臭氧、氮氧化物。

本项目直线加速器放疗实施一般工艺流程及产污环节示意见图 9-5。

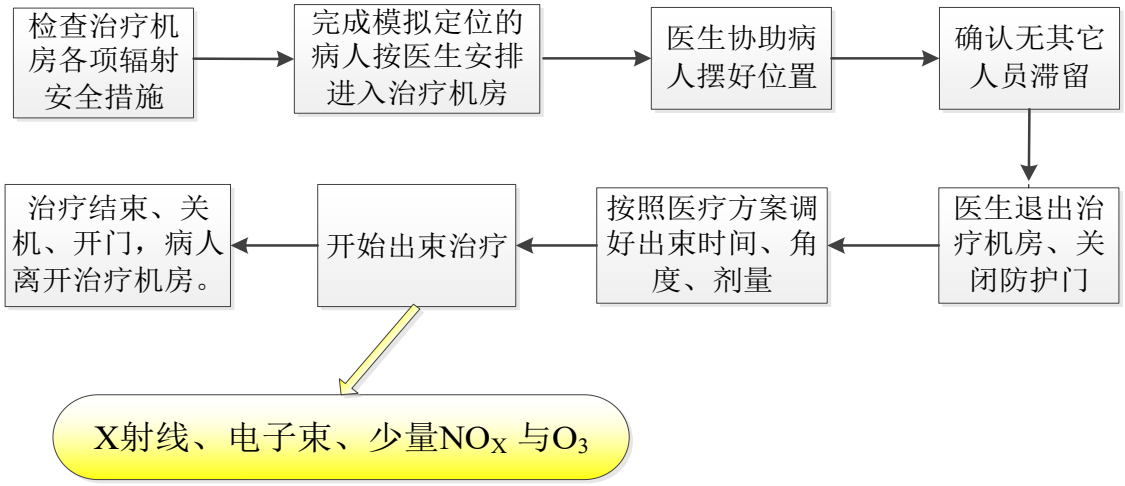


图 9-5　本项目直线加速器放疗实施一般工艺流程及产污环节示意图

2、后装机

（1）工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。

后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，广泛应用于治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤。

（2）工艺流程及产污环节分析

①模拟定位：使用 CT 模拟定位机对患者的病变部位进行拍片检查，详细定位；

②计算射线强度：根据患者所患疾病部位和大小确定照射剂量和照射的时间；

③实施照射：完成模拟定位的病人进入机房，固定体位，医生检查设备并接管，先进行假源模拟治疗，再根据已制定的治疗计划出源实施照射治疗，治疗期间会产生 γ 射线以及少量的臭氧和氮氧化物；

④治疗结束。

本项目后装治疗一般工艺流程及产污环节见图 9-6。

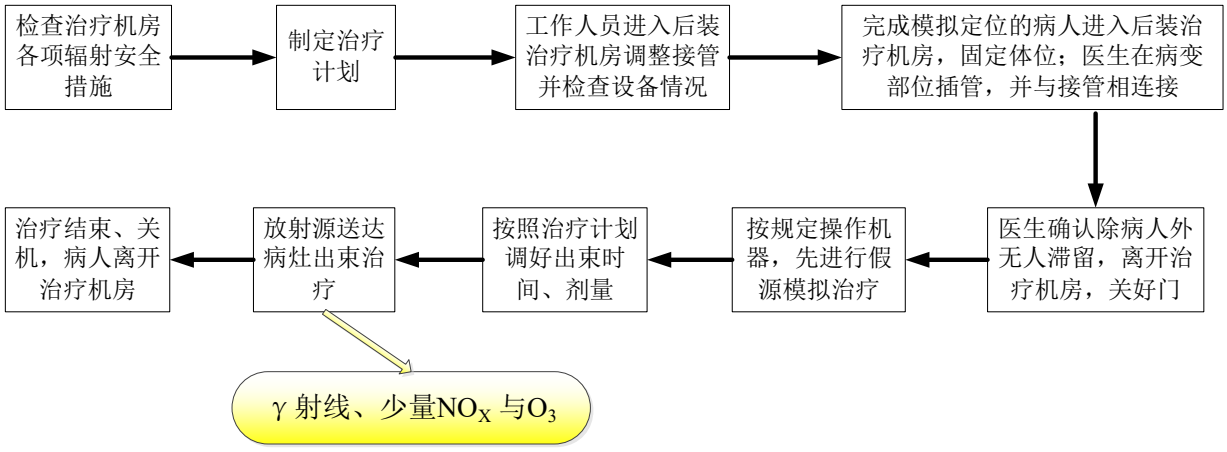


图 9-6 本项目后装治疗一般工艺流程及产污环节示意图

9.1.3 劳动定员和工作负荷

医院放疗科现有 21 名操作技师、10 名物理师、30 名医师，物理师和医师主要负责制定患者的治疗方案和放疗计划，在每位患者首次治疗时需要进入控制室观察患者的治疗情况；操作技师主要负责设备操作和患者的摆位，21 名操作技师分为 2 人一组，定期

轮岗，共同负责本项目直线加速器和后装机以及放疗科现有的 1 号直线加速器、2 号直线加速器、伽玛刀和 2 台模拟定位 CT。

根据医院提供资料，本项目直线加速器单名患者常规出束治疗时间约为 1~2min，调强出束治疗时间约为 3~6min，需要调强治疗的患者约占门诊量的一半，故本项目加速器平均单名患者出束治疗时间取 4min，日门诊量不超过 60 人次，年工作 250 天，则年开机出束时间不超过 1000h；本项目后装机平均单名患者出束治疗时间约 6min，日门诊量不超过 40 人次，年工作 250 天，则年开机出束时间不超过 1000h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 放射性污染

1、直线加速器

（1）X 射线外照射

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。

本项目拟配置的加速器X射线最大能量为10MV，在10MV下1m处的X线吸收剂量率为3.6×10^{8}μSv/h，在6MV FFF模式下1m处的X线吸收剂量率为8.4×10^{8}μSv/h。由于X射线的贯穿能力极强，未完全屏蔽的情况下会对工作人员、公众及周围环境造成辐射影响。

（2）电子束

当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。

加速器在运行时产生的高能电子束，最大能量为 15MeV，1m 处的 X 线吸收剂量率为 3.6×10^{8}μSv/h，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

（3）中子

根据《辐射防护手册》（第三分册）图4.27（P125），当加速器入射电子能量超过8MeV时会产生中子，本项目拟配置的加速器X射线最大能量为10MV、电子线最大能量为15MeV，其在出束时会产生一定的中子，但产额不高，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），本项目无需考虑

中子屏蔽。

（4）感生放射性

根据《辐射防护手册》（第三分册）图4.27（P125），当加速器入射电子能量超过8MeV时，它发射的强电离辐射照射在机房内的各种设备、器械以及墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性，本项目感生放射性主要包括加速器结构部件的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。根据《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》，X射线能量为10MV的直线加速器在停止出束后，加速器机头和摆位处仍有辐射剂量，会对停机后进入机房摆位的医生产生一定的辐射影响，但该辐射剂量逐渐减弱，约在5min左右回到本底水平，可不考虑感生放射性废靶件等；加速器机房内空气活化产生的放射性核素大部分半衰期都小于1分钟，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在的时间较短，且本项目加速器X射线能量不超过10MV，机房内活化产生的放射性气体较少，可不考虑感生放射性气体；加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是^{15}O和^{13}N，它们的半衰期分别为2.1min和10min，很短的时间其活度就可衰减到可忽略的水平，且本项目加速器X射线能量不超过10MV，冷却水被活化产生的放射性核素活度较低，可不考虑感生放射性废水。综上，本项目仅考虑加速器结构部件产生的感生放射性对停机后进入机房摆位的医生的辐射影响。

2、后装机

（1）辐射

本项目后装机使用的 ^{192}Ir 放射源衰变时产生一定能量的 β 射线和 γ 射线。后装机采用不锈钢结构制造，机房采用混凝土浇筑，而 β 射线在混凝土和钢中的射程仅有几厘米，故评价时不考虑 β 射线的影响。而 ^{192}Ir 放射源产生的 γ 射线具有很强的贯穿能力，在未完全屏蔽情况下，可能会穿透屏蔽材料对机房外环境构成辐射污染。

本项目后装机最大装源活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，出源治疗时所致 1m 处周围剂量当量率最大约为 $4.107\times10^{4}\mu Sv/h$。

（2）^{192}Ir 废源

后装治疗机在正常运行过程中不产生放射性固体废弃物，但随着核素的自然衰变，^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源辐射水平不能满足治疗肿瘤需要时，就必需更换 ^{192}Ir 放射源，从而产生报废或退役的 ^{192}Ir 废源。^{192}Ir 的半衰期为 74 天，一般半年更换 1 次。

9.2.2 非放射性污染

1、本项目加速器工作时产生的高能 X 射线、电子束以及后装机用放射源产生的 γ

射线会使机房内空气发生电离，产生少量的臭氧和氮氧化物。

2、本项目不产生放射性废水和医疗废水，只产生少量的生活污水。

3、本项目放疗过程中产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物，以及工作人员产生的少量办公垃圾。

9.2.3 核素特性

本项目放射性核素的特性见表 9-2。

表 9-2 本项目放射性核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要 α、β 辐射能量（keV）与绝对强度（%）	主要 γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量当量率常数（μSv•m^2/MBq•h）
^{192}Ir	74d	β^-（95.13） ε（4.87）	538.3（41.43） 675.1（48.0） 258.7（5.6）	316.5（82.75） 468.1（47.81） 308.5（29.68） 296.0（28.72） 604.4（8.2） 612.4621（5.34） 588.5810（4.517） $XK_{\alpha1}$：66.832（4.57）	0.111

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局与分区

1、工作场所布局

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，控制室避开有用线束照射区域，治疗机房迷道采用“L”型迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；本项目后装机工作场所设有治疗机房、控制室，治疗机房与控制室分开设置，治疗机房迷道采用直迷道设计。本项目直线加速器和后装机工作场所的布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关要求及《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）中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定以及《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗机房应设置迷路等规定，布局合理。

2、工作场所分区

医院拟将本项目加速器治疗机房、后装治疗机房划为控制区，在治疗机房入口处设置电离辐射警告标志，出束期间除病人外禁止任何人员进入；将本项目加速器的控制室和辅助机房、后装机的控制室以及治疗机房防护门外一米区域（在地面粘贴地标并标识监督区）划为监督区，在入口处设置监督区标识，出束期间禁止无关人员进入，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关辐射工作场所的分区规定。本项目直线加速器工作场所控制区与监督区的划分见图 10-1，后装机工作场所控制区与监督区的划分见图 10-2。

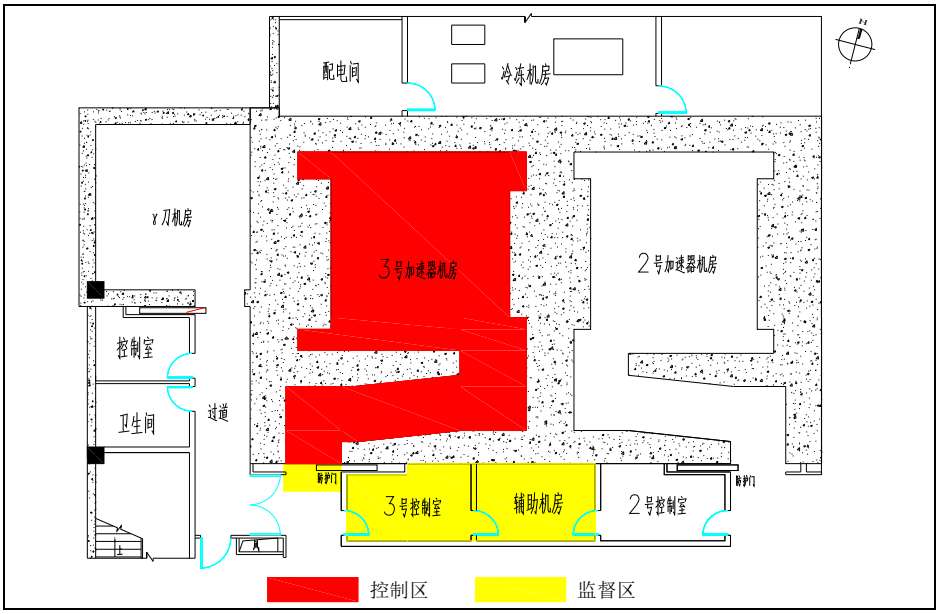


图 10-1　本项目直线加速器工作场所控制区与监督区划分示意图

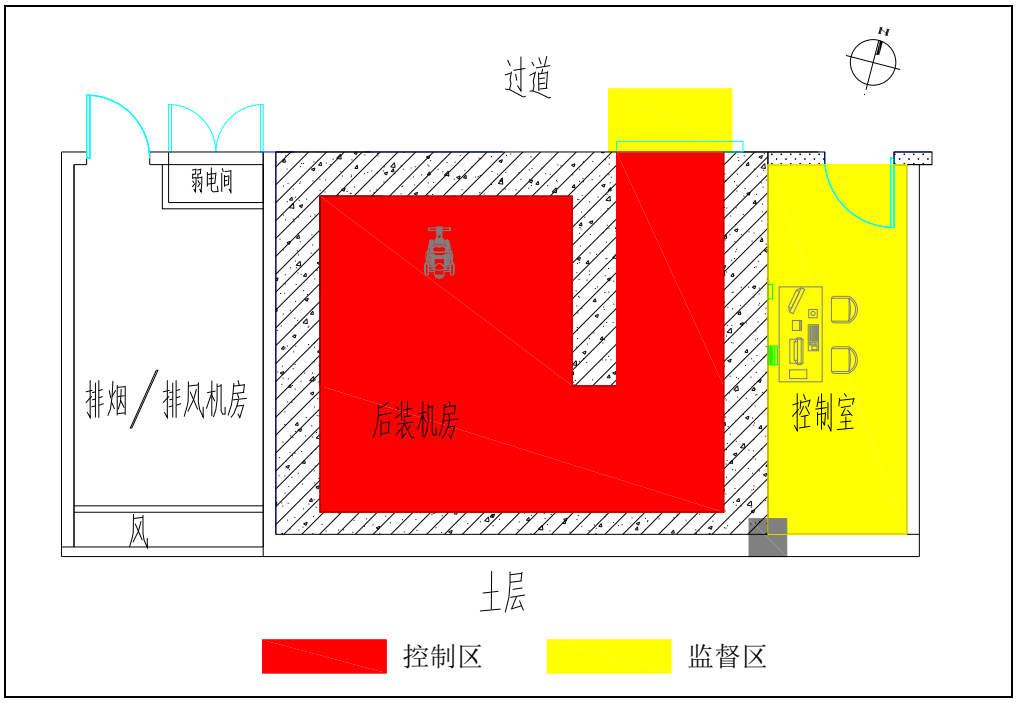


图 10-2　本项目后装机工作场所控制区与监督区划分示意图

10.1.2 辐射防护设计

1、直线加速器机房

医院拟根据《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）的标准要求以及新购加速器的技术参数对本项目加速器机房进行简单的改造，即在机房迷道内墙的内侧增加 10cm 混凝土，其他屏蔽防护措施不变。

本项目加速器机房改造后的结构图见附图 6，加速器机房现有及改造后的屏蔽防护参数见表 10-1。

表 10-1　本项目加速器机房现有及改造后的屏蔽防护情况一览表

分类			现有屏蔽厚度	改造后屏蔽厚度	备注
加速器机房	东墙	主屏蔽	2930mm 砼	保持不变	内凸宽 4.6m，等中心点每侧各 2.3m；外凸宽 5.46m，等中心点每侧各 2.73m
		次屏蔽	1730mm 砼	保持不变	/
	南墙	迷道内墙	800~1200mm 砼	900~1300mm 砼	**本次增厚 100mm**
		迷道外墙	800~1200mm 砼	保持不变	/
	西墙	主屏蔽	2930mm 砼	保持不变	宽 5.46m，等中心点每侧各 2.73m
		次屏蔽	1730mm 砼	保持不变	/
	北墙		1300mm 砼	保持不变	/

	顶部	主屏蔽	2600mm 砼	保持不变	宽 4.6m，等中心点每侧各 2.3m
		次屏蔽	1300mm 砼	保持不变	/
	防护门		15mmPb+150mm 含硼石蜡	保持不变	防护门与各侧墙体搭接不小于10cm，不小于门缝间隙的10倍

注：①砼的密度为 2.35g/cm^3，铅的密度为 11.34g/cm^3。

②加速器机房顶部为 1.4m 厚的素混凝土，密度为 2.2g/cm^3。

本项目加速器机房在改建时，将在机房原迷道内墙的墙体上植入 φ12mm 螺纹钢，新增墙体内预埋钢筋网，确保原墙体与新增墙体之间紧密牢固。在机房原墙体上进行打孔植入螺纹钢时，使用与螺纹钢直径一致的钻头进行钻孔，钻孔深度约为 10cm，然后将钻孔清洁后用胶枪注入高强植筋胶（注胶饱满无空洞，注胶量以螺纹钢插入钻孔后溢出为准），注胶完成后立即插入螺纹钢，并轻轻旋转，使其表面均匀结合植筋胶，最后将螺纹钢植入孔底，使孔洞内无空隙。因螺纹钢的密度约为 8g/cm³，混凝土的密度约为 2.35g/cm³，螺纹钢的密度大于混凝土的密度，且钻孔直径较小、钻孔深度相对整体墙体厚度较小，孔洞内无空隙，故植入螺纹钢的孔洞不会破坏机房原墙体的整体屏蔽效果。

2、后装机房

本项目后装机房的结构图见附图 7，后装机房的屏蔽防护参数见表 10-2。

表 10-2 本项目后装机房屏蔽防护情况一览表

分类			设计厚度
^{192}Ir 后装机房	东墙	迷路内墙	700mm 砼
		迷路外墙	700mm 砼
	南墙		350mm 砼+350mm 砼（放疗科隔墙）+土层
	西墙		700mm 砼
	北墙		700mm 砼
	顶部		700mm 砼
	防护门		10mmPb 铅门

注：①砼的密度为 2.35g/cm^3，铅的密度为 11.34g/cm^3。

②机房顶部为 150mm 混凝土楼板，密度为 2.35g/cm^3。

本项目后装机房的防护门在设计安装时，与墙体搭接宽度应不小于门缝间隙的 10 倍，防止射线泄漏。本项目后装机房在施工时，将在后装机房所建位置的地下一层的地板处打多个浇筑孔和排气孔，由浇筑孔浇筑混凝土，由排气孔排出浇筑时压缩的空气，确保浇筑的混凝土饱满充实，最终用混凝土填充浇筑孔和排气孔。

10.1.3 辐射安全和防护措施

为保障本项目直线加速器和后装机的安全运行，避免在出束期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目加速器工作场所和后装机工作场所均设计有相应的辐射

安全装置和保护措施。

1、直线加速器工作场所

医院在对直线加速器机房重新装修期间，拆除了机房原有的紧急停机按钮、监控和对讲系统、工作状态指示灯、固定式辐射剂量监测系统等辐射安全措施，并根据国家相关标准要求重新设计了相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

（1）钥匙开关

操作台设计有钥匙开关，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，钥匙由专人保管。

（2）电离辐射警告标志和工作状态指示灯

加速器机房入口处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速器联锁，工作指示灯设有“预备”和“照射”工作状态指示说明，预备时绿灯亮，此时设备处于未出束状态，照射时红灯亮，此时设备处于出束状态。

（3）门机联锁装置

加速器机房的防护门拟设置门机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。

（4）紧急停机按钮

加速器的治疗床、机房内四周墙面合适位置及迷道内、控制室的操作台上均拟设置紧急停机按钮，并在醒目处设置标签，标明使用方法，按下任一处紧急停机按钮后立即停止出束，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

（5）监控及对讲系统

加速器机房内、迷道内拟安装视频监控探头，显示器位于控制室内，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、机房内和迷道区域情况；控制室与机房之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

（6）紧急开门按钮

加速器机房的防护门为电动门，防护门内侧人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，且防护门设置防夹伤功能。

（7）固定式辐射剂量监测系统

加速器机房迷道内口处拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

（8）其他

加速器机房安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过操作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医院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。

本项目直线加速器工作场所拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-3。

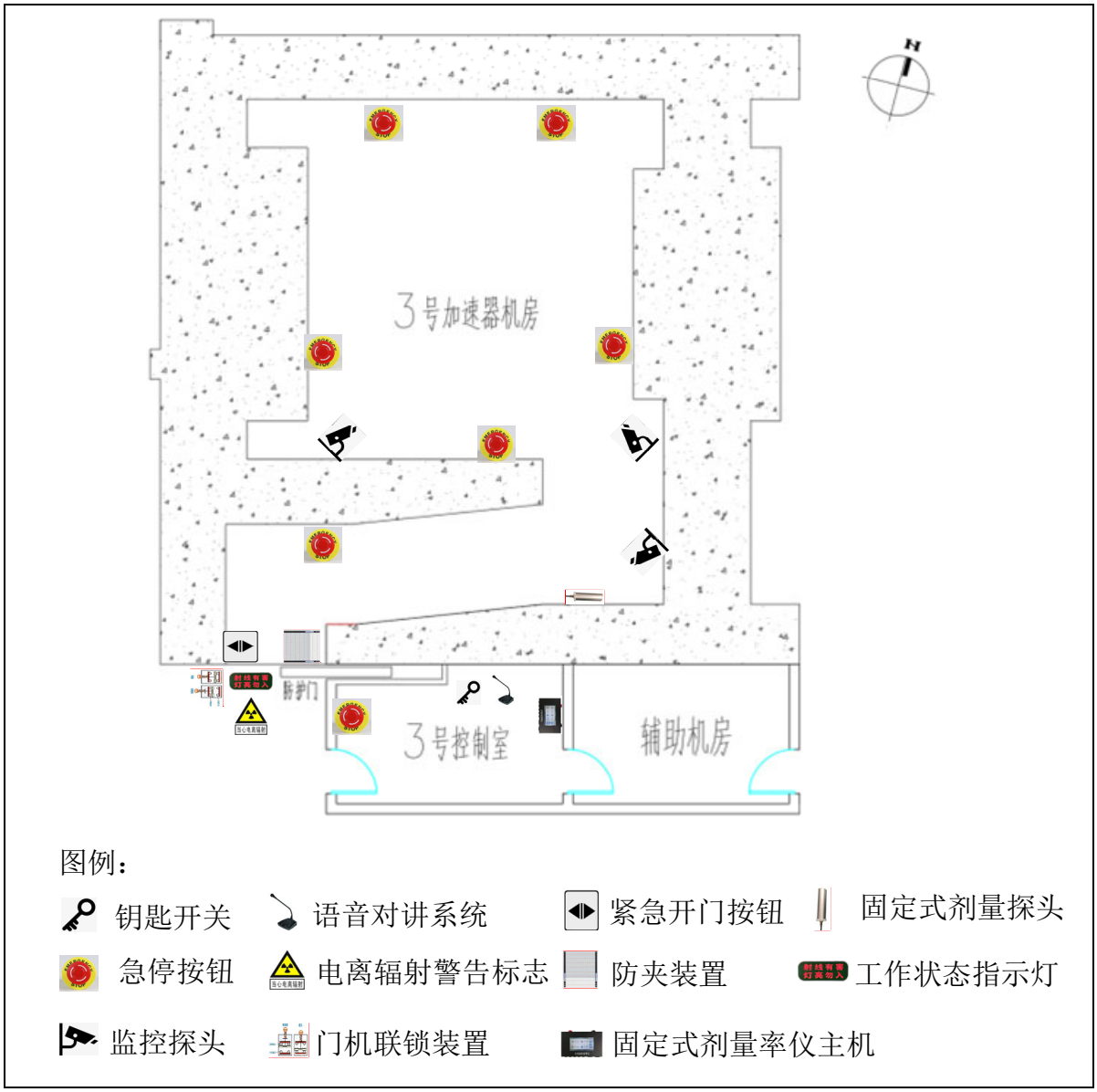


图 10-3 本项目直线加速器工作场所拟采取的辐射安全措施布置示意图

2、后装机工作场所

（1）电离辐射警告标志和工作状态指示灯

后装机房入口处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与后装机出源联锁，工作指示灯设有“预备”和“照射”工作状态指示说明，预备时绿灯亮，此时设备处于未出源状态，照射时红灯亮，此时设备处于出源状态。

（2）门-源联锁装置

后装机房的防护门拟设置门-源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下开门停止出源，源自动回到治疗设备的安全位置，设备自身还设有断电自动回源措施。

（3）紧急停机按钮

后装机房内四周墙面合适位置及迷道内、控制室的操作台上均拟设置紧急停机按钮，并在醒目处设置标签，标明使用方法，按下任一处紧急停机按钮，放射源能自动返回工作贮源器，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

（4）监控及对讲系统

后装机房内、迷道内拟安装视频监控探头，显示器位于控制室内，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、机房内和迷路区域情况；控制室与机房之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。建议医院在安装监控系统时，注意监控探头的安装位置和角度，保护患者隐私。

（5）紧急开门按钮

后装机房的防护门为电动门，防护门内侧人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，且防护门设置防夹伤功能。

（6）固定式辐射剂量监测系统

后装机房迷道内口处拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

（7）配备防护设备

后装机房内配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。

（8）双人双锁

后装机房的防护门拟设置双人双锁。

（9）其他

后装机房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医院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。

除此之外，本项目后装机自带辐射安全措施以及在治疗时拟采取的防护措施主要有：

①后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置，能防止由于计时器控

制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。

②实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，按下控制台、机房墙壁或后装治疗机上的任一处紧急停机按钮，放射源能自动返回工作贮源器，并显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时发出声光报警信号。当自动回源（例如按紧急停机按钮）装置功能失效时，有手动回源（后装机采用一个手摇柄）措施进行应急处理。

③辐射工作人员进入机房应携带个人剂量报警设备。

④实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状态，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

本项目后装机工作场所拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-4。

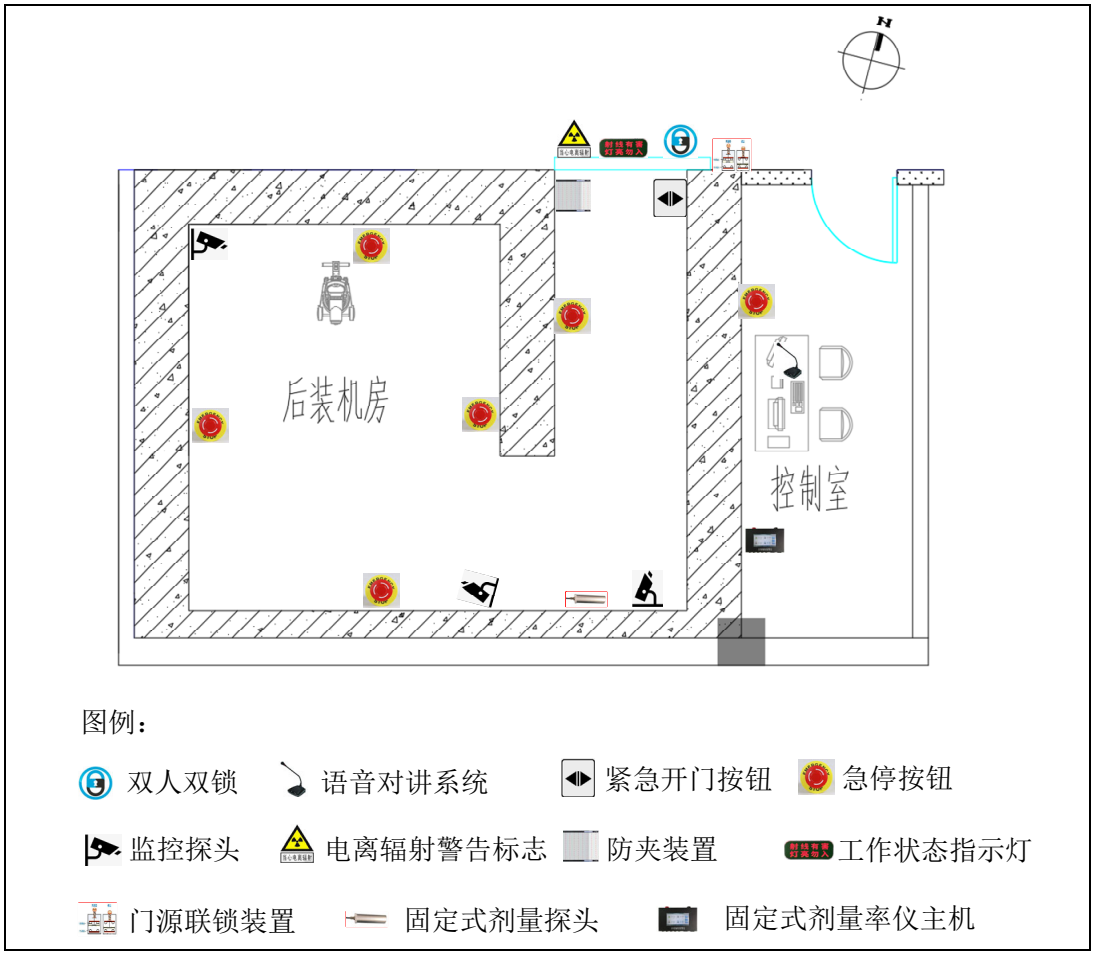


图 10-4 本项目后装机工作场所拟采取的辐射安全措施布置示意图

本项目直线加速器、后装机工作场所采取上述辐射安全和防护措施后，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）中的相关标准以及开展本项目所需要的辐射安全要求。

四、电缆布设

本项目直线加速器机房电缆线采用该机房原有的电缆沟进行布设，电缆沟为埋地“U”型穿墙管道，电缆沟从机房埋地“U”型穿墙至控制室，埋地深度约 30cm。穿墙处电缆沟盖板采用 3mm 铅板+2mm 钢板进行屏蔽补偿，穿墙孔避开初级射线直接照射，不会破坏机房的整体屏蔽效果。本项目直线加速器机房电缆沟布局见图 10-5，电缆管道穿墙示意图见图 10-6。

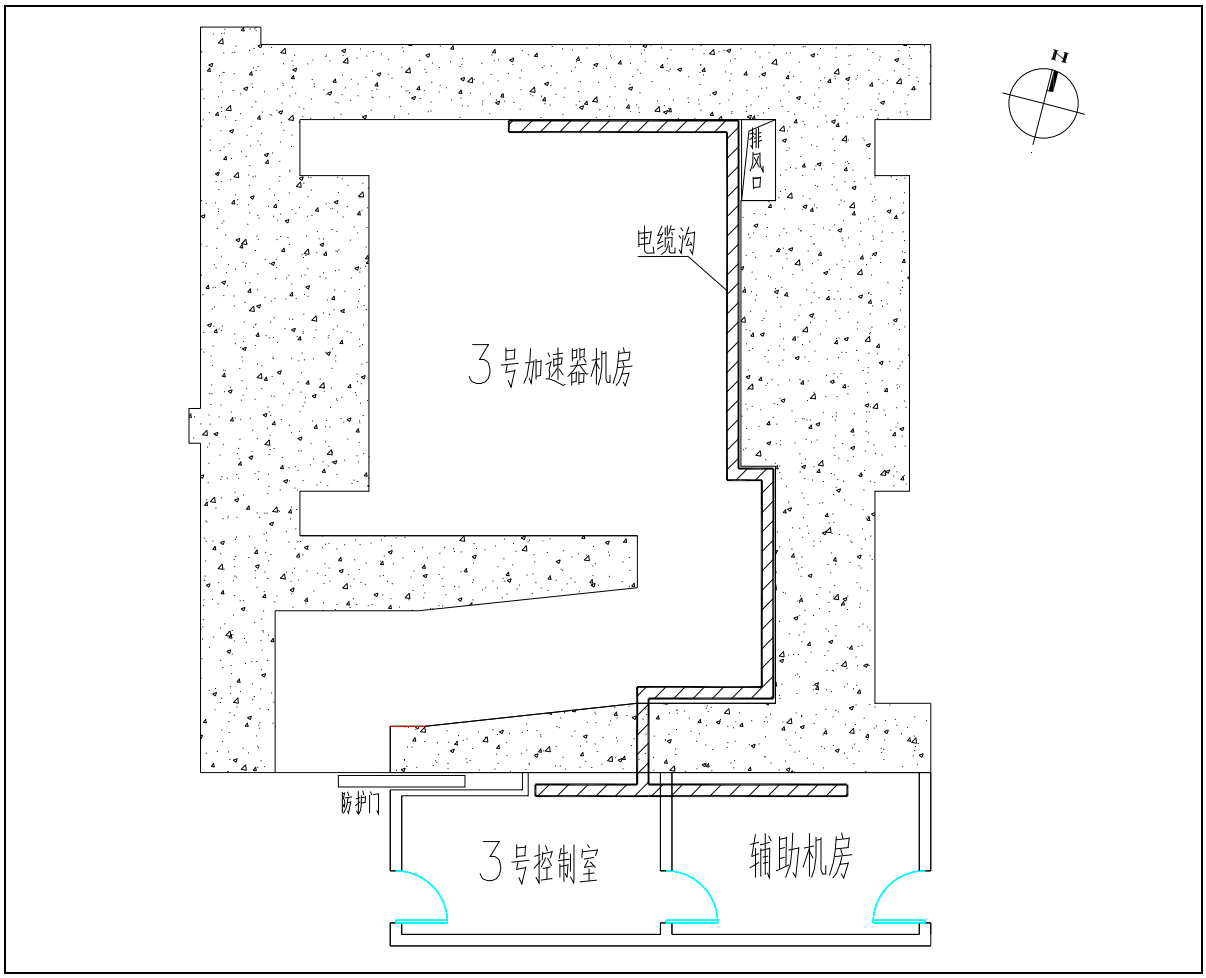


图 10-5　本项目直线加速器机房电缆沟布局图

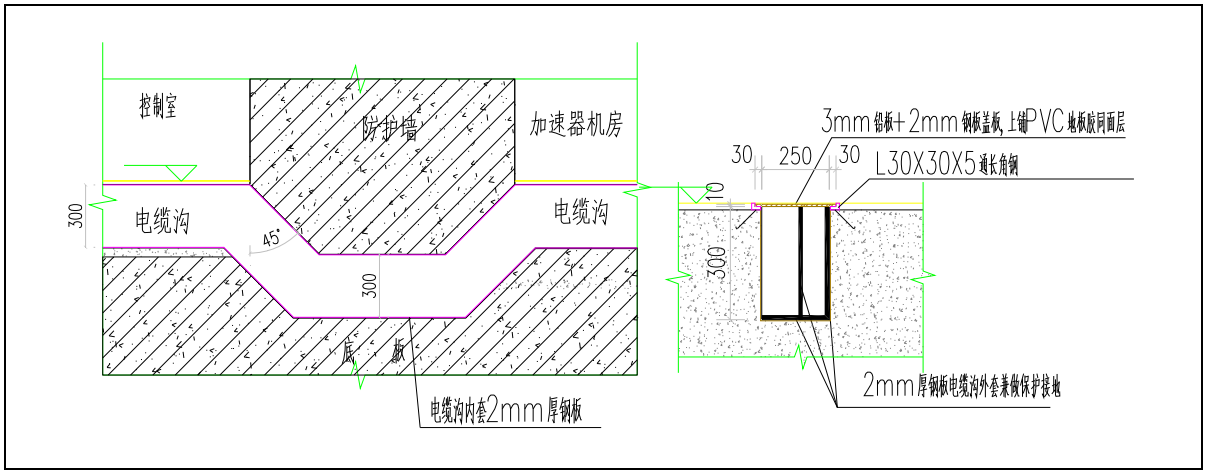


图 10-6 本项目直线加速器机房电缆管道穿墙示意图

本项目后装机房电缆线设计采用电缆沟进行布设，电缆沟为埋地“U”型穿墙管道，电缆沟从机房埋地“U”型穿墙至控制室，埋地深度约 10cm。穿墙处电缆沟盖板采用 3mm 铅板+2mm 钢板进行屏蔽补偿，穿墙孔避开初级射线直接照射，不会破坏机房的整体屏蔽效果。本项目后装机房电缆沟布局见图 10-7，电缆管道穿墙示意图见图 10-8。

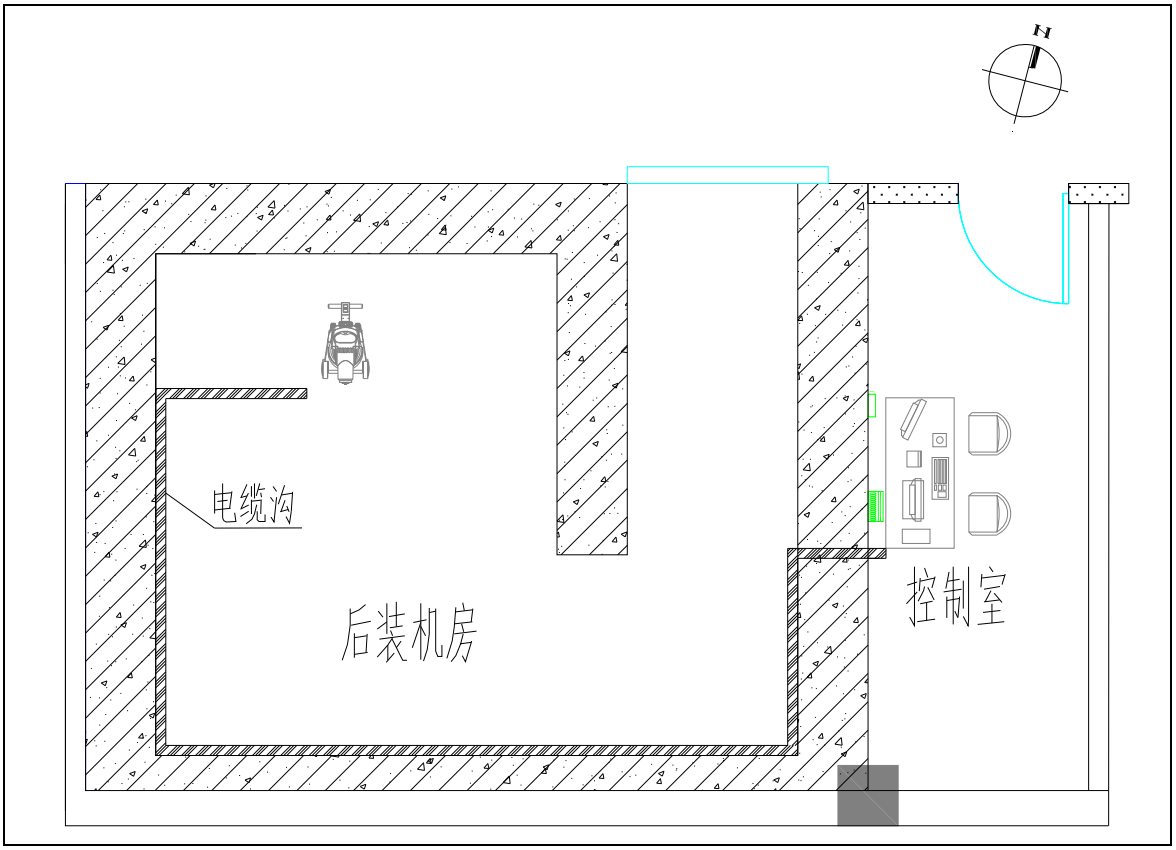


图 10-7　本项目后装机房电缆沟布局图

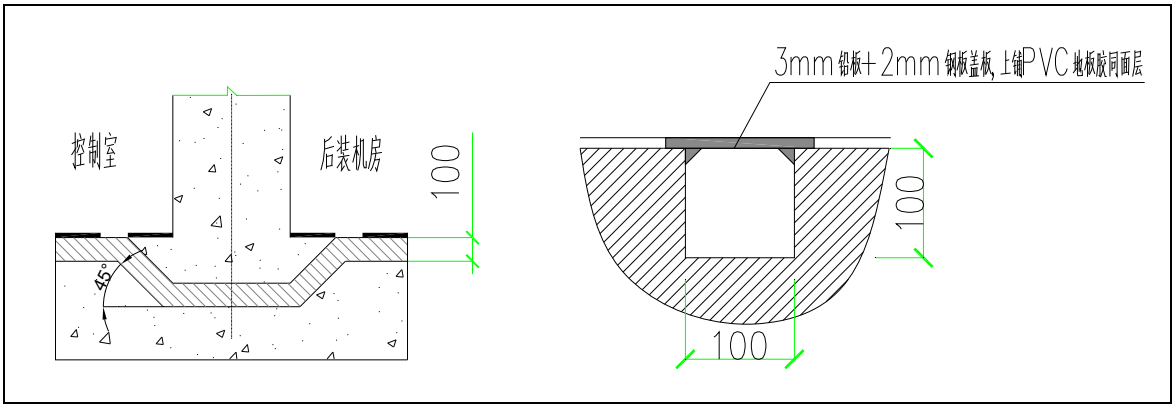


图 10-8 本项目后装机房电缆管道穿墙示意图

10.2 三废的治理

1、^{192}Ir 废源处理措施

医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，报废或退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。

2、废气处理措施评价

直线加速器产生的 X 射线、电子束以及后装机用放射源产生的γ射线电离机房内空气会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机房内水汽作用形成酸雾腐蚀机房内设备。故机房需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

本项目直线加速器机房采用该机房原有的机械通风系统，原有机械通风系统包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。加速器机房的送风口位于机房西部吊顶处，室内排风口位于机房东北角距地板高度 40cm 处，且送风口和排风口呈对角线布置。本项目直线加速器机房的通风系统的排风量为 2500m^3/h，加速器机房内容积（包含迷道容积）约为 348m^3，可使直线加速器机房通风换气约 7 次/h，本项目直线加速器机房的通风系统满足治疗机房每小时通风次数不小于 4 次的要求。本项目加速器机房内臭氧和氮氧化物由排风管道引至排风井，并由排风井引至 11 号楼楼顶排放。综上所述，本项目直线加速器机房的通风系统满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目直线加速器机房新风管道从机房防护门处吊顶上方 45° 斜穿墙，穿墙管道处包裹 3mm 铅皮（见图 10-12）；排风管道采用埋地穿墙，埋地深度约 25cm，通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线经几次散射后，通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量将在控制范围内。本项目直线加速器机房通风系统布置示意见图 10-9 和图 10-10。

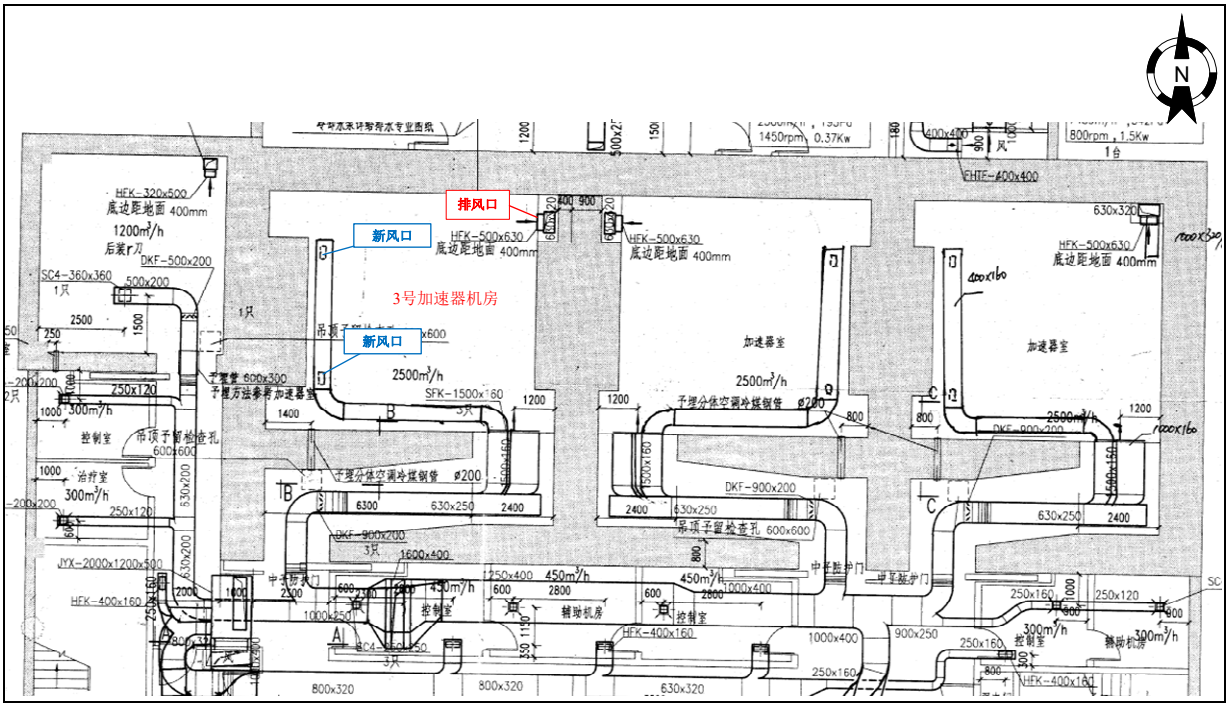


图 10-9　本项目直线加速器机房新风管道布局示意图

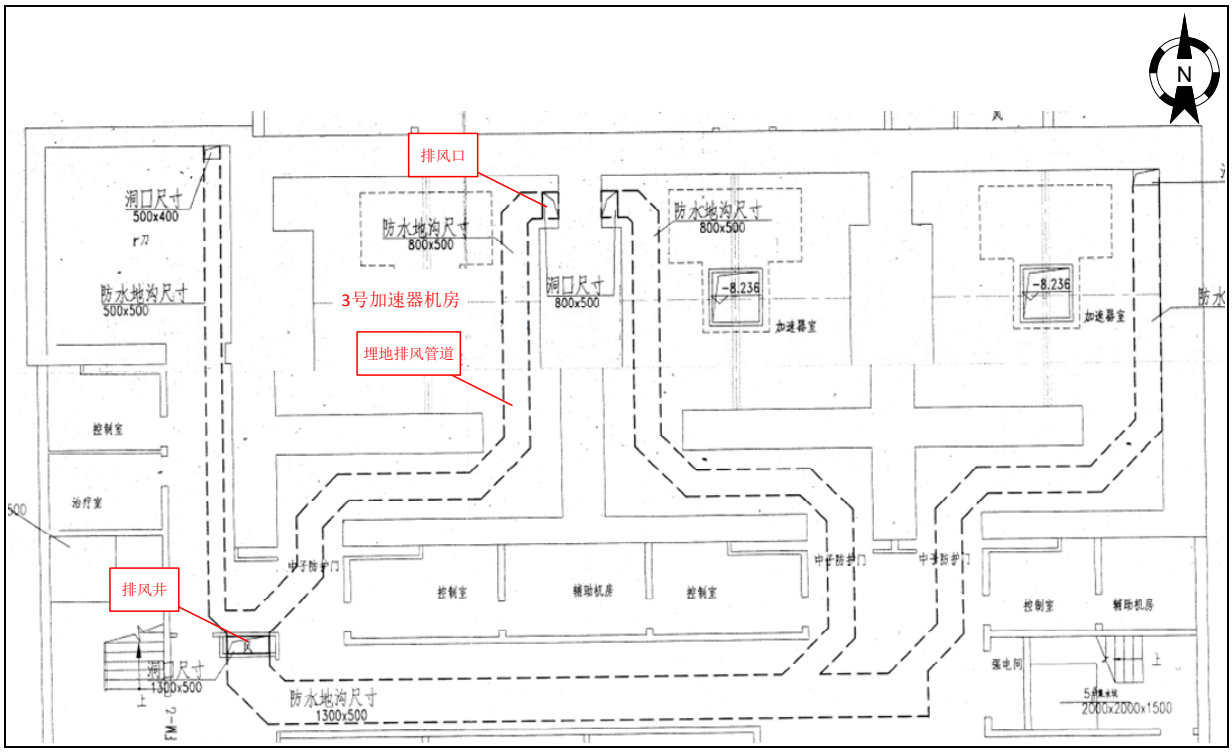


图 10-10　本项目直线加速器机房排风管道布局示意图

本项目后装机房设计有机械通风系统，包括新风和排风装置，并采用全排全送的通风方式。本项目后装机房的送风口位于机房东部吊顶处，室内排风口位于机房西部距地板高度 40cm 处，且送风口和排风口呈对角线布置。本项目后装机房的通风系统的排风量不小于 800m^3/h，后装机房内容积（包含迷道容积）约为 101m^3，可使后装机房通风换气约 7 次/h，本项目后装机房的通风系统满足治疗机房每小时通风次数不小于 4 次的要求。本项目后装机房内臭氧和氮氧化物由排风管道引至排风井，并由排风井引至负一层穿出楼外，并由管道延伸至 11 号楼楼顶排放。综上所述，本项目后装机房的通风系统满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目后装机房的通排风管道均从机房防护门处吊顶上方 45° 斜穿墙，穿墙管道处包裹 3mm 铅皮（见图 10-12），通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线经几次散射后，通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量将在控制范围内。本项目后装机房通风系统布置示意见图 10-11。

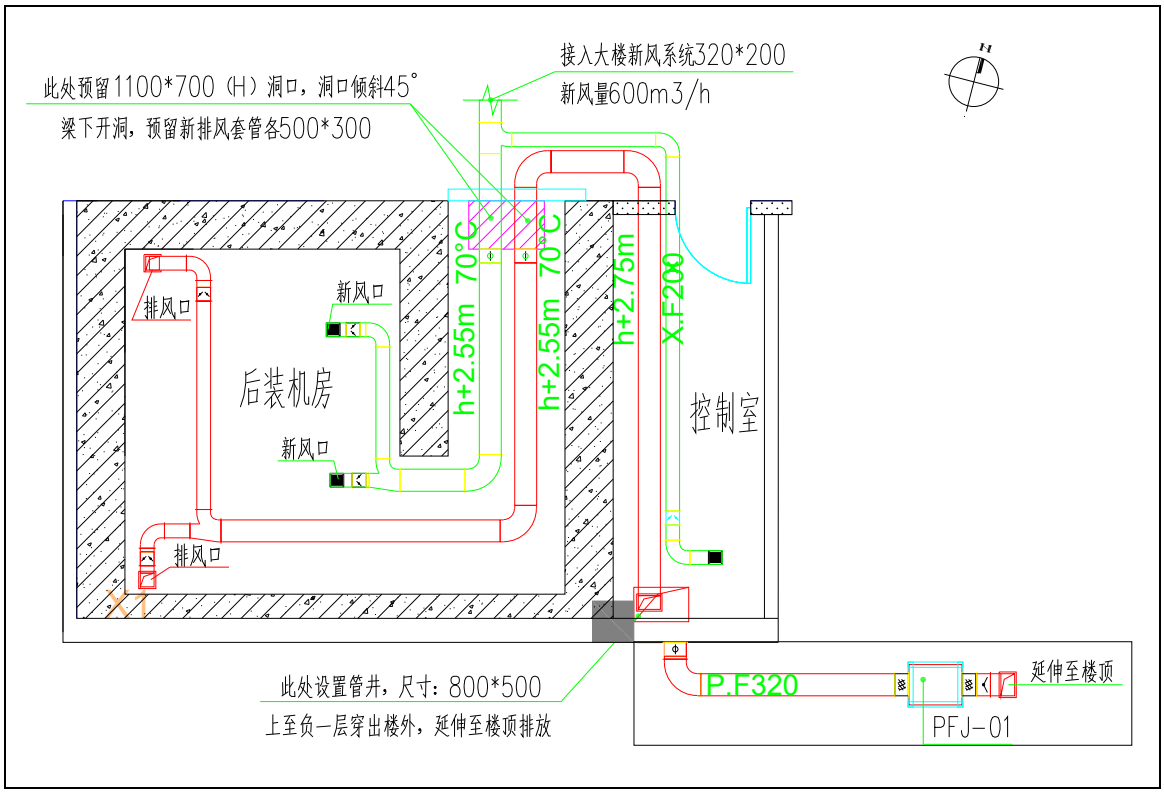


图 10-11　本项目后装机房通风系统布局示意图

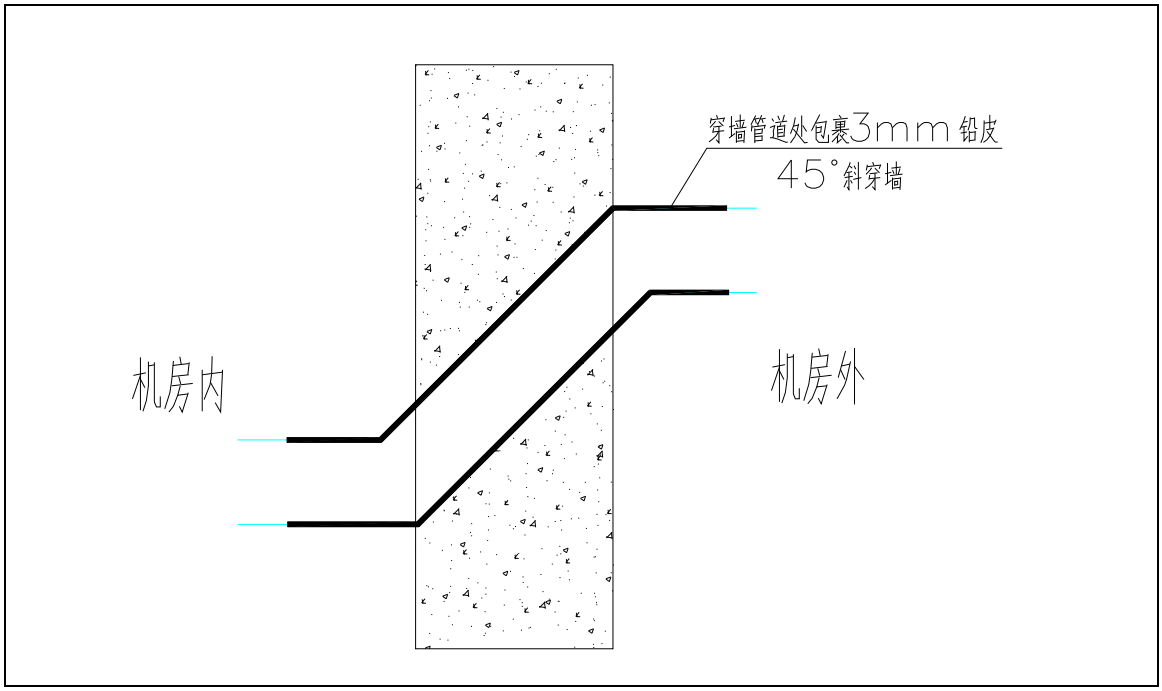


图 10-12　本项目加速器机房和后装机房通排风管道穿墙示意图

医院在工作中应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，机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

3、废水治理措施评价

工作人员产生的生活污水依托医院的污水处理系统进行处置。

4、固体废弃物治理措施评价

本项目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，工作人员产生的少量办公垃圾依托医院的保洁措施，统一收集后交由环卫部门统一处理。

综上所述，本项目的废物处置方式恰当、合理，能够满足当前环保管理的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目的直线加速器机房是在原有建筑的基础上进行改造，后装机房需在拆除现有墙体的基础上进行建造，建设施工阶段涉及到场所防护工程的施工和装修、装饰等，以上活动会产生少量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及应采取的污染防治措施如下：

（1）大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，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附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.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；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523－2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

（3）固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，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；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

（4）废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。医院只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 直线加速器运行阶段对环境的影响

本项目拟配备的直线加速器最大能量为 10MV，在 X 线能量 10MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 360Gy/h，在 X 线能量 6MV FFF 模式下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 840Gy/h，本报告分别对 10MV 和 6MV 运行工况下的辐射影响进行估算。

一、本项目直线加速器机房外地下二层及顶部辐射环境影响分析

本项目直线加速器机房外地下二层及顶部关注点设置见图 11-1。

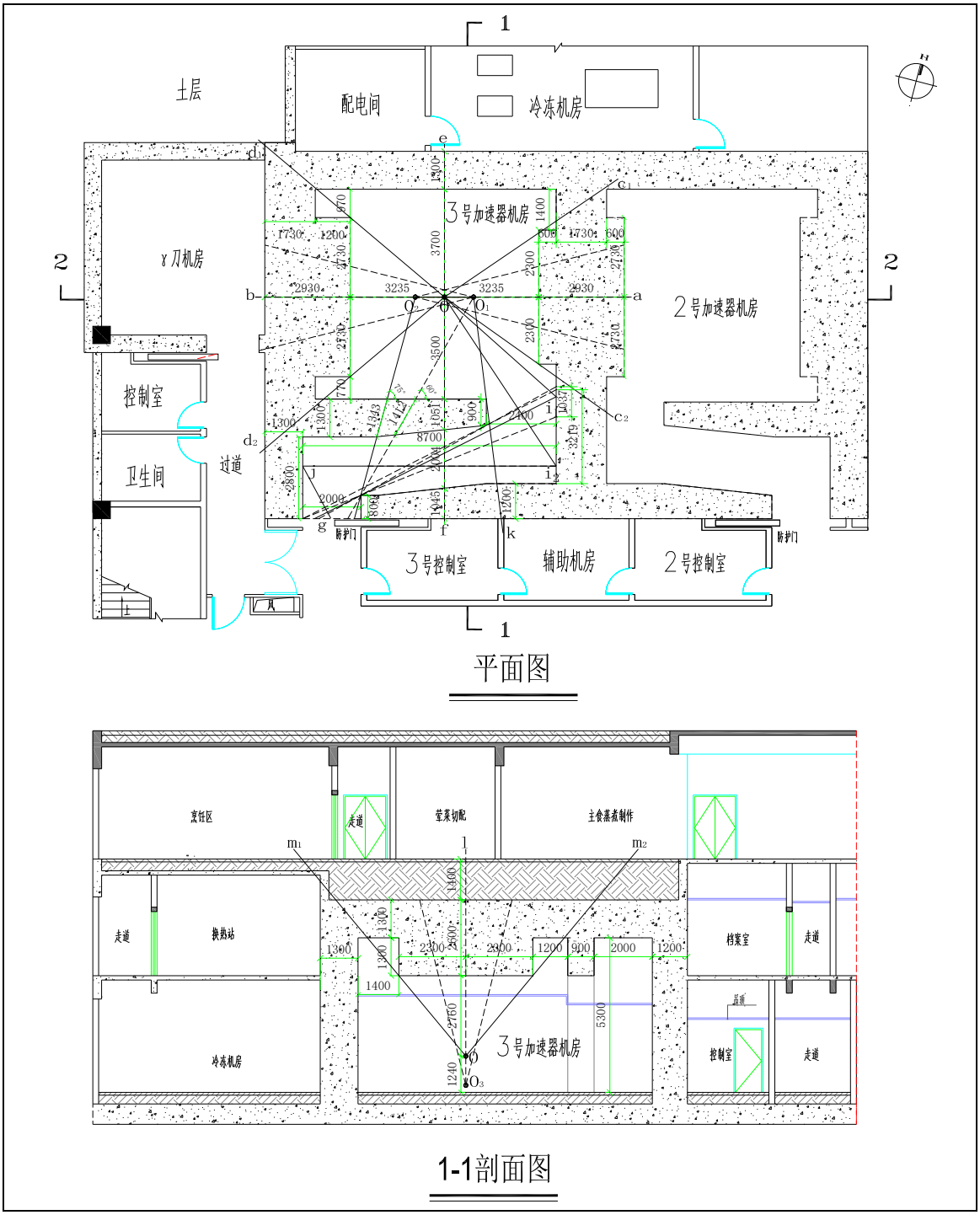


图 11-1　本项目直线加速器机房外地下二层及顶部关注点设置示意图（单位：mm）

1、理论估算

（1）有用线束主屏蔽区宽度符合性分析

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）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，计算公式如下：

$$Y_p=2[（a+SAD）\cdot\tan\theta+0.3] \qquad （式 11-1）$$

式中：

Y_P—机房有用线束主屏蔽区的宽度，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。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

将各参数代入公式（11-1），可得出本项目直线加速器机房的主屏蔽宽度，核算结果见表 11-1。

表 11-1 本项目直线加速器机房主屏蔽区宽度设计核算结果

参数	东墙主屏蔽		西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
	内凸部分	外凸部分		
a（m）	3.835	6.165	4.435	4.06
SAD（m）	1	1	1	1
Θ（°）	14	14	14	14
计算宽度 Y_p（m）	3.01	4.17	3.31	3.12
主屏蔽单侧计算宽度（m）	**1.51**	**2.09**	**1.66**	**1.56**
主屏蔽单侧建设宽度（m）	2.3	2.73	2.73	2.3
评价	满足	满足	满足	满足

（2）主屏蔽区屏蔽效果预测（a 点、b 点、l 点）

射线路径（射线类型）：

东墙：o_2→a（主射线），西墙：o_1→b（主射线），顶棚：o_3→l（主射线）

根据 GBZ/T 201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定屏蔽物厚度 X（cm）时，首先按照公式（11-2）计算有效厚度 X_e（cm），按照公式（11-3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式（11-4）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e=X/\cos\theta=X\cdot\sec\theta \qquad （式 11-2）$$

式中：

X—设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角。

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TVL_1)/TVL} \qquad （式 11-3）$$

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，查 GBZ/T 201.2 -2011 附录 B 表 B.1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad （式 11-4）$$

式中：

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，X 线能量为 10MV 时最大为 3.6×10^8μSv·m²/h，X 线能量为 6MV FFF 模式时最大为 8.4×10^8μSv·m²/h；

R—靶点至参考点的距离，m；

f—对有用线束为 1，对泄漏辐射为 0.001。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率$\dot{H}$（μSv/h），辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-2。

表 11-2-1 主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

关注点	东墙主屏蔽（a 点）	西墙主屏蔽（b 点）	顶棚主屏蔽（1 点）
X（cm）	293 砼	293 砼	260 砼+140 素混凝土
Xe（cm）	293 砼	293 砼	391 砼
TVL（cm）	37	37	37
TVL_1（cm）	41	41	41
B	1.55×10^{-8}	1.55×10^{-8}	3.47×10^{-11}
R（m）	7.465	7.465	8.06
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	1	1	1
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）	**0.1**	**0.1**	**1.92×10^{-4}**
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）	10	10	1
评价结果	满足	满足	满足

注：①$R_{东墙}$=$R_{西墙}$=等中心点到主屏蔽墙外表面距离 6.165m+SAD 1m+参考点 0.3m=7.465m；

②$R_{顶棚}$=等中心点到主屏蔽墙外表面距离 5.36m+SAD 1m+素混凝土厚度 1.4m+参考点 0.3m=8.06m；

③素混凝土密度约为 2.2g/cm³，根据密度换算，140cm 素混凝土约为 131cm 砼。

表 11-2-2 主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

关注点	东墙主屏蔽（a 点）	西墙主屏蔽（b 点）	顶棚主屏蔽（1 点）
X（cm）	293 砼	293 砼	260 砼+140 素混凝土
Xe（cm）	293 砼	293 砼	391 砼
TVL（cm）	33	33	33
TVL_1（cm）	37	37	37
B	1.75×10^{-9}	1.75×10^{-9}	1.87×10^{-12}
R（m）	7.465	7.465	8.06
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
f	1	1	1
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）	**0.026**	**0.026**	**2.42×10^{-5}**
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）	10	10	1
评价结果	满足	满足	满足

注：同表 11-2-1。

（3）侧屏蔽墙屏蔽效果预测（e 点、f 点）

射线路径（射线类型）：

南墙：o→f（漏射线），北墙：o→e（漏射线）

泄漏辐射估算方法类似主屏蔽区。TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，10MV 时，TVL_1=35cm、TVL=31cm；6MV 时，TVL_1=34cm、TVL=29cm。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参数和计算结果见表 11-3。

表 11-3-1 侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果（10MV）

关注点	南墙（f 点）	北墙（e 点）
X（cm）	105.1 砼+104.5 砼	130 砼
Xe（cm）	209.6 砼	130 砼
TVL（cm）	31	31
TVL_1（cm）	35	35
B	2.33×10^{-7}	8.62×10^{-5}
R（m）	7.9	5.3
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）	**1.35×10^{-3}**	**1.1**

剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$（μSv/h）	2.5	4
评价结果	满足	满足

注：①$R_{南墙}$=等中心点到迷道外墙外表面距离 7.6m+参考点 0.3m=7.9m；

②$R_{北墙}$=等中心点到北墙外表面距离 5m+参考点 0.3m=5.3m。

表 11-3-2 侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果（6MV）

关注点	南墙（f 点）	北墙（e 点）
X（cm）	105.1 砼+104.5 砼	130 砼
Xe（cm）	209.6 砼	130 砼
TVL（cm）	29	29
TVL_1（cm）	34	34
B	8.81×10^{-8}	4.89×10^{-5}
R（m）	7.9	5.3
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	**1.19×10^{-3}**	**1.46**
剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$（μSv/h）	2.5	4
评价结果	满足	满足

注：同表 11-3-1。

（4）与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测（c_1 点、c_2 点、d_1 点、d_2 点和 m_1 点、m_2 点）

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射，射线照射路径如下：

①射线路径（射线类型）

散射射线路径：

东墙：$o_2\rightarrow o\rightarrow c_1$（$c_2$），西墙：$o_1\rightarrow o\rightarrow d_1$（$d_2$），顶棚：$o_3\rightarrow o\rightarrow m_1$（$m_2$）

泄漏射线路径：

东墙：$o\rightarrow c_1$（c_2），西墙：$o\rightarrow d_1$（d_2），顶棚：$o\rightarrow m_1$（m_2）

计算时，c_1、c_2、d_1、d_2、m_1、m_2 点处的斜射角与散射角 θ 均按 30°来估算，c_1 和 c_2、d_1 和 d_2、m_1 和 m_2 的各项参数数值上是相等的，因此，该部分仅需预测 c_1、d_1、m_1 点即可代表与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果。

②泄漏辐射屏蔽计算

泄漏辐射屏蔽结果通过公式（11-4）进行计算，其中 f=0.001。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式（11-2）计算有效厚度 X_e（cm），按照公式（11-3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，当散射角 30°时，对于 10MV 射线的患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm，对于 6MV 射线的患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm），再按照公式（11-5）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_s^2}\cdot B \qquad （式 11-5）$$

式中：$\dot{H}_0$及 B 意义同前；

α_{ph}—为患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2；

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，取（40×40）cm²；

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

与主屏蔽区相连的次屏蔽区外泄漏辐射与患者一次散射辐射的计算参数和计算结果见表 11-4。

表 11-4-1 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

关注点		东墙（c_1 或 c_2 点）	西墙（d_1 或 d_2 点）	顶棚（m_1 或 m_2 点）
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		3.6×10^{8}	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
X（cm）		173 砼	173 砼	130 砼+140 素混凝土
θ（°）		30	30	30
X_e（cm）		199.8 砼	199.8 砼	301.4 砼
R 或 R_s（m）		6.726	7.419	8.106
泄漏辐射	TVL（cm）	31	31	31
	TVL_1（cm）	35	35	35
	B	4.84×10^{-7}	4.84×10^{-7}	2.55×10^{-10}
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$（μSv/h）	**3.85×10^{-3}**	**3.17×10^{-3}**	**1.4×10^{-6}**
散射辐射	TVL（cm）	28	28	28
	TVL_1（cm）	28	28	28
	B	7.34×10^{-8}	7.34×10^{-8}	1.72×10^{-11}
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}

	F（cm^2）	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ **（μSv/h）**	**7.43×10^{-3}**	**6.11×10^{-3}**	**1.2×10^{-6}**
泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）		**0.011**	**9.28×10^{-3}**	**2.6×10^{-6}**
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）		10	1.25	0.25
评价结果		满足	满足	满足

注：①$R_{东墙}$=等中心点至东墙次屏蔽区外表面距离 5.565m/cos(30°)+参考点 0.3m=6.726m；

②$R_{西墙}$=等中心点至西墙次屏蔽区外表面距离 6.165m/cos(30°)+参考点 0.3m=7.419m；

③$R_{顶棚}$=等中心点至顶部地面距离 6.76m/cos(30°)+参考点 0.3m=8.106m；

④素混凝土密度约为 2.2g/cm^3，根据密度换算，140cm 素混凝土约为 131cm 砼。

表 11-4-2 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

关注点		东墙（c_1 或 c_2 点）	西墙（d_1 或 d_2 点）	顶棚（m_1 或 m_2 点）
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）		8.4×10^8	8.4×10^8	8.4×10^8
X（cm）		173 砼	173 砼	130 砼+140 素混凝土
θ（º）		30	30	30
X_e（cm）		199.8 砼	199.8 砼	301.4 砼
R 或 R_s（m）		6.726	7.419	8.106
泄漏辐射	TVL（cm）	29	29	29
	TVL_1（cm）	34	34	34
	B	1.92×10^{-7}	1.92×10^{-7}	6.03×10^{-11}
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$ **（μSv/h）**	**3.57×10^{-3}**	**2.94×10^{-3}**	**7.71×10^{-7}**
散射辐射	TVL（cm）	26	26	26
	TVL_1（cm）	26	26	26
	B	2.07×10^{-8}	2.07×10^{-8}	2.56×10^{-12}
	α_{ph}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}
	F（cm^2）	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ **（μSv/h）**	**4.27×10^{-3}**	**3.51×10^{-3}**	**3.63×10^{-7}**
泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）		**7.84×10^{-3}**	**6.45×10^{-3}**	**1.13×10^{-6}**
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）		10	1.25	0.25
评价结果		满足	满足	满足

注：同表 11-4-1。

（5）迷道外墙屏蔽效果预测（k 点）

加速器主射线不向迷道照射，加速器机房内加速器机头位于 o_1 点时，迷道外墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径（射线类型）：o_1→k（漏射线）。

根据图 11-1，o_1 点的泄漏辐射至迷道外墙 k 点的斜射角度很小，以垂直入射保守计算，核算方法同 e、f 点。k 点辐射剂量率计算参数及计算结果见表 11-5。

表 11-5-1 迷道外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数		迷道外墙（k 点）
X（cm）		120 砼
θ（°）		0
X_e（cm）		120 砼
TVL（cm）		31
TVL_1（cm）		35
B		1.81×10^{-4}
R（m）		7.9
f		0.001
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		3.6×10^{8}
相应屏蔽体外关注点剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	**$\dot{H}$估算值**	**1.04**
	$\dot{H}_c$控制值	10
	评价结果	满足

注：$R_{南墙}$=等中心点到迷道外墙外表面距离 7.6m+参考点 0.3m=7.9m。

表 11-5-2 迷道外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

参 数		迷道外墙（k 点）
X（cm）		120 砼
θ（°）		0
X_e（cm）		120 砼
TVL（cm）		29
TVL_1（cm）		34
B		1.08×10^{-4}
R（m）		7.9
f		0.001
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		8.4×10^{8}
相应屏蔽体外关注点剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	**$\dot{H}$估算值**	**1.46**
	$\dot{H}_c$控制值	10
	评价结果	满足

注：同表 11-5-1。

（6）迷道入口处辐射水平核算（g 点）

对≤10MV 的加速器机房，有用线束不向迷道照射，迷道入口应考虑以下辐射。

a、散射辐射

根据图 11-1，射线经患者散射后可经 1 次散射到达 g 点，此时散射面积较小，散射路径较短；也可经 2 次散射到达 g 点，此时散射面积较大，散射路径较长，故本报告对两种散射情况分别进行估算，在计算机房防护门外辐射剂量率时取两者之间的较大值。

a_1、经患者散射后 1 次散射到达 g 点

射线路径（射线类型）：O_2→O→i_1→g（散射射线）。

g 点处的散射辐射剂量率按照公式（11-6）计算，g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-6。

$$\dot{H}_g=\frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2}\cdot\frac{\alpha_2\cdot A}{R_2^2}\dot{H}_0 \qquad （式 11-6）$$

式中：$\dot{H}_0$、F 意义同前文；

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；

$\dot{H}_g$：g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_2：砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目 i_1 处的入射角取 45°，散射角取 30°，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值，22.5×10^{-3}；

A：i_1 处的散射面积，根据图 11-1，o 点和 g 点共同可见宽度约为 1.037m，迷道内口高度为 4m~5.3m，则散射面积保守取 1.037×5.3m=5.5m^2；

R_1：等中心点到 i_1 之间的距离，m；

R_2：i_1 到 g 之间的距离，m。

表 11-6-1 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数		g 点
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）		3.6×10^8
α_{ph}		1.35×10^{-3}
α_2		22.5×10^{-3}
F（cm^2）		1600
R_1（m）		5.42
R_2（m）		10
A（m^2）		5.5
g 点剂量率$\dot{H}_g$（μSv/h）	**估算值**	**81.9**

注：①R_1=等中心点到东墙次屏蔽区内表面距离 3.835m/cos(45°)=5.42m；

②R_2=迷道的长度 8.7m/cos(30°)=10m。

表 11-6-2 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

参 数		g 点
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		8.4×10^{8}
α_{ph}		1.39×10^{-3}
α_2		22.5×10^{-3}
F（cm²）		1600
R_1（m）		5.42
R_2（m）		10
A（m²）		5.5
g 点剂量率$\dot{H}_g$（μSv/h）	**估算值**	**196.7**

注：同表 11-6-1。

a_2、经患者散射后 2 次散射到达 g 点

射线路径（射线类型）：O_2→O→i_2→j→g（散射射线）。

g 点处的散射辐射剂量率按照公式（11-6）计算，在估算时，保守按射线经患者散射后经 1 次散射到达 g 点的计算公式进行计算。

式中：$\dot{H}_0$、F、α_{ph}、$\dot{H}_g$意义同前文；

α_2：砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目 i_2 处的入射角取 45°，散射角取 0°，具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值，22.0×10^{-3}；

A：i_2 处的散射面积，根据图 11-1，o 点和 j 点共同可见宽度约为 3.219m，迷道内口高度为 4m~5.3m，则散射面积为 1.219m×4m+2m×5.3m =15.5m²；

R_1：等中心点到 i_2 之间的距离，m；

R_2：i_2 到 g 之间的距离，m。

表 11-7-1 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数		g 点
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		3.6×10^{8}
α_{ph}		1.35×10^{-3}
α_2		22.0×10^{-3}
F（cm²）		1600
R_1（m）		6.14
R_2（m）		11.8
A（m²）		15.5
g 点剂量率$\dot{H}_g$（μSv/h）	**估算值**	**126.3**

注：①$R_1=\sqrt{3.835^2+4.8^2}$ =6.14m；

②R_2=迷道的长度 8.7m+迷道内墙外表面至防护门的距离 2.8m+参考点 0.3m=11.8m。

表 11-7-2 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

参 数		g 点
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		8.4×10^{8}
α_{ph}		1.39×10^{-3}
α_2		22.0×10^{-3}
F（cm²）		1600
R_1（m）		6.14
R_2（m）		11.8
A（m²）		15.5
g 点剂量率$\dot{H}_g$（μSv/h）	**估算值**	**303.4**

注：同表 11-7-1。

b、泄漏辐射

根据图 11-1，迷道内墙为斜迷道内墙，泄漏射线 O_1→g、O_2→g 穿过迷道内墙的厚度不同，故本项目分别计算加速器机头（靶）在 O_1、O_2 点位置时，g 点的泄漏辐射剂量，即：

射线路径（射线类型）：O_1→g（泄漏射线），O_2→g（泄漏射线）

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 e、f 点。根据图 11-1，O_1 至 g 的泄漏辐射射入迷道内墙的斜射角较大，约为 30°，O_2 至 g 的泄漏辐射射入迷道内墙的斜射角较小，约为 15°。g 点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-8。

表 11-8-1 机房入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数		g 点	
射线路径		O_1→g	O_2→g
X_e（cm）		141.2 砼	134.3 砼
TVL_1（cm）		35	35
TVL（cm）		31	31
B		3.75×10^{-5}	6.26×10^{-5}
R（m）		9.08	8.17
f		0.001	0.001
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
入口门外关注点泄漏辐射剂量率$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	**估算值**	**0.164**	**0.338**
	控制值	0.5	0.5
	评价结果	满足	满足

注：①$R_{(O1→g)}$=O_1 至迷道外墙外表面距离 7.6m/sin(60°)+参考点 0.3m=9.08m；

②$R_{(O2→g)}$=O_2 至迷道外墙外表面距离 7.6m/sin(75°)+参考点 0.3m=8.17m。

表 11-8-2 机房入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

参 数		g 点	
射线路径		O_1→g	O_2→g
X_e（cm）		141.2 砼	134.3 砼
TVL_1（cm）		34	34
TVL（cm）		29	29
B		2.01×10^{-5}	3.48×10^{-5}
R（m）		9.08	8.17
f		0.001	0.001
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
入口门外关注点泄漏辐射剂量率$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	**估算值**	**0.205**	**0.438**
	控制值	0.5	0.5
	评价结果	满足	满足

注：同表 11-8-1。

机房入口门外的总辐射剂量率按公式（11-7）计算，入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-9。

$$\dot{H}=\dot{H}_g\cdot10^{-(X/TVL)}+\dot{H}_{og} \qquad （式 11-7）$$

式中：$\dot{H}_g$、$\dot{H}_{og}$意义同前文；

X：防护门铅屏蔽厚度，cm；

TVL：辐射在铅中的什值层，cm，本项目取 0.5cm。

表 11-9-1 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果（10MV）

参 数		机房入口门外（**g 点**）
$\dot{H}_g$（μSv/h）		126.3
X（cm）		1.5
TVL（cm）		0.5
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）		0.338
入口门外关注点总辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	**估算值**	**0.464**
	控制值	2
	评价结果	满足

注：$\dot{H}_g$取 10MV 下散射辐射较大值 126.3μSv/h，$\dot{H}_{og}$取 10MV 下泄漏辐射较大值 0.338μSv/h。

表 11-9-2 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果（6MV）

参 数		机房入口门外（**g 点**）
$\dot{H}_g$（μSv /h）		303.4
X（cm）		1.5
TVL（cm）		0.5
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）		0.438
入口门外关注点总辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	**估算值**	**0.741**
	控制值	2
	评价结果	满足

注：$\dot{H}_g$取 6MV 下散射辐射的较大值 303.4μSv/h，$\dot{H}_{og}$取 6MV 下泄漏辐射较大值 0.438μSv/h。

2、计算结果汇总

本项目直线加速器机房外地下二层及顶部各关注点处辐射剂量率计算结果汇总见表 11-10。

表 11-10 本项目直线加速器机房外地下二层及顶部各关注点处理论计算结果汇总一览表

位置			关注点对应位置	剂量率估算值（μSv/h）		剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价结果
				10MV	6MV		
加速器机房	东墙	主屏蔽	2 号加速器机房（a 点）	0.1	0.026	10	满足
		次屏蔽	2 号加速器机房（c_1 点、c_2 点）	0.011	7.84×10^{-3}	10	满足
	南墙	迷道外墙	辅助机房（k 点）	1.04	1.46	10	满足
		迷道外墙	3 号加速器控制室（f 点）	1.35×10^{-3}	1.19×10^{-3}	2.5	满足
	西墙	主屏蔽	伽玛刀机房（b 点）	0.1	0.026	10	满足
		次屏蔽	过道（d_1 点、d_2 点）	9.28×10^{-3}	6.45×10^{-3}	1.25	满足
	北墙		配电间和冷冻机房（e 点）	1.1	1.46	4	满足
	顶部	主屏蔽	食堂后厨（l 点）	1.92×10^{-4}	2.42×10^{-5}	1	满足
		次屏蔽	食堂后厨（m_1 点、m_2 点）	2.6×10^{-6}	1.13×10^{-6}	0.25	满足
	防护门		过道（g 点）	0.464	0.741	2	满足

根据表 11-10 可知，当直线加速器以 X 线能量为 10MV 运行时，本项目直线加速器机房外地下二层及顶部各关注点处剂量率估算值为（2.6×10^{-6}~1.1）μSv/h；当直线加速器以 X 线能量为 6MV 运行时，本项目直线加速器机房外地下二层及顶部各关注点处剂量率

估算值为（1.13×10^{-6}~1.46）μSv/h，能够满足本项目直线加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

二、本项目直线加速器机房外地下一层辐射环境影响分析

本项目直线加速器机房外地下一层关注点设置见图 11-2。

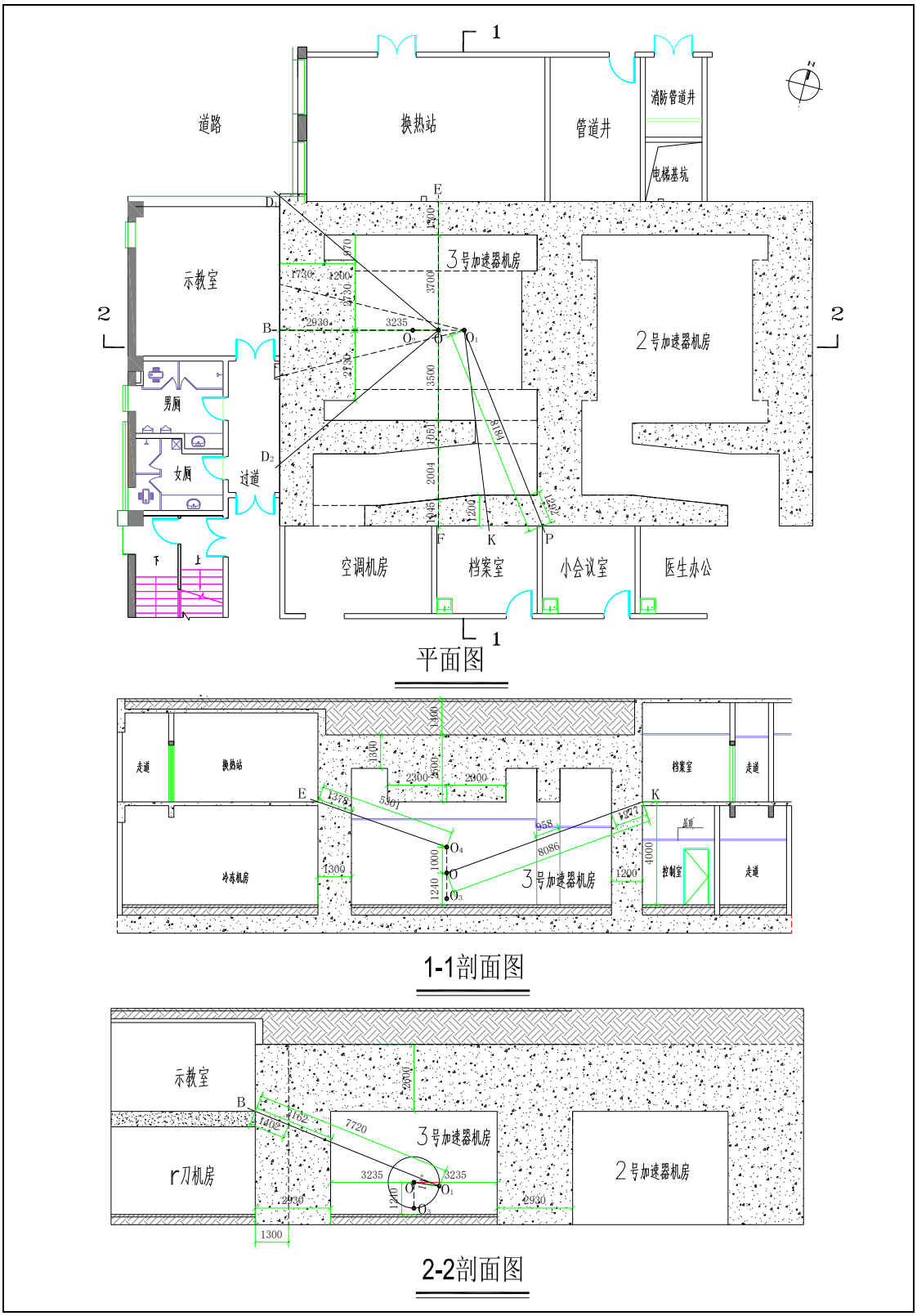


图 11-2　本项目直线加速器机房外地下一层关注点设置示意图（单位：mm）

根据图 11-1 和图 11-2，本项目直线加速器辐射源点至机房南侧地下二层控制室（f 点）和辅助机房（k 点）、西侧地下二层伽玛刀机房（b 点）和过道（d_1 点、d_2 点）、北侧冷冻机房（e 点）的关注点为垂直入射，而至机房南侧地下一层（F 点、K 点）、西侧地下一层示教室（B 点）、医院道路（D_1 点）和过道（D_2 点）、北侧地下一层换热站（E 点）的关注点为斜射，上述地下一层各关注点至辐射源点的距离及屏蔽防护厚度均大于相对应地下二层各关注点至辐射源点的距离及屏蔽防护厚度，故上述地下一层各关注点处的辐射剂量率小于相对应地下二层各关注点处的辐射剂量率，本项目上述地下一层各关注点处的辐射剂量率均保守取相对应地下二层各关注点处的辐射剂量率。

本项目直线加速器机房南侧地下一层小会议室（P 点）处的辐射剂量率核算方法同 k 点，P 点辐射剂量率计算参数及计算结果见表 11-11。

表 11-11-1 加速器机房南侧地下一层小会议室处辐射剂量率计算结果（10MV）

参 数		迷道外墙（P 点）
路径		O_1→P
X_e（cm）		129.2 砼
TVL（cm）		31
TVL_1（cm）		35
B		9.15×10^{-5}
R（m）		8.484
f		0.001
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		3.6×10^{8}
相应屏蔽体外关注点剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	**$\dot{H}$估算值**	**0.458**
	$\dot{H}_c$控制值	4
	评价结果	满足

表 11-11-2 加速器机房南侧地下一层小会议室处辐射剂量率计算结果（6MV）

参 数	迷道外墙（P 点）
路径	O_1→P
X_e（cm）	129.2 砼
TVL（cm）	29
TVL_1（cm）	34
B	5.21×10^{-5}
R（m）	8.484

f		0.001
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		8.4×10^8
相应屏蔽体外关注点剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	**$\dot{H}$估算值**	**0.609**
	$\dot{H}_c$控制值	4
	评价结果	满足

本项目直线加速器机房外地下一层各关注点处辐射剂量率计算结果汇总见表 11-12。

表 11-12 本项目直线加速器机房外地下一层各关注点处理论计算结果汇总一览表

位置			关注点对应位置	剂量率估算值（μSv/h）		剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价结果
				10MV	6MV		
加速器机房	南墙	迷道外墙	档案室（K 点）	1.04	1.46	4	满足
		迷道外墙	空调机房和档案室（F 点）	1.35×10^{-3}	1.19×10^{-3}	4	满足
		迷道外墙	小会议室（P 点）	0.458	0.609	4	满足
	西墙	主屏蔽	示教室（B 点）	0.1	0.026	10	满足
		次屏蔽	医院道路（D_1 点）	9.28×10^{-3}	6.45×10^{-3}	4	满足
			过道（D_2 点）	9.28×10^{-3}	6.45×10^{-3}	1.25	满足
	北墙		换热站（E 点）	1.1	1.46	4	满足

根据表 11-12 可知，当直线加速器以 X 线能量为 10MV 运行时，本项目直线加速器机房外地下一层各关注点处剂量率估算值为（1.35×10^{-3}~1.1）μSv/h；当直线加速器以 X 线能量为 6MV 运行时，本项目直线加速器机房外地下一层各关注点处剂量率估算值为（1.19×10^{-3}~1.46）μSv/h，也能够满足本项目直线加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

三、本项目加速器与现有加速器、伽玛刀、模拟定位 CT 叠加辐射影响分析

本项目 3 号加速器机房东侧依次为 2 号加速器机房、1 号加速器机房，西侧为伽玛刀机房，而距 CT 模拟定位机房相对较远，故本项目加速器与现有加速器和伽玛刀会对周围环境产生叠加辐射影响。

根据医院提供的放射治疗工作场所 2023 年度检测报告（附件 9）可知，医院放疗科现有加速器和伽玛刀在正常运行时，各机房周围辐射剂量率扣除环境本底值后＜MDL，故本项目加速器与放疗科现有加速器和伽玛刀对周围环境的叠加辐射影响也能够满足本项目加速器机房周围剂量当量率参考控制水平。

11.2.2 后装机运行阶段对环境的影响

1、估算模式选取

根据《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）中贮源器表面 5cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50μSv/h，贮源器表面 100cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h。本项目在后装机贮源状态时，经机房墙体和防护门的屏蔽后，贮源器里的放射源对机房周围环境辐射影响很小。而后装机在出源治疗时，放射源全部被传送至施源器，则机房四周墙体和屋顶主要受到放射源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和屋顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。故本项目主要考虑后装机出源治疗时对机房外的辐射影响。

本项目采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中推荐的后装治疗机房的计算方法进行理论计算。本项目后装机在机房的摆放位置见图 11-3。

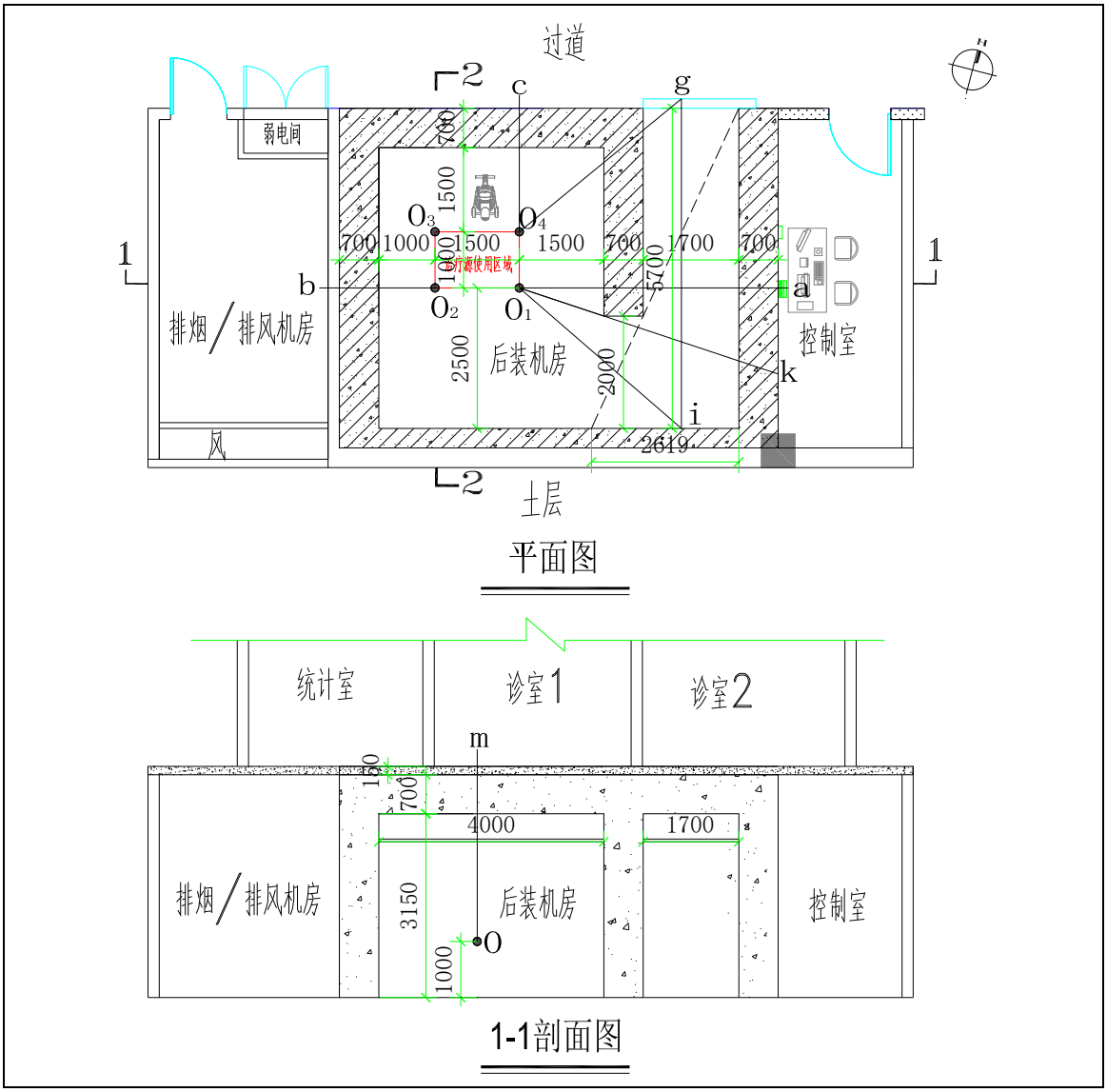


图 11-3 本项目后装机房外关注点设置示意图（单位：mm）

图中红色实线区域为治疗源的使用区域，后装机出源点 o_1（o_4）距东墙外参考点 a 距离最近，出源点 o_2（o_3）距西墙外参考点 b 距离最近，出源点 o_3（o_4）距北墙外参考点 c 距离最近，此时机房外参考点剂量率最大。当后装机出源点位于 o_1 位置时，后装机造成机房入口散射剂量率最大。

2、估算结果

（1）初级辐射屏蔽厚度与剂量估算

采用 GBZ/T 201.3-2014 中的公式计算后装机房初级辐射屏蔽。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad （式 11-8）$$

式中，

$\dot{H}_0$：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

$$\dot{H}_o = A \cdot K_r \qquad （式 11-9）$$

A：放射源活度，MBq；

K_γ：放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，根据 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，本项目 ^{192}Ir 为 0.111μSv/（h·MBq）；

f：对有用线束为 1；

R：辐射源至关注点的距离，m；

B：屏蔽物质的屏蔽透射因子。在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式（11-10）计算有效厚度 Xe（cm），再按照公式（11-11）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B；

$$Xe = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \qquad （式 11-10）$$

式中，

X：设计屏蔽厚度，cm；

θ：斜射角。

计算时，本项目保守将屏蔽墙厚即作为等效厚度，这样是偏安全的。

$$B = 10^{-（Xe+TVL-TVL1）/TVL} \qquad （式 11-11）$$

式中，TVL_1（mm）和 TVL（mm）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。可查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.1。本项目中，对应 ^{192}Ir，混凝土 TVL_1=TVL=152mm；铅 TVL_1=TVL=16mm。

本项目后装机房四周墙体和屋顶参考点位辐射水平估算结果见表 11-13。

表 11-13 本项目后装机房四周墙体和屋顶参考点位辐射水平估算结果

	东侧迷道外墙（a 点）	东侧迷道外墙（k 点）	西墙（b 点）	北墙（c 点）	顶部（m 点）	防护门（g 点）
设计厚度（mm）	700 砼 +700 砼	700 砼	700 砼	700 砼	700 砼 +150 砼	700 砼 +10mmPb
A（MBq）	370000	370000	370000	370000	370000	370000
K_γ（μSv/（h·MBq））	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
f	1	1	1	1	1	1
R（m）	4.9	4.9	2	2.5	3.3	3.41
TVL/TVL_1 (mm)	152	152	152	152	152	152（砼），16（铅）
B	6.16×10^{-10}	2.48×10^{-5}	2.48×10^{-5}	2.48×10^{-5}	2.56×10^{-6}	5.88×10^{-6}
$\dot{H}$（μSv.h^{-1}）	**1.05×10^{-6}**	**0.042**	**0.255**	**0.163**	**0.01**	**0.021**
$\dot{H}_c$控制值（μSv.h^{-1}）	2.5	2.5	4	1.25	0.25	2
评价	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①$R_{(o1\text{-}a)}$=源至东侧迷道内墙距离 1.5m+迷道内墙 0.7m+迷道 1.7m+迷道外墙 0.7m+参考点 0.3m=4.9m；

②$R_{(o2\text{-}b)}$=源至西墙距离 1m+西墙 0.7m+参考点 0.3m=2m；

③$R_{(o3\text{-}c)}$=源至北墙距离 1.5m+北墙 0.7m+参考点 0.3m=2.5m；

④o_3-k 穿迷道外墙的斜射角较小，保守取 0°，$R_{(o1\text{-}k)}$=$R_{(o1\text{-}a)}$=4.9m；

⑤$R_{(o\text{-}m)}$=源至顶部距离 2.15m+顶部 0.7m+楼板 0.15m+参考点 0.3m=3.3m；

⑥$R_{(o4\text{-}g)}$=$\sqrt{2.2^2+2.2^2}$m+参考点 0.3m=3.41m。

（2）机房入口散射剂量估算

治疗源在 O_3 点 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）通过迷路散射至机房入口 g 产生的散射辐射剂量率$\dot{H}$，采用 GBZ/T 201.3-2014 中公式 11-12 计算。

$$\dot{H}=\frac{A\cdot K_\gamma\cdot S_w\cdot \alpha_w}{R_1^2\cdot R_2^2} \qquad （式 11-12）$$

式中，

A 为放射源的活度，370000MBq；

K_γ 为放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，见 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，本项目 ^{192}Ir 为 0.111μSv/（h·MBq）；

S_w 为迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，本项目为宽 2.619m×高 3.15m=8.25m^2；

α_w为散射体散射因子，3.5×10^{-2}（查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.4，保守取 0.25MeV 的 45°入射辐射和 15°反散射的散射因子）；

R_1为辐射源至散射体中心点的距离，o_1-i=2.5m/sin（45°）=3.54m；

R_2为散射体中心点至关注点的距离，i-g=迷道长 5.7m+关注点 0.3m=6m。

将以上参数代入公式（11-12），可计算得治疗源在 o_1 点 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）通过迷路散射至机房入口 g 产生的散射辐射剂量率$\dot{H}$为 26.3μSv/h。

机房入口屏蔽前的散射辐射剂量率为 26.3μSv/h，机房入口处设置 10mmPb 的防护门，根据（GBZ/T201.3-2014）中附录 F 可知，在 g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL_1=TVL 为 5mm，可计算得到 $B=1\times10^{-2}$，则经过机房入口防护门的屏蔽，门外散射辐射剂量率将降低至 0.263μSv/h，叠加透射辐射剂量率 0.021μSv/h，机房入口处总辐射剂量率为 0.284μSv/h，小于剂量率参考控制水平的 2μSv/h 的要求。

综上所述，本项目在后装机出源治疗时，后装机房墙体、顶、防护门外各关注点处剂量率为（1.05×10^{-6}~0.284）μSv/h，能够满足本项目后装机房外剂量率参考控制水平。

3、首次装源、换源辐射环境影响分析

新购买的放射源放置在 30mm 铅当量的储源罐中由放射源生产厂家运至医院后装机房内，并由后装机生产厂家的工程师进行倒源和调试。

放射源 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天，一般每年需要更换 2 次 ^{192}Ir 放射源。换源时，首先由放射源生产厂家将新源运至医院后装机房内，由后装机生产厂家的工程师在后装机房内进行换源、调试，本项目辐射工作人员仅在机房外负责辅助协调工作。后装机换源过程大约需要 30min，后装机在出源治疗和贮源状态时机房外各关注点处辐射剂量率最大为 0.284μSv/h，则换源过程所致机房外人员年受照剂量最大为 2.84×10^{-4}mSv（居留因子保守取 1），对机房周围环境辐射影响很小，该过程所致本项目后装机辐射工作人员和周围公众的年有效剂量可忽略不计。

4、本项目后装机与现有加速器、伽玛刀、模拟定位 CT 叠加辐射影响分析

本项目后装机房与现有加速器机房、伽玛刀机房、CT 模拟定位机房相对较远，对周围环境产生的叠加辐射影响很小，可忽略不计。

11.3 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff}=K_a\cdot t\cdot T\cdot U \qquad （式 11-13）$$

上式中：

D_{Eff}－参考点人员有效剂量（Sv）；

K_α－参考点的周围剂量当量率（$Sv\cdot h^{-1}$）；

t－参考点处受照时间（h）；

T－居留因子；

U－使用因子。

11.3.1 辐射工作人员年有效剂量评价

医院放疗科物理师和医师主要负责制定患者的治疗方案和放疗计划，在每位患者首次治疗时才需要进入加速器控制室，其受照剂量远低于操作技师的年受照剂量，故本项目保守估算操作技师的年有效剂量代替所有辐射工作人员的年有效剂量。

1、本项目所致年有效剂量

（1）本项目所致直线加速器辐射工作人员年有效剂量

本项目直线加速器操作过程所致辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-14。

表 11-14 本项目直线加速器操作过程所致辐射工作人员年有效剂量估算

保护目标	工作位置	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年出束时间（h）	居留因子	使用因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
辐射工作人员	控制室内	迷道外墙表面 30cm（f 点）	1.35×10^{-3}	1000	1	1	1.35×10^{-3}	**0.092**
	辅助机房内	迷道外墙表面 30cm（k 点）	1.46	1000	1/16	1	0.091	
	相邻机房内	2 号加速器机房或伽玛刀机房（a 点或 b 点）	0.1	1000	1/2	1/4	0.013	**0.013**

注：2 号加速器、伽玛刀所致本项目加速器机房内的辐射剂量率＜MDL，所致辐射影响可忽略不计。

此外，根据《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》，X 射线能量为 10MV 的直线加速器在停止出束 10s 后，摆位处的辐射剂量率为（0.21~0.52）μSv/h，本项目加速器日门诊量不超过 60 人次，年工作 250 天，平均每位患者摆位时间取 2min，则年摆位时间不超过 500h，摆位处的辐射剂量率保守取最大值 0.52μSv/h，则摆位所致加速器辐射工作人员年有效剂量为 0.26mSv。

（2）本项目所致后装机辐射工作人员年有效剂量

本项目后装机所致辐射工作人员年有效剂量计算结果见表 11-15。

表 11-15 本项目后装机所致辐射工作人员年有效剂量估算

保护目标	工作位置	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年出束时间（h）	居留因子	使用因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
辐射工作人员	控制室内	东侧迷道外墙表面 30cm（a 点）	1.05×10^{-6}	1000	1	1	1.05×10^{-6}	**1.71**
		东侧迷道外墙表面 30cm（k 点）	0.042	1000	1	1	0.042	
	机房内摆位	贮源器表面 1m 处	保守取 5	333	1	1	1.67	

注：本项目后装机日门诊量不超过 40 人次，年工作 250 天，平均每位患者摆位时间取 2min，则年摆位时间为 333h。

综上，本项目直线加速器所致辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.352mSv（0.092mSv+0.26mSv），后装机所致辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.71mSv，满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

2、叠加影响分析

医院放疗科现有 21 名操作技师，分为 2 人一组，定期轮岗，共同负责本项目直线加速器和后装机以及放疗科现有的 1 号直线加速器、2 号直线加速器、伽玛刀和 2 台模拟定位 CT。根据医院提供的辐射工作人员 2023 年度个人剂量检测报告（附件 10），医院放疗科现有 21 名操作技师操作现有直线加速器、伽玛刀、模拟定位 CT、后装机所致年有效剂量最大为 0.14mSv，具体检测结果见表 11-16。

表 11-16 医院放疗科现有辐射工作人员个人剂量统计一览表（mSv）

序号	姓名	2023 年 第 1 季度	2023 年 第 2 季度	2023 年 第 3 季度	2023 年 第 4 季度	年有效剂量
1	包君楷	/	＜MDL	＜MDL	0.11	**0.11**
2	陈新	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	**＜MDL**
3	狄晓珂	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	**＜MDL**
4	戴薇	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.04	**0.04**
5	杜星宇	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.10	**0.10**
6	黄普胜	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	**＜MDL**
7	李锦东	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	**＜MDL**
8	李顺梅	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.12	**0.12**
9	刘成洋	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.09	**0.09**
10	卢星辰	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.11	**0.11**
11	肖尧	/	＜MDL	/	0.12	**0.12**
12	许晓燕	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.14	**0.14**
13	李金凯	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.04	**0.04**
14	张志远	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.09	**0.09**
15	郑海伦	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	**＜MDL**
16	周益莹	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	**＜MDL**
17	丁小凤	＜MDL	＜MDL	＜MDL	0.05	**0.05**
18	钱怡	未上岗	未上岗	未上岗	＜MDL	**＜MDL**
19	王鑫	未上岗	未上岗	未上岗	＜MDL	**＜MDL**
20	顾宵寰	/	/	＜MDL	0.05	**0.05**
21	胡晓伟	＜MDL	＜MDL	＜MDL	＜MDL	**＜MDL**

本项目保守假设辐射工作人员原有工作量保持不变，且本项目直线加速器、后装机分别各由一组辐射工作人员负责，则叠加本项目所致辐射工作人员年有效剂量最大值1.71mSv 后，本项目辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.85mSv（0.14mSv+1.71mSv），仍能满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

11.3.2 公众年有效剂量评价

1、本项目所致年有效剂量

将相关参数代入公式（11-13），本项目直线加速器所致周围公众年有效剂量计算结果见表 11-17，后装机所致周围公众年有效剂量计算结果见表 11-18。

表 11-17 本项目直线加速器所致周围公众年有效剂量估算

关注对象	参考点位置（参考点）	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年受照时间（h）	居留因子	使用因子	年有效剂量（mSv）
机房南侧地下二层过道处公众	防护门表面 30cm（g 点）	0.741	1000	1/8	1	**0.093**
机房南侧地下一层档案室处公众	迷道外墙表面 30cm（K 点）	1.46	1000	1/16	1	**0.091**
机房南侧地下一层空调机房处公众	迷道外墙表面 30cm（F 点）	1.35×10^{-3}	1000	1/16	1	**8.44×10^{-5}**
机房南侧地下一层小会议室处公众	迷道外墙表面 30cm（P 点）	0.609	1000	1/16	1	**0.038**
机房西侧地下二层过道处公众	西墙次屏蔽区表面 30cm（d_1 点、d_2 点）	9.28×10^{-3}	1000	1/5	1	**1.86×10^{-3}**
机房西侧地下一层过道处公众	西墙次屏蔽区表面 30cm（D_2 点）	9.28×10^{-3}	1000	1/5	1	**1.86×10^{-3}**
机房西侧地下一层示教室处公众	西墙次屏蔽区表面 30cm（B 点）	0.1	1000	1/16	1/4	**1.56×10^{-3}**
机房西侧地下一层医院道路处公众	西墙次屏蔽区表面 30cm（D_1 点）	9.28×10^{-3}	1000	1/16	1	**5.8×10^{-4}**
机房北侧地下二层配电间和冷冻机房处公众	北墙表面 30cm（e 点）	1.46	1000	1/16	1	**0.091**
机房北侧地下一层换热站处公众	北墙表面 30cm（E 点）	1.46	1000	1/16	1	**0.091**
机房楼上食堂后厨处公众	顶部主屏蔽区表面 30cm（l 点）	1.92×10^{-4}	1000	1	1/4	**4.8×10^{-5}**

表 11-18 本项目后装机所致周围公众年有效剂量估算

关注对象	参考点位置（参考点）	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年受照时间（h）	居留因子	使用因子	年有效剂量（mSv）
机房西侧排烟/排风机房处公众	西墙表面 30cm（b 点）	0.255	1000	1/16	1	**0.016**

机房北侧过道处公众	北墙表面 30cm（c 点）	0.163	1000	1/5	1	**0.033**
	防护门表面 30cm（g 点）	0.284	1000	1/8	1	**0.036**
机房楼上诊室和统计室处公众	顶部表面 30cm（m 点）	0.01	1000	1	1	**0.01**

根据表 11-17 和表 11-18，本项目直线加速器所致周围公众年有效剂量最大为 0.093mSv，后装机所致周围公众年有效剂量最大为 0.036mSv，50m 评价范围内其他公众距本项目相对较远，经距离的进一步衰减后，基本湮灭在环境本底辐射中，满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

2、叠加影响分析

本项目 3 号加速器机房东侧依次为 2 号加速器机房、1 号加速器机房，西侧为伽玛刀机房，而距 CT 模拟定位机房相对较远，故本项目加速器与现有加速器和伽玛刀会对周围环境产生叠加辐射影响。本项目后装机房与现有加速器机房、伽玛刀机房、CT 模拟定位机房相对较远，对周围环境产生的叠加辐射影响可忽略不计。

根据医院提供的放射治疗工作场所 2023 年度检测报告（附件 9）可知，医院放疗科现有加速器和伽玛刀在正常运行时，各机房周围辐射剂量率扣除环境本底值后＜MDL，所致周围公众附加年有效剂量可忽略不计，故本项目加速器与放疗科现有加速器和伽玛刀所致周围公众叠加年有效剂量仍能满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

综上所述，本项目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。

11.4 三废的治理评价

1、^{192}Ir 废源处理措施评价

医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，报废或退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。

2、废气处理措施评价

本项目直线加速器机房采用该机房原有的机械通风系统，原有机械通风系统包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。加速器机房的送风口位于机房西部吊顶处，室内排风口位于机房东北角距地板高度 40cm 处，且送风口和排风口呈对角线布置，加速器机房内产生的臭氧和氮氧化物由排风管道引至排风井，并由排风井引至 11 号楼楼顶排

放，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目后装机房设计有机械通风系统，包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。后装机房的送风口位于机房东部吊顶处，室内排风口位于机房西部距地板高度40cm 处，且送风口和排风口呈对角线布置，后装机房内臭氧和氮氧化物由排风管道引至排风井，并由排风井引至负一层穿出楼外，并由管道延伸至 11 号楼楼顶排放，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目直线加速器机房的通风系统的排风量为 2500m^3/h，加速器机房内容积（包含迷道容积）约为 348m^3，可使直线加速器机房通风换气约 7 次/h；后装机房的通风系统的排风量不小于 800m^3/h，后装机房内容积（包含迷道容积）约为 101m^3，可使后装机房通风换气约 7 次/h，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）中机房通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。本项目加速器机房和后装机房内产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

3、废水治理措施评价

工作人员产生的生活污水依托医院的污水处理系统进行处置，对周围环境影响较小。

4、固体废弃物治理措施评价

本项目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，工作人员产生的少量办公垃圾依托医院的保洁措施，统一收集后交由环卫部门统一处理，对周围环境影响较小。

综上所述，本项目的废物处置方式恰当、合理，能够满足当前环保管理的要求。

11.5 事故影响分析

1、本项目可能产生的辐射事故主要有：

（1）直线加速器

①门机联锁装置发生故障，人员误入正在运行的加速器机房导致误照射；

②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束治疗，致使人员受到不必要的照射；

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

④操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

⑤加速器设备调试或维修过程中责任者脱岗或操作失误导致的人员误照射事故。

（2）后装机

①门-源联锁装置失灵，出源工作状态下，人员误入机房从而造成不必要的照射，或防护门未完全关闭情况下出源，致使 γ 射线泄漏至机房外造成周围人员受到不必要的照射；

②其它医护人员还未全部撤离机房，即进行出源治疗，人员受到不必要的照射；

③后装机换源过程和治疗过程中出现放射源卡源事故，导致放射源裸露在设备外；

④由于管理不当，导致放射源丢失、被盗；

⑤操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

⑥后装设备调试或维修过程中责任者脱岗或操作失误导致的人员误照射事故；

⑦火灾等突发性事故造成放射源源体破裂，对环境产生重大污染。

2、事故预防措施

（1）每次工作前对直线加速器和后装机工作场所的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行门机/源联锁、紧急停机按钮、工作状态指示灯等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案。一旦发现门机/源联锁系统、紧急停机按钮或工作状态指示灯等存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门机/源联锁系统、紧急停机按钮、工作状态指示灯等辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用。

（2）加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束。

（3）定期对直线加速器、后装机的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账。

（4）后装机机房采取防火、防水、防盗等安全保卫措施，确保放射源的安全。

3、应急处理措施

（1）直线加速器

①如发生误照射，应立即切断电源或按下紧急停机按钮，确保射线装置停止工作；

②立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

③对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

（2）后装机

①如发生误照射，应立即按下紧急停机按钮，使放射源返回后装机的贮源位置；

②若发生放射源卡源、脱源事故，工作人员应立即按下紧急停机按钮，使其自动回

源；当自动回源装置功能失效时，两名工作人员应佩戴个人剂量计立即进入机房，一名工作人员及时将患者转移出机房，另一名工作人员采用手摇柄手动将放射源旋回工作贮源器；若均不能成功，将患者转移出机房后，立即关闭机房防护门，封锁现场并派专人职守，防止无关人员进入机房，同时及时联系生产厂家或厂家指定的维修单位派专业技术人员进行处理，待故障排除后才能重新投入使用；

③当发生放射源丢失、被盗时，应第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射源。

医院应继续加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

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》、《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》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素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；辐射安全与环境保护管理工作人员和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；自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核。

医院已成立了专门的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，并以文件形式明确了各成员管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加并通过辐射安全和防护的培训和考核，合格证书均在有效期内。

本项目直线加速器和后装机由放疗科现有辐射工作人员负责，现有辐射工作人员均已参加“放射治疗”科目的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并已考核合格，满足辐射工作人员的岗位要求。

医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

12.2 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》中的有关要求，江苏省人民医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

医院已开展直线加速器和后装放射治疗多年，相关辐射安全管理规章制度较完善，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

辐射防护和安全保卫制度：已根据射线装置、放射性同位素操作的具体情况制定了相应的辐射防护和安全保卫制度，预防辐射安全事故的发生。

操作规程：明确了辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤。加强辐射工作人员的管理，严禁无证人员操作放射性同位素和射线装置。

岗位职责：明确了辐射工作人员的岗位责任，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。

设备检修维护制度：明确了设备和辐射安全装置等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：建立了射线装置和放射性同位素使用登记制度，明确了射线装置的购买、使用以及放射性同位素的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每月核对，确保账物相符。

人员培训计划：明确了培训对象、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。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确了辐射工作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确了个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确了辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立了个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：购置了相应的监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

事故应急方案：预案中明确了应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

监测异常报告制度：明确了按照相关标准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；当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况

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部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，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。

本项目辐射工作人员应在医院辐射安全与防护领导小组的领导下，继续明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。医院在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

12.3 辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，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，包括个人剂量报警、固定式和便携式辐射监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院已配备 2 台 INSPECTOR 型、1 台 FJ-347A 型、1 台 Biodex inspector 型共 4 台辐射巡测仪，并将分别为本项目直线加速器机房和后装机房各配备 2 台个人剂量报警仪。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

2、监测方案

江苏省人民医院根据辐射管理要求，已制定了如下监测方案：

（1）请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平以及核医学科的表面污染水平进行监测，每年 1～2 次；

（2）辐射工作人员佩带个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（3）所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，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；

（4）利用自配备的辐射监测仪器对医院的辐射工作场所定期进行自主监测，并记录档案。

医院现有核技术利用项目均已认真落实以上监测方案，每年请有资质监测单位对现有辐射工作场所及周围环境辐射水平以及核医学科的表面污染水平进行了监测，并不定期的进行自主监测，监测结果满足相关标准要求。现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未

超过职业人员年剂量管理限值5mSv/a。医院定期组织辐射工作人员进行健康体检，现有辐射工作人员均可从事放射工作或可继续原放射工作，并已按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。医院已于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的评估报告。

本项目运行后，也应落实上述监测方案，方能满足辐射安全管理的要求。本项目监测方案见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	γ辐射剂量率	请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内	①机房四周墙体、顶外30cm； ②各防护门外 30cm，测门表面和四周门缝； ③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置； ④管线孔洞处。	机房外辐射剂量率限值见表7-5~表 7-7
	年度监测	γ辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	γ辐射剂量率	自主监测，建议不少于 1 次/季度		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	/

根据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修订版），当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，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；当发现个人剂量监测结果异常的，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。

12.4 辐射事故应急

依照国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为放射源的丢失、被盗以及开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事故的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已根据现有核技术利用项目制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）辐射事故分级与应急响应措施；

（3）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；

（4）应急演习计划；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序。

江苏省人民医院制定的应急预案有效可行，每年开展辐射应急演习，满足环保相关要求。此外，医院应继续加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

现为满足患者就诊需求和医院的发展规划，医院拟将放疗科 3 号机房由后装机房改回至直线加速器机房，拟对该 3 号机房重新装修，并拟新购 1 台 Elekta Infinity 型直线加速器放置在该 3 号机房内开展肿瘤放射治疗，该 Elekta Infinity 型直线加速器的 X 射线能量最大为 10MV，属于 II 类射线装置；医院同时拟拆除放疗科地下二层的 2 间制模室和 1 间模具间，并拟在该址新建 1 间后装机房，新购 1 枚 ^{192}Ir 放射源，利用原有的 Flexitron HDR 型后装机开展后装放射治疗，该后装机最大装源活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，属于 III 类放射源。

2、实践正当性评价

本项目的投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《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。

3、选址、布局合理性评价

本项目加速器机房和后装机房均位于11号后勤综合楼的底端一角，不邻接儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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”、“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”的要求，以及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端”的要求，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、辅助机房，治疗机房与控制室、辅助机房分开设置，控制室避开有用线束照射区域，治疗机房迷道采用“L”型迷道设计，有用线束不向迷道照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；本项目后装机工作场所设有治疗机房、控制室，治疗机房与控制室分开设置，治疗机房迷道采用直迷道设计。本项目直线加速器和后装机工作场所的布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关要求及《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）中治疗装置控制室应与治疗机房分离的规定以及《放射治疗放射

防护要求》(GBZ 121-2020)中治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗机房应设置迷路等规定，布局合理。

医院拟将本项目加速器治疗机房、后装治疗机房划为控制区，在治疗机房入口处设置电离辐射警告标志，出束期间除病人外禁止任何人员进入；将本项目加速器的控制室和辅助机房、后装机的控制室以及治疗机房防护门外一米区域（在地面粘贴地标并标识监督区）划为监督区，在入口处设置监督区标识，出束期间禁止无关人员进入，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关辐射工作场所的分区规定。

4、辐射防护措施评价

本项目加速器机房经改造后，东墙主屏蔽区为 2930mm 混凝土，次屏蔽区为 1730mm 混凝土；南侧迷道内墙为 900~1300mm 混凝土，迷道外墙为 800~1200mm 混凝土；西墙主屏蔽区为 2930mm 混凝土，次屏蔽区为 1730mm 混凝土；北墙为 1300mm 混凝土；顶部主屏蔽区为 2600mm 混凝土，次屏蔽区为 1300mm 混凝土，防护门为 15mmPb+150mm 含硼石蜡的铅门；加速器机房顶部覆盖 1400mm 厚素混凝土。

本项目后装机房东侧迷道内墙和迷道外墙、西墙、北墙、顶部均为 700mm 混凝土，南墙为 350mm 混凝土+350mm 混凝土隔墙+土层，防护门为 10mmPb 铅门。

根据理论预测及分析，本项目直线加速器机房和后装机房的屏蔽防护设计满足辐射防护要求，场所周围辐射剂量率满足相应剂量率管理限值要求。

5、辐射安全措施评价

本项目直线加速器工作场所拟采取的辐射安全措施主要有：①钥匙控制，②电离辐射警告标志和工作状态指示灯，③门-机联锁装置，④紧急停机按钮，⑤监控及对讲系统，⑥紧急开门按钮，⑦固定式辐射剂量监测系统，⑧安全联锁人工复位。

本项目后装机工作场所拟采取的辐射安全措施主要有：①电离辐射警告标志和工作状态指示灯、②门-源联锁装置、③紧急停机按钮、④监控及对讲系统、⑤紧急开门按钮、⑥固定式辐射剂量监测系统、⑦配备防护设备、⑧双人双锁、⑨安全联锁人工复位等。

落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

6、辐射防护监测仪器评价

医院已配备 4 台辐射巡测仪，并将分别为本项目直线加速器机房和后装机房各配备 2 台个人剂量报警仪。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

7、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目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。

8、^{192}Ir 废源处理措施评价

医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，报废或退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。

9、废气治理措施评价

本项目加速器机房和后装机房内均设有机械通风系统，送风口和排风口呈对角线布置，机房内产生的臭氧和氮氧化物均由 11 号楼楼顶排放，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）中相关要求。本项目直线加速器机房的通风系统的排风量为 2500m^3/h，加速器机房内容积（包含迷道容积）约为 348m^3，可使直线加速器机房通风换气约 7 次/h；后装机房的通风系统的排风量不小于 800m^3/h，后装机房内容积（包含迷道容积）约为 101m^3，可使后装机房通风换气约 7 次/h，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）中机房通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。本项目加速器机房和后装机房内产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

10、辐射安全管理评价

江苏省人民医院已成立了专门的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，并以文件形式明确了各成员的管理职责。医院现有辐射工作人员均已参加并通过了辐射安全和防护的培训和考核，合格证书均在有效期内，并建立了个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院已制定了相应的辐射安全管理规章制度，并具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在落实上述各项辐射防护措施及管理要求后，将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，江苏省人民医院扩建放射治疗项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该单位具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

（1）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，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。

（2）项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

（3）建设项目竣工后，医院应按照国务院生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，验收期限最长不超过 12 个月。

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

附表

“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	医院已成立专门的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，并以文件形式明确了各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和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管理或者至少有 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的要求。	/
辐射安全和防护措施	**加速器机房屏蔽措施:** 东墙主屏蔽区为 2930mm 混凝土，次屏蔽区为 1730mm 混凝土；南侧迷道内墙为 900~1300mm 混凝土，迷道外墙为 800~1200mm 混凝土；西墙主屏蔽区为 2930mm 混凝土，次屏蔽区为 1730mm 混凝土；北墙为 1300mm 混凝土；顶部主屏蔽区为 2600mm 混凝土，次屏蔽区为 1300mm 混凝土，防护门为 15mmPb+150mm 含硼石蜡的铅门；加速器机房顶部覆盖 1400mm 厚素混凝土。 **后装机房屏蔽措施:** 东侧迷道内墙和迷道外墙、西墙、北墙、顶部均为 700mm 混凝土，南墙为 350mm 混凝土+350mm 混凝土隔墙+土层，防护门为 10mmPb 铅门。	辐射工作场所表面外辐射剂量率满足本项目辐射剂量管理限值要求，辐射工作人员和周围公众年有效剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：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。	118.0
	直线加速器工作场所辐射安全措施： ①钥匙控制，②电离辐射警告标志和工作状态指示灯，③门-机联锁装置，④紧急停机按钮，⑤监控及对讲系统，⑥紧急开门按钮，⑦固定式辐射剂量监测系统，⑧安全联锁人工复位。 **后装机工作场所辐射安全措施：** ①电离辐射警告标志和工作状态指示灯、②门-源联锁装置、③紧急停机按钮、④监控及对讲系统、⑤紧急开门按	满足《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》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。	

	钮、⑥固定式辐射剂量监测系统、⑦配备防护设备、⑧双人双锁、⑨安全联锁人工复位等。		
人员配备	本项目辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。	/
	本项目辐射工作人员配备个人剂量计，每 3 个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。	
	本项目辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。	
监测仪器和防护用品	已配备 4 台辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和防护用品的配置要求。	1.0
	还应配备 4 台个人剂量报警仪。		
辐射安全管理制度	已制定《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度，在之后的实际工作中落实到实处。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/
通风措施	机房内设置机械通风系统，送风口和排风口呈对角线布置，加速器机房的通风系统的排风量为 2500m^3/h，后装机房的通风系统的排风量不小于 800m^3/h，通风换气次数不低于 4 次/h。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关通风要求。	10.0
^{192}Ir 废源处置措施	报废或退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，最终由原生产厂家回收处置。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。	/

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行。