编号：ZFHK-FB22220002

ZFHK-FB22220051

核技术利用建设项目

常熟市第一人民医院核技术利用项目

环境影响报告表

（报批稿）

常熟市第一人民医院（常熟市职业病医院）

2023 年 **6** 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

常熟市第一人民医院核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：常熟市第一人民医院（常熟市职业病医院）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省常熟市书院街 1 号

邮政编码：215500 联系人 [redacted]

电子邮箱 [redacted] 联系电话 [redacted]

目录

表 1 项目概况.....1
表 2 放射源.....8
表 3 非密封放射性物质.....8
表 4 射线装置.....9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....10
表 6 评价依据.....11
表 7 保护目标与评价标准.....14
表 8 环境质量和辐射现状.....24
表 9 项目工程分析与源项.....30
表 10 辐射安全与防护.....53
表 11 环境影响分析.....73
表 12 辐射安全管理.....104
表 13 结论与建议.....110
表 14 审批.....114

表 1 项目概况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">常熟市第一人民医院核技术利用项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">常熟市第一人民医院（常熟市职业病医院）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">江苏省常熟市书院街 1 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">常熟市第一人民医院 9 号楼 1 层，7 号楼西南侧治疗中心</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>2000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>300</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>15%</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>/</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 建设单位概况

常熟市第一人民医院（常熟市职业病医院，以下简称“医院”），建院于 1949 年，拥有 70 多年悠久历史，是一所集医疗、教学、科研为一体的大型综合性医院。医院拥有本部和滨江两个院区，本部位于江苏省常熟市书院街 1 号，滨江院区位于常熟市经济技术开发区永嘉路，共开放床位 1320 张，在职职工 2043 人，卫技 1822 人，拥有 1 个江苏省重点专科、2 个苏州市重点学科、11 个苏州市级临床重点专科、16 个常熟市临床重点专科，并成功创建国家胸痛中心、卒中中心、房颤中心、VTE 防治中心及苏州市五大救治中心。

常熟市第一人民医院现持有苏州市生态环境局颁发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[E1195]，发证日期 2022 年 11 月 14 日，有效期至 2027 年 11 月 13 日。

1.2 内容和规模

为更好的满足常熟市及周边城区患者的医疗需求，拓展医院服务范围，提高医院医疗水平，提升医院综合竞争力及可持续发展能力，常熟市第一人民医院拟在本部院区开展核技术利用项目，内容包括新建核医学科和新建放疗科治疗中心。

（1）核医学科

本项目拟利用本部院区原有 9 号楼（地上三层，无地下层）闲置 1 层建设核医学科。9 号楼 1 层原有墙体为 240mm 实心砖，本次建设涉及墙体改动及辐射防护措施的增加，医院拟在尽量保留原有墙体的情况下，对整个 1 层区域进行重新布局，并按照核医学场所辐射安全防护要求进行防护措施的施工。

核医学科建设内容包括 1 间 SPECT/CT 机房及其操作间、卫生通过间、分装注射室、储源室、废物间、敷贴室、注射后候诊室（内设专用卫生间）、留观室、甲功室废水处理间及衰变池、通风系统等，配套附属房间建设内容包括医生办公室、护士站、谈话沟通间、库房等。

核医学科新增 1 台 SPECT/CT，并使用 ^{99m}Tc 用于显像诊断；使用 ^{89}Sr 用于骨转移癌治疗；使用 ^{131}I 用于甲亢治疗和甲状腺功能测定；使用 ^{32}P 用于敷贴治疗。

根据医院提供的资料，本项目核医学患者均采用提前预约制，根据预约进行定药、敷贴器制作，通过叫号系统，分时段管控患者的就诊时间，避免患者之间交叉影响。

①SPECT/CT 显像诊断：新增 1 台 SPECT/CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属于III类射线装置），使用 ^{99m}Tc 用于显像诊断，预计日诊断人数不超过 20 人，年门诊量最大为 5000 人（每周 5 天，年 50 周），单人最大用量为 9.25×10^{8}Bq（25mCi）。

②骨转移癌治疗：使用放射性核素 ^{89}Sr 进行骨转移癌治疗，预计日治疗人数不超过 2 人，年门诊量最大 100 人（每周集中安排 1 天，年 50 周），单人最大用量为 1.48×10^{8}Bq（4mCi）。

③甲亢治疗：使用放射性核素 ^{131}I 进行甲亢门诊，预计日门诊量不超过 10 人，年门诊量最大 500 人（每周集中安排 1 天，年 50 周），单人最大用量为 3.70×10^{8}Bq（10mCi）。

④甲状腺功能测定：使用放射性核素 ^{131}I 进行甲状腺功能测定，预计日治疗人数不超过 2 人，年门诊量最大为 500 人（每周 5 天，年 50 周），单人最大用量为 1.85×10^{5}Bq

（0.005mCi）。

⑤敷贴治疗：使用放射性核素 ^{32}P 进行敷贴治疗，预计日治疗人数不超过 15 人，年门诊量最大为 1875 人（每周集中安排 2 天或 3 天，年 50 周，125 工作日/年，本项目保守按照每周安排 3 天进行分析），单人最大用量为 7.4×10^{7}Bq（2mCi）。

表 1-1　本项目核医学科使用核素诊疗用药情况

使用核素	物理状态	日最大诊断人数	年最大诊断人数	单人次最大使用量	给药方式	诊断治疗项目
^{99m}Tc	液体	20 人	5000 人	9.25×10^{8}Bq（25mCi）	静脉注射	显像诊断
^{89}Sr	液体	2 人	100 人	1.48×10^{8}Bq（4mCi）	静脉注射	骨癌治疗
^{131}I	液体	10 人	500 人	3.70×10^{8}Bq（10mCi）	口服	甲亢治疗
^{131}I	液体	2 人	500 人	1.85×10^{5}Bq（0.005mCi）	口服	甲状腺功能测定
^{32}P	液体	15 人	1875 人	7.4×10^{7}Bq（2mCi）	敷贴	敷贴治疗

（2）放疗科治疗中心

本项目拟于本部院区 7 号楼西南侧（原为停车场）新建 1 座治疗中心（共 1 层），内设 1 间直线加速器机房、控制室、辅助机房、等候区等，并新增 1 台医用电子直线加速器（X 射线最大能量为 10MV，电子线最大能量为 22MeV，属 II 类射线装置），配套使用 1 套锥形束 CT（CBCT）影像引导设备（最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA），用于开展肿瘤治疗。

表 1-2　本项目拟使用射线装置一览表

装置名称	型号	类别	最大能量	工作场所名称
电子直线加速器	待定	II类	X 射线：10MV、6MV 电子线：22MeV	7 号楼西南侧治疗中心直线加速器机房
		III类	CBCT：最大管电压 150kV 最大管电流 1000mA	

（3）本项目建设内容汇总

本项目建设情况表如表 1-3 和表 1-4 所示。

表 1-3　本项目所涉及非密封放射性物质一览表

工作场所	放射性核素名称	活动种类	计划日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）		年最大用量（Bq）	用途	场所等级
核医学科	^{99m}Tc	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^{7}	7.51×10^{8}	4.63×10^{12}	显像诊断	乙级
	^{89}Sr	使用	2.96×10^{8}	2.96×10^{7}		1.48×10^{10}	骨癌治疗	
	^{131}I	使用	3.70×10^{9}	3.70×10^{8}		1.85×10^{11}	甲亢治疗	
	^{131}I	使用	3.70×10^{5}	3.70×10^{4}		9.25×10^{7}	甲状腺功能测定	
	^{32}P	使用	3.33×10^{9}	3.33×10^{8}		1.39×10^{11}	敷贴治疗	

注：^{32}P 每周集中送 1 次药，并在送药当天制作一周所需的敷贴器，因此 ^{32}P 日最大操作量和日等效最大操作量保守按照每周安排 3 日进行计算。^{32}P 单人次最大使用量 7.4×10^{7}Bq，日治疗 15 人，每周 3 日则日最大等效操作量 7.4×10^{7}Bq×15 人/天×3 天=3.33×10^{9}Bq。

表 1-4　本项目所涉及射线装置一览表

场所项目	装置名称	类别	数量	参数			用途	工作场所	备注
				射线种类	最大射线能量	最大剂量率			
放疗科	电子直线加速器（带有CBCT 设备）	II类	1台	X 射线	6MV	6Gy/min	放疗治疗	7 号楼西南侧治疗中心直线加速器机房	新增
						14Gy/min（FFF 模式）			
					10MV	6Gy/min			
						24Gy/min（FFF 模式）			
				电子线	22MeV	/			
				CBCT：最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA					
核医学科	SPECT/CT	III类	1台	最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA			显像诊断	9 号楼 1 层核医学科	新增

1.3 任务由来

本次环评内容包括使用II、III类射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所。根据《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），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用II类射线装置、乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。

因此，常熟市第一人民医院（常熟市职业病医院）委托中辐环境科技有限公司开展“常熟市第一人民医院核技术利用项目（简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、收集资料、委托辐射环境质量现状监测等工作，并结合项目特点，按照《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）等规定要求编制了本报告表。

1.4 项目选址及周边环境保护目标

1.4.1 医院地理位置

本项目建设地点位于常熟市第一人民医院本部院区，医院地理位置见附图 1。

本部院区位于江苏省常熟市书院街 1 号，医院东侧为书院街，隔路为小榆树头居民区；南侧为环城西路，隔路为山前塘；西侧紧邻医院宿舍；北侧为荷香馆路，隔路为荷香馆小区，周边环境关系详见附图 2。

1.4.2 项目周边环境关系

本项目拟在医院本部院区原有闲置 9 号楼 1 层建设核医学科，9 号楼内部东侧为预留放免实验室、骨密度机房及其操作室，9 号楼平面布局图见附图 5。9 号楼东侧 10m 处为核医学科废水处理间和立体停车楼，22m 处为仓库，43m 处为污水处理站，

46m 处为元宝桥泵站，65m 处为 10 号楼；南侧 14m 处为门卫室，33m 处为环城西路；西侧 19m 处为地下停车库，20m 处为 1 号 2 号楼住院部；北侧紧邻停车场；东北侧 26m 处为图书馆。医院平面布置详见附图 3。

本项目直线加速器机房拟建于 7 号门诊楼西南侧治疗中心。机房东侧 3m 处为 7 号门诊楼；南侧 24m 处为停车场，41m 处为 10 号楼；西南侧 39m 处为污水处理站，41m 处为元宝桥泵站；西北侧 45m 处为 5 号楼；北侧 5m 处为 7 号门诊楼；东北侧 50m 处为 6 号楼急诊。医院平面布置详见附图 3。

1.4.3 选址合理性分析

结合辐射工作场所的选址原则，医院拟将核医学科设置在 9 号楼 1 层，放疗科电子直线加速器拟设置在 7 号门诊楼西南侧治疗中心。

（1）核医学科选址合理性分析

本项目所在 9 号楼为单独建筑，1 层拟设为核医学科，2、3 层均为闲置，拟设为核医学配套用房，不设置其它科室使用。故本项目核医学科不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科放射性废气由风机抽排至 9 号楼楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置。根据后文环境影响分析可知，经采取相应防护治理措施后，电离辐射对周围环境与公众的影响是可接受的。核医学科衰变池设置于 9 号楼东侧 10m 处废水处理间内，周围活动人员较少，其选址便于核医学科放射性废液的收集衰变。

综合上述，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于核医学工作场所选址的相关要求，项目选址合理。

（2）放疗科选址合理性分析

本项目放疗科直线加速器机房位于医院内 7 号门诊楼西南侧治疗中心内，治疗中心为单独建筑，共 1 层，无地下层。机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，且避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《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）关于放射治疗场所选址的相关要求，项目选址合理。

1.4.4 本项目的环境保护目标

本项目拟建核医学科和直线加速器机房均位于医院本部院区内，项目用地属于医

疗卫生用地，周围无环境制约因素。根据医院平面布局及现场调查，本项目辐射工作场所边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑、道路、停车场及南侧环城西路，主要环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员及上述区域内活动的其他医患人员等公众，评价范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。项目运营过程产生的电离辐射，经采取满足标准要求的辐射防护及管理措施后对周围环境辐射影响是可接受的，故本项目的选址合理。

1.5 工作人员及工作制度

本项目核医学科拟配置 7 名辐射工作人员，放疗科直线加速器拟配置 4 名辐射工作人员，实行 8h 单班工作制度，每周工作 5 天，年工作 250 天。

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》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目新增辐射工作人员应在生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别的培训并考核，取得合格成绩单后方可上岗，并按时接受再培训。

1.6 产业政策符合性和实践正当性分析

1.6.1 产业政策符合性分析

本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）中第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 6 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，因此，本项目符合国家产业政策要求。

1.6.2 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在核技术利用项目开展过程中，对非密封放射性物质和射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对非密封放射性物质和射线装置的安全管理将建立相应的操作规程和辐射安全规章制度。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.6.3“三线一单”符合性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域，具体见附图 9。

对照《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）和《苏州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（苏环办字〔2020〕313 号），本项目所在区域为一般管控单元，不占用优先保护单元，具体见附图 10。本项目未占用生态红线区域，不属于耗能高、产能过剩的产业；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”生态环境分区管控方案》和《苏州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》的相关要求。

1.7 原有核技术利用项目许可情况

医院目前已取得苏州市生态环境局颁发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[E1195]，许可种类和范围为“使用II类、III类射线装置”，有效期至 2027 年 11 月 13 日。许可内容包含使用 1 台电子直线加速器、2 台 DSA 以及 27 台 CT 等III类射线装置。

医院辐射安全许可证件见附件 3。

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（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
1	^{99m}Tc	液态，低毒，半衰期 6.02h	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^{7}	4.63×10^{12}	显像诊断	很简单操作	9 号楼 1 层 核医学科	医院根据实际使用量向有资质单位购买，购买后的放射性药物连同铅罐包装放置于核医学科储源室，设双人双锁管理。
2	^{89}Sr	液态，中毒，半衰期 50.53d	使用	2.96×10^{8}	2.96×10^{7}	1.48×10^{10}	骨转移癌治疗	简单操作		
3	^{131}I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.70×10^{9}	3.70×10^{8}	1.85×10^{11}	甲亢治疗	简单操作		
4	^{131}I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	3.70×10^{5}	3.70×10^{4}	9.25×10^{7}	甲状腺功能测定	简单操作		
5	^{32}P	液态，中毒，半衰期14.26d	使用	3.33×10^{9}	3.33×10^{8}	1.39×10^{11}	敷贴治疗	简单操作		

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》（GB18871-2002）。

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	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	电子直线加速器	II类	1	待定	电子	X 射线：10MV、6MV 电子线：22MeV	X 射线 6MV 等中心最大剂量率 360Gy/h，FFF 模式等中心最大剂量率 840Gy/h； X 射线 10MV 等中心最大剂量率 360Gy/h，FFF 模式等中心最大剂量率 1440Gy/h； CBCT：最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA	放射治疗	7号楼西南侧治疗中心	新购

（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
1	SPECT/CT	III	1	未定	140	1000	显像诊断	9号楼1层核医学科	新购

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废液（核医学科）		液态	^{99m}Tc	/	/	62.5m^3/a	总 α≤1Bq/L、总 β≤10Bq/L、	3 个有效容积均为 7.5m^3 的槽式衰变池，总有效容积 22.5m^3	衰变池暂存超过 30 天后，可直接排入医院污水处理站。
放射性固废（核医学科）	沾染放射性核素的一次性注射器、一次性杯子、废旧敷贴、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿及擦拭污染地面的物品等	固态	^{131}I、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{32}P	/	/	272.5kg/a	辐射剂量率处于本底水平，β 表面污染 ≤0.8Bq/m^2	核医学科区域设置有铅桶，废物间设置有铅衰变箱	放射性固废（含 ^{99m}Tc）衰变超过 30 天，放射性固废（^{32}P)衰变超过 143 天，放射性固废（^{131}I）衰变超过 180 天，放射性固废（^{89}Sr）衰变超过 506 天，废活性炭（含 ^{99m}Tc、^{32}P、^{131}I、^{89}Sr）衰变超过 506 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，应委托有资质单位处置。
	废活性炭		^{131}I、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{32}P	/	/	5kg/a			
放射性废气（核医学科）		气态	^{131}I、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{32}P	/	/			/	专用排风管道送至屋顶，由活性炭过滤后排放。
感生放射性		气态	^{15}O、^{13}N、^{41}Ar	/	/	/	/	/	专用排风管道送至屋顶排放。
废靶		固态	/	/	/	1 个/10~20 年	/	不暂存	废靶由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。

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》（1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日施行修订版； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2002 年 10 月 28 日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，自 2003 年 9 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修订；2018 年 12 月 29 日第二次修订），中华人民共和国主席令第 48 号，2018 年 12 月 29 日施行修订版； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 6 月 28 日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过），中华人民共和国主席令第六号，2003 年 10 月 1 日施行； （4）《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订），自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版； （5）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令第 653 号修订，2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令第 709 号修订），自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版； （7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修正，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修正，2019 年 7 月 11 日经生态环境部令第 7 号修改，2020 年 12 月 25 日经生态环境部令第 20 号修改），2021 年 1 月 4 日施行修改版； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部 国家卫生和计划

	生育委员会 公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 5 日起施行； （10）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年第 65 号），自 2018 年 1 月 1 日起施行； （11）《放射性废物安全管理条例》（中华人民共和国国务院令第 612 号），2012 年 3 月 1 日起施行； （12）《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2019 年 10 月 30 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号公布，自 2020 年 1 月 1 日起施行；2021 年 12 月 30 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 49 号修改），自 2021 年 12 月 30 日起施行修改版； （13）《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），自 2020 年 1 月 1 日起施行； （14）《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），自 2006 年 9 月 26 日起施行； （15）《江苏省辐射污染防治条例》（江苏省第十届人民代表大会常务委员会公告第 142 号公布，江苏省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 2 号修改），自 2018 年 5 月 1 日起施行修改版； （16）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》（苏环规〔2019〕4 号），自 2019 年 11 月 19 日起施行； （17）《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），自 2021 年 11 月 9 日起施行； （18）《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政办〔2018〕74 号），自 2018 年 6 月 9 日起施行； （19）《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），自 2020 年 1 月 8 日起施行； （20）《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），自 2020 年 6 月 21 日起施行； （21）《江苏省辐射事故应急预案》（苏政办函〔2020〕26 号），自 2020 年 2 月 19 日起施行修订版； （22）《苏州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（苏环办字〔2020〕

	313 号），自 2020 年 12 月 31 日起施行。
技术标准	（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （5）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （6）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； （7）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （8）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （9）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （11）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； （12）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （13）《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）； （14）《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）。
其他	（1）《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强主编； （2）《辐射防护导论》，方杰主编； （3）附件 4“射线装置使用承诺书”，附件 5“非密封放射性物质使用承诺书”； （4）委托书。

表 7 保护目标与评价标准

7.1评价范围

根据本项目的实际情况及《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）规定，确定本项目辐射环境评价范围为乙级非密封放射性物质工作场所边界和直线加速器机房边界外 50m 区域，评价范围示意图详见附图 3。

7.2保护目标

根据附图 3 可知，本项目核技术利用项目工作场所周边 50m 范围内主要为医院内部建筑、道路、停车场及南侧环城西路，人员分布主要为本项目工作场所内辐射工作人员、医院内活动的医患人员和环城西路流动人员等公众。

本项目评价范围内无居民区、学校等敏感目标，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等环境敏感区，且不涉及江苏省国家级生态保护红线和江苏省生态空间管控区域。本项目所在区域为一般管控单元，不占用优先保护单元，符合《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）和《苏州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（苏环办字〔2020〕313 号）的相关要求。

本项目辐射工作场所周围相邻环境保护目标列举如下。

表7-1 本项目评价范围内环境保护目标情况一览表

保护目标		方位	与本项目边界最近距离	规模
辐射工作人员	核医学科内部	核医学科内部	/	7 人
	直线加速器机房控制室	直线加速器南侧	/	4 人
评价范围内公众	预留放免实验室	核医学科内部东侧	紧邻	工作人员：约 6 人 其余为患者等流动人员
	骨密度操作室	核医学科内部东侧	紧邻	工作人员：2 人
	预留骨密度机房	核医学科内部东侧	紧邻	患者：约 30 人/d
	废水处理间	核医学科东侧	10m	平时无人员逗留
	立体停车楼	核医学科东侧	10m	流动人员
	仓库	核医学科东侧	22m	平时无人员逗留
	污水处理站	核医学科东侧	43m	平时无人员逗留
		直线加速器机房西南侧	39m	
	元宝桥泵站	核医学科东侧	46m	平时无人员逗留
		直线加速器机房西南侧	41m	
	门卫室	核医学科南侧	14m	4 人
	环城西路	核医学科南侧	33m	流动人员

	地下停车场	核医学科西侧	19m	流动人员
	1 号 2 号楼住院部	核医学科西侧	20m	工作人员：约 600 人 其余为患者等流动人员
	停车场	核医学科北侧	紧邻	流动人员
	图书馆	核医学科东北侧	26m	工作人员：约 5 人 其余为流动人员
	闲置上层	核医学科 2 层	/	平时无人员逗留
	东侧走道	直线加速器机房东侧	紧邻	流动人员
	7 号楼门诊	直线加速器机房东侧	3m	工作人员：约 400 人 其余为患者等流动人员
		直线加速器机房北侧	5m	
	门厅	直线加速器机房南侧	紧邻	患者等流动人员
	停车场	直线加速器机房南侧	24m	流动人员
	10 号楼	直线加速器机房南侧	41m	工作人员：约 20 人 其余为患者等流动人员
	等候区	直线加速器机房西侧	紧邻	患者等流动人员
	5 号楼	直线加速器机房西北侧	45m	工作人员：约 50 人 其余为患者等流动人员
	北侧走道	直线加速器机房北侧	紧邻	流动人员
	6 号楼急诊	直线加速器机房东北侧	50m	工作人员：约 100 人 其余为患者等流动人员

7.3评价标准

7.3.1 剂量限值和剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

表 7-2　剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a)由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv； d）四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。
B1.2 公众照射	B1.2.1 实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值： a）年有效剂量，1mSv。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，剂量约束值通常应在公众照射剂量限值的 10%-30%范围之内。同时，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目职业人员和公众剂量约束值如下：

对于职业人员，本项目取年有效剂量限值的四分之一，即不超过 5mSv 作为年剂量约束值；对于公众，本项目取年有效剂量限值 1mSv 的十分之一，即不超过 0.1mSv 作为年剂量约束值。

7.3.2 核医学科辐射工作场所评价标准

（1）辐射防护分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

（2）辐射工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	具体内容
甲	＞4×10^{9}
乙	2×10^{7}~4×10^{9}
丙	豁免活度值以上~2×10^{7}

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

（3）表面污染控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-4 的控制水平。

表 7-4 工作场所放射性表面污控制水平

表面类型		β 放射性物质（Bq/cm^2）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 [1)]	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
[1)] 该区内的高污染子区除外		

（4）核医学科工作场所辐射剂量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7-5。

表 7-5　本项目核医学科屏蔽体外周围剂量当量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平
核医学科	距核医学工作场所控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处； 手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位； 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处。	＜2.5μSv/h

（5）放射性废液排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废液排放满足以下要求：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

（6）固体放射性废物排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

（7）核医学工作场所通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），核医学工作场所通风要求如下：

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

（8）患者出院的管理要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：^{131}I 治疗的患者出院管理要求如下：

接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。

7.3.4 放射治疗机房评价标准

（1）工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射治疗工作场所为 1 台电子直线加速器，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关规定，电子直线加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平要求如下：

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

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

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（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：H_c≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：H_c≤5μSv/周。

2）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水

平$\dot{H}_{c,max}$（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）。

表 7-6　加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			居留因子 T	t h/周	使用因子 U	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
加速器机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm	1/4	7.5	0.25	5	10.67	10	10
	b	东墙主屏蔽区外 30cm	1/4	7.5	0.25	5	10.67	10	10
	c_1	西墙次屏蔽区外 30cm	1/4	7.5	1	5	2.67	10	2.67
	c_2	西墙次屏蔽区外 30cm	1/4	7.5	1	5	2.67	10	2.67
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外 30cm	1/4	7.5	1	5	2.67	10	2.67
	e	南墙外 30cm（控制室）	1	7.5	1	100	13.33	2.5	2.5
	f	北墙外 30cm	1/4	7.5	1	5	2.67	10	2.67
	g	防护门外 30cm	1/8	7.5	1	5	5.33	10	5.33
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm	1/20	7.5	0.25	5	53.33	10	10
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm	1/20	7.5	1	5	13.33	10	10

（2）辐射工作场所分区

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），控制区和监督区分区原则如下：

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）。

（3）辐射工作场所布局要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗机房布局要求如下：

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。

6.1.6X 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。

（4）辐射工作场所安全防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗机房安全设施和措施要求如下：

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一机/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）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；

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。

（5）通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），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。

（6）放射性废物管理要求

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。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固态废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）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。

7.3.5 放射诊断工作场所评价标准

（1）机房外剂量率控制水平

SPECT/CT 机房屏蔽体剂量率控制水平参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关规定：机房外周围剂量当量率水平不大于 2.5μSv/h。

（2）机房建设要求

机房有效使用面积及最小单边长详见表 7-7，机房屏蔽要求详见表 7-8，个人防护用品及辅助用品配置要求详见表 7-9。

表 7-7　X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 [d]	机房内最小单边长度 [e]
CT 机（不含头颅移动 CT）	30m^2	4.5m

表 7-8　不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0

表 7-9　个人防护用品好辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用X射线设备隔室透视、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	可调节防护窗口的立位防护屏； 选配：固定特殊受检者体位的各种设备

注1："—"表示不做要求。
注2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

7.3.6 其他污染物排放标准

臭氧排放浓度参考执行《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）及 1 号修改单中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m^3。

7.3.7 参考资料

《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，刘明、王承保。辐射防护，1993 年第 13 卷第 2 期。

表 7-10　江苏省环境天然γ辐射剂量率　单位：nGy/h

	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	14.0

根据上表，本报告取江苏省天然贯穿辐射水平调查结果中的"均值±3 倍标准差"为评价参考范围，即原野 γ 辐射剂量率参考范围取（50.4±21.0）nGy/h 即 29.4nGy/h~71.4nGy/h，道路 γ 辐射剂量率参考范围取（47.1±36.9）nGy/h 即 10.2nGy/h~84nGy/h，室内 γ 辐射剂量率参考范围取（89.2±42.0）nGy/h 即 47.2nGy/h~131.2nGy/h。

7.3.8 本次核技术利用项目限值要求汇总

表 7-11　核医学科限值要求汇总

工作场所			限值要求	标准依据
核医学科	SPECT/CT 机房		最小有效使用面积不小于 30m²，最小单边长度不小于 4.5m	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）
	控制区屏蔽体外		距核医学工作场所控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处；手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位；固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处应小于 2.5μSv/h	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
	工作台、设备、墙壁、地面	控制区	β 放射性物质不大于 4×10Bq/cm²	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
		监督区	β 放射性物质不大于 4Bq/cm²	
	手、皮肤、内衣、工作袜	控制区	β 放射性物质不大于 4×10^{-1}Bq/cm²	
		监督区		
	放射性废液		放射性废液最高允许排放浓度总 α 不大于 1.0Bq/L，总 β 不大于 10Bq/L	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
	放射性固废		辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm²	

表 7-12　放疗科限值要求汇总

工作场所	机房要求		机房屏蔽体外 30cm 处
直线加速器机房	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	臭氧的最高容许浓度为 0.3mg/m³	周围剂量当量率不大于参考控制水平要求
标准依据	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

表 7-13　本项目人员受照剂量限值要求汇总

人员类型	年有效剂量限值	剂量约束值
职业人员	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：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	不大于 5mSv/a
公众	实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv	不大于 0.1mSv/a
标准依据	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

常熟市第一人民医院本部院区位于江苏省常熟市书院路 1 号，地理位置见附图 1。

本项目核医学科位于 9 号楼 1 层，直线加速器机房位于 7 号楼西南侧治疗中心。本项目辐射工作场所具体位置详见附图 3。

8.2 监测依据

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体（E βmax＞0.15MeV）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）

8.3监测因子和监测方案

（1）环境现状评价的对象：拟建辐射项目区域及周边环境

（2）监测方案：

①监测因子：X-γ 辐射剂量率、β 表面污染、中子剂量当量率

②监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

③监测日期：2022.08.16

④监测条件：温度 39℃，相对湿度 67%，晴

⑤监测频次：依据标准予以确定

⑥监测仪器：便携式 X-γ 辐射周围剂量当量率仪，α、β 表面污染仪、中子周围剂量当量仪

表 8-1 监测设备信息（X、γ 辐射剂量当量率仪）

仪器名称	X、γ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	FH40G-L10+FHZ672E-10
生产厂家	Thermo SCIENTITIC
仪器编号	05035404
能量范围	40keV～4.4MeV
测量范围	10nSv/h～100mSv/h
校准单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
校准证书	2022H21-10-3832004001
校准有效期	2022 年 02 月 25 日～2023 年 02 月 24 日

表 8-2 监测设备信息（α、β 表面污染仪）

仪器名称	α、β 表面污染仪
仪器型号	CoMo 170
生产厂家	S.E.A

仪器编号	05034173
探测器灵敏窗面积	20cm²～200cm²
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
检定证书	2021H21-20-3511645001
检定有效期	2021 年 09 月 03 日～2022 年 09 月 02 日

表 8-3 监测设备信息（中子周围剂量当量仪）

仪器名称	中子周围剂量当量仪
仪器型号	FH40G-L10
生产厂家	Thermo
仪器编号	05035876
能量范围	1nSv/h～100mSv/h
量　程	热中子～20MeV，热中子检测效率约 90%
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLjs2022-00655
检定有效期	2022 年 03 月 28 日～2023 年 03 月 27 日

（3）质量保证措施

①本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定计量认证证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性；

②采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

④监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

⑤监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.4监测点位和监测结果

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中有关布点原则和方法，并结合本项目的实际情况，以人员活动主要区域，在本项目拟建辐射工作场所区域及其四周布设点位，（9 号楼二层均为闲置区域，因此仅在二层布置 2 个监测点位），监测点位见图 8-1、图 8-2，监测结果详见表 8-4、8-5 和 8-6。

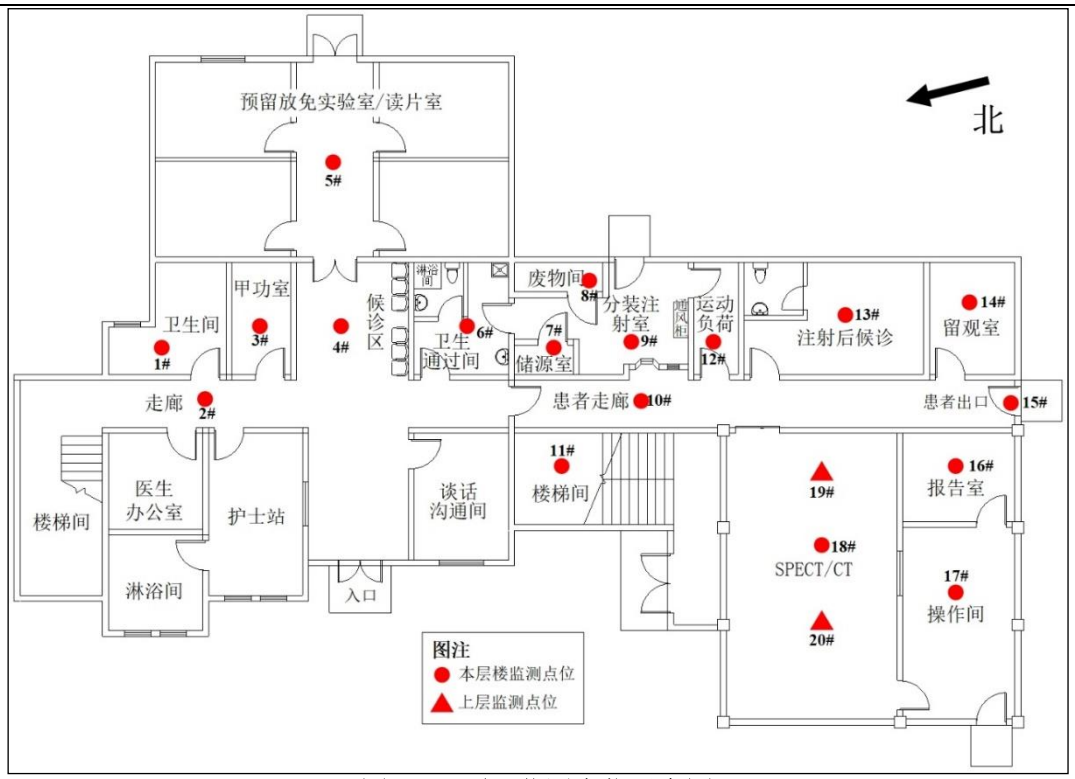


图 8-1　项目监测点位示意图

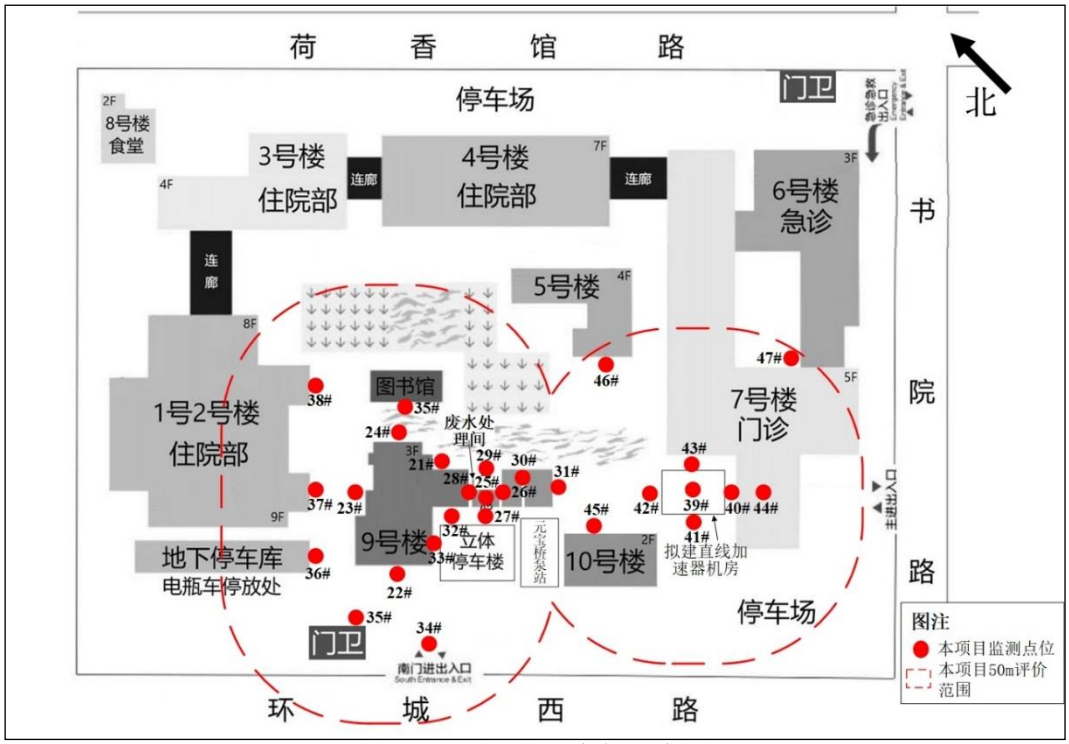


图 8-2　项目监测点位示意图

表 8-4　本项目γ辐射空气吸收剂量率监测结果一览表

监测点编号	监测点位置	监测结果（nGy/h）	备注
1#	卫生间	99.8±3	室内
2#	走廊	104±3	室内
3#	甲功室	105±3	室内

4#	候诊区	114±2	室内
5#	预留放免实验室/读片室	110±2	室内
6#	卫生通过间	102±2	室内
7#	储源室	119±2	室内
8#	废物间	125±2	室内
9#	分装注射室	123±3	室内
10#	患者走廊	103±2	室内
11#	楼梯间	93.7±3	室内
12#	运动负荷室	102±2	室内
13#	注射后候诊室	93.6±2	室内
14#	留观室	96.2±3	室内
15#	患者出口	89.6±3	室内
16#	报告室	83.6±1	室内
17#	操作间	82.7±1	室内
18#	SPECT/CT 机房	82.0±2	室内
19#	SPECT/CT 机房上层点位 1	77.3±2	室内
20#	SPECT/CT 机房上层点位 2	75.8±1	室内
21#	9 号楼东侧点位	92.2±2	室外（道路）
22#	9 号楼南侧点位	75.4±2	室外（道路）
23#	9 号楼西侧点位	64.7±2	室外（道路）
24#	9 号楼北侧点位	97.2±3	室外（道路）
25#	废水处理间	88.3±3	室内
26#	废水处理间东侧点位	80.4±2	室外（道路）
27#	废水处理间南侧点位	79.3±2	室外（道路）
28#	废水处理间西侧点位	76.8±2	室外（道路）
29#	废水处理间北侧点位	78.2±2	室外（道路）
30#	仓库	76.4±2	室内
31#	污水处理站东侧	75.4±2	室外（道路）
32#	立体停车楼北侧点位	72.4±22	室外（道路）
33#	立体停车楼西侧点位	73.0±2	室外（道路）
34#	南门进出入口	67.9±2	室外（道路）
35#	门卫室北侧点位	47.8±1	室外（道路）
36#	地下停车库出入口	60.1±2	室外（道路）
37#	1 号 2 号楼住院部东侧点位 1	61.8±2	室外（道路）
38#	1 号 2 号楼住院部东侧点位 2	62.7±2	室外（道路）
39#	拟建直线加速器机房内部点位	86.5±2	室外（道路）
40#	拟建直线加速器机房东侧点位	82.0±2	室外（道路）
41#	拟建直线加速器机房南侧点位	85.1±2	室外（道路）
42#	拟建直线加速器机房西侧点位	89.4±3	室外（道路）

43#	拟建直线加速器机房北侧点位	92.8±3	室外（道路）
44#	7 号楼门诊内部	77.3±2	室内
45#	10 号楼北侧	75.2±2	室外（道路）
46#	5 号楼南侧	66.9±2	室外（道路）
47#	6 号楼急诊西侧	79.0±2	室外（道路）

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；

3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1×仪器检验源效率因子 k_2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3×测量点宇宙射线响应值 Dc，校准因子 k_1 为 1.08，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20 Sv/Gy，k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 10.8nGy/h。

表 8-5　本项目 β 表面污染监测结果一览表

序号	监测点位置	β 监测结果（Bq/cm²）
1#	卫生间	＜0.17
2#	走廊	＜0.17
3#	甲功室	＜0.17
4#	候诊区	＜0.17
5#	预留放免实验室/读片室	＜0.17
6#	卫生通过间	＜0.17
7#	储源室	＜0.17
8#	废物间	＜0.17
9#	分装注射室	＜0.17
10#	患者走廊	＜0.17
11#	楼梯间	＜0.17
12#	运动负荷室	＜0.17
13#	注射后候诊室	＜0.17
14#	留观室	＜0.17
15#	患者出口	＜0.17
16#	报告室	＜0.17
17#	操作间	＜0.17
18#	SPECT/CT 机房	＜0.17
19#	SPECT/CT 机房上层点位 1	＜0.17
20#	SPECT/CT 机房上层点位 2	＜0.17
21#	9 号楼东侧点位	＜0.17
22#	9 号楼南侧点位	＜0.17
23#	9 号楼西侧点位	＜0.17
24#	9 号楼北侧点位	＜0.17
25#	废水处理间	＜0.17
26#	废水处理间东侧点位	＜0.17
27#	废水处理间南侧点位	＜0.17
28#	废水处理间西侧点位	＜0.17

29#	废水处理间北侧点位	＜0.17
30#	仓库	＜0.17
31#	污水处理站东侧	＜0.17
32#	立体停车楼北侧点位	＜0.17
33#	立体停车楼西侧点位	＜0.17
34#	南门进出入口	＜0.17
35#	门卫室北侧点位	＜0.17
36#	地下停车库出入口	＜0.17
37#	1 号 2 号楼住院部东侧点位 1	＜0.17
38#	1 号 2 号楼住院部东侧点位 2	＜0.17

注：1、每个监测点测量 3 个数据取平均值；
2、CoMo170 型 α、β 表面污染仪/05034173 的 β 探测下限为 0.17Bq/cm^2。

表 8-6　本项目中子射线监测结果一览表

序号	监测点位置	监测结果（μSv/h）
39#	拟建直线加速器机房内部点位	＜0.02
40#	拟建直线加速器机房东侧点位	＜0.02
41#	拟建直线加速器机房南侧点位	＜0.02
42#	拟建直线加速器机房西侧点位	＜0.02
43#	拟建直线加速器机房北侧点位	＜0.02
44#	7 号楼门诊内部	＜0.02
45#	10 号楼北侧	＜0.02
46#	5 号楼南侧	＜0.02
47#	6 号楼急诊西侧	＜0.02

注：1、每个监测点测量 10 个数据取平均值；
2、FH40G-L10 型中子周围剂量当量仪/05035876 的探测下限为 0.02μSv/h。

8.4环境现状调查结果的评价

根据表 8-4 的监测结果可知，本项目拟建场址及周围各监测点位的室内 γ 辐射剂量率范围为 75.8nSv/h~125nSv/h；拟建场址及周围各监测点位的道路 γ 辐射剂量率范围为 61.8nSv/h~92.8nSv/h，与江苏省室内 γ 辐射剂量率参考范围（89.2±42.0）nGy/h、道路 γ 辐射剂量率参考范围（47.1±36.9）nGy/h 处于同一水平。

由表8-5的监测结果可知，本项目拟建场址及周围各监测点β表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。

由表8-6的监测结果可知，本项目拟建场址及周围各监测点中子射线监测结果均小于检测下限，未见异常。

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 核医学科

9.1.1.1 项目主要构成及非密封工作场所分级

本项目核医学科拟使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像；拟使用 ^{89}Sr 开展骨癌治疗；拟使用 ^{131}I 开展甲亢治疗和甲状腺功能测定，拟使用 ^{32}P 开展敷贴治疗。

（1）性能参数和计划工作量

本项目使用的 ^{99m}Tc、^{89}Sr 不开展分装，^{131}I 根据患者的需要采用自动分装仪分装，使用的 ^{32}P 核素每周送 1 次药，并在送药当天制作一周所需的敷贴器，制作完成后放入储源室，^{99m}Tc、^{89}Sr、^{131}I 均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在储源室暂存，不贮存。本项目拟使用的放射性药物使用量及年使用量见表 9-1。

表 9-1 本项目核医学科放射性药物日使用量及年使用量

核素	每人平均用量	日最大检查诊疗人数	年最大检查（治疗）人数	日最大用量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途
^{99m}Tc	9.25×10^{8}Bq（25mCi）	20 人	5000 人	1.85×10^{10}Bq	4.63×10^{12}	SPECT/CT 显像检查
^{89}Sr	1.48×10^{8}Bq（4mCi）	2 人	100 人	2.96×10^{8}	1.48×10^{10}	骨癌治疗
^{131}I	3.80×10^{7}Bq（10mCi）	10 人	500 人	3.70×10^{9}	1.85×10^{11}	甲亢治疗
^{131}I	1.85×10^{5}Bq（0.005mCi）	2 人	500 人	3.70×10^{5}	9.25×10^{7}	甲状腺功能测定
^{32}P	7.4×10^{7}Bq（2mCi）	15 人	1875 人	3.33×10^{9}	1.39×10^{11}	敷贴治疗
注：^{32}P 每周集中送 1 次药，并在送药当天制作一周所需的敷贴器，因此 ^{32}P 日最大操作量和日等效最大操作量保守按照每周安排 3 日进行计算。						

（2）非密封工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子）。本项目核医学科工作场所非密封放射性核素日等效操作量计算见表 9-2。

表 9-2 本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算表

项目名称	SPECT/CT 显像诊断	骨癌治疗	甲亢治疗	甲状腺功能测定	敷贴治疗
核素名称	^{99m}Tc	^{89}Sr	^{131}I	^{131}I	^{32}P
日最大操作量/Bq	1.85×10^{10}	2.96×10^{8}	3.70×10^{9}	3.70×10^{5}	3.33×10^{9}
毒性分组	低毒	中毒	中毒	中毒	中毒
毒性组别修正	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1

性状	溶液	溶液	溶液	溶液	溶液
操作方式	很简单操作	简单操作	简单操作	简单操作	简单操作
方式与状态修正因子	10	1	1	1	1
日等效最大操作量/Bq	1.85×10^{7}	2.96×10^{7}	3.70×10^{8}	3.70×10^{4}	3.33×10^{8}
合计	7.51×10^{8}				

注：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A 表 A.1，本项目使用 ^{99m}Tc 为“很简单操作”，本项目使用 ^{89}Sr、^{131}I 和 ^{32}P 为“简单操作”。

由表 9-2 可知，本项目核医学科日等效最大操作量为 7.51×10^{8}Bq，根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则，本项目属于**乙级**非密封放射性物质工作场所。

9.1.1.2 SPECT/CT 诊断项目

（1）工作原理

单光子发射计算机断层摄影（简称“SPECT”）基本原理是放射性核素的示踪作用：不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的 γ 射线，利用探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。

SPECT/CT 是将 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备，不仅提供 SPECT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息。SPECT 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的患者作为辐射源项；CT 扫描过程中，CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。本项目医院核医学科拟配置的 SPECT/CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV，管电流不超过 1000mA。



图 9-1　SPECT/CT 外观

本项目 SPECT/CT 显像诊断采用 ^{99m}Tc 放射性同位素标记，同位素从专业放射性同位素供货商购买，购买规格为单支装，医院无需进行分装。

（2）工作流程及产污环节分析

订药：本项目 ^{99m}Tc 为单支成品药物形式的外购药物。由工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，按人份将药物分装好单独屏蔽包装，在约定的时间将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室，药物当日用完，不贮存。

注射给药：本项目使用的核素 ^{99m}Tc 为单支成品药物，无需分装，工作人员在手套箱内测量活度后直接在分装注射室注射窗的屏蔽下为患者注射。

诊断：注射后的患者进入注射后候诊室休息，待药物充分代谢后，排空小便，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房。

患者进入 SPECT/CT 机房，技师进入机房指导摆位，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行 SPECT/CT 扫描诊断。扫描完成后，患者离开机房，根据医生指导，按需在留观室留观，无碍后由患者走廊离开。SPECT/CT 诊断流程及产污环节示意图见下图。

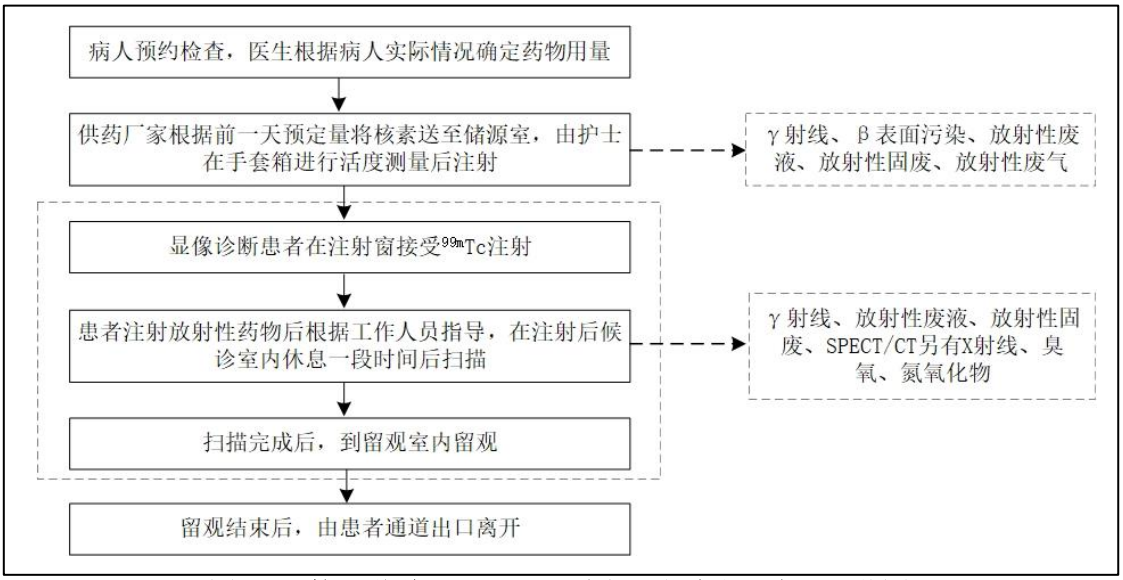


图 9-2　核医学科 SPECT/CT 诊断工艺流程及产污环节图

SPECT 显像诊断项目污染因子是：γ 射线、β 表面污染、放射性废液、放射性废气、放射性固废，SPECT/CT 另有 X 射线、臭氧、氮氧化物。

（3）SPECT/CT 配套用 CT

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，

CT 装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。另外，X 射线会与空气发生电离作用，会产生少量臭氧和氮氧化物。因此，在开机期间，污染因子为 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.1.3 ^{89}Sr 骨转移癌治疗

（1）工作原理

本项目骨转移癌治疗使用的核素为 ^{89}Sr，骨转移癌治疗的工作原理为，静脉注射趋骨性放射性药物，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素所发射出的射程很短的 β 粒子，对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

^{89}Sr 是纯 β 射线体，不伴 γ 射线，其发射的 β 射线能量较高，对病变组织进行集中照射，在骨组织内的射程约为 3mm，在病灶骨中的浓聚能保持很长时间。在转移灶的摄取高于正常骨 2-25 倍，这样，对病灶骨就有足够的照射剂量，而对病灶骨以外、周围的正常组织照射很少，不致引起不可逆的骨髓损伤。

（2）工作流程及产污环节

订药：本项目 ^{89}Sr 为单支成品药物形式的外购药物，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，将按人份将药物分装好单独屏蔽包装，在约定的时间将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室，药物当日用完，不贮存。

注射给药：本项目使用的核素 ^{89}Sr 为单支成品药物，无需分装，工作人员在手套箱内测量活度后直接在分装注射室注射窗的屏蔽下为患者注射。

患者离开：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），接受 ^{89}Sr 患者体内放射性活度低于 200MBq（5.4mCi）方可离开医院。本项目 ^{89}Sr 核素治疗单人次最大用量为 1.48×10^{8}Bq（4mCi），满足出院标准，因此患者无需住院，注射完成后可直接离开核医学科。

^{89}Sr 核素治疗工艺流程及产污环节如下图所示。

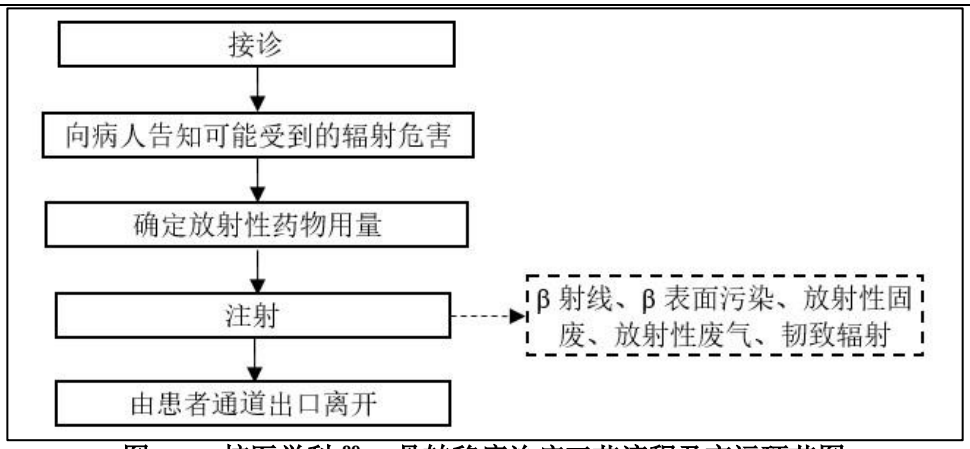


图 9-3　核医学科 ^{89}Sr 骨转移癌治疗工艺流程及产污环节图

骨转移癌治疗项目污染因子是：β 射线、β 表面污染、放射性固废、放射性废气、韧致辐射。

9.1.1.4 ^{131}I 甲亢治疗

（1）工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 7.6 天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。^{131}I 衰变为氙-131（^{131}Xe）时放射出 95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织（例如甲状旁腺、喉返神经等）的辐射损伤。因此，^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

（2）工作流程及产污环节

订药：本项目 ^{131}I 为药罐装载货包形式的外购药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在用药当天送达药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存于储源室，使用前辐射工作人员将 ^{131}I 药罐放于分装注射室内手套箱碘自动分装仪中。

注射给药：医护人员远程通过电脑控制系统操作碘自动分装仪自动分装药物，通过视频及语音系统指导患者在服药窗口服药。

患者离开：本项目 ^{131}I 甲亢治疗患者单人用药量为 370MBq（10mCi），体内放射性活度低于 400MBq，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），甲亢患者服药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科。

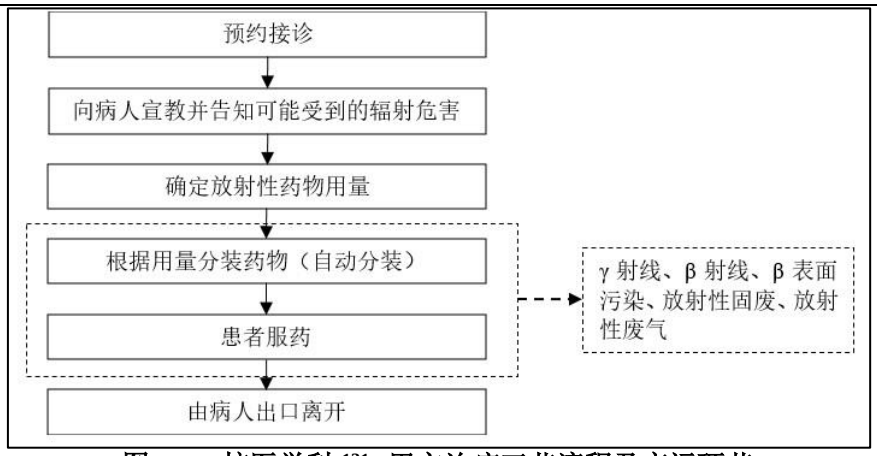


图 9-4　核医学科 ^{131}I 甲亢治疗工艺流程及产污环节

甲亢治疗项目污染因子是：γ 射线、β 射线、β 表面污染、放射性固废、放射性废气。

9.1.1.5 ^{131}I 甲状腺功能测定

（1）工作原理

碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一，放射性的 ^{131}I 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，其被摄取的量和速度与甲状腺功能密切相关。将 ^{131}I 引入受检者体内，利用体外探测仪器测定甲状腺部位放射性计数的变化，可以了解 ^{131}I 被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能。

（2）工作流程及产污环节

订药：本项目 ^{131}I 为药罐装载货包形式的外购药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在用药当天送达药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将 ^{131}I 药物放于分装注射室内手套箱碘自动分装仪中。

注射给药：医护人员远程通过电脑控制系统操作碘自动分装仪自动分装药物，通过视频及语音系统指导患者在服药窗口服药。

服药后检查：患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由核医学科入口进入甲功室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。甲测患者不在核医学科候诊，患者服药后由患者走廊出口离开核医学，等检测时间到后患者由核医学科入口进入甲功室进行测量，每次测定约 1min。

患者离开：本项目 ^{131}I 甲测患者单人用药量为 0.185MBq（0.005mCi），体内放射性活度低于 400MBq，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），甲测患者服药后可不必住院，可直接离开核医学科。

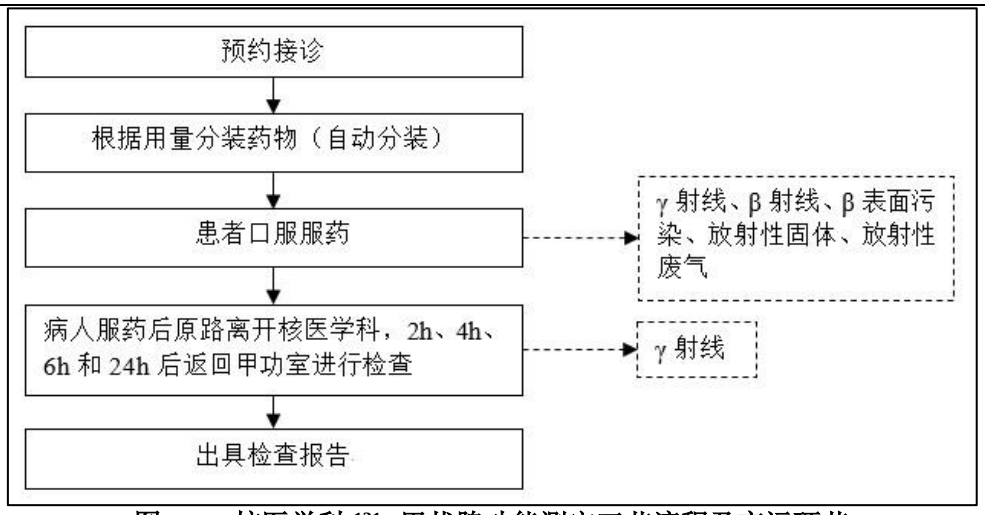


图 9-5　核医学科 ^{131}I 甲状腺功能测定工艺流程及产污环节

甲状腺功能测定项目污染因子是：γ 射线、β 射线、β 表面污染、放射性固废、放射性废气。

9.1.1.6 ^{32}P 敷贴治疗

（1）工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩等病症时，通过某些放射性同位素（如 ^{32}P）的敷贴照射，让敷贴充分接近病变皮肤，通过核素在衰变过程中释放的纯 β 射线，作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到诊疗目的。本项目使用的 ^{32}P 为纯 β 放射性核素。

（2）工作流程及产污环节

订药：由于 ^{32}P 敷贴器需要在使用前进行制作，医院需要根据预约情况提前订购一周药量，在约定的时间由药物供应单位将成品药物运送至核医学科，^{32}P 为外购药物，药品以单个货包的形式送达，单个货包药量最大值为 $3.33\times10^{9}Bq$（^{32}P 单人次最大使用量 $7.4\times10^{7}Bq$，日治疗 15 人，每周安排 3 日治疗情况下，日最大等效操作量 $7.4\times10^{7}Bq\times15$ 人/天 $\times3$ 天 $=3.33\times10^{9}Bq$。），核医学科安排专人接收药物，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室。

制作 ^{32}P 敷贴器：^{32}P 药物密封于专用屏蔽容器中，送药当天由辐射工作人员在分装注射室的手套箱中制作一周所需的敷贴器，制作完成后转移至储源室。制作方法如下：①采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为 ^{32}P 溶液的支持物，滤纸上画有格子；②用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加 ^{32}P 溶液的毫升数；③用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的 ^{32}P 溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加 ^{32}P 溶液，通过颜色的深浅来调整 ^{32}P 活度的分

布均匀性；④调整色剂均匀分布后，用优质塑料薄膜与胶布套封，保证其密封性。在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等。经检测表面无放射性污染后即可使用。

预约、制定治疗方案：治疗前，医护人员先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症，对具有正当理由的患者开具敷贴治疗申请单，完成预约登记，根据病情制定治疗方案；

治疗：辐射工作人员用长柄工具将 ^{32}P 敷贴器由储源室转移至敷贴室，将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者非病灶皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽。并且在敷贴治疗时，禁止其他无关人员进入敷贴室。

患者离开：敷贴患者治疗后可不必住院，可直接离开核医学科。

^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节见图 9-7。

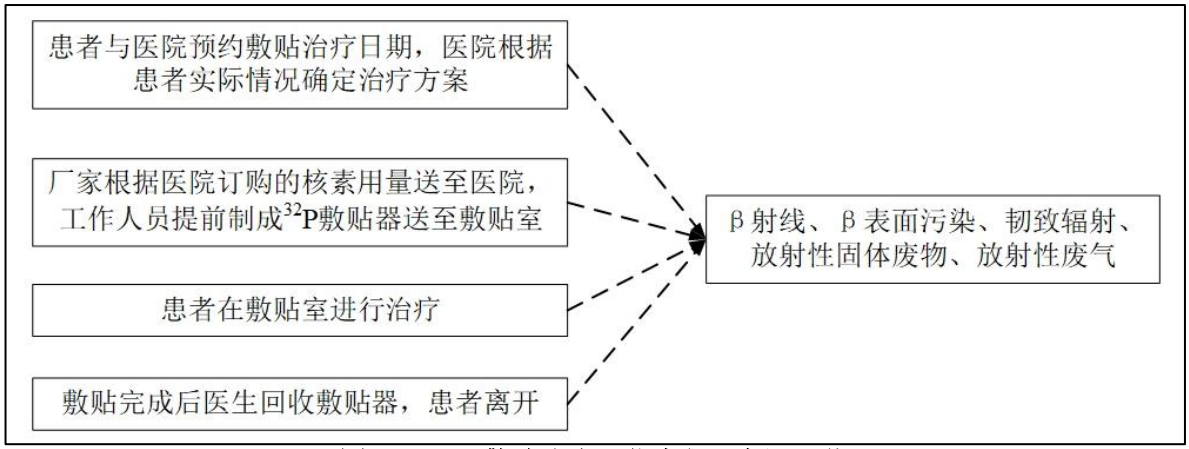


图 9-6　^{32}P 敷贴治疗工艺流程及产污环节

敷贴治疗项目污染因子是：β 射线、β 表面污染、韧致辐射、放射性固废、放射性废气。

9.1.1.7 核医学科人员、物流路径规划

（1）患者路径

根据预约时间患者从核医学科西侧入口进入，先在护士站进行登记、问诊、宣教，再到候诊区进行等候，根据叫号通过患者走廊北侧单向门禁（只进不出）进入患者走廊。

①SPECT诊断患者至分装注射室注射窗接受注射，然后前往注射后候诊室进行休息、候诊，等待一定时间后进入SPECT/CT机房接受扫描检查，患者在完成扫描后进入留观室进行留观，确认无恙后则由核医学科患者走廊南侧出口单向门禁（只出不进）离开。

②骨癌患者至分装注射室注射窗接受注射，经短暂观察无碍后由核医学科患者走

廊南侧出口单向门禁（只出不进）离开。

③甲亢患者至分装注射室服药窗服用药物，经短暂观察无碍后由核医学科患者走廊南侧出口单向门禁（只出不进）离开。

④甲测患者至分装注射室服药窗服用药物，经短暂观察无碍后由核医学科患者走廊南侧出口单向门禁（只出不进）离开。服药后 2h、4h、6h、24h由核医学科入口进入甲功室进行吸碘率的测定。

⑤敷贴患者至敷贴室接受治疗后，由核医学科患者走廊南侧出口单向门禁（只出不进）离开。

该路径上，患者出入口（患者走廊出入口）均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。注射后候诊室设有独立的卫生间，SPECT诊断患者可在专用卫生间内如厕，不得随意走动。

由于本项目核医学科患者共同使用同一个注射/服药窗和同一条患者走廊。医院拟通过叫号系统，分时段管控患者的就诊时间，以确保患者走廊内同一时间仅有 1 名患者，避免患者之间交叉影响。

（2）医护人员路径

医护人员由核医学科西侧门直接进入 SPECT/CT 配套操作间；核医学科护士经过卫生通过间进入分装注射室进行测活、给药注射后进入敷贴室进行敷贴给药，完成工作后返回卫生通过间，监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）才能回到非放射工作场所。卫生通过间拟配置表面污染监测设备，并设置有感应式洗手池和淋浴设施。

（3）放射性药物路径

放射性药物配送人员每天上班前从核医学科东侧送药通道进入核医学科，经过分装注射室进入储源室，由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

（4）污物路径

分装注射室、敷贴室、注射后候诊室和留观室各设 1 个铅桶，废物间设置 3 个衰变箱，放射性固废经分类收集后转至废物间的衰变箱，含 ^{99m}Tc 核素的放射性废物待储存超过 30 天，含 ^{32}P 核素的放射性废物待储存超过 143 天，含 ^{131}I 核素的放射性废物待储存超过 180 天，含 ^{89}Sr 核素的放射性废物待储存超过 506 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医

疗废物进行处理。

核医学科人员、物流路径规划见附图 6。

9.1.1.8 核医学科工作人员配备情况

本项目核医学科拟配置 7 名辐射工作人员，各工作人员相对固定，不存在兼岗情况。核医学科项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天。核医学运行过程中各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9-3、表 9-4。

表 9-3 本项目核医学科辐射工作人员配置情况表

序号	工作内容	人数	人员类型	岗位
1	核素分装、制贴、给药	4 人	护士	分装注射室、敷贴室、甲功室
2	患者登记			护士站
3	SPECT/CT 操作及摆位	1 人	技师	控制室、SPECT/CT 机房
4	核医学科接诊	2 人	医生	医生办公室
5	阅片			报告室

表 9-4 核医学科各工序涉及辐射工作人员情况以及操作时间一览表

工作场所	工序	操作内容	操作时间	年工作量	人员数量
分装注射室	铅罐安装	^{131}I 铅罐安装	3min/次	250 次	4 人
	制贴	制作 ^{32}P 敷贴	1min/次	1875 次	
	测活	注射前 ^{99m}Tc、^{89}Sr 测活	0.5min/次	5100 次	
	给药	给患者注射 ^{99m}Tc	0.5min/次	5000 次	
		给患者注射 ^{89}Sr	0.5min/次	100 次	
		远程指导患者服药 ^{131}I（甲亢）	0.5min/次	500 次	
		远程指导患者服药 ^{131}I（甲测）	0.5min/次	500 次	
敷贴室	给药	^{32}P 给药	1min/次	1875 次	
甲功室	测定	甲状腺功能测定	1min/次	2000 次	
护士站	预约登记	负责预约登记	2000h	/	
SPECT/CT 机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1min/次	2650 人次	1 人
SPECT/CT 机房控制室	扫描	控制室操作设备进行扫描	15min/次		
报告室	阅片	报告室内阅片	2000h	/	2 人
医生办公室	接诊	办公室内接诊患者	2000h	/	

9.1.2 放疗科直线加速器

本项目拟新增 1 台 10MV 医用电子直线加速器，并带有 CBCT 影像引导设备，位于 7 号楼西南侧治疗中心直线加速器机房内，用于肿瘤放射治疗。

（1）设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟新增的医用电子直线加速器的主要参数见表 9-5。

表 9-5　医用电子直线加速器的主要参数表

参数名称	参数
型号	待定
能量	X 射线：10MV、6MV　电子线：22MeV
X 射线泄漏率	≤0.1%
源轴距 SAD	1m
等中心高度	1.3m
距靶 1m 处剂量率	X 射线 6MV 等中心最大剂量率 360Gy/h， FFF 模式等中心最大剂量率 840Gy/h； X 射线 10MV 等中心最大剂量率 360Gy/h， FFF 模式等中心最大剂量率 1440Gy/h；
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转角度	±180°
X 射线有用线束张角（°）	≤28
靶材质	铅
CBCT 影像引导设备 X 射线能量	最大管电流 150kV 最大管电压 1000mA

（2）工作原理

电子直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。电子枪产生的电子束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，经调制、准直后射向患者病灶；或电子束靶物质相互作用产生韧致辐射 X 射线束，经一次准直器和滤线器形成剂量均匀的 X 射线束，再经监测电离室和二次准直器限束，到达患者病灶实现治疗目的。

因此，作为一种体外照射的放射治疗设备，电子直线加速器利用产生的高能电子束或 X 射线，对人体病灶部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损伤。根据癌症类型及其所在位置、患者的身体状况等，选择不同的输出方式对肿瘤进行照射，同时使肿瘤周围正常组织得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤的目的。

本项目项目配备的加速器具备有 CBCT 影响引导设备，使用锥形束 X 射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器 CT 最显著的区别是使用二维数字平板探测器，在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT 由影像板和球管等硬件及控制软件组成，球管产生 kV 级 X 射线，X 射线穿过物体投影到影像板成像。

治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使 CBCT 高压发生器产生高压，球管产生 X 射线，控制系统将使用 CBCT 功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导，随后根据控制系统指令，加速器的电子枪

产生电子，经加速管加速电子到相应能量打靶形成治疗所需的加速器 X 射线，根据物理师的治疗计划完成肿瘤的照射。CBCT 影像引导和加速器出束治疗不会同时进行。通常是交替开机。

CBCT 的优势在于重复 CT 模拟定位时的体位，保证与计划设计时靶区、靶区与危及器官和射野位置空间关系一致性，使肿瘤组织得到精准照射，提高治愈率，减少放疗副作用。图像引导放射治疗通过 CBCT 图像引导配准，可以实现病人凸显的在线或离线配准，保证病人每次治疗体位的重复性和一致性。

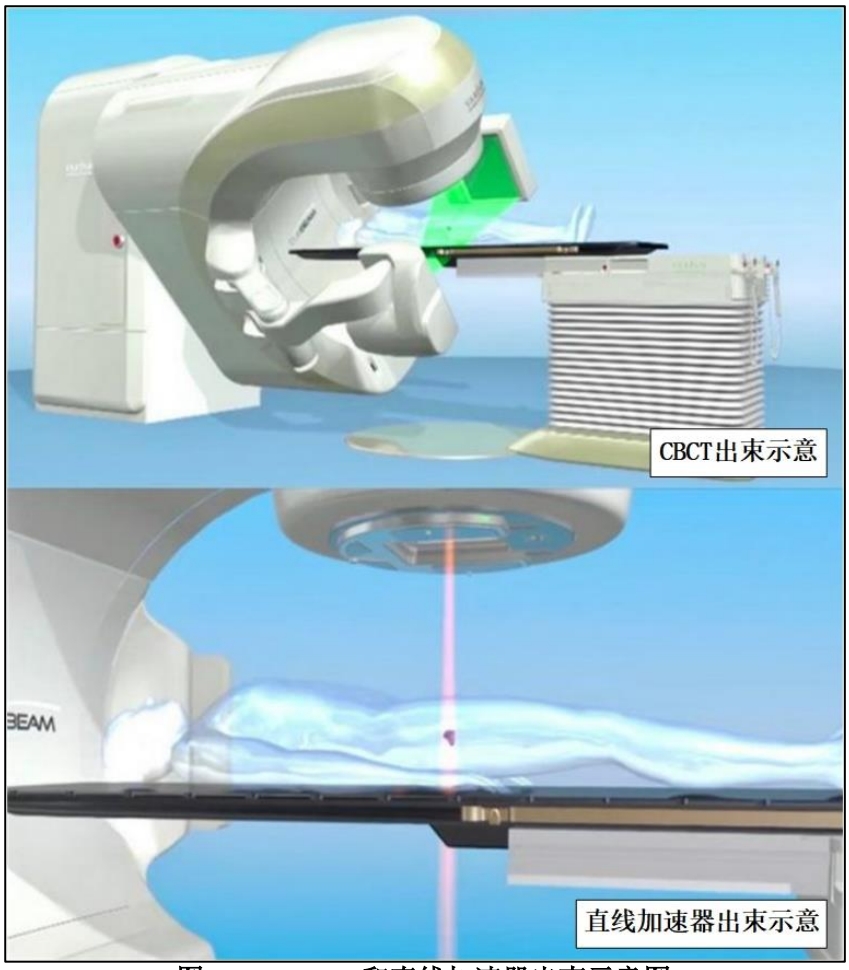


图 9-7　CBCT 和直线加速器出束示意图

（3）设备组成

电子直线加速器主要由三大部分组成：电子发射单元，电子加速单元和电子束引出单元。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子治疗子系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒。

典型电子直线加速器外部结构示意如 9-8 所示，内部结构示意图如 9-9 所示。本项目电子直线加速器均有电子束和 X 射线两种治疗模式，示意图如 9-10 所示。

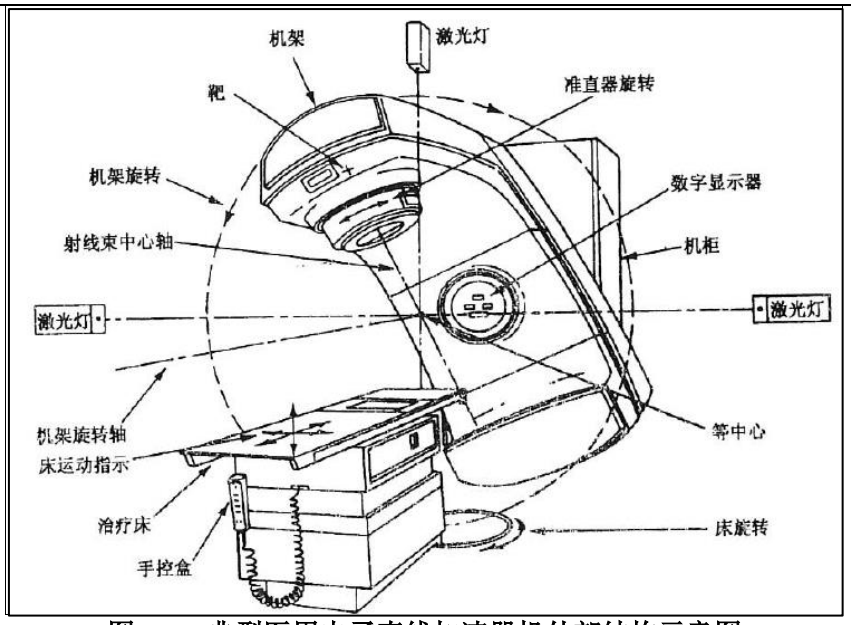


图 9-8　典型医用电子直线加速器机外部结构示意图

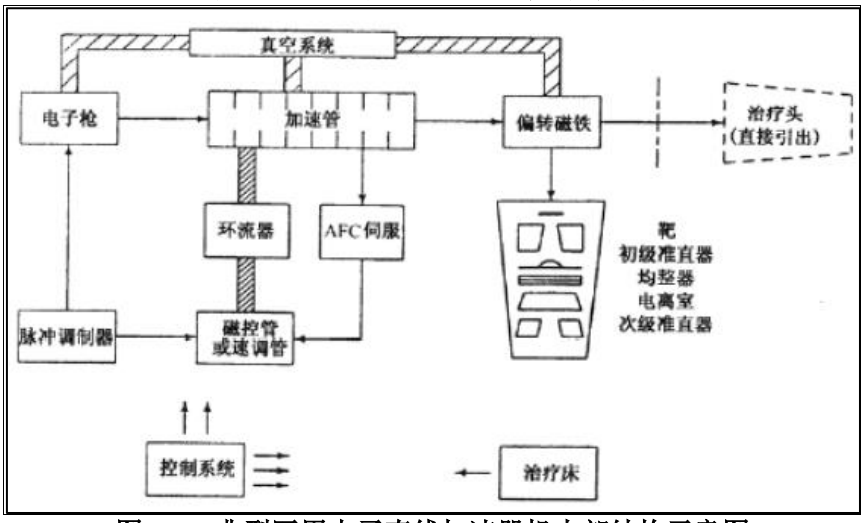


图 9-9　典型医用电子直线加速器机内部结构示意图

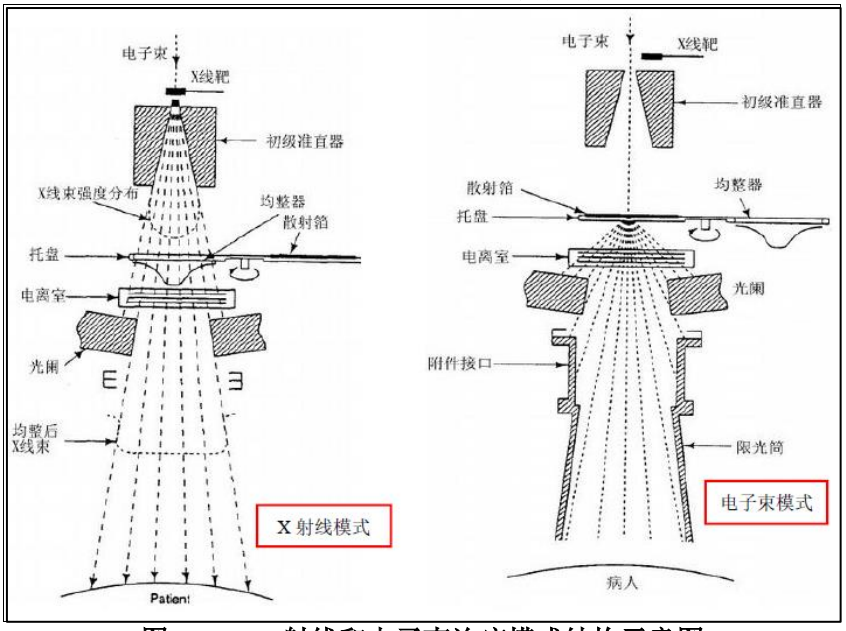


图 9-10　X 射线和电子束治疗模式结构示意图

（4）工作流程及产污环节

①对肿瘤放疗患者进行登记、候诊；

②依托7号楼门诊负一楼放疗科现有CT模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查；

③根据患者肿瘤类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；

④摆位前认真查对患者信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度等，摆位结束，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门；

⑤CBCT 采集图像进行位置验证；

⑥根据放疗计划，实施照射；

⑦照射结束后，患者离开机房。

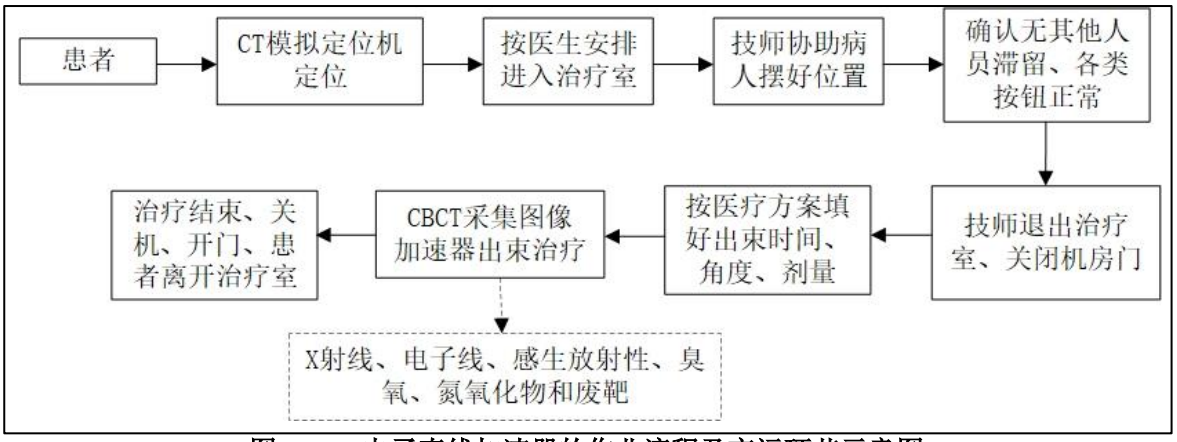


图 9-11　电子直线加速器的作业流程及产污环节示意图

10MV 医用电子直线加速器：正常工况时，射线装置治疗污染源项主要为 X 射线、电子线、臭氧、氮氧化物、感生放射性和废靶。

（5）人员路径规划

①患者路径

患者由治疗中心南侧门进入等候区等待，根据叫号后进入直线加速器机房进行治疗，治疗结束后通过治疗中心西侧门离开。

②医护人员路径

医护人员由治疗中心南侧门进入门厅，向东进入控制室，通过直线加速器机房南侧防护门进入机房对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

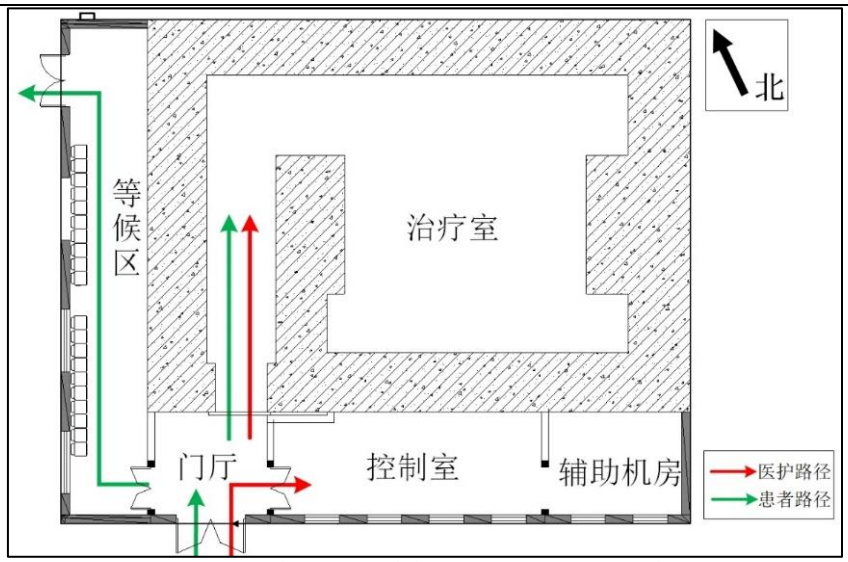


图 9-12　本项目直线加速器人员路径规划图

（6）工作负荷

根据医院提供的资料，本项目直线加速器拟配置 4 名辐射工作人员，（医生 1 名，技师 2 名，物理师 1 名），4 名辐射工作人员均为新增，且为加速器机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

本项目直线加速器用于常规治疗和调强治疗，投入使用后，预计每天放射治疗患者最多为 60 人次，每周 5 天，每年工作 250 天，平均每人单次照射 1.5min，则直线加速器周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 非密封放射性物质工作场所分类

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表 9-6。

表 9-6　核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素加权活度，MBq
I	＞50000
II	50~50000
III	＜50
注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒素权重因子）/操作性质修正因子	

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 9-7 和 9-8。

表 9-7　常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{89}Sr、^{131}I、^{32}P	100
B	^{99m}Tc	1

表 9-8　不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

本项目非密封放射性物质工作场所类别计算结果见表 9-9。

表 9-9　非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度（Bq）	总加权活度（Bq）	场所分类
储源室	^{99m}Tc	1	100	1.85×10^{10}	1.85×10^{8}	7.51×10^{9}	II类
	^{89}Sr	100	100	2.96×10^{8}	2.96×10^{8}		
	^{131}I	100	100	3.70×10^{9}	3.70×10^{9}		
	^{131}I	100	100	3.70×10^{5}	3.70×10^{5}		
	^{32}P	100	100	3.33×10^{9}	3.33×10^{9}		
分装注射室	^{99m}Tc	1	1	1.85×10^{10}	1.85×10^{10}	7.51×10^{11}	I类
	^{89}Sr	100	1	2.96×10^{8}	2.96×10^{10}		
	^{131}I	100	1	3.70×10^{9}	3.70×10^{11}		
	^{131}I	100	1	3.70×10^{5}	3.70×10^{7}		
	^{32}P	100	1	3.33×10^{9}	3.33×10^{11}		
敷贴室	^{32}P	100	1	1.11×10^{9}	1.11×10^{11}	1.11×10^{11}	I类
注射后候诊室、留观室和 SPECT/CT 机房	^{99m}Tc	1	10	1.85×10^{10}	1.85×10^{9}	1.85×10^{9}	II类
甲功室	^{131}I	100	10	3.70×10^{5}	3.70×10^{4}	3.70×10^{4}	III类
废物间	^{99m}Tc	1	10	1.85×10^{8}	1.85×10^{7}	7.51×10^{8}	II类
	^{89}Sr	100	10	2.96×10^{6}	2.96×10^{7}		
	^{131}I	100	10	3.70×10^{7}	3.70×10^{8}		
	^{131}I	100	10	3.70×10^{3}	3.70×10^{4}		
	^{32}P	100	10	3.33×10^{7}	3.33×10^{8}		
注：加权活度=日操作最大活度×核素毒性权重因子÷操作性质修正因子。							

通过上表计算分析，分装注射室和敷贴室为I类场所，甲功室为III类场所，其余均为II类场所。

表 9-10　按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须

通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道[a]	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆[b]和去污设备	洗手盆[b]和去污设备	洗手盆[b]
注[a]：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。 [b]：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			

医院应按表 9-10 的要求，I类和II类辐射工作区均需应设置结构屏蔽，地面与墙壁接触应采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；分装注射室设置手套箱；配备洗手盆和去污设备。另外I类辐射工作区应设置特殊的强通风装置；含放射性废液的排水管道应为特殊管道，且在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。II类和III类辐射工作区应保证良好的通风；含放射性废液的排水管道可采用能满足工作需要的普通管道。

9.2.2 核医学科污染源项分析

9.2.2.1 正常工况下污染源项描述

由前文核医学工作流程可知，射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中，包括测活、制贴、注射（服药）等过程。受诊患者注射（服药）放射性药物后，本身短时间内也成为一个“辐射体”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物也成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。本项目核医学科放射性核素的相关性状见表 9-11。

表 9-11　本项目核医学科放射性核素的相关性状

核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	活动种类	周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m²/MBq·h
^{99m}Tc	液态	6.02h	低毒	I.T.	γ0.140	使用	0.0303
^{89}Sr	液态	50.53d	中毒	β^-	β0.5846	使用	—
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β^-	γ0.365	使用	0.0595
^{32}P	液态	14.26d	中毒	β^-	β1.71	使用	—

核医学项目主要污染因素和辐射影响如下：

（1）X 射线、β 射线和 γ 射线

①本项目使用的核素 ^{99m}Tc、^{131}I 在发生衰变时会伴随产生 γ 射线，在进行药物交接、分装、注射（服药）等操作时，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。本项目使用的核素 ^{131}I、^{89}Sr 和 ^{32}P 在发生衰变时会伴随产生 β 射线，β 射线穿透能力很弱，在组织内穿透距离很短，不会对环境产生明显影响。

②患者注射/口服 ^{99m}Tc、^{131}I 后，本身短时间内是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成 γ 射线外照射影响。

③进行 SPECT/CT 扫描时会产生 X 射线，受诊病人身体中的放射性核素产生的γ射线将对操作人员造成外照射影响。经过机房的屏蔽，射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为外照射。

（2）韧致辐射

骨转移癌治疗使用的核素 ^{89}Sr 和 ^{32}P 产生的β射线被高原子序数物质阻挡，会产生韧致辐射。

（3）β表面污染

放射性药物在分装、注射等活动过程中，不可避免地会引起工作台、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成β表面污染。

（4）放射性废液

患者注射放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废液，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废液，核医学科工作场所清洗及应急洗消产生的可能含放射性物质的废液。本项目核医学科 ^{89}Sr 骨转移癌治疗项目、^{131}I 甲亢治疗项目、^{131}I 甲状腺功能测定项目和 ^{32}P 敷贴治疗项目患者接受治疗后直接离开核医学科，可不考虑其产生的放射性废液。对意外情况的少量药物洒漏，可通过吸水纸或其它吸水材料擦拭去污，并作为放射性固体废物处理。

根据核医学科工作量，^{99m}Tc 的显像诊断日门诊量最大为 20 人，病人不需要进行住院观察，参考《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），门诊患者每人次用水定额取 10L，则患者就诊期间产生的废液量最多为 200L/d；工作人员在完成一天的给药和注射工作后需进行表面污染监测，如有污染需进行去污清洗而产生放射性废液，同时工作场所定期清洗，每天清洗废液产生量约为 50L。

综上所述，核医学科工作场所产生的放射废液量见表 9-12：

表 9-12　放射性废液产生量

工作场所	核素名称	来源	日废水量/L	年生产天数/天	年生产量/m^3
核医学科	^{99m}Tc	排泄废水	200	250	50
		清洗废水等	50	250	12.5
合计					62.5

（5）放射性固废

核医学科运行过程中产生的放射性固废主要有：

①放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物；

②口服 ^{131}I 时产生的一次性服药杯、擦拭纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物。

③^{32}P 敷贴治疗过程中产生的废旧敷贴器、滤纸、一次性手套等带放射性同位素的医疗固体废弃物。

④本项目放射性工作场所产生的含放射性核素的废活性炭。

⑤意外情况的少量药物洒漏，用于擦拭去污的吸水纸或其它吸水材料。

表 9-13　放射性固废产生量

工作场所	核素名称	来源	日产生量	年生产天数	年生产量
核医学科	^{99m}Tc	注射器、一次性手套、棉签、滤纸等	0.5kg	250d	125kg
	^{89}Sr		0.5kg	50d	25kg
	^{32}P	废旧敷贴器、滤纸一次性手套、棉签等	0.5kg	125d	62.5kg
	^{131}I（甲亢）	一次性服药杯、擦拭纸等	0.2kg	50d	10kg
	^{131}I（甲测）		0.2kg	250d	50kg
通风系统	^{99m}Tc、^{89}Sr、^{131}I、^{32}P	废活性炭	/	/	5kg
合计					322.5kg

（6）放射性气体

放射性药物在使用过程中会产生微量放射性气体，由于放射性药物均在手套箱内进行操作，手套箱内拟设置独立的通风系统，且通风系统设置活性炭过滤装置，排放口高出本栋建筑脊梁屋脊。

（7）非放射性污染

本项目运行过程中产生的非放射性污染主要是 SPECT/CT 工作过程时产生的 X 射线电离空气产生的少量臭氧和氮氧化物。

9.2.2.2 非正常工况下污染源项描述

主要考虑电离辐射损伤、放射性药物失控对环境及公众的影响。

①SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物洒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

9.2.3 直线加速器污染源项分析

9.2.3.1 正常工况下污染源项描述

（1）放射性污染

①X 射线

a.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。医院拟新增的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，可能对工作人员、公众及周围环境造成辐射污染。

b.本项目拟配置的直线加速器带有 CBCT 实时影像引导设备，CBCT 的 X 射线最大工况为 150kV，1000mA。对照 X 射线能量，直线加速器机房各屏蔽体满足 10MV X 射线的屏蔽防护，则也能满足 CBCT150kV X 射线的屏蔽要求，且 CBCT 与直线加速器不同时出束，因此不再单独对 CBCT 系统运行时产生的 X 射线进行屏蔽计算。

②电子束

当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，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，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

③感生放射性

在放射治疗过程中，医用电子直线加速器发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，治疗室内的各种设备、器械，治疗室的墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

加速器设备（特别是加速器管）材料中主要元素铝、不锈钢和铜，它们由于（n，r）反应生成的子体核素寿命很短，在加速器刚停机的时候影响最大。加速器机房内空气活化产生的放射性核素，主要有 ^{11}C、^{15}O、^{16}N、^{41}Ar，半衰期较小，范围从 7.3 秒至 1.83 小时，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时间较短。

冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 和 ^{16}N，它们的半衰期为 2.1 分钟和 7.3 秒，所以正常运行时被活化的水对人体的危害是不重要的，但在停机后立即检修水系统时，活化的放射性核素可能对人体造成危害。

（2）放射性固废

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，机器退役（约使用 5-10 年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。

综上所述，加速器产生的辐射源项有 X 射线、电子束、感生放射性和废靶。

（3）非放射性污染

本项目直线加速器和 CBCT 运营期间会有臭氧和少量氮氧化物产生，氮氧化物产生额约为臭氧的 1/3。由于直线加速器 X 射线能量远大于 CBCT，电离空气量较多，所以主要计算直线加速器产生的臭氧。根据《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 VoL14，2，P101，1994）及《辐射防护手册》中的公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

①有用线束的臭氧产额

有用射线束所致的臭氧产额计算公式如下：

$$P_1=2.43D_0（1-\cos\theta）R\ G \qquad （式\ 9\text{-}1）$$

式中：

P_1——有用线束的臭氧的产额，mg/h；

D_0——有用线束在距等中心 1m 处的输出量，Gy/min；本项目加速器最大为 24Gy/min；

R——射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，m，本项目取最大值 4.3m；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，本项目取 10；

θ——有用束的半张角，本项目为 14°。

则本项目有用射线束所致的臭氧产额为 74.5mg/h。

②泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑加速器机房墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%，泄漏辐射所致的臭氧产额计算公式如下：

$$P_2=3.32\times10^{-3}D_0\ G\ V^{1/3} \qquad （式\ 9\text{-}2）$$

式中：

P_2——泄漏辐射的臭氧的产额；

D_0——有用线束在距等中心 1m 处的输出量，Gy/min，本项目加速器为 24Gy/min；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，本项目取 10；

V——加速器机房容积，m^3；本项目直线加速器机房约为 314.3m^3。

则本项目泄漏辐射所致的臭氧产额为 5.42mg/h。

③臭氧浓度

在加速器运行时，治疗室内有臭氧不断生成，同时臭氧也在不断分解，治疗室的通风换气也在不断排出臭氧。当运行时间趋于无穷大时，治疗室内的臭氧量可达平衡，加速器机房内臭氧的平均浓度估算公式如下：

$$C=Qo\cdot Tv/V \qquad （式 9-3）$$

式中：

C——室内臭氧浓度，mg/m^3；

Q_0——臭氧的辐射化学产额，mg/h；经上文计算，本项目臭氧的辐射化学产额为 $P_1+P_2=74.5+5.42=79.92mg/h$；

Tv——臭氧有效清除时间，h；

V——治疗室空间体积，本项目直线加速器机房约为 314.3m^3。

$$T_v=\frac{t_v\cdot t_a}{t_v+t_a} \qquad （式 9-4）$$

式中：

t_v——每次换气时间，本项目通风换气次数约为 6.3 次/h，则每次换气次数为 0.16h；

t_a——臭氧分解时间，h；本项目取 0.83h。

经计算，在正常排风时直线加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $3.4\times10^{-2}mg/m^3$。

由计算结果可知，本项目直线加速器机房室内臭氧浓度均可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分:化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中“工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3mg/m^3$”的要求。氮氧化物产生量约为臭氧的 1/3，废气经通排风系统排出机房外，臭氧 50 分钟后可自然分解，对周围大气环境影响很小。

9.3.3.2 非正常工况下污染源项描述

直线加速器和 CBCT 非正常工况污染源项描述：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器或 CBCT，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器或 CBCT，则会造成机房中人员误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学科

10.1.1.1 场所选址与平面布局

本项目核医学科位于 9 号楼 1 层，核医学科东侧紧邻预留放免实验室和骨密度机房及其操作室，无地下层，楼上为闲置用房。

本项目核医学科工作场所设置有独立的储源室、废物间、分装注射室、注射后候诊室，且储源室、废物间和分装注射室邻近，降低了药物操作和转移过程中可能会出现的洒落等情况；注射后候诊室设有专用卫生间，患者产生的放射性废液均通至废水处理间处理；核医学科工作场所周边不邻接产科、儿科、食堂等部门；分装注射室的出入口处设置卫生通过间，内设淋浴间；患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉，患者单向流动，医院分时段管控患者的就诊时间，避免了患者之间交叉影响；各辐射工作场所均采取了辐射防护措施；所有出入口均设有单向门禁系统，非工作人员的引导不能进入，且出口避开了人流密集区域，设置合理。本项目核医学科工作场所布局满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所对于布局的要求，因此本项目核医学科工作场所布局合理。

10.1.1.2 非密封放射性物质工作场所分区

（1）分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

（2）控制区和监督区划分情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对控制区和监督区的定义，结合核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点，本项目核医学工作场所的控制区和监督区划分情况见表 10-1 和图 10-1。

表 10-1　本项目科医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
核医学科	储源室、废物间、分装注射室、敷贴室、注射后候诊室、留观室、SPECT/CT 机房、患者走廊、甲功室、废水处理间（内设衰变池组）	卫生通过间、SPECT/CT 操作间、报告室

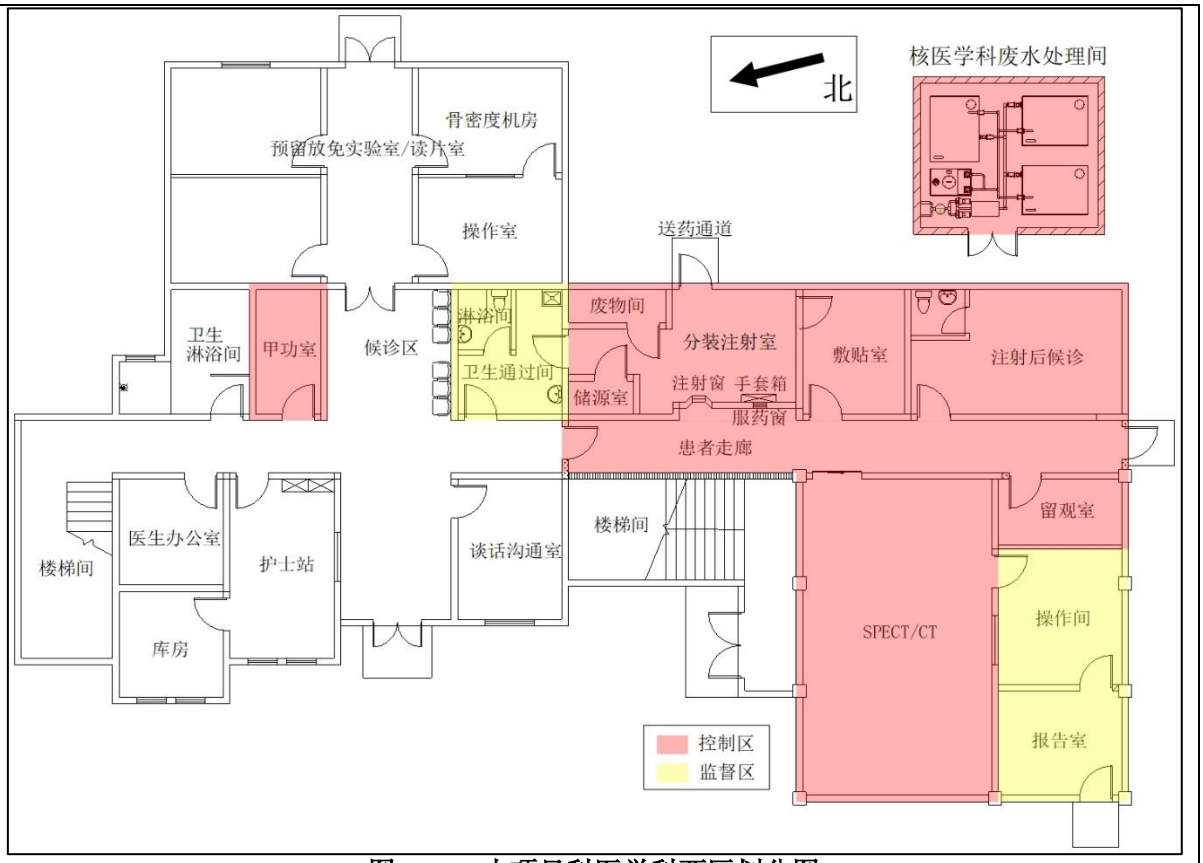


图 10-1　本项目科医学科两区划分图

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

A、控制区防护手段与安全措施

a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；

b、制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

c、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

d、在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

e、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

B、监督区防护手段与安全措施

a、以黄线警示监督区的边界；

b、在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

c、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

10.1.1.3 辐射工作场所屏蔽设计

（1）辐射工作场所屏蔽设计

由于本项目核医学科工作场所由原有闲置 9 号楼 1 层改造而来，医院保留 9 号楼 1 层外围原有 240mm 实心砖墙，拆除内部部分隔墙，对整个 1 层区域进行重新布局，并在东、西两侧各开辟 1 个门洞作为送药通道和核医学科入口，将南侧窗体改造为患者通道出口。改造前布局见附图 4，改造后平面布局见附图 5。

在对原有和新建墙体进行改造并按照核医学场所辐射安全防护要求进行防护措施的施工后，核医学科各功能用房能够保证满足屏蔽防护性能的需求和空间利用需求。本项目核医学科防护设计见图 10-2，具体参数表见表 10-2。

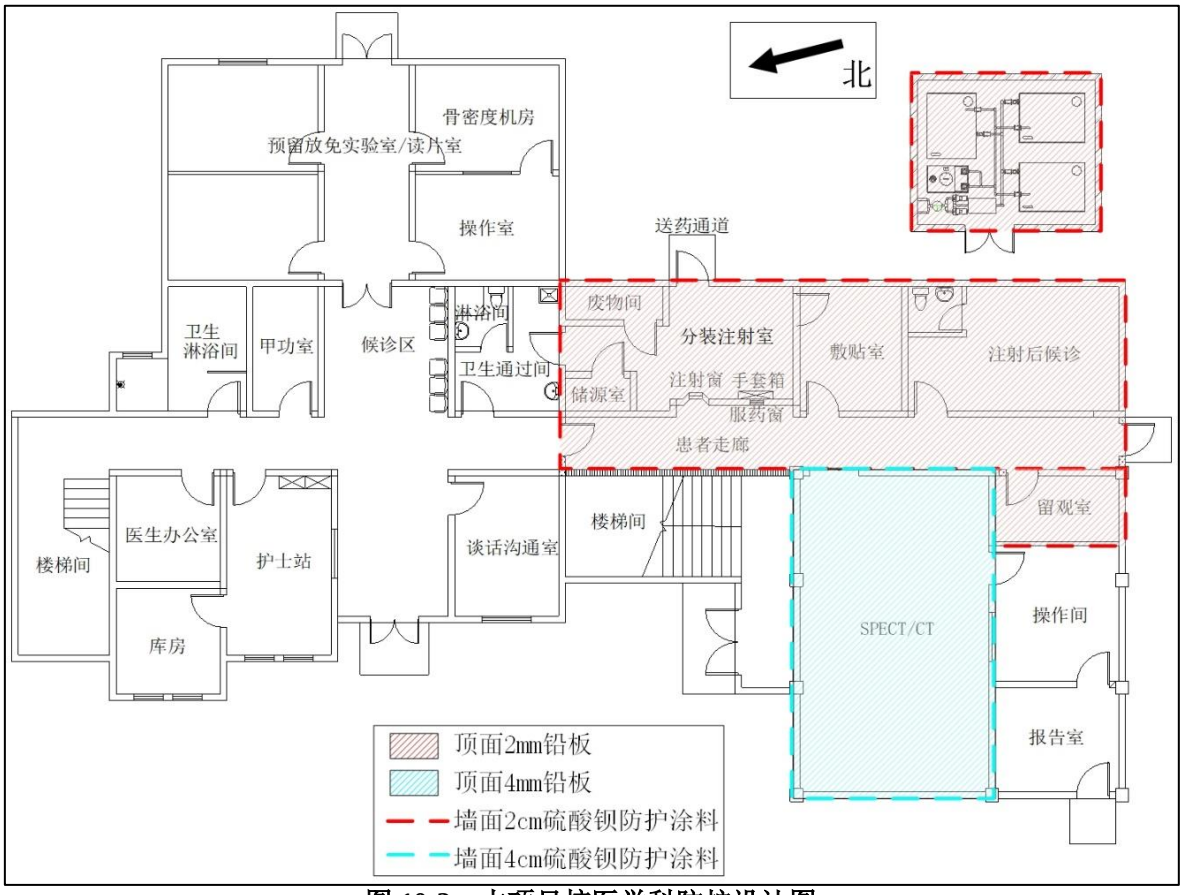


图 10-2　本项目核医学科防护设计图

表 10-2　辐射工作场所屏蔽设计方案

工作场所	屏蔽体		主要屏蔽材料及厚度
SPECT/CT 机房	四侧墙体		240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚		120mm 混凝土+4mm 铅板
	防护门（2 扇）（操作间、患者走廊）		内衬 4mm 铅板
	观察窗		4mmPb 当量铅玻璃
分装	四侧墙体	东、北	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料

注射室		西、南	240mm 实心砖
		储源室、废物间	内侧墙体为 240mm 实心砖
	顶棚		120mm 混凝土+2mm 铅板
	防护门 （卫生通过间、送药通道）		内衬 4mm 铅板
	注射窗		15mmPb 当量铅玻璃
	服药窗		30mmPb 当量铅玻璃
敷贴室	四侧墙体	东	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料
		南、西、北	240mm 实心砖
	顶棚		120mm 混凝土+2mm 铅板
	防护门		内衬 4mm 铅板
注射后候诊室	四侧墙体	东、南	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料
		西、北	240mm 实心砖
		卫生间	内侧墙体为 240mm 实心砖
	防护门		内衬 4mm 铅板
	顶棚		120mm 混凝土+2mm 铅板
留观室	四侧墙体	东、南、西	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料
		北	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚		120mm 混凝土+2mm 铅板
	防护门		内衬 4mm 铅板
患者走廊	四侧墙体	东	240mm 实心砖
		南、西、北	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（入口、出口）		内衬 4mm 铅板

表 10-3　射线装置机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		标准要求		符合性评价
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长度（m）	最小有效使用面积（m^2）	
SPECT/CT 机房	5.8	56.26	4.5	30	符合

表 10-4　射线装置机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量（mmPb）	标准要求（mmPb）	是否符合要求
SPECT/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料	6	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	是
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4		是
	防护门	内衬 4mm 铅板	4		是
	顶棚	120mm 混凝土+4mm 铅板	5.1		是

注：混凝土密度取 2.35g/cm^3 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，140kV 下顶棚 120mm 混凝土折算为 1.1mmPb 当量。由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 140kV 下的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm^3 核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖折算为 2mmPb 当量。硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm^3，10mm 厚度等效为 1mmPb。

本项目 SPECT/CT 属于III类射线装置，其机房有效使用面积及屏蔽设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

10.1.1.4 辐射安全和防护、环保相关设施

（1）辐射安全措施

①SPECT/CT机房拟设置门灯联锁装置，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器，对SPECT/CT机房内的情况进行实时监控。

②在SPECT/CT机房防护门、分装注射室防护门、废物间防护门、储源室防护门、敷贴室防护门、注射后候诊室防护门、留观室防护门、患者通道防护门、手套箱、铅桶等处设置电离辐射警告标志；实行两区管理，监督区和控制区入口设置明显的监督区和控制区标识。

③核医学科患者通道进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药患者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。患者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

④本项目核素操作均在手套箱内进行，手套箱通风速率不小于 0.5m/s，且设独立排风管道；且工作人员穿戴相应的防护用品。

⑤注射后候诊室设有患者专用卫生间，卫生通过间设有洗手台和淋浴间，放射性废液直接流向废水处理间。注射后候诊室设置移动铅屏风，降低患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他患者之间的交叉照射；带药患者的排泄、呕吐物等均由患者专用厕所排放至废水处理间内。

⑥卫生通过间和注射后候诊室内的洗手台均设置为感应式水龙头，注射后候诊室内专用卫生间拟设感应式节水座便马桶。

⑦储源室保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

⑧SPECT/CT运行过程中，X射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，SPECT/CT机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

（2）工作场所表面污染控制与防护

①工作场所分区管理

本项目按照开展临床核医学项目非密封性放射性同位素的种类及用量，对工作场所进行了划分，从非活性区进出活性工作区需经卫生通过间（含淋浴间），并在卫生通过间内设置检测区和洗消设施，检测区内配备表面污染监测仪等检测设备。

②工作场所表面污染防护

涉及放射性药物操作的工作场所拟按要求采用易清洗且不易渗透材料（如 PVC

板等），拐角使用弧线处理；地面要求平整光滑，易于清洗，可铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆；墙面要求平整光滑，1 米以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等；工作台面要求平整、光滑、易于清洗。可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

放射性药物的暂存、分装均在手套箱内进行，手套箱内操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

（3）放射性药物的存放

①核医学科使用的放射性药物（^{99m}Tc、^{89}Sr、^{131}I、^{32}P）应向厂商按需订购，生产厂商根据医院前一天预定量，按时定量将放射性药物送达核医学科储源室，使用时工作人员从储源室内拿出，连同铅罐包装放置于手套箱内，^{131}I 铅罐则直接安装于手套箱内自动分碘仪中。

②储源室应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控并入科室和 110 监控系统、门口设置红外报警系统和电离辐射警告标志）。

③应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

④应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

⑤储源室内设施和措施应满足“六防”的防护要求。

（4）工作人员的防护措施

辐射工作人员进入分装注射室需经卫生通过间更换服装，并穿戴工作服、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开分装注射室，需返经卫生通过间，清洗、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开。如果发现污染，工作服需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可使用；皮肤、手部等体表部位污染，需至淋浴间进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

（5）对受检者的防护

受检者根据预约按时来院，通过叫号系统在相应注射窗/服药窗/敷贴室接受给药后，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在患者专用厕所如厕。检查完毕由专门出口处离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，核医学科内部控制区患者通道出、入口的防护门均设置为带门禁系统的单向门，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

（6）内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。

本项目 ^{99m}Tc、^{89}Sr、^{32}P 核素均为外购，其核素操作均在手套箱进行，^{99m}Tc、^{89}Sr、^{32}P 为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，因此其产生的气溶胶量极少；^{131}I 由供货商用铅罐送至核医学科储源室，暂存期间密闭在铅罐内，使用时采用碘分装仪分装后，直接给患者口服，因此放射性气溶胶产生量较少；本项目辐射工作场所均设有通风设施，可以降低工作场所空气中的放射性物质浓度。医院严格规范辐射工作人员的工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食、饮水、化妆等；辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物洒漏。严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止核素沾染手和体表。

（7）防护设备与防护用品

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，建设单位拟配置的个人防护用品见表 10-5。

表 10-5　核医学科工作场所拟配置的个人防护用品表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	手套箱	分装注射室	1 台	30mmPb
2	储源铅罐	分装注射室	3 个	^{99m}Tc：6mmPb 铅罐 ^{131}I：40mmPb 铅罐 ^{89}Sr 、^{32}P：2mmPb+10mm 有机玻璃
3	衰变箱	废物间	3 个	^{99m}Tc、：4mmPb ^{131}I：10mmPb ^{89}Sr、 ^{32}P：2mmPb+10mm 有机玻璃
4	铅桶	分装注射室、注射后候诊室、留观室、敷贴室	4 个	分装注射室、注射后候诊室、留观室：10mmPb 敷贴室：2mmPb+10mm 有机玻璃
5	自动分碘仪	分装注射室	1 个	/
6	注射器防护套	分装注射室	1 个	^{99m}Tc：2mmPb 防护套
7	注射/服药窗口	分装注射室	2 个	注射窗：15mmPb铅玻璃 服药窗：30mmPb铅玻璃
8	铅提盒	分装注射室	1 个	4mmPb

9	应急及去污用品	卫生通过间	1 套	/
10	移动式铅屏风	注射后候诊室	3 个	4mmPb
		SPECT/CT 机房	1 个	4mmPb
11	有机玻璃眼镜和面罩	分装注射室	2 套	/
11	放射性污染防护服	/	按需购买	/

表 10-6　核医学科拟配置的监测仪器一览表

名称	量程参数	数量（台/套）
α/β 表面污染仪	α：0~9999cps，0.03~10^4Bq/cm^2 β：0~9999cps，0.3~10^4Bq/cm^2	1
便携式 X-γ 射线巡测仪	剂量当量率：0.01μSv/h～300mSv/h	1
活度计	0~250GBq(6Ci)	1
个人剂量报警仪	剂量当量率：Hp（10）0.1μSv/h - 99.99mSv/h	2

本项目核医学科运行期间主要污染物为 X-γ 射线、β 表面污染等，根据项目特点，医院拟配置 α/β 表面污染仪、活度计和便携式 X-γ 射线巡测仪等，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

10.1.2 直线加速器

10.1.2.1 工作场所平面布局

本项目直线加速器机房位于 7 号楼西南侧治疗中心内，治疗中心由直线加速器机房（内设迷道）、控制室、辅助机房（内设配电箱和水冷机等）、等候区和门厅组成，控制室和辅助机房位于直线加速器机房南侧。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“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”、“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”等规定，布局基本合理。加速器机房辐射工作场所位置及四周布局见表 10-7。

表 10-7　直线加速器机房四周布局一览表

直线加速器机房			
东侧	南侧	西侧	北侧
治疗中心外走道	控制室、辅助机房、门厅	等候区	治疗中心外走道

10.1.2.2 辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施

的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。本项目直线加速器控制区为治疗室内部（包括迷道）；监督区为控制室、辅助机房、等候区及门厅。

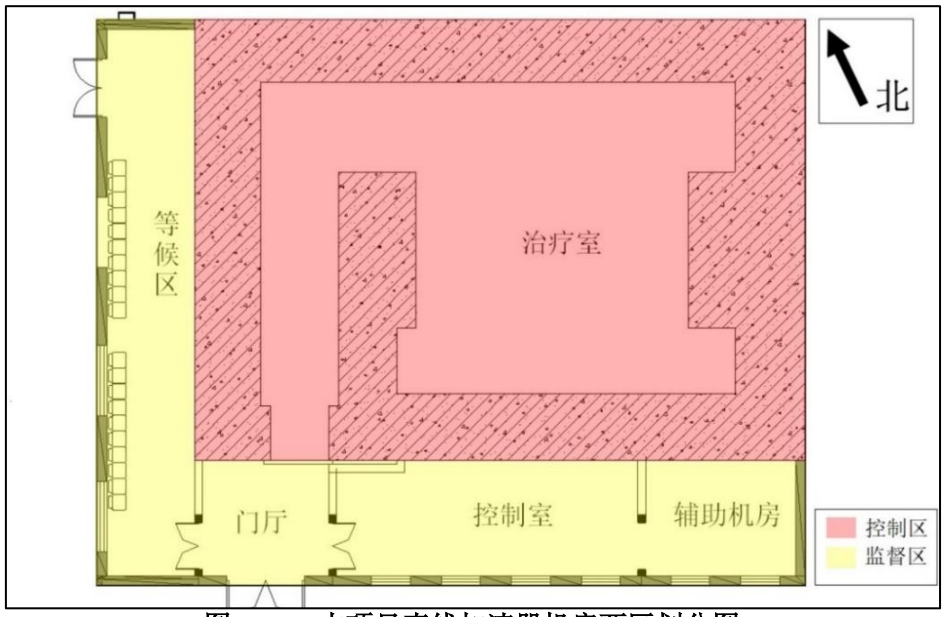


图 10-3　本项目直线加速器机房两区划分图

10.1.2.3 工作场所防护屏蔽设计

本项目加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ρ=2.35g/cm^3）浇筑而成。加速器机房平面布局详见图 10-4，剖面图详见图 10-5。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.2，“放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求，使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，需考虑中子屏蔽。”本项目拟购买的直线加速器的 X 射线能量最大为 10MV，无需考虑中子辐射防护。

表 10-8　加速器机房辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	部位	设计参数		
		尺寸		
直线加速器机房治疗室	机房几何尺寸	机房南北长 8m，东西宽 7m（不含迷道），迷路内入口宽 2.3m，迷路外入口（门洞）宽 1.5m，迷路长 9.7m，迷路宽度 2.0m，机房总面积 84.95m^2（含迷道），机房有效使用面积 56m^2，净高 3.7m。		
		屏蔽墙		厚度及材料
	东	主屏蔽墙	有用线束	3000mm 混凝土墙
		次屏蔽墙	非有用线束	1800mm 混凝土墙
	南	侧墙	非有用线束	1700mm 混凝土墙
	西	主屏蔽墙	有用线束	2000mm 混凝土墙
		次屏蔽墙	非有用线束	1500mm 混凝土墙
		迷路外墙	非有用线束	1700mm 混凝土墙

	北	侧墙	非有用线束	1600mm 混凝土墙
	顶棚	主屏蔽墙	有用线束	3000mm 混凝土墙
		次屏蔽墙	非有用线束	1800mm 混凝土墙
	防护门		20mm 铅，外加钢板固定	

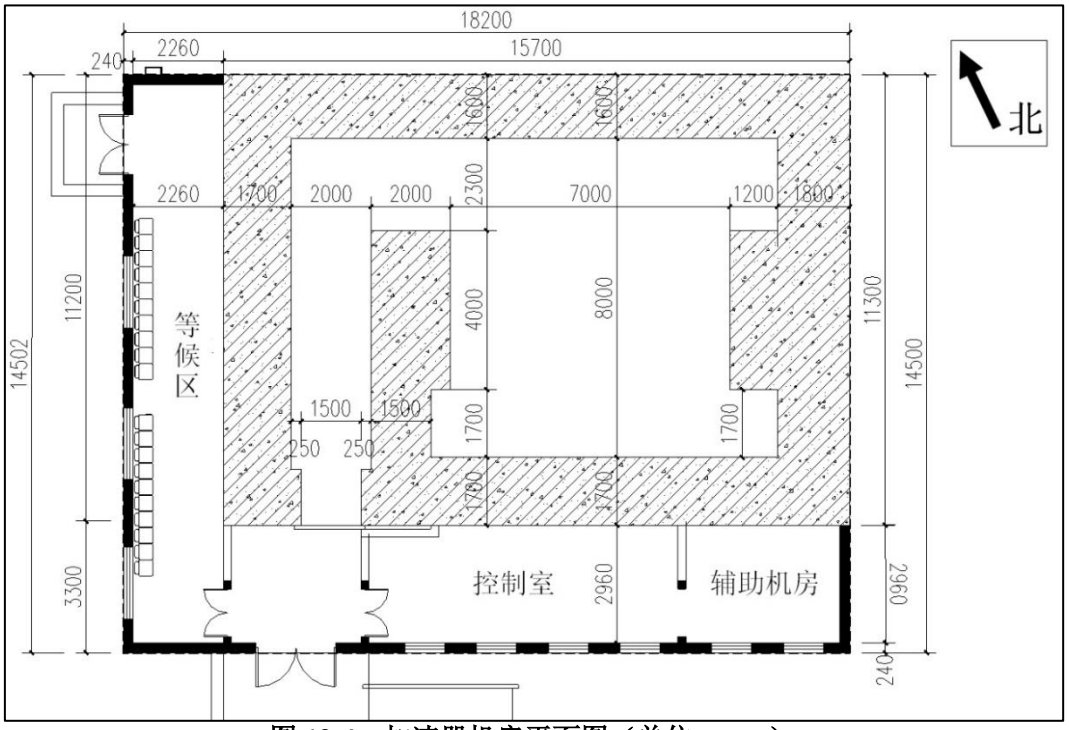


图 10-4　加速器机房平面图（单位：mm）

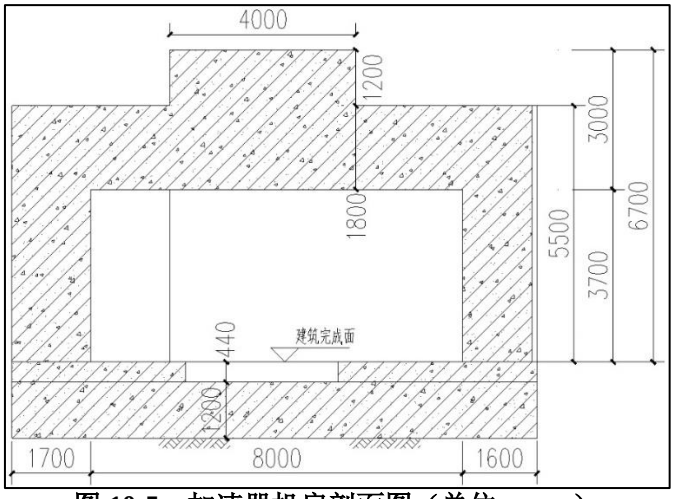


图 10-5　加速器机房剖面图（单位：mm）

表 11 环境影响预测表明，本项目直线加速器机房外的辐射屏蔽设计均能够使直线加速器机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。因此，本项目直线加速器机房屏蔽设计基本合理。

10.1.2.4 机房通风、电缆管线设计

（1）机房通风设计

直线加速器运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。本项目直

线加速器治疗室拟安装排风系统，采取全排全送的通风方式，有效通风量不小于2000m^3/h，通风换气次数约为 6.3 次/h，排风口位于治疗中心屋顶，避开了人流较大的场所，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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”的要求。

为避免影响屏蔽效果，新风管道位于防护门洞上方，呈“Z”型穿墙，送风口布排在装饰天花板上合适位置；排风管道穿过治疗室与辅助机房隔墙，呈“Z”型穿墙，风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，距地 H=200mm。送风口与排风口呈“上进下出，对角设置”设置，利于密度相对大的臭氧排出。

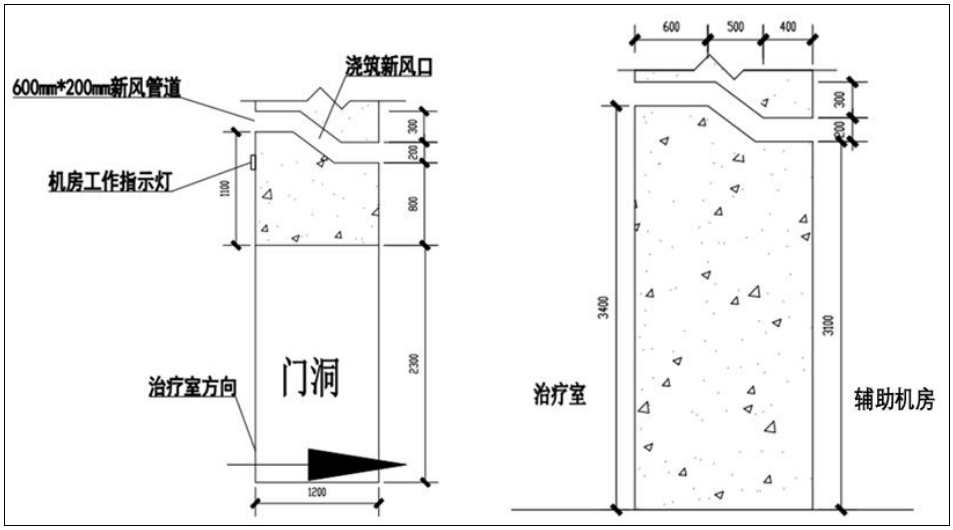


图 10-6　加速器机房通排风管线穿墙示意图

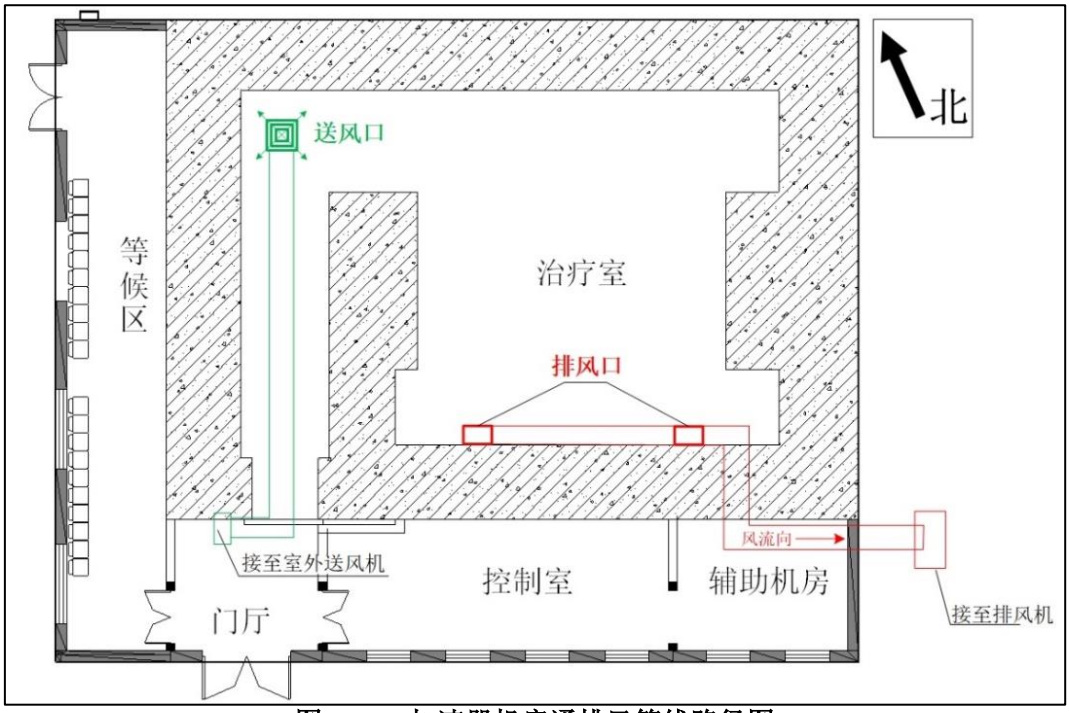


图 10-7　加速器机房通排风管线路径图

②电缆及水管布设

直线加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，采用“U”型路径设计，电缆沟盖板采用 4mm 厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。电缆管线以“U”字型穿墙，管道穿墙方式下图所示。

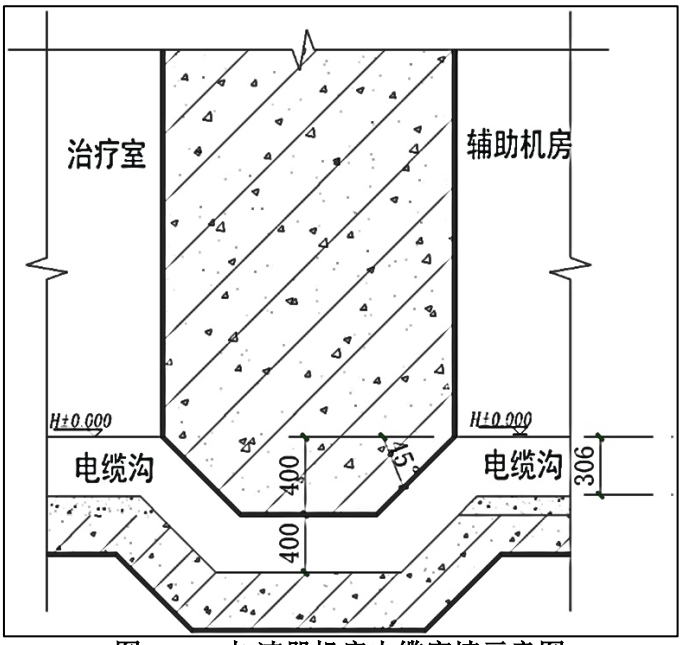


图 10-8　加速器机房电缆穿墙示意图

10.1.2.5 安全防护措施

（1）设备固有安全性

本项目直线加速器拟购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，本身具备多种安全防护措施。

①控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

②患者剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证患者治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

③运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置了运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才有可能对机器运动部件进行起动和控制。

④急停开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器和CBCT 主电源。

⑤剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解患者剂量情况。

⑥密码设置。设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑦系统操作联锁。加速器设置了硬件联锁，在非正常操作或在异常情况下，可以停止机器运行或切断电源，以备特殊情况下应急之用。系统操作联锁情况见下表 10-9。

表 10-9　加速器硬件联锁一览表

名称	装置部位	功能	备注
急停开关	主机架、治疗床及控制台	紧急切断系统控制电源	意外情况下可以切断控制电源
碰撞保护环	附件盘、影子盘	发生碰撞时停止机械部件运动	发生碰撞时自动停止机器运动
运动部件二级限位开关	旋转机架、治疗床升降、辐射头旋转	二级限位开关，切断动力电源	异常情况切断动力电源

（2）加速器机房辐射防护设施设计

①固定式辐射剂量监测仪（带有报警功能）：机房迷道内入口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪，其显示单元装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

②设置门机安全联锁和门灯联锁，防护门上方设有工作状态指示灯与加速器关联，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下防护门打开，联锁装置立即切断加速器电源，使加速器立即停止出束。加速器启动时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。电动防护门设红外防挤压装置，探测高度能覆整个门洞高度范围，防止人员被夹伤。

③急停开关：直线加速器设备自带急停开关，医院拟在加速器机房内四侧墙体、防护门内侧和控制台处设置急停开关，急停开关为红色按钮式开关，安装高度约 1.2m，且相互串联，每个急停开关独立工作，按下任意开关可使设备停止出束，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下受到误照射。急停开关按下后，只有人工就地复

位并通过控制台才能重新启动设备；急停开关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易于触发。

④电离辐射警告标志、中文警示说明：机房出入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

⑤紧急开门装置：加速器机房防护门内侧，人员易接触的位置装有紧急开门按钮，在事故状态下工作人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃离。

⑥视频监视系统、双向交流对讲系统：加速器机房和控制室之间安装有视频监控 3 个（迷道内入口处 1 个，治疗室南、北墙体各 1 个）、双向交流对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过双向交流对讲系统与室内人员联系，以便于医生在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

直线加速器机房内安全防护设施分布如图 10-10 所示。

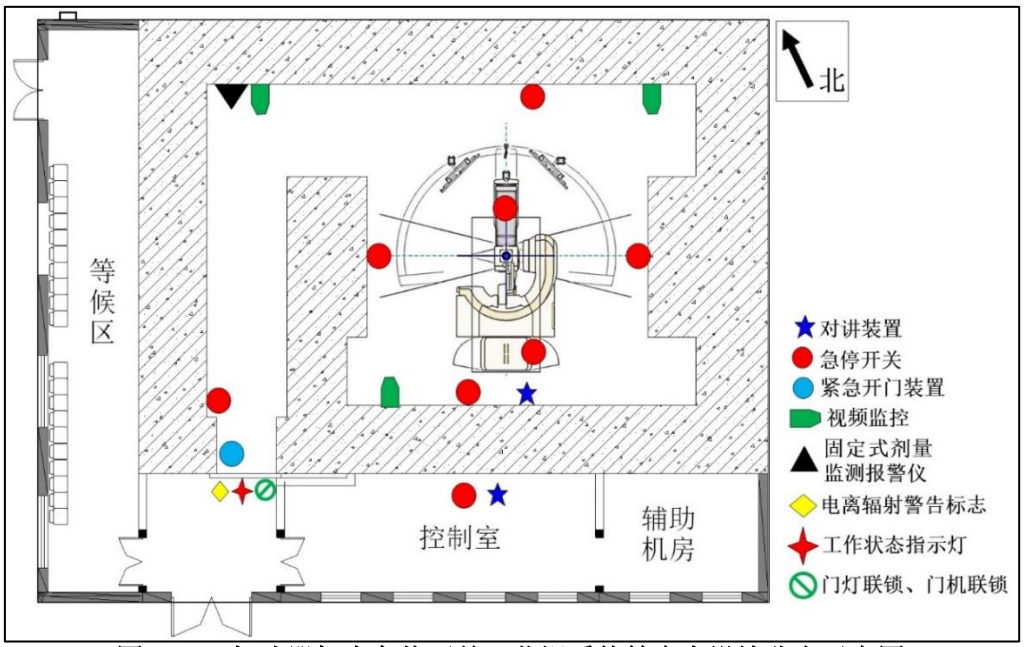


图 10-9　加速器机房急停开关、监视系统等安全设施分布示意图

（3）其他防护措施

①本项目直线加速器拟配备辐射工作人员 4 名，其中医生 1 人，物理师 1 人，技师 2 人，配备 2 台个人剂量报警仪，并每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪。

②配备 1 台便携式 X-γ 剂量率监测仪（可依托医院原有），并配备 1 套固定式剂量报警仪；

③操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

④受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

⑤在机房墙体合适位置和防护门上张贴电离辐射警告标志，在控制区墙体合适位置张贴警示标识。

对照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目机房符合性分析如表 10-10 所示。

表 10-10　本项目直线加速器机房符合性分析表

机房	防护要求	本项目分析	符合性
选址与布局	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	本项目直线加速器机房位于医院本部院区 7 号楼西南侧治疗中心，为单层建筑。	符合
	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，或人员流动性打的商业活动区域。	本项目直线加速器机房位于 7 号楼西南侧治疗中心，为单层建筑，周边无产科、儿科病房及商业活动区域	符合
分区原则	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所。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控和评价的区域划定为监督区	本项目直线加速器机房工作场所实行“两区”管理，直线加速器机房及迷道划为控制区，控制室、辅助机房、等待区和门厅划为监督区。	符合
屏蔽要求	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、最大照射野能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	本项目直线加速器机房已按照最大能量、最大剂量率等参数进行计算，且充分考虑辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	符合
	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。	本项目直线加速器机房的墙体均为普通混凝土，屏蔽材料符合最优化要求。	符合
	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。	本项目机房电缆沟采用“U”型方式穿越墙体，电缆沟覆盖铅板；通风管线以“U”型方式穿越墙体。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽与门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍。	符合
	治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平应满足 6.1.4 相关要求	本项目机房侧墙体及防护门外剂量率水平满足参考控制水平	符合
安全防护设施和措施要求	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	加速器机房拟在机房入口处设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	符合
	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	机房内设置视频装置，控制室设置双向交流对讲系统。	符合
	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	拟在机房迷道内入口处设置固定式辐射剂量监测仪	符合

	放射治疗室大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，含放射源的治疗设备应设有断电自动回源设施	拟按要求设置，机房设置门-机联锁。	符合
	放射治疗室大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能	本项目拟在机房迷道防护门内侧设有紧急开门装置，防护门设红外防夹伤功能。	符合
	应在放射治疗设备的控制室、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙体设置急停急停按钮；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	拟在直线加速器机房四周墙体、迷道防护门内侧、控制室控制台均设急停开关，急停开关设置有醒目标识，便于人员从各方向观察到且便于触发。	符合

由表可知，本项目直线加速器机房选址、屏蔽防护设计及安全设施均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）标准要求。

10.2“三废”治理

10.2.1 核医学科

本项目拟建核医学科使用非密封性同位素过程中会产生放射性固废、放射性废液和放射性废气，医院拟采取以下“三废”治理措施。

（1）放射性废液

本项目核医学工作场所产生的放射性废液主要为含放射性核素的清洗废水和患者专用卫生间产生的含放射性核素的废水。^{89}Sr、^{131}I和 ^{32}P治疗患者给药后即可离开核医学科，因此不产生放射性废液。核医学科辐射工作场所产生的放射性废液均统一收集至核医学科东侧废水处理间内。废水处理间内设 1 个衰变池组，用于贮存SPECT/CT显像诊断项目产生的放射性废液。

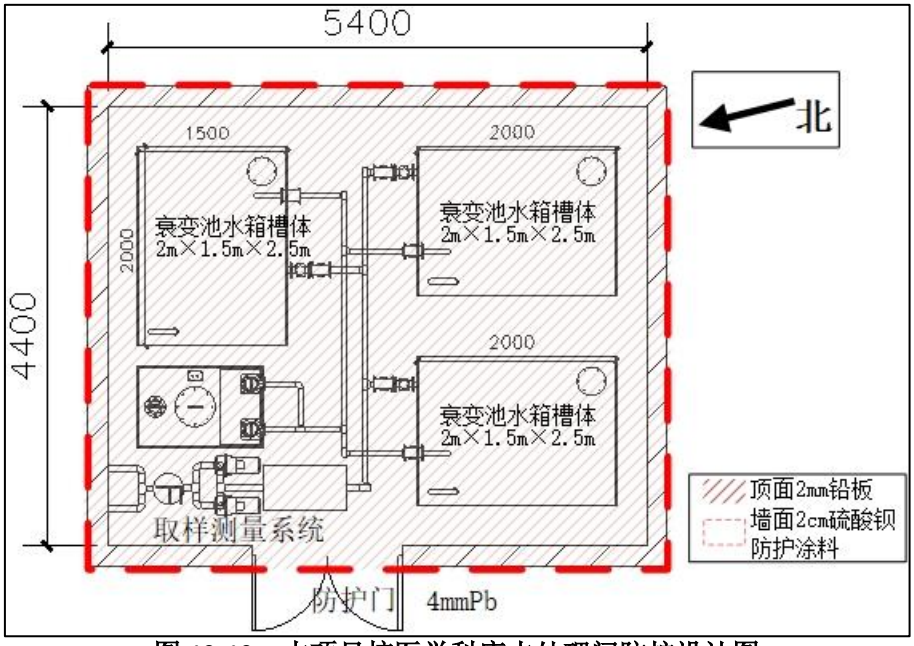


图 10-10　本项目核医学科废水处理间防护设计图

本项目核医学科废水处理间位于 9 号楼东侧，由原有闲置用房改建。废水处理间尺寸为 5.4m×4.4m×4m，四侧墙体采用 240mm实心砖+20mm硫酸钡防护涂料，顶棚为 2mm铅板，防护门内衬 4mm铅板，可确保辐射防护安全。本项目废水处理间主要收集贮存含 ^{99m}Tc的放射性废液，因此衰变池内废水贮存超过 30 天后，可直接解控排入医院污水处理站。

①核医学放射性废液收集管线

核医学科产生的放射性废液通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。核医学科放射性废液管道均要求抗酸碱、耐腐蚀。本项目通往衰变池的放射性废液管道室外部分需采用地埋的方式，不直接裸露在地表外，地埋深度≥50cm，其上覆土层中硫酸钡水泥砂浆（密度为 3.2g/cm^3）的厚度≥5cm。衰变后的废水满足暂存要求后可直接排入医院污水处理站。核医学放射性废液处理流程示意图见图 10-11，排水管线如附图 8 所示。

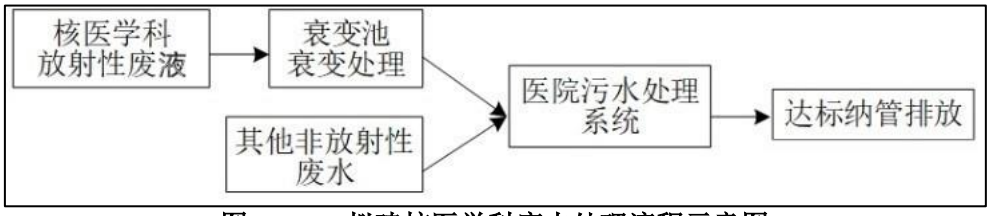


图 10-11　拟建核医学科废水处理流程示意图

②衰变池设计

废水处理间内设置内置内拟设置 1 组衰变池，由 3 个槽式衰变池组成，单个衰变池容积为 7.5m^3（2m×1.5m×2.5m），总有效容积 22.5m^3。衰变池末端排放口设废液取样测量系统，可远程控制取样或每次排放自动取样，同时可切换手动排放模式，手动控制整体系统运行，同时配置取样口，方便人工取样。整个衰变组合池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时首先将放射性废液排至第一个池，当第一个池体注满后，自动关闭（开始计算衰变期），开启第二个池，当第二个池注满后，自动关闭，开启第三个池，在第三个池未注满前第一个池体内的废液已存储满足半衰期开始排放，当第三个槽体注满后，自动关闭，开启第一个槽体，依次循环。每个衰变池排放出口连接取样测量系统（自动监测辐射剂量率），经过衰变后的废液排入医院污水处理站进一步处理，处理达标后排放纳入市政污水管网。

由工程分析可知，本项目核医学科工作场所每天产生废水 0.25m^3，则注满一个为 7.5m^3 衰变池约需要 30 天，第一个衰变池最后进入的废水存储时间（即为将第二、第

三个衰变池注满的时间）约为 60 天。本项目放射性废液所含核素 ^{99m}Tc 半衰期 6.02h，小于 24h，衰变 30 天后可直接解控排放排入医院污水处理站，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求。综上，本项目衰变池设计容积能够满足放射性废水产生量的收集处理要求。

衰变池进水管上的电磁阀和衰变池排水泵采用PLC可编程控制器自动控制。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停排水泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。衰变池的管理应做到以下几个方面：

a.衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施。

b.规定患者诊断期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

c.专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

d.每个衰变池设置标准取样检测口，以方便取样检测。

e.衰变池上方的绿化设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

（2）放射性废气

为保持核医学科工作场所良好通风，本项目核医学科设有 2 条排风管道，1 条单独连接分装注射室内手套箱，设计使用总排风量不小于 2000m^3/h 的排风机，排放风速不低于 0.5m/s；另 1 条连接分装注射室、储源室、废物间、敷贴室、注射后候诊室及内置卫生间、留观室、SPECT/CT 机房和患者走廊，设计使用总排风量不小于 2000m^3/h 的排风机。气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所内的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。排风管线设计图见附图 7。

核医学科产生的废气经由东侧的排风井内单独管道排至 9 号楼楼顶，并高出屋脊排放。9 号楼东侧为立体停车楼、废水处理间和库房等建筑，无高层建筑。排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风口设活性炭吸附装置。另外，手套箱的顶壁安装活性炭过滤装置。

（三）放射性固废

本项目核医学科运行过程会产生废弃的一次性注射器、一次性杯子、废旧敷贴、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿及擦拭污染地面的物品等放射性废弃物。医院拟将上述放射性固体废物收集于核医学科铅桶内专用塑料包装袋，包装袋显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量不超过 20kg。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物间衰变箱内。

本项目核医学科工作场所内设有 1 间 3m^2 废物间，东、北两墙体采用 240mm实心砖+2mm硫酸钡防护涂料，西、南两墙体采用 240mm实心砖，顶棚采用 120mm混凝土+2mm铅板。废物间内设 3 个衰变箱，用于贮存放射性固体废物。

表 10-11　本项目放射性废物所需衰变箱总容积

核素		年产生量 kg	平均月产生量 kg	衰变时间 d	所需衰变箱容积 L	拟配备衰变箱
^{99m}Tc		125	10.42	30	10.42	12L，4mmPb衰变箱
^{32}P		62.5	5.21	143	24.83	60L，2mmPb+10mm有机玻璃衰变箱
^{89}Sr		25	2.08	506	35.08	
^{131}I	甲亢	10	5	180	30	40L，10mmPb衰变箱
	甲测	50				
废活性炭*		5	/	180	5	
合计						112L
注：*废活性炭沾染了各种核素，考虑到 ^{131}I相较其他核素具有较强的挥发性，故当做含 ^{131}I的固体放射性废物处理						

经计算，本项目放射性固废暂存所需衰变箱总容积为 112L，本项目核医学科废物间容积（约 11.4m^3）能够满足放射性固废收集暂存要求。

以上固体放射性废物暂存时间结束后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

10.2.2 直线加速器

直线加速器运行过程，X 射线或电子线会与空气发生电离作用，产生臭氧、氮氧化物及感生放射性气体。

本项目直线加速器机房拟安装有效通风量不小于 2000m^3/h 的风机进行通风，直线加速器机房容积约 314.5m^3，通风换气次数约为 6.4 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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”的要求。臭氧、氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，对周围环境影响较小。感生放射性气体产生量较少，且产生的气态感生放射性核素主要为 ^{15}O 和 ^{13}N，其半衰期分别为 2.0min 和 10.0min，一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和患者造成危害。

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，对于检修更换或退役时拆卸下来的废靶，需放入屏蔽容器，由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。

直线加速器放射治疗过程不产生放射性固废和放射性废液。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

施工期污染物主要为施工过程产生的废水、噪声、扬尘及固体废弃物等。

（1）废水

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水循环使用，生活污水产量较小，可依托医院现有化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

（2）扬尘

施工过程中会产生扬尘，主要是土建和装修过程中产生的扬尘。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

（3）固废

施工过程中会产生建筑垃圾、装修垃圾和生活垃圾。建筑垃圾、装修垃圾部分回收利用，剩余部分由施工单位外运至建筑垃圾堆放场；施工人员产生的生活垃圾产生量不大，由医院进行统一集中收集，并交由当地环卫部门清运。

通过严格执行国家环保法律法规以及当地政府的管理规定，科学管理、文明施工，本项目施工期产生的固体废物对周围环境影响较小。

（4）噪声

施工期噪声包括各类机械、运输车辆的噪声以及土建施工产生的噪声，由于施工范围靠近7号门诊楼，施工噪声会对医护人员及患者产生一定的影响。应合理制定施工计划，避开午休时间，禁止在夜间施工；施工设备应考虑选择低噪音设备，防止噪声超标；合理布局施工场地，避免在同一施工地点安排大量动力机械设备；适当设置临时声障。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行（安装调试阶段不涉及使用非密封放射性物质），医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进

入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 营运期环境影响分析

11.2.1 核医学科

11.2.1.1 核医学科运行期γ射线辐射影响分析

核素 ^{89}Sr 和 ^{32}P 在衰变过程中只有β射线产生，因此本项目预测γ射线辐射影响分析时不考虑核素 ^{89}Sr 和 ^{32}P，只考虑核素 ^{99m}Tc 和 ^{131}I。

（1）关注点处剂量率计算公式

辐射工作人员进行相关放射性核素的分装并给病人注射/病人服用放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的γ射线引起的辐射照射。当病人注射/服用了放射性核素之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。对于发射γ射线的放射性核素在进行辐射环境影响预测时，将核素及已注射/服用核素的病人简化成点源，其辐射剂量率可近似按照点源模式计算，

核医学工作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式为：

$$H=10^{-X/TVL}\,A\,\Gamma/R^2 \qquad （式 11-1）$$

式中：

H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 μSv/h；

X——屏蔽厚度，单位为 mm；

A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 μSv·m^2/(h·MBq)；

R——参考点与放射源间的距离，m。

表 11-1　本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{99m}Tc	^{131}I
铅什值层厚度 TVL	1mm	11mm
混凝土什值层厚度 TVL（ρ=2.35t/m^3）	110mm	170mm
实心砖什值层厚度 TVL（ρ=1.65t/m^3）	160mm	240mm
周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m^2/(h·MBq)	0.0303	0.0595
患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 *Γ*（μSv·m^2/(h·MBq)）	0.0207	0.0583
注：以上数据均来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 H、附录 I 和附录 L。		

（2）工作负荷及计算参数

①分装注射室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到分装注射室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。^{99m}Tc不开展分装，注射前需在手套箱内测活；^{131}I给药前医护人员将存有药物的铅罐从储源室保险柜拿出，置于自动分装仪内。工作人员在分装注射室内远程操作，病人在服药窗可直接拿取盛有分装好的药液的一次性杯子，全过程医护人员进行严格监控。在药物分装和病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

②注射后候诊室、留观室

SPECT/CT患者注射完放射性药物后，通过患者通道进入注射后候诊室，随后进入SPECT/CT机房进行显像扫描；患者结束检查后通过患者通道进入留观室短暂留观，后由患者通道离开核医学科。

核医学科设置1间注射后候诊室，病椅均匀分布，病椅之间设置铅屏风。SPECT/CT每次仅能扫描一个患者，^{99m}Tc扫描患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 9.25×10^{8}Bq，偏保守的角度仍按单个患者 9.25×10^{8}Bq ^{99m}Tc的点源计算。注射后候诊室保守按 4 个 ^{99m}Tc患者同时等待或观察，单个患者注射 ^{99m}Tc为 9.25×10^{8}Bq，则注射后候诊室源强总活度为：3.7×10^{9}Bq。

核医学科设置 1 间留观室，按 1 个 ^{99m}Tc患者进行计算，则留观室源强活度为：^{99m}Tc：9.25×10^{8}Bq。

③甲功室

甲测患者口服完放射性药物后，由患者出口离开核医学科，随后 2h、4h、6h 和 24h 后返回甲功室进行检查，甲功室每次控制 1 个甲测病人检查，进行甲状腺碘吸收率测定时，护士按身体距离患者约 1m 进行估算，甲功室源强活度为：1.85×10^{5}Bq。

④机房摆位人员

摆位过程工作人员在防护屏风（4mm 铅当量）后进行摆位工作，按身体距离患者约 1.0m 进行估算。

预测关注点示意图见图 11-1。

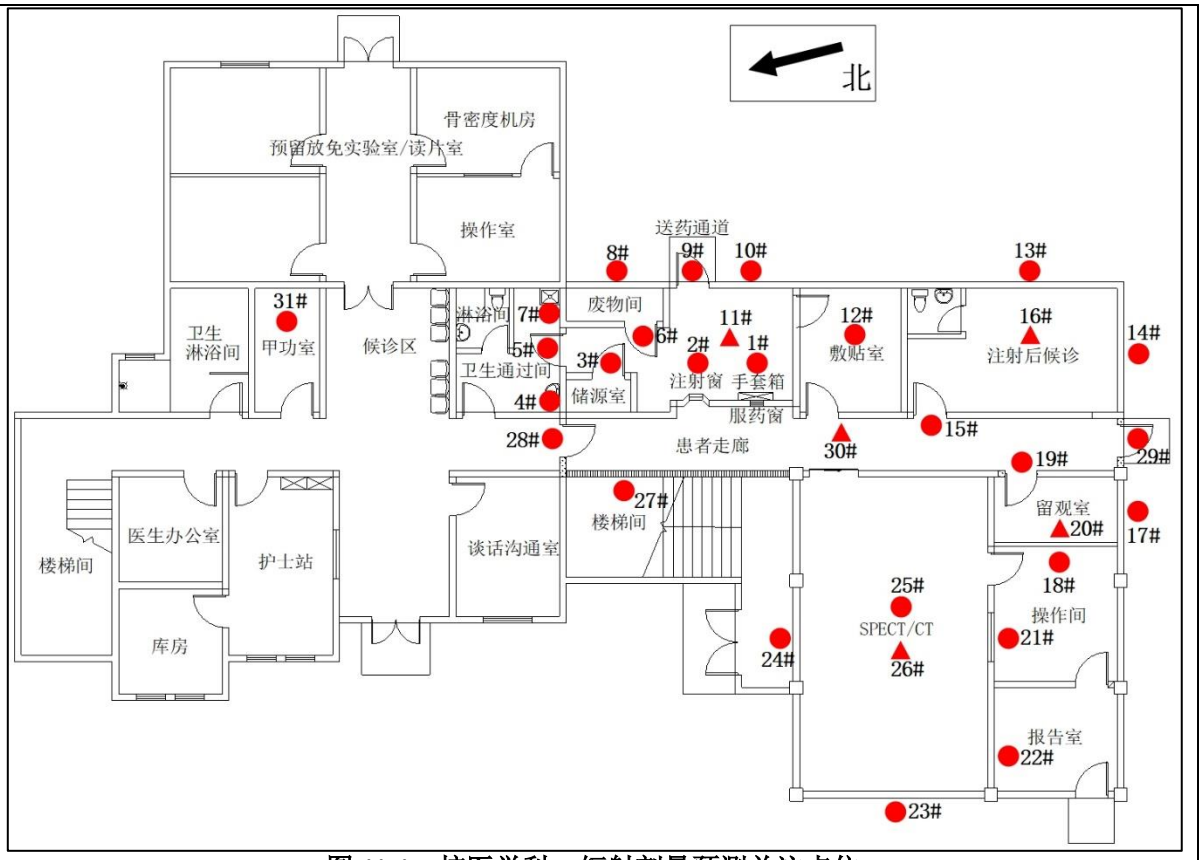


图 11-1　核医学科γ辐射剂量预测关注点位

表 11-2　核医学科γ辐射剂量预测

点位	参考点位置		源强（MBq）	与源距离（m）	屏蔽材料及厚度	关注点辐射水平 (μSv/h)	
1	分装注射室	手套箱操作位	^{99m}Tc 18500	0.5	6mmPb铅罐+30mmPb手套箱	2.24×10^{-33}	3.81×10^{-4}
			^{131}I 3700	0.5	40mmPb铅罐+30mmPb手套箱	3.81×10^{-4}	
2		注射窗	^{99m}Tc 925	0.5	15mmPb注射窗	1.12×10^{-13}	1.12×10^{-13}
3		储源室门外30cm	^{99m}Tc 18500	1.0	6mmPb铅罐	5.61×10^{-4}	5.14×10^{-2}
			^{131}I 3700	1.0	40mmPb铅罐	5.09×10^{-2}	
4		储源室北侧墙外30cm	^{99m}Tc 18500	1.0	6mmPb铅罐+240mm实心砖+20mm硫酸钡防护涂料	9.01×10^{-6}	3.29×10^{-3}
			^{131}I 3700	1.0	40mmPb铅罐+240mm实心砖+20mm硫酸钡防护涂料	3.28×10^{-3}	
5		分装注射室北侧门外30cm	^{99m}Tc 925	2.0	2mmPb注射器防护套+4mmPb防护门	7.01×10^{-6}	7.01×10^{-6}
6		废物间门外30cm	^{99m}Tc 185	1.0	4mmPb衰变箱	5.61×10^{-4}	2.72×10^{-1}
			^{131}I 37	1.0	10mmPb衰变箱	2.71×10^{-1}	

7		废物间北侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 185	1.0	4mmPb衰变箱 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	9.01×10^{-6}	1.75×10^{-2}
			^{131}I 37	1.0	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	1.75×10^{-2}	
8		废物间东侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 185	0.8	4mmPb衰变箱 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	1.41×10^{-5}	2.74×10^{-2}
			^{131}I 37	0.8	10mmPb衰变箱 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	2.74×10^{-2}	
9		分装注射室东侧门外 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	2mmPb注射器防护套 +4mmPb防护门	4.48×10^{-6}	4.48×10^{-6}
10		分装注射室东侧墙外 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	2mmPb注射器防护套 +240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	7.20×10^{-4}	7.20×10^{-4}
11		分装注射室顶棚 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	2mmPb注射器防护套 +120mm混凝土 +2mmPb铅板	3.64×10^{-5}	3.64×10^{-5}
13	注射后候诊室	注射后候诊室东侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 3700	2.0	240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	3.08×10^{-1}	3.08×10^{-1}
14		注射后候诊室南侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 3700	2.0	240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	3.08×10^{-1}	3.08×10^{-1}
15		注射后候诊室西侧防护门外 30cm	^{99m}Tc 3700	2.0	4mmPb防护门	1.91×10^{-3}	1.91×10^{-3}
16		注射后候诊室顶棚 30cm	^{99m}Tc 3700	2.5	120mm混凝土 +2mmPb铅板	9.94×10^{-3}	9.94×10^{-3}
17	留观室	留观室南侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 925	2.0	240mm实心砖 +20mm硫酸钡防护涂料	7.69×10^{-2}	7.69×10^{-2}
18		留观室西侧防护门外 30cm	^{99m}Tc 925	1.0	240mm实心砖	3.08×10^{-1}	3.08×10^{-1}
19		留观室东侧防护门外 30cm	^{99m}Tc 925	1.0	4mmPb防护门	1.91×10^{-3}	1.91×10^{-3}
20		留观室顶棚 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	120mm混凝土 +2mmPb铅板	2.48×10^{-3}	2.48×10^{-3}
21	SPECT/CT机房	SPECT/CT机房南侧防护窗外 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	4mmPb防护窗	3.06×10^{-4}	3.06×10^{-4}
22		SPECT/CT机房南侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	240mm实心砖 +40mm硫酸钡防护涂料	2.50×10^{-2}	2.50×10^{-2}
23		SPECT/CT机房西侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 925	4.5	240mm实心砖 +40mm硫酸钡防护涂料	7.72×10^{-3}	7.72×10^{-3}
24		SPECT/CT机房北侧墙体外 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	240mm实心砖 +40mm硫酸钡防护涂料	2.50×10^{-2}	2.50×10^{-2}

25		摆位人员	^{99m}Tc 925	1.0	4.0mmPb防护屏风	1.91×10^{-3}	1.91×10^{-3}
26		SPECT/CT机房顶棚 30cm	^{99m}Tc 925	2.5	120mm混凝土+4mmPb铅板	2.48×10^{-5}	2.48×10^{-5}
27	患者走廊①	患者走廊西侧墙体外 30cm处	^{99m}Tc 925	1.5	240mm实心砖+20mm硫酸钡防护涂料	1.37×10^{-1}	/
			^{131}I 370	1.5		6.18×10^{-1}	6.18×10^{-1}
28		患者走廊入口防护门外30cm处	^{99m}Tc 925	4.5	4mmPb防护门	9.46×10^{-5}	/
			^{131}I 370	6.0		2.59×10^{-1}	2.59×10^{-1}
29		患者走廊出口防护门外30cm处	^{99m}Tc 925	13.0	4mmPb防护门	1.13×10^{-5}	/
			^{131}I 370	11.0		7.72×10^{-2}	7.72×10^{-2}
30		患者走廊顶棚30cm	^{99m}Tc 925	2.5	120mm混凝土+2mmPb铅板	2.48×10^{-3}	/
			^{131}I 370	2.5		4.47×10^{-1}	4.47×10^{-1}
31	甲功室	检查人员	^{131}I 0.37	0.5	/	8.63×10^{-2}	8.63×10^{-2}

注：①医院通过叫号系统，分时段管控患者的就诊时间，以确保患者走廊内同一时间仅有 1 名患者。因此，患者通道点位选取辐射剂量率较大值作为该点位辐射剂量率水平。
②由于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中无硫酸钡防护涂料的什值层参数，因此硫酸钡防护涂料防护效果根据混凝土按密度进行折算，根据建设单位提供资料，本项目使用的混凝土密度为 2.35t/m^3，硫酸钡防护涂料密度为 3.8g/cm^3。

由上表计算结果可以看出，本项目核医学科手套箱外 30cm 处辐射工作人员操作位周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外 30cm 处的周围剂量当量率也小于 2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）屏蔽要求。

在实际过程中，由于衰变作用，核医学科内带药患者对墙外的辐射影响不断降低，实际比理论估算值低，因此本项目核医学科运行期间对周围辐射环境影响较小，满足相关要求。

11.2.1.2 β 射线辐射影响分析

（1）β 射线影响分析

本项目涉及使用的核素在衰变过程中会有 β 射线，根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β 射线在介质中的射程可采用下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \qquad （式 11-2）$$

式中：

d—最大射程，cm；

ρ—屏蔽材料密度，g/cm^3；

E_{MAX}—β 粒子的最大能量，MeV。

表 11-3　核素衰变产生的 β 射线在各介质中的理论最大射程

核素	^{89}Sr	^{131}I	^{32}P
β射线能量（MeV）*	0.5846	0.602	1.71
空气密度（g/cm^3）	1.29×10^{-3}		
空气中的射程（cm）	226.6	233.4	662.8
铅密度（g/cm^3）	11.34		
铅中的射程（cm）	0.026	0.027	0.075
铅玻璃密度（g/cm^3）	4.6		
铅玻璃中射程（cm）	0.064	0.065	0.186
有机玻璃密度（g/cm^3）	1.18		
有机玻璃中射程（cm）	0.248	0.255	0.725
注：β 射线能量取值来自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H。			

由上表可知，本项目核医学科非密封放射性物质工作场所设置了防护墙体和铅门进行屏蔽，β 射线在铅中的射程最大为 0.075cm，在有机玻璃中的最大射程为 0.725cm。医护人员在铅当量不低于 30mmPb 的手套箱内操作放射性核素，且注射时有铅当量不低于 15mmPb 的铅玻璃进行屏蔽；^{89}Sr 和 ^{32}P 储存和产生的固废均放置于 2mmPb 铅罐+10mm 有机玻璃容器中，故本项目放射性核素产生的 β 射线对周围环境影响很小。

（2）β 表面污染

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，建设单位要做到以下防护措施：

①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

②开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；

③操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查清洗、去污。工作人员应进行淋浴；

⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；

⑧做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

⑨如β表面污染水平超过GB18871-2002规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务。

（3）^{89}Sr、^{32}P韧致辐射影响分析

①公式选取

对于 ^{89}Sr 和 ^{32}P 核素为纯 β 衰变，屏蔽强 β 粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》，对 β 辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。韧致辐射的平均能量是入射 β 粒子最大能量的 1/3。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \qquad \text{（式 11-3）}$$

式中：

H_r——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r——参考点与屏蔽层的距离，m；

A——放射源活度，Bq；

Z_e——吸收 β 粒子的屏蔽材料的有效原子序数，取自《辐射防护导论》表 4.4，铅取 82，有机玻璃取 5.85；

E_b——韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b=E_{max}/3$，^{89}Sr 取 0.19MeV，^{32}P 取 0.57MeV；

μ_{en}/ρ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m^2/kg，取自《辐射防护导论》附表 1，^{89}Sr 取 2.672×10^{-3}，^{32}P 取 2.953×10^{-3}；

q——参考点所在区域相应的居留因子，保守取 1；

η——透射比，根据公式 $\eta=10^{-d/TVL}$ 得出（其中 TVL 屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度，由《辐射防护导论》表3.5查得^{89}Sr 在铅中取值：0.14cm，^{32}P 在铅中由内插法得：1.328cm；

②韧致辐射剂量率计算

本项目 ^{89}Sr 核素无需进行分装。^{89}Sr 治疗人均用量 1.48×10^8Bq，2 人/天，100 人/年，日最大操作量为 2.96×10^8Bq；本项目 ^{32}P 核素每周送一次药，统一时间制贴，完

成后放回储源室，^{32}P 治疗人均用量 7.4×10^{7}Bq，15 人/天，年 125 天，1875 人/年，日最大操作量为 3.33×10^{8}Bq，预测关注点位见图 11-1。

根据式 11-3，核医学科辐射剂量率计算结果见表 11-4。

表 11-4　韧致辐射辐射剂量率计算结果

点位	关注点位置		源活度（Bq）	距离（m）	屏蔽材料及厚度	η	关注点辐射剂量率（μSv/h）	
1	分装注射室	手套箱操作位	^{89}Sr 2.96×10^{8}	0.5	30mmPb手套箱	3.73×10^{-22}	1.60×10^{-22}	2.64×10^{-1}
			^{32}P 3.33×10^{9}	0.5		5.51×10^{-3}	2.64×10^{-1}	
2		注射窗	^{89}Sr 1.48×10^{8}	0.5	15mmPb注射窗	1.93×10^{-11}	4.14×10^{-12}	4.14×10^{-12}
3		储源室门外 30cm	^{89}Sr 2.96×10^{8}	1.0	2mmPb铅罐+10mm有机玻璃	3.73×10^{-2}	2.85×10^{-4}	6.05×10^{-1}
			^{32}P 3.33×10^{9}	1.0		7.07×10^{-1}	6.05×10^{-1}	
6		废物间门外 30cm	^{89}Sr 2.96×10^{6}	1.0	2mmPb衰变箱+10mm有机玻璃	3.73×10^{-2}	2.85×10^{-6}	6.05×10^{-3}
			^{32}P 3.33×10^{7}	1.0		7.07×10^{-1}	6.05×10^{-3}	
12	敷贴室	工作人员	^{32}P 2.22×10^{8}	0.5	/	1.0	2.28×10^{-1}	2.28×10^{-1}
注：敷贴室保守按照三名患者同时治疗进行计算。								

11.2.1.3 SPECT/CT 配套 CT 扫描装置辐射影响分析

本项目所使用的 SPECT/CT 配套 CT 额定管电压为 140kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，参考《医用 X 射线治疗放射防护要求》（GBZ131-2017），当 X 射线管额定电压≤150kV 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h。屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1，μGy/h 与 μSv/h 的转化因子取 1。

根据表 10-10 可知，本项目 SPECT/CT 机房屏蔽体外最低铅当量为 4mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 1.57×10^{-5}。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 2.5m，以上述数据核算，CT 设备运行所致的 X 射线辐射剂量率为 2.51×10^{-3}μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 2.5μSv/h 控制剂量率要求。根据表 11-1 SPECT/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值为 2.75×10^{-2}μSv/h，也不超过 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。

11.2.1.4 个人有效剂量

（1）关注点居留因子选取

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选取，具体数值见表 11-5。

表 11-5 居留因子的选取

场所	居留因子（T）		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

（2）辐射工作人员及公众受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量（见表 9-4），关注点处人员居留因子等参数，由式 11-4 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff}=Dr\times t\times T\times U \quad \text{……（式 11-4）}$$

式中：

D_{Eff}——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

Dr——辐射剂量率，Sv/h；

t——年工作时间，h；

T——居留因子；

U——使用因子，本项目 U 取 1。

表11-6 本项目核医学科辐射工作人员受照年有效剂量

岗位	关注点	剂量率	受照时间	年有效剂量（mSv）	
分装注射室核素操作人员	1#	2.24×10^{-23}（^{99m}Tc）	41.7h 每年5000人次，每人次取药、测活0.5min	9.35×10^{-25}	1.89
		1.60×10^{-22}（^{89}Sr）	0.84h 每年100人次，每人次取药、测活0.5min	1.34×10^{-25}	
		3.81×10^{-4}（^{131}I）	12.5h 每年安装碘罐250次，每次3min	4.76×10^{-6}	
		3.81×10^{-4}（^{131}I）	8.34h 每年指导服药1000人次，每次	3.18×10^{-6}	

			0.5min		
		2.64×10^{-1}（^{32}P）	31.25h 每年制贴1875次，每次1min	8.25×10^{-3}	
	2#	1.12×10^{-13}（^{99m}Tc）	41.7h 每年注射5000人次，每人次0.5min	4.67×10^{-15}	
		4.14×10^{-12}（^{89}Sr）	0.84h 每年注射100人次，每人次0.5min	3.48×10^{-15}	
	3#	5.14×10^{-2}（^{99m}Tc、^{131}I）	2000h	1.03×10^{-1}	
		6.05×10^{-1}（^{89}Sr、^{32}P）	2000h	1.21	
	6#	2.72×10^{-1}（^{99m}Tc、^{131}I）	2000h	5.44×10^{-1}	
		6.05×10^{-3}（^{89}Sr、^{32}P）	2000h	1.21×10^{-2}	
敷贴室操作人员	12#	2.28×10^{-1}（^{32}P）	31.25h 每年给药1875人次，每次1min	7.13×10^{-3}	
甲功室操作人员	31#	8.63×10^{-2}（^{131}I）	33.34h 每年500人次，每人4次，每次测定1min	2.88×10^{-3}	
SPECT机房操作间人员	22#	2.50×10^{-2}（^{99m}Tc）	1250h 每年5000人次，每人次检查15min	3.13×10^{-2}	3.15×10^{-2}
	25#	1.91×10^{-3}（^{99m}Tc）	83.4h 每年5000人次，每人次摆位1min	1.59×10^{-4}	
	SPECT/CT	2.51×10^{-3}	27.8h 每年5000人次，每人次出束20s	6.98×10^{-5}	
报告室医生	22#	2.50×10^{-2}（^{99m}Tc）	1250h 每年5000人次，每人次检查15min	3.13×10^{-2}	3.13×10^{-2}
	SPECT/CT	2.51×10^{-3}	27.8h 每年5000人次，每人次出束20s	6.98×10^{-5}	

由于关注点辐射剂量率随关注点与辐射源点的距离增加呈现衰减趋势，辐射剂量率与距离的平方呈反比，对远距离的周围环境影响甚微，因此仅考虑核医学科周围公众受照情况。

表11-7　本项目核医学科公众受照年有效剂量

保护目标	对应关注点	关注点剂量率 μSv/h	居留因子	受照时间 h	年有效剂量（mSv）
东侧墙外公众	8#	2.74×10^{-2}	1/8	2000	6.85×10^{-3}
南侧墙外公众	14#	3.08×10^{-1}	1/8	2000	7.70×10^{-2}
西侧墙外楼梯间公众	27#	6.18×10^{-1}	1/16	2000	7.73×10^{-2}
北侧患者通道入口外公众	28#	2.59×10^{-1}	1/8	2000	6.48×10^{-2}

根据上述估算结果可知：职业辐射工作人员所受外照射年有效剂量最大为1.89mSv，满足本项目职业人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求；公众所受外照射年有效剂量最大为 7.73×10^{-2}mSv，能满足本项目公众年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

综上所述，核医学科工作场所辐射工作人员和周围公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也低于本评价提出的工作人员5mSv和公众0.1mSv的年剂量约束值。

11.2.1.3 核医学“三废”影响分析

（1）放射性废液

核医学科产生的放射性废液通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池，经衰变处理达标后可直接解控排放排入医院污水处理站。本项目核医学放射性废液管线走向见附图 8。

废水处理间设置在 9 号楼东侧 1 层，内置 3 个相同尺寸的衰变池，每个衰变池容积为 7.5m^3（2m×1.5m×2.5m），衰变池并联设置，交替使用。由工程分析可知，本项目核医学科工作场所每天产生废水 0.25m^3，则注满一个为 7.5m^3 衰变池约需要 30 天，第一个衰变池最后进入的废水存储时间（即为将第二、第三个衰变池注满的时间）约为 60 天。本项目放射性废液所含核素 ^{99m}Tc 半衰期 6.02h，小于 24h，衰变 30 天后可直接解控排放排入医院污水处理站，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求。

参考《放射毒理学》（朱寿彭主编）给出的放射性核素的生理代谢规律，核医学门诊注射或口服的放射性药物在就诊时间内，约有 10%的放射性核素排出体外。本项目保守假设患者服药量10%的药物一次性排出体外。本项目放射性废液所含核素 ^{99m}Tc 析，则 ^{99m}Tc 患者一次排出体外的 ^{99m}Tc 活度最大为 9.25×10^7Bq。本项目通往衰变池的放射性废液管道室外部分需采用地埋的方式，不直接裸露在地表外，地埋深度≥50cm，其上覆土层中硫酸钡水泥砂浆（密度为 3.2g/cm^3）的厚度≥5cm。本项目采用《辐射防护导论》中线源公式计算放射性废水排水管道表面 30cmm 处辐射剂量率：

$$\dot{K} = \frac{2A \cdot \Gamma_k}{L \cdot r} tg^{-1} \frac{L}{2r} \cdot \eta \qquad （式 11-5）$$

式中：

K——周围剂量当量率，μSv/h；

A——放射性药物的活度；

Γ——周围剂量当量率常数，μSv·m^2/(MBq ħ)

L——源长，本项目

r——与线源的垂直距离，m；

η——透射比，计算方法见式。

表 11-8　本项目核医学科废液管道外表面剂量率

点位	A（MBq）	Γ μSv·m²/(MBq·h)	L（m）	r（m）	屏蔽材料	η*	K（μSv/h）
放射性废液管道外表面 30cm	92.5	0.0303	11.5	0.8	50mm 硫酸钡水泥	0.24	0.21

注：*由于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中无硫酸钡水泥的什值层参数，因此硫酸钡水泥效果根据混凝土按密度进行折算，根据建设单位提供资料，本项目进行折算的混凝土密度为 2.35t/m³，硫酸钡防护涂料密度为 3.2g/cm³。

根据计算结果可得，本项目放射性废液管道外表面 30cm 处周围剂量当量率为 0.21μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性废液管道周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的要求。

本项目衰变池位于核医学科废水处理间内，为防止无关人员靠近，废水处理间防护门设有门锁装置，且废水处理间采取 240mm 实心砖+2mm 硫酸钡防护涂料的屏蔽防护措施。因此放射性废液收集管道和衰变池对周围辐射环境影响很小。

（2）废气

由污染源分析可知，本项目核素使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤。核医学科拟安装专用手套箱，经专用风道由风机抽吸排出，手套箱排气速率不小于 0.5m/s，并在手套箱的顶壁安装活性炭过滤装置。

核医学科排风井位于核医学科东侧，采用竖向风管将核医学科废气排放至9号楼楼顶，排放口高于所在建筑屋顶。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，排风口均设活性炭吸附装置。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶”的要求。

（3）放射性固废

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的一次性注射器、一次性杯子、废旧敷贴、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿及擦拭污染地面的物品等放射性废弃物。根据工程分析，含 ^{99m}Tc 的固废约为 125kg/a，含 ^{89}Sr 核素的固废约为 25kg/a，含 ^{32}P 核素固废产生量约 62.5kg/a，含 ^{131}I 核素固废产生量约 60kg/a，废活性炭产生量约 5kg/a。

核医学科分装注射室、注射后候诊室、留观室各设置 1 个 10mmPb 铅桶，敷贴室设置一个 2mmPb+10mm 有机玻璃铅桶。废物间内设有 3 个衰变箱，按含 ^{99m}Tc 核素

固废分类收集于 4mmPb 衰变箱，含 ^{131}I 核素固废收集于 10mmPb 衰变箱，含 ^{89}Sr、^{32}P 核素固废收集于 2mmPb+10mm 有机玻璃衰变箱中衰变。根据标准要求，医院应根据核素衰变周期分类收集、分类储存，医护人员定期将收集的放射性废物按类别转移至放射性废物间衰变箱内。

医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物间衰变箱内，让放射性物质自行衰变。废物间内设置有 3 个衰变箱，可以满足放射性废物收集贮存的要求。

每袋密封暂存的衰变袋显著位置应标注有废物类型、核素种类、存放日期、数量等说明。本次评价要求将含 ^{99m}Tc 固废集中贮存衰变 30 天，含 ^{32}P 核素的固废集中贮存衰变 143 天，含 ^{131}I 核素的固废集中贮存衰变 180 天，含 ^{89}Sr 核素的固废集中贮存衰变 506 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后可对其清洁解控，作为医疗废物委托有资质的单位进行处置。

医院应做到：

（1）严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

（2）对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅桶内，再将铅桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到废物间的衰变箱内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

（3）放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）的相关规定。

11.2.2 直线加速器运行时环境影响分析

本项目直线加速器具备电子束和 X 射线两种治疗模式，因电子线的穿透能力弱于 X 射线，所以一般情况下，机房屏蔽设计满足屏蔽 X 射线防护要求时即可满足屏蔽电子线的防护需要。因此，主要对 X 射线辐射剂量率进行预测计算分析。

本项目直线加速器拟配备 CBCT（最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA）用

于影像引导定位，加速器机房防护条件在满足加速器屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护，对辐射环境影响较小，因此以下主要对加速器使用 X 射线过程中的环境影响进行分析。

（1）预测点位的选取

本项目预测点选取详见图 11-2 与图 11-3。

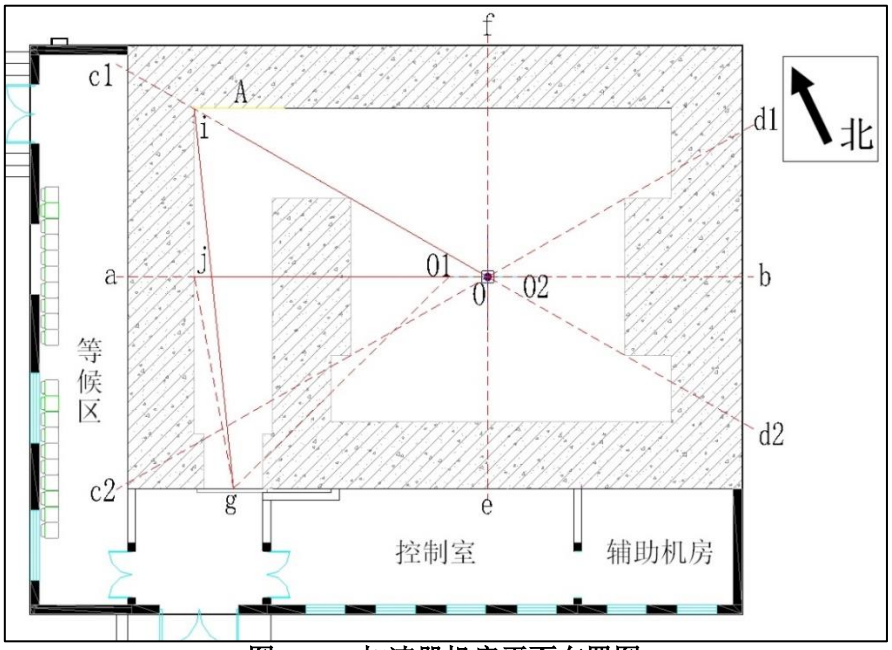


图 11-2　加速器机房平面布置图

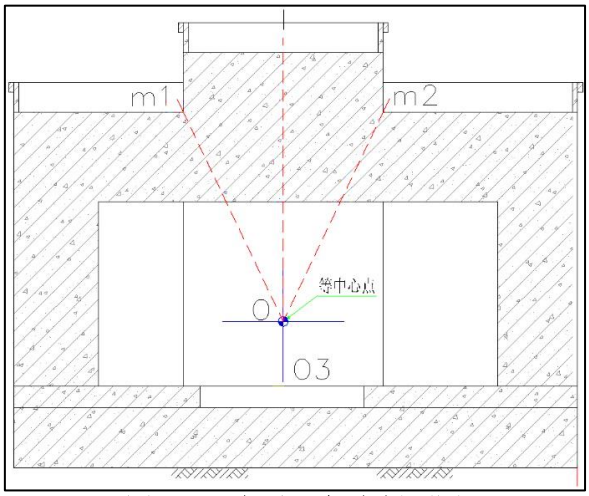


图 11-3　加速器机房剖面图

表 11-9　本项目直线加速器预测点位描述

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子	路径/距离 R（m）
加速器机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm	有用线束	1/4	O_2→O→a 10.5
	b	东墙主屏蔽区外 30cm	有用线束	1/4	O_1→O→b 7.8
	c_1	西墙次屏蔽区外 30cm	泄漏	1/4	O→c_1 10.9

			散射		O_2→O→c_1 11.9
	c_2	西墙次屏蔽区外 30cm	泄漏	1/4	O→c_2 10.9
			散射		O_2→O→c_2 11.9
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外 30cm	泄漏	1/4	O→d_1/d_2 7.8
			散射		O_1→O→d_1/d_2 8.8
	e	南墙外 30cm（控制室）	泄漏	1	O→e 5.7
	f	北墙外 30cm	泄漏	1/4	O→f 6.2
	g	防护门外 30cm	泄漏	1/8	O_1→g 7.7
			散射		O_2→O→i→g 8.64/9.74
			散射		O_2→j→g 8.5/5.49
			散射		O→i→g 8.64/9.74
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm	有用线束	1/20	O_3→I 6.7
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm	泄漏	1/20	O→m_1/m_2 5
			散射		O_3→O→m_1/m_2 5

（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）6.1.4 来确定，机房墙和入口门外 30cm 处各关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$：

①使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）；

$$\dot{H}_{c,d} \leq H_c/(t \cdot U \cdot T) \qquad （式11-6）$$

式中：

$\dot{H}_{c,d}$——周围剂量当量率参考控制水平，μSv/h；

H_c——周剂量参考控制水平（μSv/周），机房外非辐射工作人员≤100μSv/周；治疗机房外辐射工作人员≤5μSv/周；本项目放射治疗机房外控制室内人员为辐射工作人员，即预测点 e，其他人员均为非辐射工作人员。

U——有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；根据 GBZ/T201.2-2011 中“有用线束水平照射或向顶照射（使用因子 U=0.25）”，本项目 a、b、l 点使用因子为 0.25，其余点位均取 1；

T——人员在相应关注点位置的居留因子，取值参考表 11-6；

t——治疗装置周治疗照射时间，h；根据医院提供资料，本项目加速器每周出束时间为 7.5h/周。

②根据关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$：

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

③由上述①中的导出周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$和②中的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$。各关注点剂量率控制水平见表 7-6。

（3）预测模式

①有用线束主屏蔽区宽度核算

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中相应的计算模式及相关参数。

主屏蔽墙体的宽度计算公式：

$$Y_p=2[(a+SAD)\times\tan\theta+0.3] \qquad （式 11-7）$$

式中：

Y_p——机房有用射线束主屏蔽区的宽度，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；射线最大出射角 28°，θ 取 14°；

SAD——源轴距，m；（对于医用加速器 SAD=1m）

a——等中心至“墙”的距离；当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽墙区向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

②防护材料厚度与透射因子

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）第 5.1 节关于防护材料厚度与透射因子的公式进行计算。

a）有效防护材料厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X 的防护材料时，射线束在斜射路径上的防护材料有效 Xe 见下式。

$$Xe=X\cdot\sec\theta \qquad (式\ 11\text{-}8)$$

式中：

Xe——防护材料有效厚度，cm；

X——防护材料厚度，cm；

θ——为斜射角（即入射射线与防护材料平面的垂直线之间的夹角）；

b）防护材料厚度与透射因子的关系

$$B=10^{-(X_e+TVL-TVL_1)/TVL} \qquad .(式\ 11\text{-}9)$$

式中：

B——透射因子，无量纲；

TVL_1——第一个十分之一值层厚度，cm；

TVL——平衡十分之一值层厚度，cm。

③有用线束和泄漏辐射影响剂量率估算

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）第 5.2.1 节对于给定防护材料厚度时，防护墙体外关注点的剂量率计算公式如下。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2}\cdot B \qquad (式\ 11\text{-}10)$$

式中：

$\dot{H}$——防护实体外关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_o$——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（下简称：靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f——泄漏辐射比率，无量纲；

B——透射因子，无量纲。

④散射辐射影响剂量率估算

对于与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区，除了考虑有用线束的泄漏辐射外，还需考虑有用线束水平或向顶部照射时，人体散射辐射穿过次屏蔽区后的剂量影响。散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率。

利用以下公式计算相患者体表的散射辐射在防护实体外关注点的剂量率。

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{H}_o \, a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \qquad \text{（式 11-11）}$$

式中：

$\dot{H}$——防护实体外关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_o$——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h；

R_s——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph}——患者 400cm^2 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 400cm^2 面积上的散射因子；

B——透射因子，无量纲；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2。

⑤治疗机房迷道入口处关注点剂量水平估算

（a）入口处的泄漏辐射剂量率$\dot{H}_{og}$

入口处的泄漏辐射剂量率估算方法与有用线束相同，同式 11-9。

（b）入口处的散射辐射剂量率$\dot{H}_g$

入口处的散射辐射剂量率$\dot{H}_g$ 按下式计算：

$$\dot{H}_g = \frac{a_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{a_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \qquad \text{（式 11-12）}$$

式中：

$\dot{H}_g$ —g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

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

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i（本项目为 B）处的入射角为 45°，散射角为 0°，α 值见（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A——i 处的散射面积，m^2；

R_1——“o-i”之间的距离，m；

R_2——“i-g”之间的距离，m；

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

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）第 5.2.6.2 有用线束向迷路照射，建议增加 2 倍安全系数。

（c）穿过患者或迷路内墙的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量

有用线束穿过患者或迷路内墙，垂直射入屏蔽墙并散射至计算点的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_o \cdot \frac{(F/10^4)}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \qquad （式 11-13）$$

式中：

$\dot{H}$——计算点的辐射剂量率，μSv/h；

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

F——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

10^4——将 $1m^2$ 面积转换为 10^4cm^2；

R——散射体中心点（有用线束在屏蔽墙上的投影点）与计算点的距离，m；

α_w——散射因子，单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。α_w 与入射角和反散射角（入射方向和反散射方向相对散射体垂线的夹角）有关，0°和 45°入射辐射在混凝土散射体上的 α_w 见附录 B 表 B.5 和表 B.6。

B_p——有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子。对于患者，可以取 0.34 或保守取为 1。对于有用线束向迷路墙照射时的迷路内墙，依内墙的屏蔽厚度按式 11-8 计算。

（d）泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量

射入屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至计算点的辐射剂量率$\dot{H}$按下式计算：

$$\dot{H} = \frac{f \cdot \dot{H}_o \cdot A \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2} \qquad （式 11-14）$$

式中：

$\dot{H}$——计算点的辐射剂量率，μSv/h；

f——加速器的泄漏辐射比率，通常取 10^{-3}；

A——散射面积，m^2；A 为自泄漏辐射始点和计算点共同可视的散射体区域的面积；

α_w——散射体的散射因子，单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射

剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。由于加速器的泄漏辐射能量小于有用线束的能量，建议保守地使用 6MV 的散射因子；

R_L——泄漏辐射始点至散射体中心点的距离；

R——散射体中心点至计算点的距离，m。

（e）防护门外辐射剂量率计算

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \qquad （式 11-15）$$

式中：

$\dot{H}$ ——防护门外的辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_g$ ——g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

X——防护门厚度，mm；

TVL=0.5cm（铅）。

（4）参数的选取

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》（GBZ/T201.2-2011），治疗机房屏蔽设计与评价，应估算的辐射束为治疗装置在 X 射线治疗时可达到的最高 MV 条件下的有用线束、泄漏辐射和其产生的散射辐射。本项目直线加速器最大能量为 10MV，FFF 模式下距靶 1m 处常用最大剂量率 1440Gy/h；当 X 射线能量为 6MV 时，FFF 模式下距靶 1m 处常用最大剂量率 840Gy/h，因此本项目分别以剂量率 1440Gy/h（10MV）和 840Gy/h（6MV）进行估算。

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.1 内容和（NCRP REPORT NO.151）附录 B 表 B.4 内容，可知 X 射线在标准混凝土中的 TVL_1 和 TVL。

表 11-10 标准混凝土（密度为 2.35g/cm³）对 6MV 和 10MV 的 X 线 TVL 值表

参数	6MV	10MV
有用线束的 TVL_1	37cm	41cm
有用线束的 TVL	33cm	37cm
90°泄漏辐射的 TVL_1	34cm	35cm
90°泄漏辐射的 TVL	29cm	31cm
患者散射辐射（散射角 30°）的 TVL	26cm	28cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.2、表 B.4 内容，可知患者受照面积 400cm^2 的散射因子 α_{ph} 和患者散射辐射在混凝土中的什值层。

表 11-11　散射因子（α_{ph}）h 和什值层（TVL）

参数		散射因子（α_{ph}）	什值层（TVL）
6MV	30	2.77×10^{-3}	26cm
	45	1.39×10^{-3}	23cm
	90	4.26×10^{-4}	17cm
10MV	30	3.18×10^{-3}	28cm
	45	1.35×10^{-3}	25cm
	90	3.81×10^{-4}	18cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6 内容，混凝土对 45 °入射辐射的散射因子（α_2）为 2.2E-02（0.5MeV）。

（5）预测结果与分析

本项目对加速器机房的各关注点位进行预测计算。

①有用线束主屏蔽区宽度计算

本项目直线加速器机房需考虑东侧、西侧、顶棚主防护区，计算结果如表 11-12 所示。

表 11-12　主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	主屏蔽墙位置	a（m）	计算值（m）	设计值（m）	评价结果
直线加速器机房	东侧墙主屏蔽墙宽度（内凸）	4.7	3.44	4.0	满足
	西侧墙主屏蔽墙宽度（内凸）	4.0	3.09	4.0	满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（外凸）	5.4	3.79	4.0	满足

由表 11-12 可知：本项目直线加速器机房东侧、西侧和顶部主屏蔽区宽度符合计算要求。

注意：设备厂家和建设单位在进行电子直线加速器安装时，必须严格按照既定的设备安装方向，保证设备等中心点的位置进行安装，即主射束为东墙、西墙、地面及顶棚，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

②屏蔽体外剂量率的计算

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》（GBZ/T201.2-2011）4.3.1 应考虑的辐射束：治疗机房屏蔽设计与评价，应估算的辐

射束为治疗装置在X射线治疗时可达到的最高MV条件下的有用线束、泄漏辐射和其产生的散射辐射。本项目直线加速器最大能量为 10MV，FFF 模式下距靶 1m 处最大剂量率 1440Gy/h；当 X 射线能量为 6MV 时，FFF 模式下距靶 1m 处最大剂量率 840Gy/h，因此本项目分别以剂量率 1440Gy/h（10MV）和 840Gy/h（6MV）进行估算。

表 11-13　各预测点有用线束和泄漏辐射剂量率的预测结果（10MV）

场所名称	关注点	点位描述	辐射类型	$\dot{H}_o$ Gy/h	屏蔽厚度 m	Θ °	R m	f	TVL_1 cm	TVL cm	$\dot{H}$ μSv/h
加速器机房	a	西墙主屏蔽区外30cm	有用	1440	3.7	0	10.5	1	41	37	1.68×10^{-3}
	b	东墙主屏蔽区外30cm	有用	1440	3.0	0	7.8	1	41	37	2.37×10^{-1}
	c_1	西墙次屏蔽区外30cm	泄漏	1440	1.7	30	10.9	0.001	35	31	7.59×10^{-3}
	c_2	西墙次屏蔽区外30cm	泄漏	1440	3.45	30	10.9	0.001	35	31	2.30×10^{-9}
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外30cm	泄漏	1440	1.8	30	7.8	0.001	35	31	6.29×10^{-3}
	e	南墙外 30cm	泄漏	1440	1.7	0	5.7	0.001	35	31	1.96×10^{-1}
	f	北墙外 30cm	泄漏	1440	1.6	0	6.2	0.001	35	31	3.48×10^{-1}
	g	防护门外 30cm	泄漏	1440	1.75	30	7.7	0.001	35	31	9.91×10^{-3}
	l	顶棚主屏蔽区上30cm	有用	1440	3.0	0	6.7	1	41	37	3.21×10^{-1}
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上30cm	泄漏	1440	1.8	30	5.0	0.001	35	31	1.53×10^{-2}

表 11-14　预测点散射辐射剂量率预测结果（10MV）

场所名称	关注点	点位描述	$\dot{H}_o$ Sv/h	屏蔽厚度 m	Θ °	R_s m	F cm^2	α_{ph}	TVL cm	$\dot{H}$ μSv/h
加速器机房	c_1	西墙次屏蔽区外 30cm	1440	1.7	30	10.9	40×40	3.18×10^{-3}	28	1.50×10^{-2}
	c_2	西墙次屏蔽区外 30cm	1440	3.45	30	10.9	40×40	3.18×10^{-3}	28	9.13×10^{-10}
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外 30cm	1440	1.8	30	8.8	40×40	3.18×10^{-3}	28	8.93×10^{-3}
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm	1440	1.8	30	5.0	40×40	3.18×10^{-3}	28	1.45×10^{-1}

表 11-15　各预测点有用线束和泄漏辐射剂量率的预测结果（6MV）

场所名称	关注点	点位描述	辐射类型	$\dot{H}_o$ Gy/h	屏蔽厚度 m	Θ °	R m	f	TVL_1 cm	TVL cm	$\dot{H}$ μSv/h
加速器机房	a	西墙主屏蔽区外30cm	有用	840	3.7	0	10.5	1	37	33	6.18×10^{-5}
	b	东墙主屏蔽区外30cm	有用	840	3.0	0	7.8	1	37	33	1.48×10^{-2}
	c_1	西墙次屏蔽区外30cm	泄漏	840	1.7	30	10.9	0.001	34	29	1.79×10^{-3}

	c_2	西墙次屏蔽区外30cm	泄漏	840	3.45	30	10.9	0.001	34	29	1.93×10^{-10}
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外30cm	泄漏	840	1.8	30	7.8	0.001	34	29	1.40×10^{-3}
	e	南墙外 30cm	泄漏	840	1.7	0	5.7	0.001	34	29	5.28×10^{-2}
	f	北墙外 30cm	泄漏	840	1.6	0	6.2	0.001	34	29	9.88×10^{-2}
	g	防护门外 30cm	泄漏	840	1.75	30	7.7	0.001	34	29	2.27×10^{-3}
	l	顶棚主屏蔽区上30cm	有用	840	3.0	0	6.7	1	37	33	2.01×10^{-2}
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上30cm	泄漏	840	1.8	30	5.0	0.001	34	29	3.40×10^{-3}

表 11-16　预测点散射辐射剂量率预测结果（6MV）

场所名称	关注点	点位描述	$\dot{H}_o$ Sv/h	屏蔽厚度 m	Θ °	R_s m	F cm^2	α_{ph}	TVL cm	$\dot{H}$ μSv/h
加速器机房	c_1	西墙次屏蔽区外 30cm	840	1.7	30	10.9	40×40	2.77×10^{-3}	26	2.21×10^{-3}
	c_2	西墙次屏蔽区外 30cm	840	3.45	30	10.9	40×40	2.77×10^{-3}	26	3.73×10^{-11}
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外 30cm	840	1.8	30	8.8	40×40	2.77×10^{-3}	26	1.22×10^{-3}
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm	840	1.8	30	5.0	40×40	2.77×10^{-3}	26	3.77×10^{-3}

③防护门外迷路辐射剂量率

关注点 g 点处的泄漏辐射剂量率见上表 11-13、11-15 中关注点 g，散射辐射剂量率见下表 11-17。

表 11-17　关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0$ μSv•m^2/h	α_{ph}	α_2	A m^2	F cm^2	R_1 m	R_2 m	$\dot{H}_g$ μSv/h
g（10MV）	1.44×10^{9}	1.35×10^{-3}	22×10^{-3}	8.55	1600	8.64	9.74	206.54
g（6MV）	8.40×10^{8}	1.39×10^{-3}	22×10^{-3}	8.55	1600	8.64	9.74	124.05

表 11-18　穿过迷路内墙的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0$ μSv•m^2/h	F cm^2	R m	α_w	Xe cm	TVL cm	B_p	$\dot{H}_g$ μSv/h	$\dot{H}_g$ ×2* μSv/h
g（10MV）	1.44×10^{9}	1600	5.49	5.8×10^{-3}	200	25	1.0×10^{-8}	443.37	886.74
g（6MV）	8.40×10^{8}	1600	5.49	7.3×10^{-3}	200	23	2.02×10^{-9}	65.605	131.21
注：根据GBZ/T201.2-2011 第 5.2.6.2，估算“O_2-j-g”项散射时，建议增加 2 倍安全系数。									

表 11-19　泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0$ μSv•m^2/h	f	A m^2	α_w	R_L m	R m	$\dot{H}_g$ μSv/h
g（10MV）	1.44×10^{9}	0.001	8.55	7.3×10^{-3}	8.64	9.74	12.69
g（6MV）	8.40×10^{8}	0.001	8.55	7.3×10^{-3}	8.64	9.74	7.40

表 11-20　防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$（μSv/h）*	X（mm）	TVL（mm）	$\dot{H}_{Og}$（μSv/h）	$\dot{H}$（μSv/h）
g（10MV）	1105.97	20	5	9.91×10^{-3}	1.21×10^{-1}
g（6MV）	262.66	20	5	2.27×10^{-3}	2.85×10^{-2}
注：$\dot{H}_g$ 为表 11-17、11-18、11-19 中散射剂量率结果的叠加。					

④加速器治疗室辐射防护评价小结

表 11-21　剂量率预测结果分析评价（10MV）

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）			剂量控制水平（μSv/h）	是否符合要求
			有用线束/泄漏	散射辐射	合计		
加速器机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm	1.68×10^{-3}	-	1.68×10^{-3}	2.67	符合
	b	东墙主屏蔽区外 30cm	2.37×10^{-1}	-	2.37×10^{-1}	2.67	符合
	c_1	西墙次屏蔽区外 30cm	7.59×10^{-3}	1.50×10^{-2}	2.26×10^{-2}	2.67	符合
	c_2	西墙次屏蔽区外 30cm	2.30×10^{-9}	9.13×10^{-10}	3.21×10^{-9}	2.67	符合
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外 30cm	6.29×10^{-3}	8.93×10^{-3}	1.52×10^{-2}	2.67	符合
	e	南墙外 30cm（控制室）	1.96×10^{-1}	-	1.96×10^{-1}	2.5	符合
	f	北墙外 30cm	3.48×10^{-1}	-	3.48×10^{-1}	2.67	符合
	g	防护门外 30cm	-	-	1.21×10^{-1}	5.33	符合
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm	3.21×10^{-1}	-	3.21×10^{-1}	10	符合
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm	1.53×10^{-2}	1.45×10^{-1}	1.60×10^{-1}	10	符合

表 11-22　剂量率预测结果分析评价（6MV）

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）			剂量控制水平（μSv/h）	是否符合要求
			有用线束/泄漏	散射辐射	合计		
加速器机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm	6.18×10^{-5}	-	6.18×10^{-5}	2.67	符合
	b	东墙主屏蔽区外 30cm	1.48×10^{-2}	-	1.48×10^{-2}	2.67	符合
	c_1	西墙次屏蔽区外 30cm	1.79×10^{-3}	2.21×10^{-3}	4.00×10^{-3}	2.67	符合
	c_2	西墙次屏蔽区外 30cm	1.93×10^{-10}	3.73×10^{-11}	2.30×10^{-10}	2.67	符合
	d_1/d_2	东墙次屏蔽区外 30cm	1.40×10^{-3}	1.22×10^{-3}	2.62×10^{-3}	2.67	符合
	e	南墙外 30cm（控制室）	5.28×10^{-2}	-	5.28×10^{-2}	2.5	符合
	f	北墙外 30cm	9.88×10^{-2}	-	9.88×10^{-2}	2.67	符合
	g	防护门外 30cm	-	-	2.85×10^{-2}	5.33	符合
	l	顶棚主屏蔽区上 30cm	2.01×10^{-2}	-	2.01×10^{-2}	10	符合
	m_1/m_2	顶棚次屏蔽区上 30cm	3.40×10^{-3}	3.77×10^{-3}	7.17×10^{-3}	10	符合

通过上表可以看出，本项目加速器机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。

（7）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①工作负荷

本项目加速器配备辐射工作人员 4 名，辐射工作人员均为新增，且为加速器机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

本项目拟新建 1 间直线加速器机房，并安装 1 台电子直线加速器，用于常规治疗和调强治疗，投入使用后，预计每天放射治疗患者最多为 60 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 1.5min，每周工作 5 天，则本项目电子直线加速器周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

②剂量估算

根据各关注点的剂量率，对直线加速器机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。关注点人员的有效剂量根据式 11-4 进行计算，a、b、l 点位使用因子 U 取 0.25，其余点位均取 1；居留因子参考表 11-5。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表：

表 11-23　加速器辐射工作人员和周围公众附加剂量估算结果（10MV）

保护目标		对应关注点	关注点剂量率 μSv/h	年受照时间 h	与关注点对应距离 m	使用因子 U	居留因子 T	年有效剂量 mSv	年剂量约束值
辐射工作人员	控制室	e	1.96×10^{-1}	375	/	1	1	7.35×10^{-2}	职业人员 5.0mSv
其他工作人员和公众	东侧走道	b	2.37×10^{-1}	375	/	1/4	1/4	5.55×10^{-3}	公众 0.1mSv
	东侧 7 号楼门诊	b	2.37×10^{-1}	375	3	1/4	1/4	2.47×10^{-3}	
	南侧门厅	g	1.21×10^{-1}	375	/	1	1/16	2.84×10^{-3}	
	南侧停车场	e	1.96×10^{-1}	375	24	1	1/8	1.60×10^{-5}	
	南侧 10 号楼	e	1.96×10^{-1}	375	41	1	1	4.37×10^{-5}	
	西南侧污水处理站	g	1.21×10^{-1}	375	39	1	1/4	7.46×10^{-6}	
	西南侧元宝桥泵站	g	1.21×10^{-1}	375	41	1	1/8	3.37×10^{-6}	
	西侧等候区	c_1	2.26×10^{-2}	375	/	1	1/4	2.12×10^{-3}	
	西北侧 5 号楼	f	3.48×10^{-1}	375	45	1	1	6.44×10^{-5}	
	北侧走道	f	3.48×10^{-1}	375	/	1	1/4	3.26×10^{-2}	
	北侧 7 号楼门诊	f	3.48×10^{-1}	375	5	1	1	5.22×10^{-3}	
	东北侧 6 号楼急诊	f	3.48×10^{-1}	375	50	1	1	5.22×10^{-5}	

表 11-24　加速器辐射工作人员和周围公众附加剂量估算结果（6MV）

保护目标		对应关注点	关注点剂量率 μSv/h	年受照时间 h	与关注点对应距离 m	使用因子 U	居留因子 T	年有效剂量 mSv	年剂量约束值
辐射工作人员	控制室	e	5.28×10^{-2}	375	/	1	1	1.98×10^{-2}	职业人员 5.0mSv

工作人员和公众	东侧走道	b	1.48×10^{-2}	375	/	1/4	1/4	3.47×10^{-4}	公众 0.1mSv
	东侧 7 号楼门诊	b	1.48×10^{-2}	375	3	1/4	1	1.54×10^{-4}	
	南侧门厅	g	2.85×10^{-2}	375	/	1	1/16	6.68×10^{-4}	
	南侧停车场	e	5.28×10^{-2}	375	24	1	1/8	4.30×10^{-6}	
	南侧 10 号楼	e	5.28×10^{-2}	375	41	1	1	1.18×10^{-5}	
	西南侧污水处理站	g	2.85×10^{-2}	375	39	1	1/4	1.76×10^{-6}	
	西南侧元宝桥泵站	g	2.85×10^{-2}	375	41	1	1/8	7.95×10^{-7}	
	西侧等候区	c_1	4.00×10^{-3}	375	/	1	1/4	3.75×10^{-4}	
	西北侧 5 号楼	f	9.88×10^{-2}	375	45	1	1	1.83×10^{-5}	
	北侧走道	f	9.88×10^{-2}	375	/	1	1/4	9.26×10^{-3}	
	北侧 7 号楼门诊	f	9.88×10^{-2}	375	5	1	1	1.48×10^{-3}	
	东北侧 6 号楼急诊	f	9.88×10^{-2}	375	50	1	1	1.48×10^{-5}	

由上表可知，本项目控制室内辐射工作人员受照射剂量为7.35×10^{-2}mSv/a，低于本报告提出的5mSv/a的剂量约束值；本项目直线加速器运行过程中公众最大受照剂量为3.26×10^{-2}mSv/a，均低于本报告提出的0.1mSv/a的剂量约束值。

（8）CBCT产生的X射线辐射环境影响分析

本项目拟配备直线加速器带有CBCT装置实时影像引导设备，最大工况 150kV，1000mA。CBCT装置产生的低能射线能量远低于直线加速器产生的射线能量，经机房屏蔽后，不会对周围工作场所辐射工作人员和公众造成额外的辐射照射。

（9）感生放射性辐射影响分析

医用电子直线加速器运行期间，由于机房有足够的屏蔽，感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入机房引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于患者较多，辐射工作人员一般在医用电子直线加速器停机后 2min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目按照平均每位患者摆位时间为 30s 考虑，则年总摆位时间为 125h，本项目共有 2 名技师，则单名技师的年摆位时间保守按 62.5.h 考虑，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处≤20μSv/h）进行估算，则本项目辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量最大为 1.25mSv。

综上所述，本项目控制室内辐射工作人员的年有效剂量为$1.25+7.35\times10^{-2}=1.32$mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也满足本项目辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv/a 的剂量约束值要求。

医院应对加速器机房加强通风排气，并采取人员延时进入机房，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。

（10）电子线影响分析

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95），“能量为 E(MeV)的单能电子线，在物质中的最大射程（单位为 $g\cdot cm^{-2}$）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍”。本项目医用电子直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 24MeV，射程为 $22\times0.6=13.2g/cm^2$，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35g/cm^3$ 的混凝土中的深度约为 5.62cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 150cm 混凝土，对电子线能被完全屏蔽。因此，可不考虑电子线对屏蔽墙外的辐射影响。

（11）废靶对环境的影响分析

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生感生放射性，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放入屏蔽容器，由设备生产厂家回收最终送交有资质的单位回收处置，医院不暂存。因此满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1188-2021）中废物管理要求。

（12）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项电子直线加速器机房设计有强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数约为 6.3 次/h，排放口位于建筑屋顶，不属于人流较大位置。机房内空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，其辐射场所内产生的臭氧和氮氧化物最终从放疗中心立面排放，臭氧在常温下 20-50 分钟后可自行分解为氧气，对环境影响较小。

11.3 辐射事故分析和防范措施

11.3.1 核医学科工作场所

11.3.1.1 可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

①SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物洒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜

等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

11.3.1.2 核医学科工作场所防范措施

（1）制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

（2）制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物丢失事故时，事故发现者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、生态环境和卫生主管部门对丢失放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

（3）加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录；放射性废液在衰变池衰变时间超 30 天后可直接解控排放至医院污水处理站进一步处理；放射性固体废物按相关要求在废物间储存超过相应时间后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

（4）核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为患者注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

（5）加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（橡胶手套、有机玻璃眼镜或面罩、制作 ^{32}P 敷贴器的专用工具等）及存放位置。

（6）严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

11.3.2 直线加速器

11.3.2.1 可能发生的辐射事故

因本项目电子直线加速器设备固有安全联锁装置，故设备在正常使用的情况下发生事故的概率极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器或CBCT，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器或 CBCT，则会造成机房中人员误照射。

11.3.2.1 预防措施

（1）辐射事故防范措施

一旦发现有人误入直线加速器机房，工作人员应立即利用最近的急停开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止本项目辐射事故发生，应采取多种防范措施：

①控制台上有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

②条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量达到预选值时，照射终止。

④控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

⑤有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑥有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑦有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑧有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

⑨有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

⑩控制台和治疗室内均安有急停开关。

⑪机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警示标志。

⑫视频监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有视频监控、对讲装置，控制室能通过视频监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。

11.3.2.3 机房的安全保卫措施

为确保直线加速器辐射工作场所的安全，本项目拟采用的安全保卫措施如下：

（1）防火措施：直线加速器机房四周为混凝土结构墙体，机房周围均没有易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

（2）防水措施：机房四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

（3）防盗措施：设置全自动防护铅门，治疗中心拟安装摄像头，和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员 24h 巡逻和值班。

（4）防丢失和破坏措施：直线加速器机房位于治疗中心内，纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。

（5）防射线泄漏措施：本项目机房由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。本项目直线加速器固有安全性良好。

综上，本项目加速器机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境管理机构的设置

12.1.1 机构设置

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》相关要求，使用II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，且至少有 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。

根据医院提供的资料，医院已成立了放（辐）射安全管理委员会，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。该管理机构明确了组成人员及相关职责，医院拟根据本项目新增核医学科相关人员，故建设单位放（辐）射安全管理委员会的配备能够满足辐射管理工作的要求。

12.1.2 辐射人员管理

（1）职业健康检查

本项目新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托有相关资质的单位对现有辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

（2）辐射工作人员培训

本项目新增辐射工作人员，上岗前应参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。

（3）个人剂量检测

本项目新增辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。医院应做到以下几个方面：

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应长期保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

12.1.3 年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，辐射工作单位应当对本单位放射性同位素和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 日前将评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。年度评估报告应当包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》中“非密封放射性物质医学应用场所”和“医用电子直线加速器使用场所”的相关要求，将其与医院管理制度现状列于表 12-1 中进行对照分析。

表 12-1 管理制度汇总对照表

序号	检查项目		成文制度	备注
非密封放射性物质医学应用场所监督检查				
1	A 综合	辐射安全与防护管理规定	《放（辐）射安全管理制度》、《辐射安全防护规章制度》	已制定
2		放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	《放射性药品的采购、入库、储存及注销制度》	已制定
3	B 场所	场所分区管理规定（含人流、物流路线图）	《放射性工作场所分区管理制度》	已制定
4		操作规程	《高活性室（放射性核素室）操作守则》	已制定
5		去污操作规程	《放射性污染的紧急处理及报告制度》	已制定
6		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度）	/	需制定
7		患者管理规定	《放射性核素检查患者管理制度》	已制定
8		放射性药物（体内）治疗病房管理规定	/	不涉及
9	C 监测	监测方案	《监测方案》	已制定
10		监测仪表的使用与校验管理制度	/	需制定
11	D 人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	/	需补充
12		辐射工作人员个人剂量管理制度	《职业健康监护、个人剂量监测制度》	已制定
13	E 应急	辐射事故/事件应急预案	《放射源、辐射事件应急预案》	已制定
14	F 三废	放射性“三废”管理规定	《放射性废物处理制度》	已制定
医用低能加速器使用场所监督检查				
1	A 综合	辐射安全管理规定	《放（辐）射安全管理制度》、《辐射安全防护规章制度》	已制定

2	B 场所设施	操作规程	《直线加速器操作规程》	已制定
3		辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）	/	需制定
4	C 监测	监测方案	《监测方案》	已制定
5		监测仪表使用与校验管理制度	/	需制定
6		校验源管理制度	/	不涉及
7	D 人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	/	需补充
8		辐射工作人员个人剂量管理制度	《职业健康监护、个人剂量监测制度》	已制定
9	E 应急	辐射事故应急预案	《放射源、辐射事件应急预案》	已制定
10	F 三废	放射性“三废”管理规定	/	不涉及

建设单位已制定的辐射防护相关环境管理办法与制度，内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，还需补充制定《辐射安全防护设施的维护与维修制度》、《辐射工作人员培训/再培训管理制度》、《监测仪表的使用与校验管理制度》等制度。医院应认真落实各项规章制度，并根据本项目特点，对已制定的相关规章制度进行更新和完善。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置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。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12-2。

表 12-2　本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所	监测仪器	配置情况说明
核医学科	便携式 X-γ 射线巡测仪	配置 1 台
	α/β 表面污染监测仪	配置 1 台
	活度计	配置 1 台
	个人剂量报警仪	配置 2 台
直线加速器	便携式 X-γ 射线巡测仪	配置 1 台（可依托医院原有）
	固定式剂量报警装置	机房内配置 1 台
	个人剂量报警仪	配置 2 台

本项目运行期间主要污染物为 X-γ 射线、β 表面污染等，根据项目特点，医院拟配置 α/β 表面污染仪和便携式 X-γ 射线巡测仪等监测仪器。本项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

12.3.2 监测计划

A、年度监测

委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

B、日常自行监测

日常工作中，医院应对辐射工作场所采用自购辐射巡测仪定期监测，以确保屏蔽防护性能的良好。

C、监测内容和要求

监测依据：《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

监测内容：周围剂量当量率、β 表面放射性污染、放射性固废

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-3　辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
核医学科	β表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束后（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年
	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1次/月	1次/年
直线加速器	周围剂量当量率	机房防护门外、四面墙体外、顶棚上方、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1次/月	1次/年

医院需定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。委托有资质监测单位进行监测，其仪器必须在检定有效期内，监测工作人员必须持证上岗；对监测中出现辐射超标问题，及时向院方提出，并提出整改意见，在院方整改完成后，进行复测，直至符合要求，提供满足要求的监测报告。医院自主监测时，所用仪器须按国家规定进行剂量检定，检测时须按《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）制定检测方案及实施细则执行。

12.3.3 放射性废液排放

本项目核医学科放射性废液涉及核素 ^{99m}Tc半衰期小于 24 小时，因此废水处理间内放射性废液在衰变池储存超过 30 天后可直接解控排放排入医院污水处理系统，进一步处理后排入市政污水管网。

医院应安排专人负责放射性废液的暂存和处理，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息，并存档备查。

12.3.4 放射性废物处理

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，废物包装体外表面的污染控制水平满足 $\alpha<0.08Bq/cm^2$，$\beta<0.8Bq/cm^2$。装满后及时转送至废物间的衰变箱内贮存，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。经监测符合清洁解控水平后，作为一般医疗固废委托有资质单位处置。

医院应安排专人负责固体放射性废物的暂存和处理，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废物所含的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息，并存档备查。

12.3.5 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，在项目建成后 3 个月内（最长不超过 12 个月）对配套建设的环境保护设施进行自主验收，自行或委托有能力的技术机构开展竣工验收监测，编制验收报告，并组织专家采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作，建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急预案的要求

根据国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条

对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

（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）辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.4.2 医院现有应急预案

根据医院目前制定的《辐射事件应急预案》，包括了辐射事故应急处理机构与职责、放射性事故应急救援应遵循的原则、放射性事故应急处理程序。此辐射事故应急预案存在的问题有：

（1）此预案缺少“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”和“辐射事故分级与应急响应措施”，应按照相关法律法规要求补充完整；

（2）此预案应按照医院现有射线装置的类型及本项目新增电子直线加速器、SPECT/CT 及 ^{99m}Tc、^{89}Sr、^{32}P 和 ^{131}I 等核素的特点，补充完善相关事故处理措施和处理流程。

12.4.3 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理报告制度的通知》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据要求在 1h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管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，还应当同时向卫生部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

（1）项目概况

本项目拟在医院本部院区 9 号楼（地上三层，无地下层）1 层建设核医学科，新增 1 台 SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 用于显像诊断；使用 ^{89}Sr 核素用于骨转移癌治疗；使用 ^{131}I 核素用于甲亢治疗和甲状腺功能测定；使用 ^{32}P 核素用于敷贴治疗。拟在本部院区 7 号楼西南侧新建 1 座治疗中心，内设 1 间直线加速器机房和附属用房等，并新增 10MV 电子直线加速器（带 CBCT 影像引导设备），开展肿瘤治疗。

（2）辐射安全防护措施结论

本项目核医学科辐射工作场所设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、β 射线、γ 射线、韧致辐射的辐射影响，并设置了辐射防护用具和个人防护用品等；直线加速器机房设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、电子线的辐射影响，且机房配备有门机联锁装置、急停开关、视频监控、固定式剂量率报警仪、工作状态指示灯和电离辐射警告标志等安全措施。因此，医院拟采取的辐射安全防护措施能够符合辐射防护要求。

（3）辐射安全管理结论

常熟市第一人民医院已成立放（辐）射安全管理委员会，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；医院拟安排本项目新增辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上进行报名和培训并进行相应类别的考核，取得考核合格成绩单后方可上岗，并定期再培训；拟安排本项目新增辐射工作人员进行岗前职业健康检查，并每两年委托有相关资质的单位进行职业健康检查，建立职业健康档案；拟为本项目新增辐射工作人员配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

13.1.2 环境影响分析结论

（1）主要辐射污染因子分析

本项目核医学产生的主要污染因子是 X 射线、γ 射线、β 表面污染、韧致辐射、放射性废液、放射性固废、放射性废气等；直线加速器产生的主要污染因子是 X 射线、

电子线、废靶等，同时产生少量臭氧、氮氧化物及感生放射性。

（2）辐射影响分析结论

经理论预测，本项目核医学科场所屏蔽设计能满足相应核素的辐射防护要求，直线加速器机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。在正常工况下，本项目辐射工作人员所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也低于本次评价提出的 5.0mSv 年剂量约束值；本项目公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本次评价提出的 0.1mSv 年剂量约束值。

（3）“三废”环境影响分析

①放射性废液

本项目核医学废水处理间内设置 1 套衰变池组，由 3 个槽式衰变池组成。核医学科产生的含 ^{99m}Tc 的放射性废液通过专用排放管道排入衰变池，该衰变池容积可以满足废水在衰变池贮存 30 天的要求。放射性废水在衰变池停留衰变后，排入医院污水处理站，对周围水环境影响很小。

②放射性固体废物

医院拟对放射性固废进行分类收集分类贮存衰变处理。含 ^{99m}Tc 的固废集中贮存衰变超过 30 天，含 ^{32}P 的固废集中贮存衰变超过 143 天，含 ^{131}I 核素的固废集中贮存衰变超过 180 天，含 ^{89}Sr 核素的固废集中贮存衰变 506 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物委托当地有资质单位处置。核医学科废气处理系统定期更换的废活性炭也作为放射性固体废物管理。

对于直线加速器更换下来的废靶由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。

③放射性废气

本项目核医学科共设有 2 支独立排风管线，所有排风管由风井经风机抽排至 9 号楼楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置。手套箱顶部设活性炭吸附装置。

④非放射性三废

加速器机房采用强制排风系统，保证通风设施完好和正常工作，臭氧和氮氧化物

等有害气体将不会对环境和人员产生危害。

13.1.3 可行性分析结论

（1）产业政策分析结论

本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）中第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 6 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，因此，本项目符合国家产业政策要求。

（2）实践正当性分析结论

医院实施本项目，目的在于开展放射诊断和放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

（3）相关规划及选址合理性结论

本项目拟建辐射工作场所均位于医院本部院区内，项目用地属于医疗卫生用地。核医学科和直线加速器均位于单独建筑内 1 层，且避开了产科、儿科等人员密集场所，辐射工作场所边界外 50m 范围无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。项目运营过程产生的电离辐射，经采取满足标准要求的辐射防护及管理措施后对周围环境辐射影响是可接受的，故本项目的选址合理。

（4）项目可行性

综上所述，常熟市第一人民医院核技术利用项目的选址符合国家相关法律法规，平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项辐射管理、辐射防护措施后，其运行时对周围环境和人员的影响能够满足辐射环境保护相关标准的要求，因此从环境保护和辐射安全角度分析，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

（1）建设单位承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）的要求自行验收，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

（2）医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

（3）医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

（4）医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

（5）医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

（6）医院承诺本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：   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

根据上述对本项目辐射安全的分析和评价，医院应严格落实“三同时”制度：建设项目中辐射防护和安全措施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

本项目需完成的“三同时”措施如下表所示：

项目	辐射安全管理措施	内容	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构		已成立放（辐）射安全管理委员会，并明确了组成人员及相关职责，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定的要求	/
辐射安全管理制度		制定核医学科、完善放疗科相关操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度，台帐管理制度、放射性“三废”管理制度等。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定的要求	/
辐射事故应急措施		完善《辐射事故应急处理预案》，准备应急和救助装备、物资准备，开展应急培训和演练	及时采取有效的事故处理措施，防止事故恶化	5
核医学科辐射安全和防护措施	实体屏蔽措施	核医学科四侧墙体、顶棚均采取了屏蔽防护，防护门内衬铅板，具体见表 10-8。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求	65
	通排风系统	本项目核医学科设有独立排风管道，所有排风管由风井通至 9 号楼楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置。手套箱顶部设活性炭吸附装置。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求	20
	辐射安全装置	工作状态指示灯、视频监控、电离辐射警告标志、监督区、控制区标识若干	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求	6
	监测设备	个人剂量报警仪 2 台，表面污染监测仪器 1 台，便携式 X-γ 射线巡测仪 1 台，活度计 1 台，每名辐射工作人员均配备个人剂量计。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求	6
	防护设备	根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中要求进行配置，具体见表 10-11	保证药物使用、转运时的安全	30
	个人防护用品	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜各 2 套	减少人员受照剂量	2
衰变池	实体屏蔽措施	废水处理间屏蔽材料为 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料，顶棚为 2mm 铅板，防护门内衬 4mm 铅板；废水处理间内设置 3 个槽式废液衰变池，尺寸均为长 2m×宽 1.5m×高 2.5m，单个槽体体积 7.5m^3，衰变池总体积 22.5m^3，用来接收核医学科产生的放射性废液。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	30
直线加速器机	实体屏蔽措施	直线加速器机房四侧墙体和顶棚均为密度不小于 2.35g/cm^3 的混凝土。 东厚主屏蔽区厚 3.0m，次屏蔽区厚 1.8m；南墙	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	100

房辐射安全和防护措施		厚 1.7m；西墙主屏蔽区厚 2.0m，次屏蔽区厚 1.5m，迷路外墙厚 1.7m；北墙厚 1.6m；顶棚主屏蔽区厚 3.0m，次屏蔽区厚 1.8m；机房防护门内衬 20mm 铅。	的要求	
	通排风系统	直线加速器防护门上方的墙体上预留新风管道口，拟在机房内装饰天花板设置 1 个送风口，拟在机房内非主束投照部位墙角处设置 2 个排风口，风管底部（吸风口）离地 20cm，送风口与排风口呈“上进下出，对角设置”设置，利于密度相对大的臭氧排出。 本项目加速器机房的排风量为 2000m^3/h，机房总面积为 84.95m^2，高 3.7m，体积为 314.3m^3，换气次数最少为 6.3 次/h，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求	10
	辐射安全装置	机房设置：门机联锁系统一套、门灯联锁系统一套、治疗室内墙、迷道、控制台设有紧急停止开关并有中文标识、治疗室防护门外应设置固定的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求	15
	监测设备	配备 2 台个人剂量报警仪； 机房配置 1 台固定式剂量报警仪； 配备 1 台环境辐射巡测仪（可依托医院原有）； 每名辐射工作人员均配备个人剂量计。	及时掌握辐射环境和人员情况	7
辐射工作人员管理	辐射防护与安全培训和考核	本项目新增辐射工作人员应在生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。	所有辐射工作人员持有培训合格证、体检报告和个人剂量报告	1
	个人剂量监测	为本项目新增辐射工作人员配备个人剂量计，个人剂量计三个月送检一次，建立医院辐射工作人员的个人剂量档案，个人剂量监测档案包括辐射工作人员个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等内容。个人剂量监测档案长期保存。		1
	人员职业健康监护	本项目新增辐射工作人员上岗前应进行岗前体检，并每隔 2 年进行在岗期间职业健康检查建立个人职业健康监护档案。		2
合计				300