

编号：ZFHK-FB23220090

核技术利用建设项目

嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程

核技术利用建设项目

环境影响报告表

(报批稿)



生态环境部监制

核技术利用建设项目

嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程
核技术利用建设项目
环境影响报告表

建设单位名称：嘉兴市中医医院 

建设单位法人代表（签名或签章） [REDACTED]

通讯地址：浙江省嘉兴市中山东路 1501 号

邮政编码：[REDACTED] 联系人：[REDACTED]

电子邮箱：[REDACTED] 联系电话：[REDACTED]

打印编号：1727078772000

编制单位和编制人员情况表

| | | | |
|-----------------|---------------------------|----------|-----|
| 项目编号 | a5085u | | |
| 建设项目名称 | 嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程核技术利用建设项目 | | |
| 建设项目类别 | 55—172核技术利用建设项目 | | |
| 环境影响评价文件类型 | 报告表 | | |
| 一、建设单位情况 | | | |
| 单位名称（盖章） | 嘉兴市中医医院 | | |
| 统一社会信用代码 | 1233040047090693Q | | |
| 法定代表人（签章） | 胡惠林 | | |
| 主要负责人（签字） | 陶跃平 | | |
| 直接负责的主管人员（签字） | 季灵滨 | | |
| 二、编制单位情况 | | | |
| 单位名称（盖章） | 中辐环境科技有限公司 | | |
| 统一社会信用代码 | 91330000MA27U0414T | | |
| 三、编制人员情况 | | | |
| 1 编制主持人 | | | |
| 姓名 | 职业资格证书管理号 | 信用编号 | 签字 |
| 吴燕明 | 20220503533000000020 | BH056397 | 吴燕明 |
| 2 主要编制人员 | | | |
| 姓名 | 主要编写内容 | 信用编号 | 签字 |
| 吴燕明 | 表1~表8 | BH056397 | 吴燕明 |
| 童林棋 | 表9~表13 | BH006681 | 童林棋 |

环评项目负责人职业资格证书（复印件）



环境影响评价工程师 Environmental Impact Assessment Engineer

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、生态环境部批准颁发，
表明持证人通过国家统一组织的考试，
取得环境影响评价工程师职业资格。

姓 名： 吴燕明
证件号码：
性 别： 女
出生年月： 1987年11月
批准日期： 2022年05月29日
管 理 号： 20220503533000000020



目 录

| | |
|---|-----|
| 表 1 项目基本情况..... | 1 |
| 表 2 放射源..... | 16 |
| 表 3 非密封放射性物质..... | 16 |
| 表 4 射线装置..... | 17 |
| 表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） | 19 |
| 表 6 评价依据 | 20 |
| 表 7 保护目标与评价标准..... | 23 |
| 表 8 环境质量和辐射现状..... | 34 |
| 表 9 项目工程分析与源项 | 40 |
| 表 10 辐射安全与防护 | 70 |
| 表 11 环境影响分析 | 108 |
| 表 12 辐射安全管理..... | 173 |
| 表 13 结论与建议..... | 180 |
| 表 14 审批..... | 185 |
| 附图 1 医院地理位置图..... | 186 |
| 附图 2-1 医院总平面布置图..... | 187 |
| 附图 2-2 医院周边环境关系图 | 188 |
| 附图 2-3 项目周边环境关系图 | 189 |
| 附图 3-1 直线加速器机房、CT 模拟定位机机房和核医学科下方平面布置图（医技住院综合楼-3F） | 190 |
| 附图 3-2 直线加速器机房和 CT 模拟定位机房平面布置图（医技住院综合楼-2F） | 191 |
| 附图 3-3 核医学科平面布置图（医技住院综合楼-2F） | 192 |
| 附图 3-4 直线加速器机房顶棚和 CT 模拟定位机房上方平面布置图（医技住院综合楼-1F） | 193 |
| 附图 3-5 核医学科上方平面布置图（医技住院综合楼-1F） | 194 |
| 附图 3-6 DSA 机房 1 下方平面布置图（医技住院综合楼-1F） | 195 |
| 附图 3-7 DSA 机房 1 平面布置图（医技住院综合楼 1F） | 196 |
| 附图 3-8 直线加速器机房上方平面布置图（医技住院综合楼 1F） | 197 |
| 附图 3-9 DSA 机房 1 上方平面布置图（医技住院综合楼 2F） | 198 |
| 附图 3-10 DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室下方平面布置图（医技住院综合楼 3F） | 199 |
| 附图 3-11 DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室平面布置图（医技住院综合楼 4F） | 200 |

| | |
|---|-----|
| 附图 3-12 DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室上方平面布置图（医技住院综合楼 5F） | 201 |
| 附图 3-13 核医学科人员、物流路径规划和两区划分图 | 202 |
| 附图 3-14 核医学科衰变池两区划分图 | 203 |
| 附图 3-15 核医学科排风和排水管线图 | 204 |
| 附图 3-16 放疗科人员路径规划和两区划分图 | 205 |
| 附图 3-17 直线加速器机房剖面图 | 206 |
| 附图 3-18 直线加速器机房排风和新风管线图 | 207 |
| 附图 3-19 DSA 机房 1 人员、物流路径规划和两区划分图 | 208 |
| 附图 3-20 DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室人员、物流路径规划和两区划分图 | 209 |
| 附图 4 南湖区生态环境管控单元分类图 | 210 |
| 附图 5 嘉兴市“三区三线”图 | 211 |
| 附件 1 委托书 | 212 |
| 附件 2 事业单位法人证书及法人身份证件 | 213 |
| 附件 3 辐射安全许可证 | 215 |
| 附件 4 医院建设项目环评手续 | 225 |
| 附件 5 医院原有核技术利用项目环评及验收手续 | 229 |
| 附件 6 辐射环境质量现状监测报告 | 245 |
| 附件 7 辐射安全与环境防护管理小组成立文件 | 254 |
| 附件 8 放射科辐射事故应急预案 | 256 |
| 附件 9 个人剂量检测报告（部分） | 257 |
| 附件 10 专家函审意见及修改说明 | 285 |

表1 项目基本情况

| | | | | |
|--|--|--|--|-----------------|
| 建设项目名称 | 嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程核技术利用建设项目 | | | |
| 建设单位 | 嘉兴市中医医院 | | | |
| 法人代表 | [REDACTED] | 联系人 | [REDACTED] | 联系电话 [REDACTED] |
| 注册地址 | 浙江省嘉兴市中山东路 1501 号 | | | |
| 项目建设地点 | 浙江省嘉兴市中山东路 1501 号嘉兴市中医医院医技住院综合楼 | | | |
| 立项审批部门 | / | | 批准文号 | / |
| 建设项目总投资（万元） | 6000 | 项目环保投资（万元） | 830 | 投资比例(环保投资/总投资) |
| 项目性质 | <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它 | | 占地面积 (m ²) | / |
| 应用类型 | 放射源 | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类 | |
| | 非密封放射性物质 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物 | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | / | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙 | |
| | 射线装置 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 | | |
| 其他 | / | | | |

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位概况

嘉兴市中医医院（以下简称：“医院”）始建于 1959 年，位于浙江省嘉兴市中山东路 1501 号，是嘉兴市属集医疗、教学、科研、康复保健为一体的综合性、现代化的国家级三级甲等中医医院。系国家重点建设中医院，浙江省文明单位，浙江省中医名院建设单位，浙江省首批“绿色医院”和“健康促进医院”，为浙江中医药大学附属医院、嘉兴学院附属医院，以及省内外多所高等医学院校教学医院。

医院于 2023 年已委托编制《嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程环境影响报告书》，于 2024 年 1 月 23 日由嘉兴市生态环境局以嘉环（经开）建〔2024〕1 号进行了批复（见附件 4），现医技住院综合楼正在建设中，未投入使用。

1.1.2 建设目的和任务由来

医院现设有放射科和介入科，未设置核医学科和放疗科，近年来，随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务要求的提高，为促进嘉兴市城市建设和发展需要，进一步改善当地医疗环境，提高医院知名度，医院新建一幢医技住院综合楼（地上 17 层，地下 3 层），内设核医学科、放疗科和介入科。

本项目核医学科拟购置 1 台 PET/CT（因本项目 PET/CT 具体型号尚未确定，其具体使用的校准源活度和数量尚不能明确，校准源一般为 V 类放射源，因此本项目保守按照主流设备中所配备最大活度校准源和数量，1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源进行评价），使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗；使用核素 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 进行骨转移癌治疗；使用核素 ^{32}P 进行血液病治疗。根据计算，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $3.12 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放疗科拟建设 2 间直线加速器机房及配套用房（包括 1 间 CT 模拟定位机机房），购置 2 台 15MV 直线加速器和 1 台 CT 模拟定位机，开展放射治疗。

本项目介入科拟建设 2 间 DSA 机房和 1 间 DSA 复合手术机房，购置 3 台 DSA 和 1 台移动 CT，用于介入治疗和影像诊断。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），上述直线加速器和 DSA 属于 II 类射线装置，PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机和移动 CT 属于 III 类射线装置；根据《关于发布放射源分类方法的公告》（原国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号），PET/CT 拟配置校准源为 V 类放射源；根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 C 非密封源工作场所的分级标准，本项目核医学科场所为乙级非密封放射性物质工作场所。根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》等相关法律法规要求，本项目应组织编制环境影响评价文件。对照生态环境部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，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 V 类放射源；使用 III 类射线装置”和“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”，环评类别分别为环境影响登记表和环境影响报告表。综上所述，本项目应编制环境影响报告表。

为此，嘉兴市中医医院委托中辐环境科技有限公司开展“嘉兴市中医医院医技住

院综合楼工程核技术利用建设项目”（简称“本项目”）的环评工作。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、资料收集、辐射环境现状监测等工作，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）等规定要求编制完成本环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

1.1.3.1 核医学科

本项目核医学科位于医技住院综合楼地下二层西侧，拟购置 1 台 PET/CT（PET/CT 拟配备 1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA，属于 III 类射线装置，并使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA，属于 III 类射线装置，并使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗；使用核素 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 进行骨转移癌治疗；使用核素 ^{32}P 进行血液病治疗。

本项目核医学科核素使用情况见表 1.1-1。

表 1.1-1 本项目核医学科核素使用情况

| 使用核素 | 物理状态 | 日最大诊断量 | 年最大诊断量 | 单次最大使用量 | 实际日最大操作量 | 年最大用量 | 给药方式 | 诊断治疗项目 |
|--------------------------|------|--------|--------|---|---------------------------------|---------------------------------|------|---------------|
| ^{18}F | 液态 | 20 人 | 5000 人 | $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) | $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ | $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ | 静脉注射 | PET/CT 显像诊断 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 液态 | 30 人 | 7500 人 | $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi) | $2.78 \times 10^{10} \text{Bq}$ | $6.94 \times 10^{12} \text{Bq}$ | 静脉注射 | SPECT/CT 显像诊断 |
| ^{131}I 甲测 | 液态 | 10 人 | 2500 人 | $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ (5 μCi) | $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ | $4.63 \times 10^8 \text{Bq}$ | 口服 | 甲状腺吸碘功能测定 |
| ^{131}I 甲亢 | 液态 | 10 人 | 2500 人 | $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) | $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ | $9.25 \times 10^{11} \text{Bq}$ | 口服 | 甲亢治疗 |
| ^{89}Sr | 液态 | 5 人 | 1250 人 | $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi) | $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ | $2.31 \times 10^{11} \text{Bq}$ | 静脉注射 | 骨转移癌治疗 |
| ^{188}Re | 液态 | 5 人 | 1250 人 | $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ (100mCi) | $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ | $4.63 \times 10^{12} \text{Bq}$ | 静脉注射 | 骨转移癌治疗 |
| ^{223}Ra | 液态 | 5 人 | 1250 人 | $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ (0.3mCi) | $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ | $1.39 \times 10^{10} \text{Bq}$ | 静脉注射 | 骨转移癌治疗 |
| ^{32}P | 液态 | 5 人 | 1250 人 | $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) | $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ | $4.63 \times 10^{11} \text{Bq}$ | 静脉注射 | 血液病治疗 |

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作

为一个单独场所进行日等效最大操作量核算：

- ①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；
- ②工艺流程连续完整；
- ③有相对独立的辐射防护措施。

因此，本项目核医学科场所作为一个单独场所进行日等效最大操作量核算。

由于本项目使用¹⁸F核素半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射¹⁸F药物量为10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量，本项目¹⁸F核素拟暂定一天送1次药，按照日用药量的4倍进行备药，因此，¹⁸F核素实际日最大操作量为 7.40×10^9 Bq，按4倍进行备药，则¹⁸F核素备药量为 2.96×10^{10} Bq。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于非密封放射性物质工作场所分级的相关规定，本项目非密封放射性物质工作场所分级详见表1.1-2。

表1.1-2 本项目工作场所分级计算表

| 工作场所 | 核素名称 | 实际日最大操作量(Bq) | 毒性组别修正因子 | 操作方式修正因子 | 日等效最大操作量(Bq) |
|-------------------|---------------------|-----------------------|----------|-----------|--------------------|
| 医技住院综合楼地下二层核医学科场所 | ¹⁸ F | 7.40×10^9 | 0.01（低毒） | 10（很简单操作） | 7.40×10^6 |
| | ¹⁸ F 备药 | 2.96×10^{10} | 0.01（低毒） | 10（很简单操作） | 2.96×10^7 |
| | ^{99m} Tc | 2.78×10^{10} | 0.01（低毒） | 10（很简单操作） | 2.78×10^7 |
| | ¹³¹ I 甲测 | 1.85×10^6 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 1.85×10^5 |
| | ¹³¹ I 甲亢 | 3.70×10^9 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 3.70×10^8 |
| | ⁸⁹ Sr | 9.25×10^8 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 9.25×10^7 |
| | ¹⁸⁸ Re | 1.85×10^{10} | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 1.85×10^9 |
| | ²²³ Ra | 5.55×10^7 | 10（极毒） | 1（简单操作） | 5.55×10^8 |
| | ³² P | 1.85×10^9 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 1.85×10^8 |
| 合计 | | | | | 3.12×10^9 |

由表1.1-2计算结果可知，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 3.12×10^9 Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，属于 2×10^7 Bq~ 4×10^9 Bq的范围，故核医学科场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.3.2 放疗科

本项目放疗科位于医技住院综合楼地下二层西北侧，拟购置 2 台直线加速器和 1 台 CT 模拟定位机。2 台直线加速器 X 最大射线能量均为 15MV，电子线最大能量均为 22MeV，属于II类射线装置，各配套使用 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；CT 模拟定位机最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA，属于III类射线装置。

1.1.3.3 介入科

本项目介入科 DSA 机房 1 位于医技住院综合楼一层东侧；DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室位于医技住院综合楼四层西北侧，拟购置 3 台 DSA 和 1 台移动 CT。3 台 DSA 最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA，属II类射线装置，移动 CT 最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA，属III类射线装置。

综上所述，本项目建设内容和规模见表 1.1-3~1.1-5。

表 1.1-3 本项目所涉及放射源一览表

| 放射源名称 | 类别 | 活动种类 | 单枚源活度 | 数量 | 工作场所名称 | 备注 |
|------------------|----|------|-----------------------|-----|----------------------------------|----|
| ⁶⁸ Ge | V类 | 使用 | 1.11×10^8 Bq | 1 枚 | 医技住院综合楼地下 二层核医学科 PET/CT 机房 | 新增 |
| ⁶⁸ Ge | V类 | 使用 | 5.55×10^7 Bq | 1 枚 | | 新增 |

表 1.1-4 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) | 用途 | 场所等级 |
|-------------------|-----------------------|------|-----------------------|--------------------|--|------|
| 医技住院综合楼地下二层核医学科场所 | ¹⁸ F (使用) | 使用 | 7.40×10^9 | 7.40×10^6 | PET/CT 显像诊断 备药 SPECT/CT 显像诊断 甲状腺吸碘功能测定 甲亢治疗 骨转移癌治疗 骨转移癌治疗 骨转移癌治疗 血液病治疗 | 乙级 |
| | ¹⁸ F (备药) | 使用 | 2.96×10^{10} | 2.96×10^7 | | |
| | ^{99m} Tc | 使用 | 2.78×10^{10} | 2.78×10^7 | | |
| | ¹³¹ I (甲测) | 使用 | 1.85×10^6 | 1.85×10^5 | | |
| | ¹³¹ I (甲亢) | 使用 | 3.70×10^9 | 3.70×10^8 | | |
| | ⁸⁹ Sr | 使用 | 9.25×10^8 | 9.25×10^7 | | |
| | ¹⁸⁸ Re | 使用 | 1.85×10^{10} | 1.85×10^9 | | |
| | ²²³ Ra | 使用 | 5.55×10^7 | 5.55×10^8 | | |
| | ³² P | 使用 | 1.85×10^9 | 1.85×10^8 | | |

表 1.1-5 本项目新增射线装置一览表

| 场所项目 | 装置名称 | 类别 | 数量 | 参数 | | | 用途 | 工作场所名称 | 备注 | |
|------|----------|------|-----|-----------------------------------|--------|---------------------------------|-----------|--------------------------------|----|--|
| | | | | 射线种类 | 最大射线能量 | 最大剂量率 | | | | |
| 放疗科 | 直线加速器 | II类 | 2 台 | X 射线 | 15MV | 距靶 1m 处的最大剂量率 360Gy/h | 放疗治疗 | 医技住院综合楼地下二层放疗科 1 号和 2 号直线加速器机房 | 新增 | |
| | | | | | 10MV | 距靶 1m 处的最大剂量率 1440Gy/h (FFF 模式) | | | | |
| | | | | 电子线 | 22MeV | / | | | | |
| | | | | CBCT: 最大管电压为 150kV, 最大管电流为 1000mA | | | | | | |
| | CT 模拟定位机 | III类 | 1 台 | 最大管电压: 150kV 最大管电流: 1300mA | | | 病灶定位 | 医技住院综合楼地下二层放疗科 CT 模拟定位机机房 | 新增 | |
| 核医学科 | PET/CT | III类 | 1 台 | 最大管电压: 150kV 最大管电流: 1300mA | | | 显像诊断 | 医技住院综合楼地下二层核医学科 PET/CT 机房 | 新增 | |
| | SPECT/CT | III类 | 1 台 | 最大管电压: 150kV 最大管电流: 1300mA | | | 显像诊断 | 医技住院综合楼地下二层核医学科 SPECT/CT 机房 | 新增 | |
| 介入科 | DSA | II类 | 1 台 | 最大管电压: 150kV 最大管电流: 1250mA | | | 影像诊断和介入治疗 | 医技住院综合楼一层 DSA 机房 1 | 新增 | |
| | DSA | II类 | 1 台 | 最大管电压: 150kV 最大管电流: 1250mA | | | | 医技住院综合楼四层 DSA 机房 2 | 新增 | |
| | DSA | II类 | 1 台 | 最大管电压: 150kV 最大管电流: 1250mA | | | | 医技住院综合楼四层 DSA 复合手术室 | 新增 | |
| | 移动 CT | III类 | 1 台 | 最大管电压: 140kV 最大管电流: 1000mA | | | | | | |

1.1.4 工作人员及工作制度

本项目辐射工作人员实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天。

核医学科拟配置辐射工作人员 14 名，放疗科拟配置辐射工作人员 12 名，介入科拟配置辐射工作人员 42 名，均为新增辐射工作人员，且仅负责各自辐射工作场所工作内容，不同岗位互不兼岗，具体人员配置情况见表 1.1-6。

表 1.1-6 本项目辐射工作人员配置情况表

| 辐射工作场所 | | 工作内容 | 工作岗位 | 人数 |
|--------|---------------|------------------|------|-----|
| 核医学科 | 办公室、读片室 | 办公、读片 | 医生 | 4人 |
| | 护士站、分装室 | 预约登记、放射性药物给药 | 护士 | 6人 |
| | PET/CT 控制室 | 操作 PET/CT、患者摆位 | 技师 | 2人 |
| | SPECT/CT 控制室 | 操作 SPECT/CT、患者摆位 | 技师 | 2人 |
| 放疗科 | 直线加速器 (2间) | 操作直线加速器 | 技师 | 4人 |
| | | 问诊、出具治疗方案 | 医生 | 4人 |
| | | 制定治疗计划 | 物理师 | 2人 |
| | CT 模拟定位机 | 操作 CT 模拟定位机 | 技师 | 1人 |
| 介入科 | DSA (3间) | 问诊、出具治疗方案 | 医生 | 1人 |
| | | 操作 DSA/移动 CT | 技师 | 6人 |
| | | 介入手术 | 医生 | 24人 |
| | | | 护士 | 12人 |

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从事使用II类射线装置和非密封放射性物质操作的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培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训，其中从事III类射线装置的辐射工作人员参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 医院地理位置及周围环境概况

医院位于嘉兴市中山东路 1501 号，分为南北两区，由竹桥港相隔。医院北区东邻瑞鑫大厦，南邻竹桥港，西邻友谊公寓小区和原中医院宿舍楼（现状为居民楼），北邻凯旋路；医院南区东邻停车场，南邻中山东路，西邻世纪广场小区，北邻竹桥港。地理位置图见附图 1。

1.2.2 项目周边环境关系

本项目核医学科、放疗科和介入科均位于医技住院综合楼内，医技住院综合楼拟建于医院北区。

(1) 核医学科

本项目核医学科位于医技住院综合楼地下二层西侧。核医学科东侧边界距离门诊住院楼约 71m，南侧边界距离 8 号楼约 20m，距离竹桥港约 53m，西侧边界距离医院用地

红线约 32m，北侧边界距离医院用地红线约 48m。因此，核医学科工作场所边界 50m 范围内主要为医院内部建筑物和道路以及凯旋路部分道路和部分原中医院宿舍楼（现状为居民楼）。

（2）放疗科

本项目放疗科位于医技住院综合楼地下二层西北侧。直线加速器机房东侧边界距离门诊住院楼约 63m，西侧边界距离医院用地红线约 35m，北侧边界距离医院用地红线约 10m，距离卡森项目部及停车场约 31m；CT 模拟定位机机房位于直线加速器机房南侧。因此，放疗科各机房边界 50m 范围内主要为医院内部建筑物和道路以及凯旋路和永兴街部分道路、部分原中医院宿舍楼（现状为居民楼）和卡森项目部及停车场。

（3）介入科

本项目介入科 DSA 机房 1 位于医技住院综合楼一层东侧，DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室位于医技住院综合楼四层西北侧。DSA 机房 1 东侧边界距离门诊住院楼约 3m，距离医院用地红线约 87m；DSA 机房 2 西侧边界距离医院用地红线约 27m；DSA 复合手术室东侧边界距离门诊住院楼 68m。因此，介入科各机房边界 50m 范围内主要为医院内部建筑物和道路以及凯旋路部分道路、部分原中医院宿舍楼（现状为居民楼）。

医院总平面布置图见附图 2-1，医院周边环境图见附图 2-2 和附图 2-3。

1.2.3 项目场所四至环境关系

（1）核医学科

医技住院综合楼地下二层核医学科东侧为电梯厅、楼梯间、排风机房、报警阀间和库房等，南侧为走廊，西侧为下沉庭院和走廊，北侧为物理计划室和走廊，上方为库房、进风机房、走廊和药剂更衣室等，下方为地下停车场。见附图 3-1、附图 3-3 和附图 3-5。

（2）放疗科

医技住院综合楼地下二层 1 号直线加速器机房东侧为 2 号直线加速器机房，南侧为控制室、水冷机房、准备区，西侧为医院污水处理站，北侧为岩土层，上方为医院道路，下方为岩土层；医技住院综合楼地下二层 2 号直线加速器机房东侧为地下停车场、真空排水机房，南侧为控制室、水冷机房、准备区，西侧为 1 号直线加速器机房，北侧为岩土层，上方为医院道路，下方为岩土层；医技住院综合楼地下二层 CT 模拟定位机机房东侧为体模室、走廊，南侧为控制室，西侧为走廊，北侧为走廊、候诊区，上方为病案库办公室、复印室、走廊、进风机房，下方为地下停车场。见附图 3-1、附图 3-2、附图

3-4 和附图 3-8。

(3) 介入科

医技住院综合楼一层 DSA 机房 1 东侧为控制室、设备间，南侧为过道、设备间，西侧为污物间、仪器室、无菌物品间，北侧为准备间、更衣室，上方为走廊、病人通道、空调机房，下方为排风机房、地下停车场、岩土层；医技住院综合楼四层 DSA 机房 2 东侧为控制室、洁净走廊，南侧为洁净走廊、设备间，西侧为洁净走廊，北侧为洁净走廊，上方为手术净化机房，下方为中心供应室、卫生间、更衣室；医技住院综合楼四层 DSA 复合手术室东侧为洁净走廊，南侧为洁净走廊，西侧为洁净走廊和控制室，北侧为移动 CT 存放间，上方为手术净化机房、走廊，下方为中心供应室。见附图 3-6、附图 3-7、附图 3-9、附图 3-10、附图 3-11 和附图 3-12。

1.2.4 核技术利用项目选址合理性分析

本项目核医学科位于医技住院综合楼地下二层西侧，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医技住院综合楼（地上 17 层，排放高度约 72.8m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。核医学科衰变池设置于医技住院综合楼地下一层西北角，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。因此，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中关于核医学工作场所选址的相关要求。

本项目放疗科 2 间直线加速器机房和 1 间 CT 模拟定位机机房位于医技住院综合楼地下二层西北侧。各机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，选址避开了儿科病房、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) 中关于放射治疗场所选址的相关要求。

医技住院综合楼内设置介入科和手术中心，本项目 DSA 机房 1、DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室布置于医技住院综合楼一层介入科和四层手术中心内，相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。因此介入科各机房选址合理。

综上所述，整个核技术利用项目布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响和辐射类项目尽量集中设置的原则，因此，医院的整体布局及主要辐射工作场所的位置选择较为合理。

1.3 其他符合性分析

1.3.1 嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目位于浙江省嘉兴市中山东路 1501 号嘉兴市中医医院北侧地块医院医技住院综合楼内，根据《嘉兴市生态环境局关于印发<嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（嘉环发〔2024〕39号），本项目所在地属于“浙江省嘉兴市南湖区中心城区生活重点管控单元（环境管控单元编码：ZH33040220007）”（见附图4）。本环评对生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境管控单元准入清单进行对照分析。

（1）生态保护红线

本项目位于浙江省嘉兴市中山东路 1501 号嘉兴市中医医院北侧地块医院医技住院综合楼内。根据嘉兴市“三区三线”划分图，本项目所在区域属于城镇开发边界内（见附图5），主体工程占地不涉及永久基本农田与生态保护红线，因此，本项目不涉及嘉兴市生态保护红线，满足生态保护红线要求。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 γ 辐射剂量属正常本底范围， α 表面污染、 β 表面污染和中子未见异常。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，不触及环境质量底线。

（3）资源利用上线

本项目主要水源为自来水，由市政自来水管网供给，占比量较小；主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网。本项目在现有用地范围内实施，且整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源和能源，因此不会突破资源利用上线。

（4）生态环境管控单元准入清单

本项目所在地属于“浙江省嘉兴市南湖区中心城区生活重点管控单元（环境管控单元编码：ZH33040220007）”，本项目的建设与南湖区生态环境管控单元准入清单要求符合性分析见表 1.3-1。

表 1.3-1 南湖区生态环境管控单元准入清单符合性分析一览表

| 南湖区生态环境管控单元准入清单要求 | | 本项目概况 | 是否符合 |
|---|---|--|------|
| 空间布局约束 | 1、禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。 2、禁止新建涉及一类重金属、重点行业重点重金属污染物、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。鼓励现有二类迁出或关闭。 3、严格执行畜禽养殖禁养区。 4、推进城镇绿廊建设，协同建设区域生态网络和绿道体系，建立城镇生态空间与区域生态空间的有机联系。 5、推进既有建筑绿色化改造，高质量发展零碳低耗绿色建筑。 | 本项目属于医院核技术利用项目，不属于工业项目和畜禽养殖项目。 | 符合 |
| 污染物排放管控 | 1、严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。 2、污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河入海排污口，现有的入河入海排污口应限期拆除。但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。 3、加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，深化城镇“污水零直排区”建设。 4、加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管，依法严禁秸秆、垃圾等露天焚烧。 5、加强土壤和地下水污染防治与修复。 6、推动能源、工业、建筑、交通、居民生活等重点领域绿色低碳转型。 | 本项目为医院核技术利用项目，非工业类项目，放射性废气经活性炭处理后排放，放射性废液经衰变池衰变后排入医院污水处理站处理达标排放，固体放射性废物暂存衰变后清洁解控并作为医疗废物处置，均能做到达标排放或妥善安全处置。 | 符合 |
| 环境风险防控 | 1、合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目建设。 | 本项目为医院核技术利用项目，不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目。 | 符合 |
| 资源开发效率要求 | 全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水，推进生活节水降损，实施城市供水管网优化改造。 | 本项目所用水源主要为自来水，用水量较小，非高耗水服务业用水。 | 符合 |
| 本项目为医院核技术利用项目，非工业项目，对照《嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案》，本项目的实施符合《嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。 | | | |
| 1.3.2 与嘉兴市“三区三线”符合性分析 | | | |
| 本项目位于浙江省嘉兴市中山东路 1501 号嘉兴市中医医院北侧地块医院医技住院综合楼内，不新增用地，用地性质为医院用地。 | | | |

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080号）要求，“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海组卷报批的依据。其中“三区”具体指农业空间、生态空间、城镇空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。

根据嘉兴市“三区三线”划分图（见附图5），本项目所在区域属于城镇开发边界内，不涉及永久基本农田、生态保护红线，因此，项目的建设符合嘉兴市“三区三线”要求。

1.3.3 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第一类鼓励类中“十三、医药—4、高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，……”，因此，本项目建设符合国家产业政策要求。

1.3.4 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。

医院在放射诊断、放射治疗和放射介入过程中，对放射性核素、放射源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，对放射性核素、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理的情况下，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，该核技术利用实践具有正当性，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。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

1.4.1 医院原有核技术利用项目许可情况

嘉兴市中医医院现持有浙江省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号：浙环辐证[F0020]（见附件3）；发证日期：2024年03月28日，有效期至：2029年02月28日；种类和范围：使用II类、III类射线装置。

1.4.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

根据辐射安全许可证，医院已获许可使用的射线装置共 19 台，原有核技术利用项目射线装置环保手续履行情况见表 1.4-1，相关环保手续文件见附件 5。

表 1.4-1 医院原有核技术利用项目射线装置环保履行情况一览表

| 序号 | 设备名称 | 射线装置类别 | 规格型号 | 用途 | 工作场所 | 环评手续 | 验收手续 |
|----|-------|--------|-------------------------|-----------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------|
| 1 | DR | III类 | NOVA FA-C | 医用诊断 X 射线装置 | 3号机房 | 备案号： 20183304020 0000725 | / |
| 2 | CT | III类 | MX-16Slice | 医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置 | 4号机房 | 备案号： 20233304020 0000049 | / |
| 3 | CT | III类 | Brightspeed Elect 型 | 医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置 | 5号机房 | 嘉环函 (2008) 28 号 | 嘉环辐验 (2015) 4 号 |
| 4 | 骨密度仪 | III类 | Prodigy ProCompact | 医用诊断 X 射线装置 | 6号机房 | 备案号： 20233304020 0000049 | / |
| 5 | DR | III类 | Multix FusionMax 翔龙 Max | 医用诊断 X 射线装置 | A1 | 备案号： 20233304020 0000047 | / |
| 6 | CT | III类 | Revolution Frontier ES | 医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置 | A2 | | |
| 7 | CT | III类 | OptimaCT5 40 | 医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置 | A3 | | |
| 8 | DSA | II类 | Artis Q Ceiling | 血管造影用 X 射线装置 | DSA 室 | 嘉环辐 (2019) 5 号 | 2020 年 4 月 23 日完成自主验收 |
| 9 | CT | III类 | OptimaCT5 40 | 医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置 | 城东 CT 机房 | 备案号： 20203304020 0000025 | / |
| 10 | DR | III类 | Multix FusionMax | 医用诊断 X 射线装置 | 城东 DR 机房 | 备案号： 20213304020 0000074 | / |
| 11 | 移动 DR | III类 | MobileDiagnostic DR | 医用诊断 X 射线装置 | 放射科一楼 | 备案号： 20203304020 0000243 | / |
| 12 | 移动 DR | III类 | Mobilett MiraMax | 医用诊断 X 射线装置 | 放射科一楼 | 备案号： 20203304020 0000025 | / |
| 13 | 口腔 CT | III类 | Planmeca ProMax 3D Mid | 口腔(牙科) X 射线装置 | 口腔科口腔 CT 机房 | 备案号： 20243304020 0000018 | / |
| 14 | 口腔全景机 | III类 | OC200D 型 | 口腔(牙科) X 射线装置 | 口腔科口腔全景 A 机房 | 备案号： 20243304020 0000018 | / |
| 15 | C臂 | III类 | BV | 医用诊断 X 射 | 手术室 15 | 嘉环函 | 嘉环辐验 |

| | X线机 | | | 线装置 | 间 | (2008) 28号 | (2015) 4号 |
|----|-------|------|-------------------|-------------|----------|--------------------------------|-----------|
| 16 | C臂X线机 | III类 | OEC EliteCFDx | 医用诊断 X 射线装置 | 手术室 2 号间 | 备案号: 20243304020 0000018 | / |
| 17 | C臂X线机 | III类 | LIERA | 医用诊断 X 射线装置 | 手术室 3 号间 | 备案号: 20173304020 0000786 | / |
| 18 | 碎石机 | III类 | CS-2012A-3D | 医用诊断 X 射线装置 | 体外碎石室 | 备案号: 20223304020 0000062 | / |
| 19 | 钼靶机 | III类 | Slenia Dimensions | 医用诊断 X 射线装置 | 钼靶室 | 备案号: 20243304020 0000018 | / |

1.4.3 原有核技术利用项目管理情况

医院原有核技术利用项目各类设施运行过程中较好地执行了相关的辐射安全管理制度，根据上一年辐射工作场所检测报告，原有核技术利用项目运行过程没有发生事故，运行良好，相关屏蔽防护措施满足防护要求。

医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，建立了完善的辐射安全和防护制度，并有严格的档案管理制度，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。医院已严格落实各项规章制度，各类射线装置运行使用多年未出现辐射安全事故，无环保投诉情况，且与辐射安全许可证一致，并且每年有辐射场所监测和年度评估报告。

医院原有核技术利用项目管理情况见表1.4-2。

表 1.4-2 医院原有核技术应用项目环保履行情况一览表

| 名称 | 管理情况 |
|----------|---|
| 辐射防护管理制度 | 医院现已成立了辐射安全与环境保护管理小组（见附件 7），管理委员会由各个科室主任组成，能够有效统筹安排医院的辐射安全事务，并已建立《放射科辐射事故应急预案》、《放射安全防护管理制度》、《放射诊疗工作人员职业健康管理规定》和《放射诊疗工作人员守则》等辐射防护管理制度。 |
| 辐射防护措施 | 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警告标志、工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。已按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求配置了工作场所防护用品及防护设施。 |
| 个人剂量监测 | 98 名辐射工作人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送至嘉兴嘉卫检测科技有限公司，并建立了个人剂量档案，由医院 2023 年 1 月 13 日~2023 年 12 月 31 日个人剂量检测报告统计结果可知（见附件 9），辐射工作人员年有效剂量最大为放射科陈文娟，为 1.391mSv，低于工作人员剂量约束值 5mSv/a。 |

| | |
|-------------|--|
| 职业健康体检 | 医院对现有辐射工作人员开展健康监护，并建有职业健康档案。辐射工作人员于2022年10月20日至11月1日和2023年4月24日至6月16日、7月12日和11月7日在嘉兴市第一医院进行了岗前、在岗期间和离岗前职业健康体检，在岗期间体检周期不超过2年。根据医院提供的职业健康体检报告可知，医院每两年对辐射工作人员进行体检以及对需要复查的辐射工作人员进行复检，体检结果为在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作。 |
| 辐射工作人员培训 | 医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度，相关辐射工作人员于2022年12月、2023年1月、5月、10月和11月和2024年5月均参加了嘉兴市卫生监督所组织的核技术利用辐射安全与防护考核，并考核合格，其中从事III类射线装置的辐射工作人员参加医院于2023年3月和7月自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。 |
| 辐射工作场所年度监测 | 医院每年定期委托嘉兴嘉卫检测科技有限公司对辐射工作场所进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告（报告编号：FW230059F）结论，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。 |
| 辐射应急演练和年度评估 | 医院已制定有《放射科辐射事故应急预案》（见附件8），并定期开展辐射事故应急演练，对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急处理预案进行完善和修订。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故；医院编制有《嘉兴市中医医院辐射安全与防护状况评估报告》，对现有放射性同位素与射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素与射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。 |

1.4.4 原有核技术利用项目存在的问题

医院现已建立了完善的辐射安全和防护制度，并有严格的档案管理制度，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。医院应继续强化管理、加强辐射工作人员的培训学习。

表 2 放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数 | 类别 | 活动种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|----|------------------|--|----|------|--------|-----------------------|-----------|----|
| 1 | ⁶⁸ Ge | $1.11 \times 10^8 \text{ Bq} / 1.11 \times 10^8 \text{ Bq} \times 1 \text{ 枚}$ | V | 使用 | PET 校准 | 医技住院综合楼地下二层 核医学科场所 | 核医学科场所储源室 | 新增 |
| 2 | ⁶⁸ Ge | $5.55 \times 10^7 \text{ Bq} / 5.55 \times 10^7 \text{ Bq} \times 1 \text{ 枚}$ | | 使用 | PET 校准 | | | 新增 |

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 | ¹⁸ F | 液态/低毒/半衰期109.8min | 使用 | 7.40×10^9 | 7.40×10^6 | 7.40×10^{12} | PET/CT 显像诊断 | 很简单操作 | 医技住院综合楼地下二层核医学科场所 | 根据实际使用量向有资质单位购买(现买现用),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。 |
| | | | | 2.96×10^{10} | 2.96×10^7 | | 备药 | 很简单操作 | | |
| 2 | ^{99m} Tc | 液态/低毒/半衰期6.02h | 使用 | 2.78×10^{10} | 2.78×10^7 | 6.94×10^{12} | SPECT/CT 显像诊断 | 很简单操作 | | |
| 3 | ¹³¹ I | 液态/中毒/半衰期8.02d | 使用 | 1.85×10^6 | 1.85×10^5 | 4.63×10^8 | 甲状腺吸碘功能测定 | 简单操作 | | |
| 4 | ¹³¹ I | 液态/中毒/半衰期8.02d | 使用 | 3.70×10^9 | 3.70×10^8 | 9.25×10^{11} | 甲亢治疗 | 简单操作 | | |
| 5 | ⁸⁹ Sr | 液态/中毒/半衰期50.53d | 使用 | 9.25×10^8 | 9.25×10^7 | 2.31×10^{11} | 骨转移癌治疗 | 简单操作 | | |
| 6 | ¹⁸⁸ Re | 液态/中毒/半衰期16.98h | 使用 | 1.85×10^{10} | 1.85×10^9 | 4.63×10^{12} | 骨转移癌治疗 | 简单操作 | | |
| 7 | ²²³ Ra | 液态/极毒/半衰期11.44d | 使用 | 5.55×10^7 | 5.55×10^8 | 1.39×10^{10} | 骨转移癌治疗 | 简单操作 | | |
| 8 | ³² P | 液态/中毒/半衰期14.26d | 使用 | 1.85×10^9 | 1.85×10^8 | 4.63×10^{11} | 血液病治疗 | 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、教学等各种用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速粒子 | 最大能量 (MeV) | 额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|-------|-----|----|----|------|-------------------------|---|------|-----------------------------|----|
| 1 | 直线加速器 | II类 | 2 | 待定 | 电子 | X射线: 15MV 电子线: 22MeV | X射线能量: 10/15MV, 距靶 1m 处的最大剂量率 360Gy/h FFF 模式下 X 射线能量: 10MV, 距 靶 1m 处 的 最 大 剂 量 率 1440Gy/h CBCT: 最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA | 放疗治疗 | 医技住院综合楼地下二层放疗科 1号和2号直线加速器机房 | 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 | DSA | II类 | 1 | 待定 | 150 | 1250 | 影像诊断和介入治疗 | 医技住院综合楼一层 DSA 机房 1 | | 新购 |
| 2 | DSA | II类 | 1 | 待定 | 150 | 1250 | 影像诊断和介入治疗 | 医技住院综合楼四层 DSA 机房 2 | | 新购 |
| 3 | DSA | II类 | 1 | 待定 | 150 | 1250 | 影像诊断和介入治疗 | 医技住院综合楼四层 DSA 复合手术室 | | 新购 |
| 4 | 移动 CT | III类 | 1 | 待定 | 140 | 1000 | 影像诊断和介入治疗 | | | 新购 |
| 5 | PET/CT | III类 | 1 | 待定 | 150 | 1300 | 显像诊断 | 医技住院综合楼地下二层核医学科场所 PET/CT 机房 | | 新购 |
| 6 | SPECT/CT | III类 | 1 | 待定 | 150 | 1300 | 显像诊断 | 医技住院综合楼地下二层核医学科场所 SPECT/CT 机房 | | 新购 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|----------|------|---|----|-----|------|------|---------------------------|--|--|----|
| 7 | CT 模拟定位机 | III类 | 1 | 待定 | 150 | 1300 | 病灶定位 | 医技住院综合楼地下二层放疗科 CT 模拟定位机机房 | | | 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 (μ A) | 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 | |
| | 以下空白 | | | | | | | | | | | | |

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 |
|--|----|--|----|------|----------------------|--|----------------|---|
| 核医学科放射性废气 | 气态 | ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P | / | / | 极少量 | / | / | 由 4 套排风管道通过排风井分别引至医技住院综合楼楼顶高出屋脊排放，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。 |
| 核医学科放射性废水 | 液态 | ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I | / | / | 216.25m ³ | 总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ | 暂存于 4 个并联衰变池中 | 暂存衰变超过 180 天后可直接解控排放，入医院污水处理站。 |
| 废一次性注射器、废针头、废杯子、废手套、废药棉、废纱布、废一次性杯子、破损杯皿、擦拭污染地面的物品等 | 固态 | ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P | / | / | 1125kg/a | / | 分类收集后集中在废物间中暂存 | 含核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{188}Re 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过十个半衰期；含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 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 |
| 废活性炭 | 固态 | | / | / | 200kg/a | / | | |
| 感生放射性 | 气态 | ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{41}Ar | / | / | / | / | / | 场所内设置专用排风管道引至室外排放 |
| 废旧放射源 | 固态 | ^{68}Ge | / | / | 4 年更换一次 | / | 不暂存 | 将废旧放射源返回放射源生产厂家或原出口方，确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮 |
| 废靶件 | 固态 | / | / | / | / | / | 不暂存 | 根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)对废靶件等组件进行监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般固体废物处置；若监测异常，先在屏蔽容器内暂存，委托具有固体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/m³；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/m³) 和活度 (Bq)。

表6 评价依据

| | |
|------|--|
| 法规文件 | <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(7)《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日原环境保护部令第18号),自2011年5月1日起施行;</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006年1月18日原国家环境保护总局令第31号公布,2008年12月6日经原环境保护部令第3号修正,2017年12月20日经原环境保护部令第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;</p> <p>(9)《关于发布<放射源分类办法>的公告》(原国家环境保护总局公告2005</p> |
|------|--|

| | |
|--|---|
| | <p>年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行；</p> <p>（10）《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年），自 2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>（11）《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，2017 年），2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（12）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>（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；</p> <p>（14）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行；</p> <p>（15）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行；</p> <p>（16）《国家危险废物名录（2021 年版）》（2020 年 11 月 25 日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 15 号公布），2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（17）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国原环境保护部办公厅，环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日发布；</p> <p>（18）《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅浙江省卫生健康委员会，浙环函〔2019〕248 号），自 2019 年 7 月 18 日起施行；</p> <p>（19）《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布，2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号第一次修正，2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布第二次修正，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布第三次修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版；</p> <p>（20）《浙江省辐射环境管理办法》（2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府</p> |
|--|---|

| | |
|------|--|
| | <p>令第 289 号公布,根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》修正);</p> <p>(21) 《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2023 年本)>的通知》(浙环发〔2023〕33 号),自 2023 年 9 月 9 日起施行;</p> <p>(22) 《浙江省生态环境保护条例》(2022 年 8 月 1 日起施行)。</p> |
| 技术标准 | <p>(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);</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(6) 《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);</p> <p>(7) 《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);</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(9) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(10) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号);</p> <p>(11) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);</p> <p>(12) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021);</p> <p>(13) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010);</p> <p>(14) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)。</p> |
| 其他 | <p>(1) 环境影响评价委托书;</p> <p>(2) 辐射安全许可证,证书编号“浙环辐证[F0020]”;</p> <p>(3) 《辐射防护手册》,李德平、潘自强主编;</p> <p>(4) 《放射防护实用手册》,赵兰才、张丹枫主编;</p> <p>(5) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》;</p> <p>(6) 《辐射防护导论》,方杰主编;</p> <p>(7) 嘉兴市中医院提供的与本项目有关的资料。</p> |

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中对于环境影响报告书项目的评价范围规定：“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，结合本项目的特点，本项目辐射环境评价范围参考环境影响报告书的规定，取拟建核医学科、放疗科各机房和介入科各机房实体屏蔽物边界外 50m，评价范围详见附图 2-3。

7.2 保护目标

根据现场踏勘情况和附图 2-3 可知，本项目拟建辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 范围内主要为医院内部建筑物和道路、凯旋路和永兴街部分道路、部分原中医院宿舍楼（现状为居民楼）和卡森项目部及停车场，不涉及学校等环境敏感区域，也不涉及嘉兴市生态保护红线。

本项目环境保护目标为本项目工作场所内的辐射工作人员、医院其他非辐射工作人员、患者和其他公众成员，根据电离辐射影响程度在屏蔽措施相同的情况下与关注点和辐射源的距离成反比的规律，本次评价报告中列举出辐射工作场所内及相邻区域受影响较大的保护目标情况，具体保护目标见表 7.2-1。

表 7.2-1 本项目评价范围内环境保护目标一览表

| 环境保护目标 | | 方位 | 规模 | 人员类别 | 与本项目场所边界的最近距离(m) | | 剂量约束值 |
|--------|-------------------------|-----|----------|------|------------------|----|----------|
| | | | | | 水平 | 垂直 | |
| 核医学科 | 辐射工作人员 | 内部 | 14 人 | 职业 | / | / | 5mSv/a |
| | 电梯厅、楼梯间、排风机房、报警阀间和库房等公众 | 东侧 | 300 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 走廊公众 | 南侧 | 150 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 下沉庭院和走廊公众 | 西侧 | 14 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 走廊、物理计划室公众 | 北侧 | 20 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 诊室公众 | 北侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 库房、进风机房、走廊和药剂更衣室等公众 | 正上方 | 50 人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | 地下停车场公众 | 正下方 | 1000 人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| 衰变池 | 岩土层 | 东侧 | / | / | 相邻 | / | / |
| | 直线加速器机房顶棚和地下停车场 | 南侧 | 500 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |

| | | | | | | | | |
|-----|-----------|----------------------|-----|---------|----|------|----|----------|
| | | 医院污水处理站 | 西侧 | 2人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 岩土层 | 北侧 | / | / | 相邻 | / | / |
| | | 医院道路 | 正上方 | 1500人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | | 岩土层 | 正下方 | / | / | / | 相邻 | / |
| | | 8号楼 | 南侧 | 2000人/天 | 公众 | 20 | / | 0.1mSv/a |
| | | 原中医院宿舍楼(现状为居民楼) | 西侧 | 1000人/天 | 公众 | 32 | / | 0.1mSv/a |
| | | 50m范围内其他区域公众 | 四周 | 约1500人 | 公众 | 0~50 | | 0.1mSv/a |
| | 直线加速器1号机房 | 控制室工作人员 | 南侧 | 5人 | 职业 | / | 0 | 5mSv/a |
| | | 2号直线加速器机房 | 东侧 | 5人 | 职业 | / | 0 | 5mSv/a |
| | | 水冷机房、准备区公众 | 南侧 | 60人/天 | 公众 | / | 0 | 0.1mSv/a |
| | | 医院污水处理站 | 西侧 | / | / | / | 0 | / |
| | | 岩土层 | 北侧 | / | / | / | 0 | / |
| | | 医院道路 | 正上方 | 1500人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | | 岩土层 | 正下方 | / | / | / | 相邻 | / |
| 放疗科 | 直线加速器2号机房 | 控制室工作人员 | 南侧 | 5人 | 职业 | 相邻 | / | 5mSv/a |
| | | 地下停车场、真空排水机房公众 | 东侧 | 1000人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 水冷机房、准备区公众 | 南侧 | 60人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 1号直线加速器机房 | 西侧 | 5人 | 职业 | 相邻 | / | 5mSv/a |
| | | 岩土层 | 北侧 | / | / | 相邻 | / | / |
| | | 医院道路 | 正上方 | 100人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | | 岩土层 | 正下方 | / | / | / | 相邻 | / |
| | CT模拟定位机机房 | 控制室工作人员 | 南侧 | 2人 | 职业 | 相邻 | / | 5mSv/a |
| | | 模体室和过道公众 | 东侧 | 150人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 走廊公众 | 西侧 | 200人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 走廊和候诊区公众 | 北侧 | 200人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 病案库办公室、复印室、走廊、进风机房公众 | 正上方 | 50人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | | 地下停车场公众 | 正下方 | 1500人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | | 原中医院宿舍楼(现状为居民楼) | 西侧 | 1000人/天 | 公众 | 35 | 0 | 0.1mSv/a |
| | | 卡森项目部及停车场 | 北侧 | 2000人/天 | 公众 | 31 | / | 0.1mSv/a |
| | | 50m范围内其他区域公众 | 四周 | 约1500人 | 公众 | 0~50 | | 0.1mSv/a |
| | | 控制室工作人员 | 东侧 | 14人 | 职业 | 相邻 | / | 5mSv/a |
| 介入科 | DSA机房1 | 设备间公众 | 东侧 | 2人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 设备间和过道公众 | 南侧 | 5人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 污物间、仪器间和无菌物品间公众 | 西侧 | 8人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 准备间和更衣室公众 | 北侧 | 12人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | | 走廊、病人通道、空调 | 正上方 | 1000人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-----|----------|----------|----|------|----------|
| | 机房公众 | | | | | | |
| | 排风机房、地下停车场 公众 | 正下方 | 1000 人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | 门诊住院楼 | 东侧 | 2000 人/天 | 公众 | 3 | / | 0.1mSv/a |
| D S A 机 房 2 | 控制室工作人员 | 东侧 | 14 人 | 职业 | 相邻 | / | 5mSv/a |
| | 洁净走廊公众 | 东侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 设备间和洁净走廊公众 | 南侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 洁净走廊公众 | 西侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 洁净走廊公众 | 北侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 手术净化机房公众 | 正上方 | 100 人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | 中心供应室、卫生间、 更衣室公众 | 正下方 | 200 人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | 原中医院宿舍楼（现状 为居民楼） | 西侧 | 1000 人/天 | 公众 | 27 | / | 0.1mSv/a |
| D S A 复 合 手 术 室 | 控制室工作人员 | 西侧 | 14 人 | 职业 | 相邻 | / | 5mSv/a |
| | 洁净走廊公众 | 东侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 洁净走廊公众 | 南侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 洁净走廊公众 | 西侧 | 50 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 移动 CT 存放间 | 北侧 | 2 人/天 | 公众 | 相邻 | / | 0.1mSv/a |
| | 手术净化机房、走廊公 众 | 正上方 | 100 人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| | 中心供应室公众 | 正下方 | 200 人/天 | 公众 | / | 相邻 | 0.1mSv/a |
| 50m 范围内其他区域公众 | | | 四周 | 约 1500 人 | 公众 | 0~50 | 0.1mSv/a |
| 注：规模根据医院提供的新增辐射工作人员人数以及医院日最大就诊人数估算。 | | | | | | | |

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

(1) 职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

1) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），
20mSv；

2) 任何一年中的有效剂量， 50mSv；

(2) 公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

1) 年有效剂量， 1mSv；

2) 特殊情况下,如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv,则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv;

7.3.2 剂量约束值

根据《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)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)相关要求,本项目取5mSv作为职业人员的年剂量约束值,取0.1mSv作为公众人员的年剂量约束值。

7.3.3 核医学科工作场所评价标准

(1) 辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20号)中相关规定,本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平详见表7.3-1。

表 7.3-1 核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

| 场所 | 位置 | 剂量率控制水平($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|------|---|------------------------------------|
| 核医学科 | 控制区外人员可到达处,距屏蔽体外30cm处 | 2.5 |
| | 控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处 | 2.5(人员居留因子 $\geq 1/2$) |
| | | 10(人员居留因子 $< 1/2$) |
| | 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面30cm处人员操作位 | 2.5 |
| | 放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面30cm处非正对人员操作位 | 25 |
| | 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 | 2.5 |

(2) 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)相关规定,核医学科辐射工作场所的放射性表面污染控制水平详见表7.3-2。

表 7.3-2 核医学科工作场所放射性表面污染控制水平 (单位: Bq/cm^2)

| 表面类型 | 控制区 ^a | α 放射性物质 | | β 放射性物质 |
|--------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 极毒性 | 其他 | |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区 ^a | 4 | 4×10 | 4×10 |
| | 监督区 | 4×10^{-1} | 4 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区、监督区 | 4×10^{-1} | 4×10^{-1} | 4 |
| 手、皮肤、内衣、工作袜 | | 4×10^{-2} | 4×10^{-2} | 4×10^{-1} |

^a该区内的高污染子区除外

(3) 放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，核医学工作场所放射性废气处理要求如下：

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 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、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。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中三、关于独立通风要求：

核医学标准第6.3.4节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

(4) 放射性废液排放控制

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；

b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于1Bq/L、总 β 不大于10Bq/L、碘-131

的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关规定，含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALImin (9E+5 贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin (9E+6 贝可)。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

医院应做好相关排放记录。

另根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定，综合医疗机构水污染物排放标准执行表 2 规定限值，详见表 7.3-3。

表 7.3-3 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

| 控制项目 | 排放标准 | 预处理标准 |
|-----------|------|-------|
| 总α (Bq/L) | 1 | 1 |
| 总β (Bq/L) | 10 | 10 |

(5) 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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。

(6) 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）：

B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求

为确保放射治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂

量约束或剂量限值，放射治疗患者出院时体内放射性活度应符合表 B.1（见表 7.3-4）的要求。

表 7.3-4 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求

| 放射性核素 | 主要发射 (keV) | | | 患者出院时体内放射性活度要求 (MBq) |
|-------------------|----------------|---------------|--------------|----------------------|
| | β_{\max} | β_{ave} | γ 及 X | |
| ^{131}I | 606 | - | 364 | ≤ 400 |
| ^{89}Sr | 1492 | 583 | - | ≤ 200 |
| ^{188}Re | 2120 | - | 155 | ≤ 9000 |
| ^{32}P | 1710 | 695 | - | ≤ 800 |

7.3.4 放射治疗工作场所评价标准

(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 2 间直线加速器机房，且 2 间直线加速器机房设计相同，因此，本次评价仅计算 2 号直线加速器机房周围剂量率，1 号直线加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平参考 2 号直线加速器机房。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 相关规定，本项目放射治疗工作场所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 (\dot{H}_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

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 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

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

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

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 $250\mu\text{Sv}$ 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 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应位置处设置辐射告示牌)。

2号直线加速器机房周围各关注点剂量率控制水平见表 7.3-5, 各关注点位置见图 11.2-2 和图 11.2-3。

表 7.3-5 2号直线加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

| 关注点 | | 使用因子 U | 居留因子 T | t h/周 | \dot{H}_c $\mu\text{Sv/周}$ | $\dot{H}_{c,d}$ $\mu\text{Sv/h}$ | $\dot{H}_{c,max}$ $\mu\text{Sv/h}$ | \dot{H}_c $\mu\text{Sv/h}$ |
|-----------|---------|--------|--------|----------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 2号直线加速器机房 | a 点 | 1 | 1/16 | 7.5 | 5 | 10.67 | 10 | 10 |
| | b 点 | 1 | 1/2 | 7.5 | 5 | 1.33 | 10 | 1.33 |
| | I 点 | 1 | 1/16 | 7.5 | 5 | 10.67 | 10 | 10 |
| | f 点 | 1 | 1 | 7.5 | 100 | 13.33 | 2.5 | 2.5 |
| | k 点 | 1 | 1/16 | 7.5 | 5 | 10.67 | 10 | 10 |
| | c1/c2 点 | 1 | 1/16 | 7.5 | 5 | 10.67 | 10 | 10 |
| | d1/d2 点 | 1 | 1/2 | 7.5 | 5 | 1.33 | 10 | 1.33 |
| | m1/m2 点 | 1 | 1/16 | 7.5 | 5 | 10.67 | 10 | 10 |
| | g | 1 | 1/8 | 7.5 | 5 | 5.33 | 10 | 5.33 |

注: 本项目使用因子保守均取 1。

(2) 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。

(3) 固废管理要求

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。

7.3.5 放射诊断工作场所评价标准

(1) 工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射诊断工作场所为 2 间 DSA 机房、1 间 DSA 复合手术室、1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房和 1 间 CT 模拟定位机机房, 机房屏蔽体剂量率控制水平参

照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)相关规定：具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，机房外周围剂量当量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(2) 工作场所屏蔽防护要求

本项目2间DSA机房和1间DSA复合手术室DSA最大管电压均为150kV，最大管电流均为1250mA，移动CT最大管电压为140kV，最大管电流为1000mA；PET/CT和SPECT/CT最大管电压均为150kV，最大管电流均为1300mA；CT模拟定位机最大管电压为150kV，最大管电流为1300mA。根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)，机房的最小有效使用面积、最小单边长以及屏蔽防护铅当量厚度要求见表7.3-6和表7.3-7。

表7.3-6 X射线设备机房(照射室)使用面积及单边长度的要求

| 设备类型 | 机房内最小有效使用面积 ^b (m ²) | 机房内最小单边长度 ^c (m) |
|--|---|-------------------------------|
| CT机(不含头颅移动CT) | 30 | 4.5 |
| 单管头X射线设备 ^a (含C形臂，乳腺CBCT) | 20 | 3.5 |

^a单管头、双管头或多管头X射线设备的每个管球各安装在1个房间内。
^b机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。
^c机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

表7.3-7 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 |
| C形臂X射线设备机房 | 2.0 | 2.0 |
| CT机房(不含头颅移动CT) CT模拟定位机房 | | 2.5 |

7.3.6 本次核技术利用项目控制要求汇总

本项目职业人员的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众人员的剂量约束值不超过 0.1mSv/a，其余标准要求汇总见表 7.3-8 至 7.3-11。

表 7.3-8 核医学科控制要求

| 工作场所 | 控制区屏蔽体外 | 工作场所的放射性表面污染 | | | 放射性废液 | 放射性废气 | 固体放射性废物 |
|-----------------|--|---|---|--|---|--|---|
| | | 位置 | 控制区 | 监督区 | | | |
| 医技住院综合楼地下二层核医学科 | 控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等屏蔽结构外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ | 工作台、设备、墙壁、地面 | α 放射性物质不大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ； β 放射性物质不大于 $4 \times 10\text{Bq}/\text{cm}^2$ | α 放射性物质不大于 $4 \times 10^{-1}\text{Bq}/\text{cm}^2$ ； β 放射性物质不大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ | 所含核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性废水在衰变池暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。 | 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 | 含核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{188}Re 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过十个半衰期；含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理 |
| 标准依据 | 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号) | 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) | | | 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) | 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号) | |

表 7.3-9 核医学科 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房控制要求

| 工作场所 | 机房要求 | 控制区外 30cm 处 |
|------------------|--|------------------------------|
| 核医学科 PET/CT 机房 | 机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m | CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h |
| 核医学科 SPECT/CT 机房 | 机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m | |
| 标准依据 | 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） | |

表 7.3-10 放疗科控制要求

| 工作场所 | 机房要求 | 控制区外 30cm 处 |
|-----------------------------|--|------------------------------|
| 医技住院综合楼地下二层 1 号和 2 号直线加速器机房 | 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 | 周围剂量当量率不大于剂量率控制水平要求，见表 7.3-5 |
| 医技住院综合楼地下二层 CT 模拟定位机机房 | 机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m | CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h |
| 标准依据 | 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） | |

表 7.3-11 介入科控制要求

| 工作场所 | 机房要求 | | 控制区外 30cm 处 |
|--------------------|--|--|---|
| 医技住院综合楼一层 DSA 机房 1 | 机房有用线束方向铅当量均不小于 3.0mmPb 及非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb；最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长度不小于 3.5m | | |
| 医技住院综合楼四层 | DSA 机房 2 | 机房有用线束方向铅当量均不小于 3.0mmPb 及非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb；最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长度不小于 3.5m | 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，其中 DSA 复合手术室使用移动 CT 时，机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h |
| | DSA 复合手术室 | 机房有用线束方向铅当量均不小于 3.0mmPb 及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m | |
| 标准依据 | 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） | | 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） |

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所情况

医院位于嘉兴市中山东路 1501 号，分为南北两区，由竹桥港相隔。医院北区东邻瑞鑫大厦，南邻竹桥港，西邻友谊公寓小区和原中医院宿舍楼（现状为居民楼），北邻凯旋路；医院南区东邻停车场，南邻中山东路，西邻世纪广场小区，北邻竹桥港。地理位置图见附图 1。

本项目核医学科、放疗科和介入科均位于医技住院综合楼内，医技住院综合楼拟建于医院北区。本项目核医学科位于医技住院综合楼地下二层西侧；放疗科位于医技住院综合楼地下二层西北侧；介入科 DSA 机房 1 位于医技住院综合楼一层东侧，DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室位于医技住院综合楼四层西北侧。辐射工作场所具体位置详见附图 3-2、附图 3-3、附图 3-7 和附图 3-11。

8.2 环境电离辐射现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2023 年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。环境 γ 辐射剂量率处于当地天然本地涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和新安江水库中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。地下水总 α 和总 β 活度浓度低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的III类标准。城市集中式饮用水水源地水中总 α 和总 β 活度浓度符合《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- (1) 环境现状评价对象：拟建辐射项目区域及周边环境
- (2) 监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率、 α 表面污染、 β 表面污染、中子剂量当量率
- (3) 监测点位

由于本项目拟建的所有辐射工作场所尚未建设完成，拟建区域内环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在项目所在地块用地红线周边均匀布设监测点，并且在核技术利用项目所在建筑物或区域拟建位置布设监测点，所布点位能反映本项目评价范围内拟建场所的辐射环境现状水平。因此，监测点位布设是合理的。为直观

标明监测点位所在位置，本项目在医院平面布置图中标注监测点位，具体监测点位布置情况详见图 8.3-1。

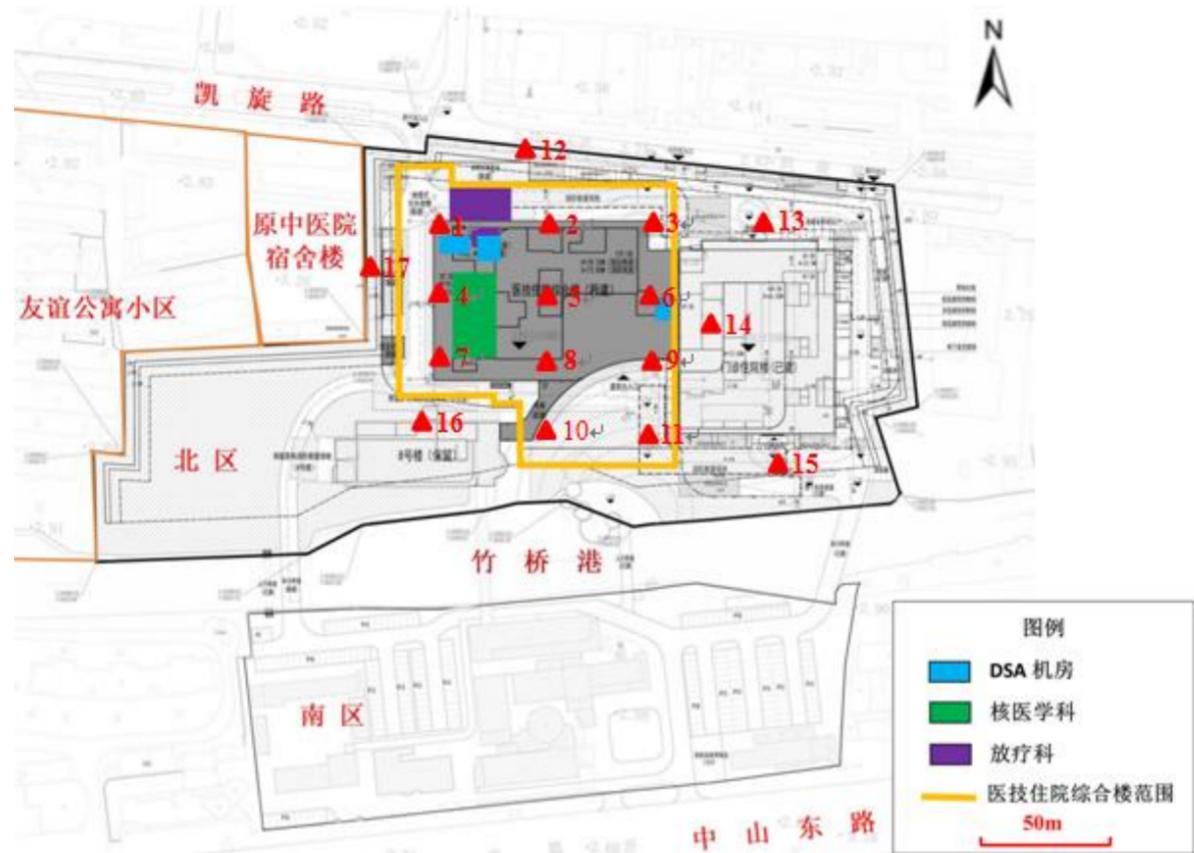


图 8.3-1 本项目监测点位示意图

8.4 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.4.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- (2) 监测日期：2024 年 4 月 19 日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：HJ1157-2021《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》、《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)、GB/T 14056.1-2008《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》
- (5) 监测频次：依据标准予以确定
- (6) 监测工况：辐射环境本底
- (7) 监测环境条件：温度 25.7°C；相对湿度 40.6%，阴。
- (8) 监测设备

表 8.4-1 X-γ辐射周围剂量当量率仪参数表

| | |
|------|--|
| 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 | 30keV~4.4MeV |
| 量程 | 主机：10nSv/h~100mSv/h；探头：1nSv/h~100μSv/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 | 2024H21-10-5119258001 |
| 校准日期 | 2024 年 03 月 05 日 |

表 8.4-2 α、β表面污染仪参数表

| | |
|----------|----------------------------------|
| 仪器名称 | α、β表面污染仪 |
| 仪器型号 | CoMo 170 |
| 生产厂家 | NUVIA |
| 仪器编号 | 05038153 |
| 探测器灵敏窗面积 | 170cm ² |
| 探测器本底 | α:0.1CPS；β:15~25CPS |
| 检定单位 | 上海市计量测试技术研究院 |
| 检定证书 | 2024H21-20-5104506001 |
| 检定有效期 | 2024 年 2 月 23 日至 2025 年 2 月 22 日 |

表 8.4-3 中子剂量当量仪参数表

| | |
|-------|----------------------------------|
| 仪器名称 | 中子剂量当量仪 |
| 仪器型号 | FH40G L-10+FHZ672 |
| 生产厂家 | THERMO |
| 仪器编号 | 05035876 |
| 能量范围 | 热中子~20MeV |
| 量程 | 1nSv/h~100mSv/h |
| 检定单位 | 中国计量科学研究院 |
| 检定证书 | DLjs2024-00437 |
| 检定有效期 | 2024 年 2 月 28 日至 2025 年 2 月 27 日 |

8.4.2 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，具有浙江省市场监督管理局颁发的资质认定证书，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) 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。

8.4.3 监测结果

本项目辐射环境现状监测结果见表8.4-4至表8.4-6。

表 8.4-4 本项目 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

| 监测点 编号 | 监测点位置 | 监测结果 (nGy/h) | | 备注 |
|-----------|---------------------------|--------------|-----|----|
| | | 平均值 | 标准差 | |
| 1 | 拟建医技住院综合楼工程地块 1 | 92 | 7 | 道路 |
| 2 | 拟建医技住院综合楼工程地块 2 | 96 | 5 | 道路 |
| 3 | 拟建医技住院综合楼工程地块 3 | 92 | 9 | 道路 |
| 4 | 拟建医技住院综合楼工程地块 4 | 87 | 4 | 道路 |
| 5 | 拟建医技住院综合楼工程地块 5 | 91 | 7 | 道路 |
| 6 | 拟建医技住院综合楼工程地块 6 | 86 | 7 | 道路 |
| 7 | 拟建医技住院综合楼工程地块 7 | 85 | 6 | 道路 |
| 8 | 拟建医技住院综合楼工程地块 8 | 103 | 6 | 道路 |
| 9 | 拟建医技住院综合楼工程地块 9 | 99 | 5 | 道路 |
| 10 | 拟建医技住院综合楼工程地块 10 | 105 | 6 | 道路 |
| 11 | 拟建医技住院综合楼工程地块 11 | 100 | 7 | 道路 |
| 12 | 拟建医技住院综合楼工程地块北侧凯旋路 | 85 | 4 | 道路 |
| 13 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼出入口 1 | 105 | 6 | 道路 |
| 14 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼 1 层 | 121 | 5 | 楼房 |
| 15 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼出入口 2 | 101 | 7 | 道路 |
| 16 | 拟建医技住院综合楼工程地块南侧 8 号楼 | 107 | 6 | 道路 |
| 17 | 拟建医技住院综合楼工程地块西侧医院场界 | 109 | 6 | 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 D_c ，校准因子 k_1 为 1.00，仪器使用

¹³⁷Cs 进行校准, 效率因子 k_2 取 1, 换算系数为 1.20Sv/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 10nGy/h。

表 8.4-5 本项目 α 、 β 表面污染监测结果

| 监测点 编号 | 监测点位置 | α 表面污染监测 结果 (Bq/cm^2) | β 表面污染监测 结果 (Bq/cm^2) |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 拟建医技住院综合楼工程地块 1 | <0.01 | <0.06 |
| 2 | 拟建医技住院综合楼工程地块 2 | <0.01 | <0.06 |
| 3 | 拟建医技住院综合楼工程地块 3 | <0.01 | <0.06 |
| 4 | 拟建医技住院综合楼工程地块 4 | <0.01 | <0.06 |
| 5 | 拟建医技住院综合楼工程地块 5 | <0.01 | <0.06 |
| 6 | 拟建医技住院综合楼工程地块 6 | <0.01 | <0.06 |
| 7 | 拟建医技住院综合楼工程地块 7 | <0.01 | <0.06 |
| 8 | 拟建医技住院综合楼工程地块 8 | <0.01 | <0.06 |
| 9 | 拟建医技住院综合楼工程地块 9 | <0.01 | <0.06 |
| 10 | 拟建医技住院综合楼工程地块 10 | <0.01 | <0.06 |
| 11 | 拟建医技住院综合楼工程地块 11 | <0.01 | <0.06 |
| 12 | 拟建医技住院综合楼工程地块北侧凯旋路 | <0.01 | <0.06 |
| 13 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼 出入口 1 | <0.01 | <0.06 |
| 14 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼 1 层 | <0.01 | <0.06 |
| 15 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼 出入口 2 | <0.01 | <0.06 |
| 16 | 拟建医技住院综合楼工程地块南侧 8 号楼 | <0.01 | <0.06 |
| 17 | 拟建医技住院综合楼工程地块西侧医院场界 | <0.01 | <0.06 |

注: 1、 $0.01Bq/cm^2$ 为 CoMo 170 型 α 、 β 表面污染仪/05038153 的 α 表面污染探测下限;

2、 $0.06Bq/cm^2$ 为 CoMo 170 型 α 、 β 表面污染仪/05038153 的 β 表面污染探测下限。

表 8.4-6 本项目中子射线外照射监测结果

| 监测点编号 | 监测点位置 | 监测结果 ($\mu Sv/h$) |
|-------|-----------------|---------------------|
| 1 | 拟建医技住院综合楼工程地块 1 | <0.06 |
| 2 | 拟建医技住院综合楼工程地块 2 | <0.06 |
| 3 | 拟建医技住院综合楼工程地块 3 | <0.06 |
| 4 | 拟建医技住院综合楼工程地块 4 | <0.06 |
| 5 | 拟建医技住院综合楼工程地块 5 | <0.06 |
| 6 | 拟建医技住院综合楼工程地块 6 | <0.06 |
| 7 | 拟建医技住院综合楼工程地块 7 | <0.06 |
| 8 | 拟建医技住院综合楼工程地块 8 | <0.06 |

| | | |
|----|---------------------------|-------|
| 9 | 拟建医技住院综合楼工程地块 9 | <0.06 |
| 10 | 拟建医技住院综合楼工程地块 10 | <0.06 |
| 11 | 拟建医技住院综合楼工程地块 11 | <0.06 |
| 12 | 拟建医技住院综合楼工程地块北侧凯旋路 | <0.06 |
| 13 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼出入口 1 | <0.06 |
| 14 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼 1 层 | <0.06 |
| 15 | 拟建医技住院综合楼工程地块东侧门诊住院楼出入口 2 | <0.06 |
| 16 | 拟建医技住院综合楼工程地块南侧 8 号楼 | <0.06 |
| 17 | 拟建医技住院综合楼工程地块西侧医院场界 | <0.06 |

注：0.06 μ Sv/h 为 FH40G-L10+FHZ672 中子周围剂量当量仪/05035876 探测下限。

8.5 环境现状评价

由表 8.4-4 监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位室外（道路） γ 辐射剂量率范围为 $85\text{nGy/h} \sim 109\text{nGy/h}$ ，即 $8.5 \times 10^{-8}\text{Gy/h} \sim 10.9 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，室内 γ 辐射剂量率为 121nGy/h ，即 $12.1 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，嘉兴市室外（道路）的 γ 辐射剂量率在 $2.8 \times 10^{-8}\text{Gy/h} \sim 11.7 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 之间；室内的 γ 辐射剂量率在 $7.6 \times 10^{-8}\text{Gy/h} \sim 27.1 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 之间，可见本项目拟建场所各监测点位 γ 辐射剂量率处于嘉兴市天然辐射本底水平。

由表 8.4-5 的监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位 α 表面污染、 β 表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。

由表 8.4-6 的监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位中子射线外照射监测值均小于检测下限，未见异常。

表9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目辐射工作场所均位于医技住院综合楼内，有关主体工程施工期环境影响内容详见《嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程环境影响报告书》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

本项目主体工程建成后各射线装置机房施工期主要为屏蔽材料施工及设备安装、调试，工程量较少，施工期主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水、噪声及固体废物，屏蔽材料施工过程不会产生辐射影响，各射线装置在安装调试时，会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 核医学科核技术利用项目

9.2.1.1 PET/CT 诊断项目

（1）PET/CT 设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描（PositronEmissionTomography，PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，称为功能显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。PET 的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

PET/CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描（ComputerTomography，CT）组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的病人作为辐射源项；CT 扫描过程

中，CT设备发射的X射线作为辐射源项。

(2) 工作流程及产污环节

①诊疗规划

PET/CT诊断项目正式开展后，使用1台PET/CT开展工作，每年工作250天，每周工作5天，每天工作8h，共规划使用1种放射性核素¹⁸F进行显像诊断。¹⁸F显像诊断每日最多20人，PET/CT每日最多扫描20人。

表 9.2-1 PET/CT 诊断项目诊疗规划

| 诊疗项目 | 诊断核素 | 患者数量 | 核素用量 | 给药放射 | 来源 |
|-------------|-----------------|-------|---------------------------------------|------|--------------|
| PET/CT 显像诊断 | ¹⁸ F | 20人/天 | $3.70 \times 10^8 \text{Bq}/\text{人}$ | 静脉注射 | 外购药物 人工分装 |

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物：PET/CT显像诊断项目使用放射性核素¹⁸F进行显像诊断，工作人员根据预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，药物规格为铅罐罐装，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，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。本项目使用核素¹⁸F时采用人工进行分装。

分装注射：本项目使用的正电子药物均采用静脉注射的方式给药。待使用时由护士做好领取使用登记后将药物转移至手套箱，正常情况药物在注射室手套箱内分装测活，分装至带有铅防护套的注射器中并暂存于手套箱内，待测活活度与规划用药活度确认一致后进行注射。医务人员使用时直接从手套箱中取出注射器，并在注射室铅屏蔽窗的屏蔽下为病人静脉注射。

扫描诊断、留观：患者注射后在等候室内静躺候诊，注射¹⁸F药物候诊时间按照平均每人次30min考虑，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入PET/CT机房，经工作人员进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行PET扫描诊断，按照PET/CT平均每人次扫描15min。扫描完成后，根据患者情况安排是否留观，如患者有异常则进入留观室内留观约10min，留观结束后患者将从核医学科南侧的患者专用出口离开核医学科工作场所。

③产污环节

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。PET/CT 诊断项目工作流程与产污环节见图 9.2-1。

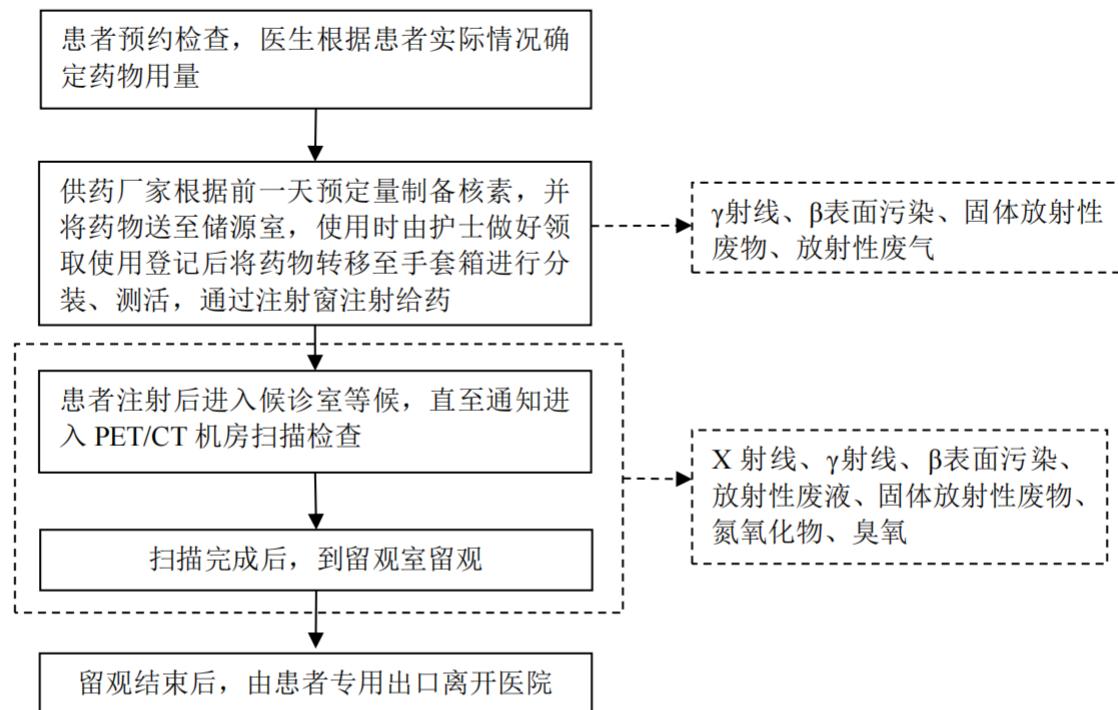


图 9.2-1 PET/CT 诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，PET/CT 诊断项目污染因子是：X 射线、 γ 射线、 β 表面污染、放射性废液、放射性废气、氮氧化物、臭氧和固体放射性废物。

9.2.1.2 SPECT/CT 诊断项目

（1）SPECT/CT 设备组成及工作原理

SPECT（SinglePhotonEmissionComputedTomography，单光子发射型计算机体层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT 其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出 γ 射线，穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、

肺显像、肾动态显像等。

SPECT/CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT 核素扫描的基础上，可以同时获得 CT 解剖图像，从而更有利于对疾病做出全面、准确的判断。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，服药后的病人作为辐射源项；CT 扫描过程中，CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。

（2）工作流程及产污环节

①诊疗规划

SPECT/CT 诊断项目正式开展后，使用 1 台 SPECT/CT 开展工作，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，共规划使用 1 种放射性核素 ^{99m}Tc 进行显像诊断。 ^{99m}Tc 显像诊断每日最多 30 人，SPECT/CT 每日最多扫描 30 人。

表 9.2-2 SPECT/CT 诊断项目诊疗规划

| 诊疗项目 | 治疗核素 | 患者数量 | 核素用量 | 给药方式 | 来源 |
|---------------|-------------------|--------|---------------------------------------|------|----------|
| SPECT/CT 显像诊断 | ^{99m}Tc | 30 人/天 | $9.25 \times 10^8 \text{Bq}/\text{人}$ | 静脉注射 | 外购单支成品药物 |

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物： SPECT/CT 显像诊断项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行显像诊断，工作人员根据预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，药物包装形式一般为安瓿瓶盛装、固定在铅罐内，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，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。

注射： ^{99m}Tc 为外购单支成品药物，工作人员注射前无需额外分装， ^{99m}Tc 药物待使用时由护士做好领取使用登记后从储源室转移至手套箱测活，待测活活度与规划用药活度确认一致后进行注射，医务人员使用时直接从注射室手套箱取出，在注射窗口铅注射屏、注射器防护套屏蔽下为患者注射。

扫描诊断、留观： 患者注射放射性药物后进入 SPECT/CT 机房，经医生进行语音提示摆位，必要时进入机房指导患者摆位后，离开 SPECT/CT 机房进入控制室，隔室操作

SPECT/CT 对患者实施扫描诊断，每次扫描约 15min。扫描完成后，扫描完成后，根据患者情况安排是否留观，如患者有异常则进入留观室内留观约 10min，留观结束后患者将从核医学科南侧的患者专用出口离开核医学科工作场所。

③产污环节

工作人员注射完毕后的注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。SPECT/CT 诊断项目工作流程与产污环节见图 9.2-2。

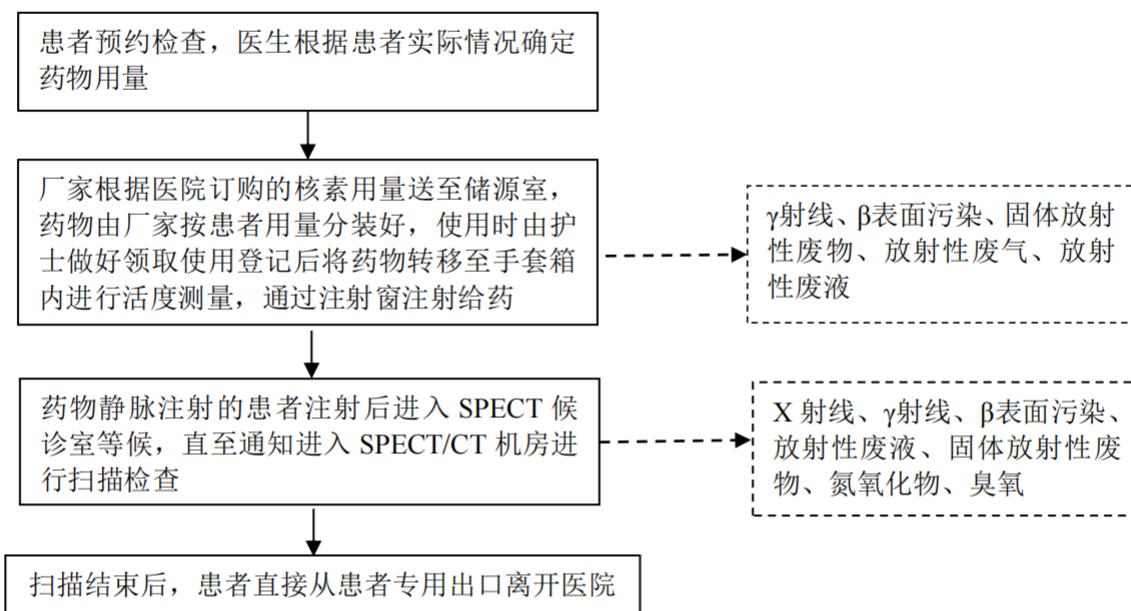


图 9.2-2 SPECT/CT 诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，SPECT/CT 诊断项目污染因子是：X 射线、 γ 射线、 β 表面污染、放射性废液、放射性废气、氮氧化物、臭氧和固体放射性废物。

9.2.1.3 甲测、甲亢治疗项目

(1) 工作原理

甲测：甲状腺吸碘功能测定简称为甲测。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。

甲亢：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 7.6d。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 ^{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、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

① 诊疗规划

甲测项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘功能测定。每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大接诊量为 10 人，每名患者最大服药量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行治疗。每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大就诊量为 10 人。甲亢治疗核素单人次最大使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

表 9.2-3 甲测、甲亢治疗项目诊疗规划

| 治疗核素 | 患者数量 | 核素用量 | 给药方式 | 来源 |
|---------------------|--------|---------------------------------------|------|-----------|
| ^{131}I 甲测 | 10 人/天 | $1.85 \times 10^5 \text{Bq}/\text{人}$ | 口服 | 外购药物，自动分装 |
| ^{131}I 甲亢 | 10 人/天 | $3.70 \times 10^8 \text{Bq}/\text{人}$ | 口服 | 外购药物，自动分装 |

② 工作流程

预订药物： 甲测、甲亢使用 ^{131}I 为外购成品药物碘 [^{131}I] 化钠口服液体。工作人员根据所需药物的使用量、预约人数，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按时送达药物，经确认无误完成相关交接、登记，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

指导患者服药： 患者进行治疗前，辐射工作人员将装有药物的屏蔽容器放在给碘室的碘自动分装仪内，打开密封盖，通过电脑控制系统操作碘自动分装仪测定活度自动分装药物，患者根据医护人员指示进行服药，并用一次性口杯接适量纯净水服下。医院采取分时段管控患者就诊，避免不同 ^{131}I 诊疗患者在同一时段进行服药而发生交叉污染。

甲测服药后： 甲测患者经预约问诊后，进入核医学科到达服碘窗口，服用放射性药物后离开核医学科场所。患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 到核医学科甲测室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。甲测患者不在留观室和甲测室候诊，甲测患者服药后由患者出口离开核医学科，等检测时间到后患者进入甲测室进行测量，每次测量约 1min。

甲亢服药后： 甲亢患者经预约问诊后，进入核医学科到服碘窗口，服用放射性药物

后在医生的语音指导下在¹³¹I留观室短暂留观，如无异常情况，可离开核医学科场所。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录B.1患者出院的体内放射性核素活度要求可知，本项目患者给药量低于放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，因此，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。医院应对患者做出书面建议，给出接触同事、亲属以及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）。

表 9.2-4 患者体内放射性活度出院标准对比分析

| 诊疗项目 | 治疗核素 | 患者数量 | 单人最大核素用量 | 出院时体内放射性活度要求 | 是否满足出院要求 |
|------|------------------|--------|-------------------------|--------------------|----------|
| 甲测 | ¹³¹ I | 10 人/天 | 1.85×10^5 Bq/人 | 4×10^8 Bq | 满足 |
| 甲亢 | ¹³¹ I | 10 人/天 | 3.70×10^8 Bq/人 | 4×10^8 Bq | 满足 |

③产污环节

甲测项目工作流程与产污环节见图 9.2-3，甲亢治疗项目工作流程与产污环节见图 9.2-4。

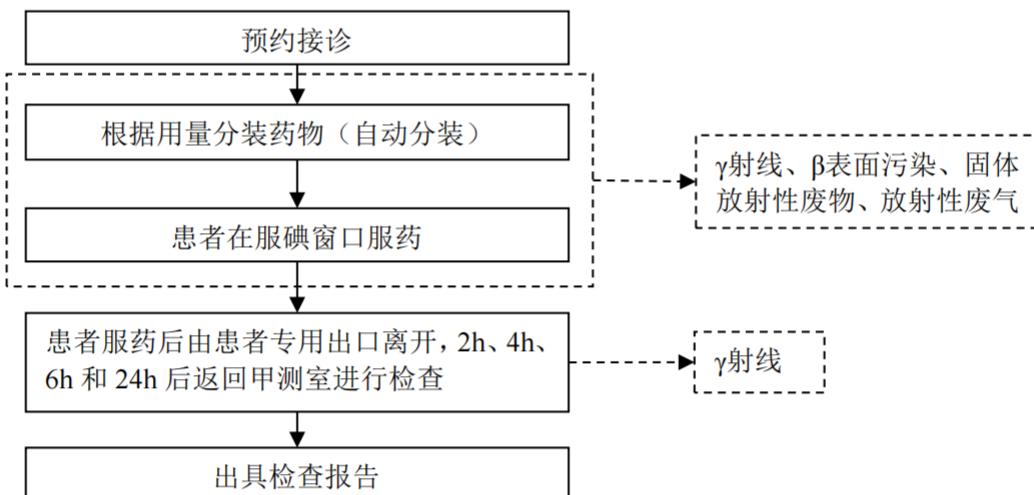


图 9.2-3 甲功测定工作流程及产污环节分析示意图

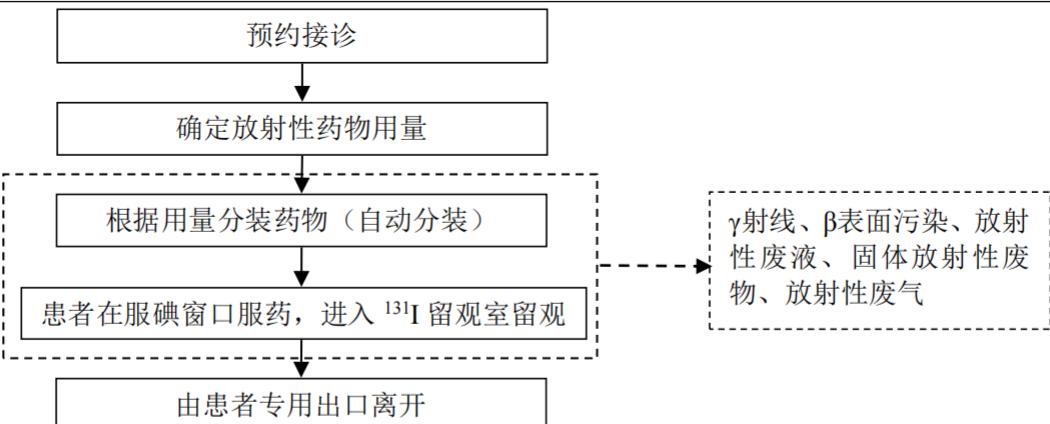


图 9.2-4 甲亢治疗工艺流程及产污环节分析示意图

因此，甲测、甲亢治疗项目污染因子是： γ 射线、 β 表面污染、放射性废水、固体放射性废物和放射性废气等。

9.2.1.4 骨转移癌和血液病治疗项目

(1) 工作原理

静脉注射放射性药物如⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、²²³Ra 和³²P，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 射线或 α 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。

(2) 工作流程及产污环节

①诊疗规划

骨转移癌治疗项目开展后，规划使用放射性核素⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re 和²²³Ra 进行治疗。每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大接诊量均为 5 人，每名患者单次最大使用量分别为 1.85×10^8 Bq (⁸⁹Sr)、 1.11×10^7 Bq (¹⁸⁸Re) 和 3.70×10^9 Bq (²²³Ra)。

血液病治疗项目开展后，规划使用放射性核素³²P 进行治疗。每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大接诊量为 5 人，每名患者单次最大使用量为 3.70×10^8 Bq。

表 9.2-5 骨转移癌和血液病治疗项目诊疗规划

| 治疗核素 | 患者数量 | 核素用量 | 给药方式 | 来源 |
|--------------------------|-------|-------------------------|------|----------|
| ⁸⁹ Sr 骨转移癌治疗 | 5 人/天 | 1.85×10^8 Bq/人 | 静脉注射 | 外购单支成品药物 |
| ¹⁸⁸ Re 骨转移癌治疗 | 5 人/天 | 3.70×10^9 Bq/人 | 静脉注射 | 外购单支成品药物 |
| ²²³ Ra 骨转移癌治疗 | 5 人/天 | 1.11×10^7 Bq/人 | 静脉注射 | 外购单支成品药物 |
| ³² P 血液病治 | 5 人/天 | 3.70×10^8 Bq/人 | 静脉注射 | 外购单支成品药物 |

②工作流程

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，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科场所，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。 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 和 ^{32}P 均为外购单支成品药物，注射前无需额外分装，使用前由护士做好领取使用登记后从储源室转移至手套箱测活，待测活活度与规划用药活度确认一致后进行注射，医务人员使用时直接从注射室手套箱取出，在铅屏蔽窗（与 SPECT 诊断患者共用注射台）的屏蔽下为病人静脉注射。注射后正常情况下患者可离开核医学科场所。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，本项目患者给药量低于放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，因此，患者给药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科； ^{223}Ra 未有相关标准规定“出院时体内放射性活度要求”，且为 α 核素药物，外照射影响轻微，根据目前研究情况看可开展核医学科门诊治疗，患者给药后无需住院。医院应对患者做出书面建议，给出接触同事、亲属以及到公共场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）。

表 9.2-6 患者体内放射性活度出院标准对比分析

| 诊疗项目 | 治疗核素 | 单人最大核素用量 | 出院时体内放射性活度要求 | 是否满足出院要求 |
|--------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------|
| 骨转移癌治疗 | ^{89}Sr | $1.85 \times 10^8 \text{Bq}/\text{人}$ | $2 \times 10^8 \text{Bq}$ | 满足 |
| 骨转移癌治疗 | ^{188}Re | $3.70 \times 10^9 \text{Bq}/\text{人}$ | $9 \times 10^9 \text{Bq}$ | 满足 |
| 血液病治 | ^{32}P | $3.70 \times 10^8 \text{Bq}/\text{人}$ | $8 \times 10^8 \text{Bq}$ | 满足 |

③产污环节

骨转移癌和血液病治疗工作流程与产污环节见图 9.2-5。

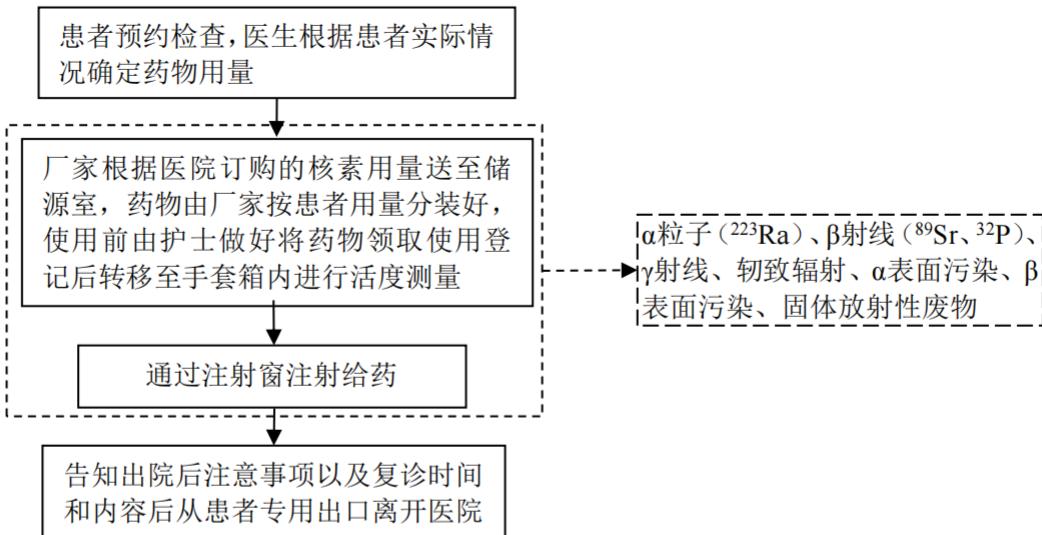


图 9.2-5 骨转移癌和血液病治疗工艺流程及产污环节图

因此，骨转移癌和血液病治疗项目污染因子是： α 粒子 (^{223}Ra)、 β 射线 (^{89}Sr 、 ^{32}P)、 γ 射线、轫致辐射、 α 表面污染、 β 表面污染、固体放射性废物。

9.2.1.5 人员、物流路径规划（见附图 3-13）

（1）工作人员路径

①医护路径：医护人员均从核医学科西侧医护通道经卫生通过间进入注射室和给碘室，医护人员在注射室给诊断和治疗患者进行药物注射，在给碘室使用计算机程序操作碘自动分装仪进行分装，通过监控系统指挥患者服药，医护人员工作结束后，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）原路返回。甲测医护人员由候诊区进入甲测室，对患者进行甲功测定。

②技师路径：PET/CT、SPECT/CT 显像诊断技师从核医学科西侧医护通道进入控制廊，并到相应控制位操作和相应机房进行摆位等，本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

（2）患者路径

①显像诊断患者路径：根据预约时间患者由核医学科东侧入口进入等候区，在护士站登记信息后，根据工作人员指导、语音呼叫系统提示从核医学科东侧患者入口进入核医学科注射窗口接受注射。注射后根据工作人员语音指导及路线指示进入相应的候诊室候诊。候诊后根据语音呼叫系统提示进入相应的机房进行扫描检查。扫描后根据工作人员语音指导及路线指示，PET/CT 和 SPECT/CT 显像诊断患者如有异常则进入留观室短暂留观，反之可直接从核医学科南侧的患者专用出口离开核医学科。

②甲测、甲亢治疗患者路径：甲测患者由核医学科东侧入口进入等候区，在护士站登记，随后甲测患者从核医学科场所东侧患者入口进入至服碘窗口服药，服药后从核医学科场所南侧患者出口离开。患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 进入核医学科患者入口旁的甲测室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。

甲亢患者由核医学科东侧入口进入等候区，在护士站登记，随后甲亢患者从核医学科场所东侧患者入口进入至服碘窗口服药，服药后于 ^{131}I 留观室短暂留观，如无异常情况，从核医学科场所南侧患者出口离开。

③骨转移癌和血液病治疗患者路径：骨转移癌和血液病治疗患者核医学科东侧入口进入等候区，在护士站登记，随后患者从核医学科场所东侧患者入口进入至 SPECT 注射台，给药后从核医学科场所南侧患者出口离开。

（3）放射性药物路径

本项目核医学科使用放射性核素均为外购成品药物。医院通过分时管控措施，安排供药公司工作人员每天早上在开展诊疗工作前前提到核医学科场所，避开候诊病人，在摄像头监控下与医院工作人员核对放射性药物信息，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室，所有药物在使用前均存放在储源室，待使用时由护士做好领取使用登记后将药物从储源室转移至手套箱进行分装测活。

（4）污物路径

核医学科设置 1 间废物间，产生的固体放射性废物在下班后无病人时段，集中收集至废物间衰变。衰变时间满足要求且经监测符合清洁解控水平后，选择在下班后无病人时段，经卫生通过间控制廊送出，统一送至医院医疗废物暂存间收集后按照医疗废物处置。

核医学科场所设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和污物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道尽可能短捷，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

9.2.1.6 核医学科工作负荷

（1）放射性核素相关放射性属性

本项目拟使用放射性核素的有关参数见表 9.2-7。

表 9.2-7 非密封放射性物质的相关放射性属性

| 核素名称 | 状态 | 半衰期 | 毒性级别 | 衰变模式 | α/β 最大能量 (MeV) | 光子能量 (MeV) | 活动种类 |
|-------------------|----|----------|------|---------------|---|---------------------------|------|
| PET/CT 显像诊断 | | | | | | | |
| ¹⁸ F | 液态 | 109.8min | 低毒 | β^+ 、EC | 0.63 (+) | 0.511 | 使用 |
| SPECT/CT 显像诊断 | | | | | | | |
| ^{99m} Tc | 液态 | 6.02h | 低毒 | 同质异能跃迁 | — | 0.140 | 使用 |
| 甲测、甲亢治疗 | | | | | | | |
| ¹³¹ I | 液态 | 8.02d | 中毒 | β^- | 0.602 | 0.284, 0.365, 0.637 | 使用 |
| 骨转移癌治疗 | | | | | | | |
| ⁸⁹ Sr | 液态 | 50.53d | 中毒 | β^- | 1.46 | — | 使用 |
| ¹⁸⁸ Re | 液态 | 16.98h | 中毒 | β^- | 0.155 | — | 使用 |
| ²²³ Ra | 液态 | 11.44d | 极毒 | α | 5.8713 (α) 0.4270 (β) | 0.0117, 0.0838, 0.2695 | 使用 |
| 血液病治疗 | | | | | | | |
| ³² P | 液态 | 14.26d | 中毒 | β^- | 1.71 | — | 使用 |

(2) 工作人员配备和工作负荷

本项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，核医学科场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.2-8。

表 9.2-8 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

| 工作场所 | 操作内容 | 操作时间 | 人员数量 |
|------------|--------------------|------------|-------------------|
| 办公室、读片室 | 办公、读片、报告打印等 | 2000h | 4 人 |
| 注射室 | 药品分装、测活 | 30s/次 | 3 人一组 轮岗，共 2 组 |
| | 给患者注射药物 | 30s/次 | |
| 给碘室 | 将铅罐安装到自动分碘仪 | 4min/次 | 3 人一组 轮岗，共 2 组 |
| | 远程操控药品自动分装，并指导患者服药 | 1min/次 | |
| | 药品测活 | 30s/次 | |
| 运动/抢救室 | 对患者进行抢救 | 30min/次 | |
| 甲测室 | 在甲测室对患者进行甲状腺功能测定 | 1min/次 | |
| 诊室、护士站 | 预约登记、门诊接诊、埋针 | 8h/天 | |
| PET/CT 机房 | 指导患者躺至正确的位置 | 1min/次 | 1 人一组 轮岗，共 2 组 |
| PET/CT 操作位 | 技师在控制室操纵设备进行扫描 | 平均 15min/次 | |

| | | | |
|----------------|----------------|------------|------------------|
| SPECT/CT 机房 | 指导患者躺至正确的位置 | 1min/次 | 1人一组 轮岗，共 2 组 |
| SPECT/CT 机房操作位 | 技师在控制室操纵设备进行扫描 | 平均 15min/次 | |

9.2.2 放疗科核技术利用项目

9.2.2.1 直线加速器

(1) 直线加速器设备参数

根据医院提供的资料，拟购 2 台直线加速器，主要设备参数见表 9.2-9。

表 9.2-9 本项目直线加速器设备参数

| | |
|----------------|--|
| 设备名称 | 直线加速器 |
| 数量 | 2 台 |
| 型号 | 待定 |
| 射线装置类别 | II类 |
| 射线类型 | 电子线、X 射线 |
| X 射线最大能量 | 15MV |
| 电子线最大能量 | 22MeV |
| 主射线最大出束角度 | 28° |
| X 射线泄漏率 | ≤0.1% |
| 源轴距 (SAD) | 1m |
| 等中心距地面高度 | 1.3m |
| 距靶 1m 处常用最高剂量率 | 15MV：距靶 1m 处的最大剂量率 360Gy/h 10MV：距靶 1m 处的最大剂量率 1440Gy/h (FFF 模式) |
| 最大照射野 | 40cm×40cm |
| CBCT 影像引导设备 | 最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA |

(2) 设备组成及工作原理

直线加速器是产生高能电子束和高能 X 线束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生轫致辐射，即 X 射线，因此，医用电子直线加速器可利用高能电子束和高能 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。直线加速器可根据所治疗癌症类型及其在身体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出剂量对人体肿瘤进行照射治疗。

电子线作用于细胞可引起具有生物活性的有机化合物分子发生电离激发和化学键断裂，产生自由基，从而引起正常功能和代谢作用的障碍。电子线放射治疗可减少成纤维细胞的增生、抑制胶原的合成，因此对部分患者在术后 24h 内开始实施放射治疗，以期达到预防瘢痕再生的目的。

CBCT 是近年发展起来的基于大面积非晶硅数字化 X 射线探测板的锥形束 CT，具

有体积小，重量轻，开放式架构的特点，可以直接整合到直线加速器上。设备机架旋转一周就能获取和重建一个体积范围内的 CT 图像。这个体积内的 CT 影像重建后的三维患者模型可以与治疗计划的患者模型匹配比较并得到治疗床需要调节的参数。平板探测器的读数装置和探测器结合在一起，本身就具有提高空间分辨率的优势，达到比传统的 CT 更高的空间分辨率，密度分辨率也足以分辨软组织结构，可以通过肿瘤本身成像引导放疗。

电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源，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。典型医用直线加速器外部、内部结构示意图以及 X 射线和电子束治疗模式结构示意图见图 9.2-6、图 9.2-7 以及 9.2-8。

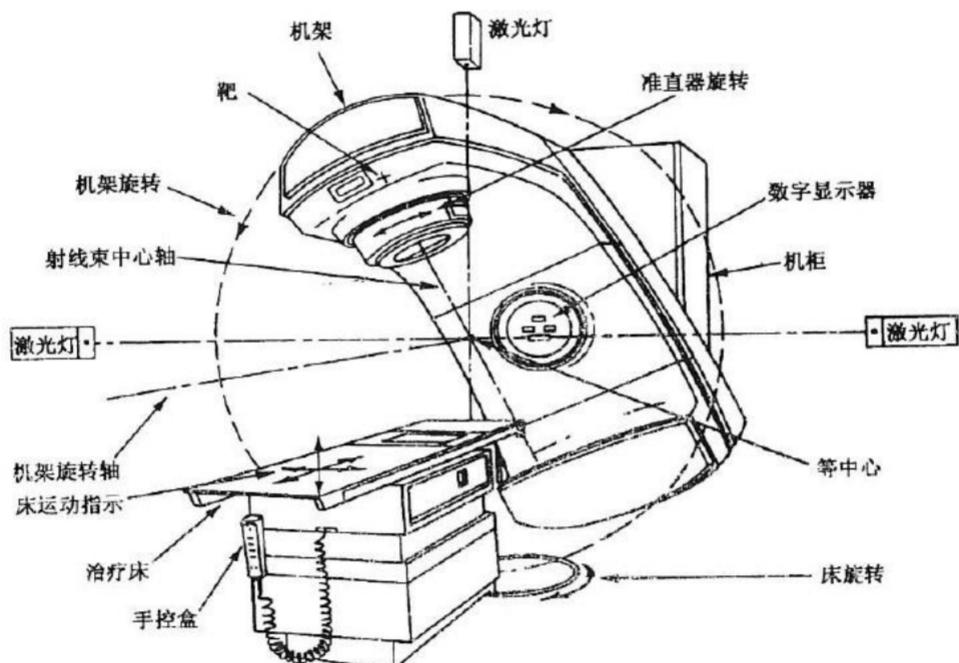


图 9.2-6 典型医用直线加速器外部结构示意图

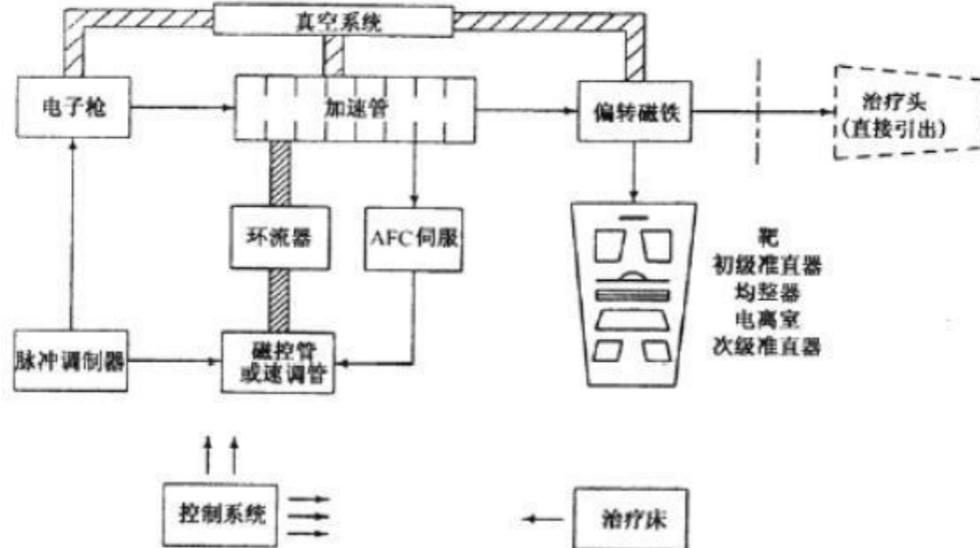


图 9.2-7 典型医用直线加速器内部结构示意图

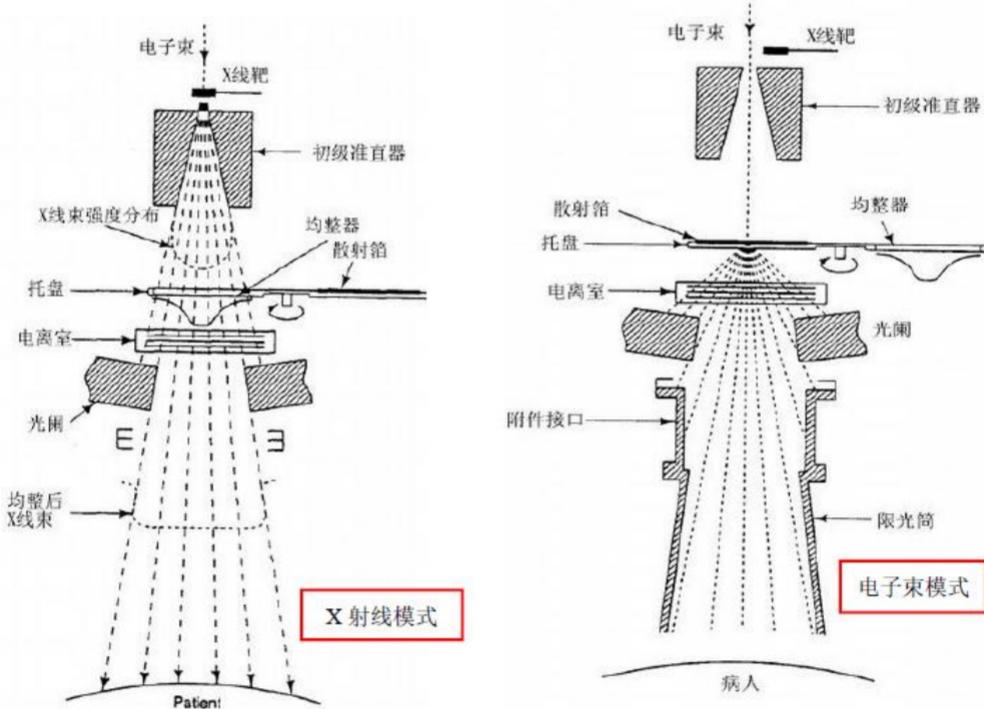


图 9.2-8 X 射线和电子束治疗模式结构示意图

(3) 工作流程及产污环节

治疗前先确认治疗方案，包括确定照射时间和剂量，定位患者照射部位，调整照射角度和视野，再开机进行治疗。在直线加速器治疗过程中，除患者外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过视频监控系统观察患者情况。其工作流程及产污环节见图 9.2-8。

操作流程如下：

- 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；

- ②预约患者首先在 CT 模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；
 ③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；
 ④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；
 ⑤技师离开治疗室，进入控制室，并确认机房内除了受诊患者无其他人员，随后使用锥形束计算机断层扫描系统（CBCT）进行图像引导系统拍摄放疗体位下的照射部位数字影像，与放疗计划系统进行对比，并校正放疗体位；
 ⑥根据 TPS 计划进行出束治疗；
 ⑦治疗结束后，医务人员关闭直线加速器，并进入机房指导协助患者离开。

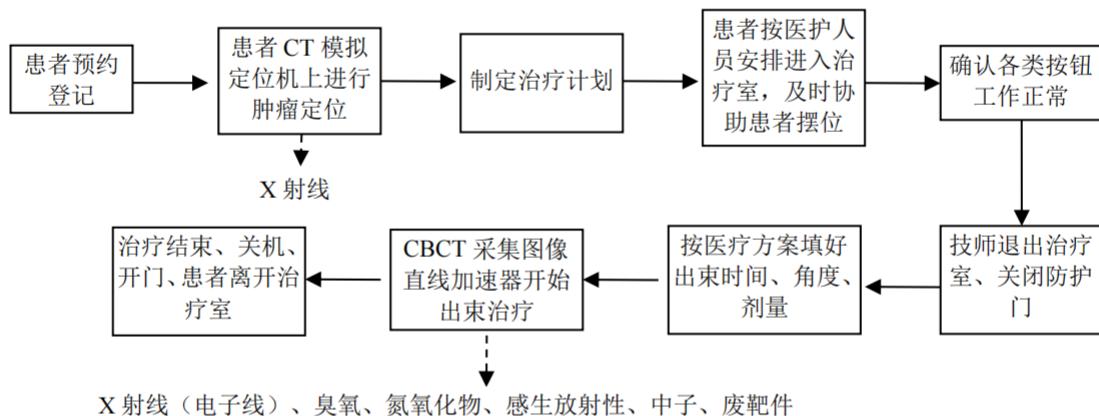


图 9.2-9 直线加速器工作流程及产污环节分析示意图

正常工况时，直线加速器治疗污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、电子线、中子和感生放射性，同时会产生少量臭氧及氮氧化物。另外，直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生。

(4) 工作负荷

本项目放疗科每间直线加速器机房配备 2 名技师，2 间直线加速器机房配备 4 名医生和 2 名物理计划师，共 10 名辐射工作人员。

本项目直线加速器投入使用后，预计每台直线加速器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，则直线加速器日照射时间为 1.5h，周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

(5) 人员路径规划（见附图 3-16）

① 医护人员路径

医护人员通过医护人员通道进入放疗科，向北进入相应直线加速器机房的控制室，通过直线加速器机房防护门进入治疗室对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

②患者路径

患者由放疗科东侧入口进入等待区，根据叫号后进入相应的直线加速器机房进行治疗，治疗结束后通过原路离开。

9.2.2.2 CT 模拟定位机

(1) CT 模拟定位机设备参数

根据医院提供的资料，拟购 1 台 CT 模拟定位机，主要设备参数见表 9.2-10。

表 9.2-10 CT 模拟定位机设备参数

| 装置名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压 | 最大管电流 | 使用位置 |
|----------|------|----|----|-------|--------|---------------------------|
| CT 模拟定位机 | III类 | 1台 | 待定 | 150kV | 1300mA | 医技住院综合楼地下二层放疗科 CT 模拟定位机机房 |

(2) 设备组成及工作原理

CT 模拟定位机主要功能就是 CT 检查、透视和摄影，其射线来源是 X 射线装置。X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是装在聚光杯中的钨制灯丝，当灯丝通电加热时，电子“蒸发”出来并通过聚光杯聚集成电子束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。加在 X 射线管的两极之间的高电压加速电子使其在射到靶体之前达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

(3) 工作流程及产污环节

CT 模拟定位影像诊断是指利用 X 射线的穿透性取得人体内器官与组织的影像信息以判断肿瘤大小、位置的技术，本项目 CT 模拟定位机诊断流程如下：

- ①病人经医生诊断、正当性判断后，确定需要 X 射线影像诊断的病人与放疗科预约登记；
- ②患者在医护人员的指导下正确摆位；
- ③进行隔室操作，利用 CT 模拟定位机进行肿瘤定位；
- ④检查结束离开检查室。

诊断流程及产污环节见图 9.2-10。

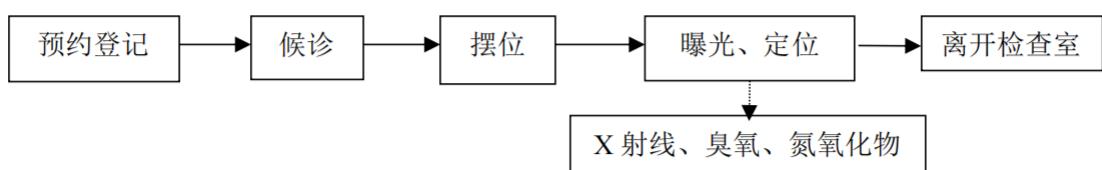


图 9.2-10 CT 模拟定位机诊断流程及产污环节分析示意图

(4) 工作负荷

本项目 CT 模拟定位机机房拟配备 2 名辐射工作人员，其中医生 1 名，技师 1 名，每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

(5) 人员路径规划（见附图 3-16）

①医护人员路径

医护人员通过医护人员通道进入放疗科，向南进入 CT 模拟定位机机房的控制室，通过控制室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。

②患者路径

患者由放疗科东侧入口进入等待区，根据叫号后进入 CT 模拟定位机机房进行病灶定位，结束后根据医护人员引导进入直线加速器机房进行治疗。

9.2.3 介入科核技术利用项目

9.2.3.1 DSA 和移动 CT

(1) 设备组成及工作原理

复合手术室在一些复杂的手术作业中具有重大意义，由于在一些重大复杂的手术中，需要通过 CT 和 DSA 多次诊断才能完成，而在复合手术室中，医生可以将二者相结合起来，发挥各自优势。原本需要多次才能完成的手术，现在在一次手术中就能完成，避免患者在导管室（DSA）和影像室（CT）之间多次转运，减少了多次麻醉和转运可能带来的风险，提高了手术效率和手术的安全性。

①各机房 DSA

DSA 是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术等多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由影像探测器、X 线管头、显示器、导管床、高压注射器、操作台、控制装置及工作站系统组成。典型 DSA 装置整体外观示意如图 9.2-11 所示。



图 9.2-11 典型 DSA 装置整体外观示意图

产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体进行射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡，从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9.2-12。

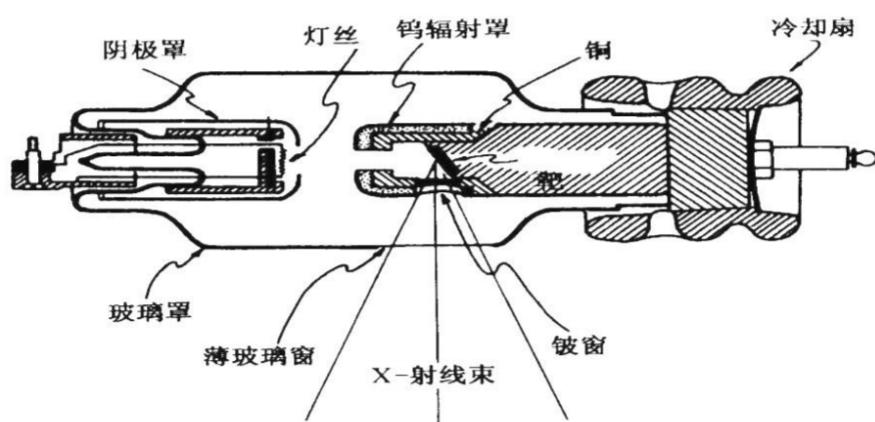


图 9.2-12 典型 X 射线管结构图

虽然不同用途的 X 射线机因诊疗目的不同有较大的差别，但其基本结构都是由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的

“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置组成。

DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像，并分别储存起来，然后输入电子计算机处理，将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

②复合手术室中 CT

CT 由带滑轨、手术床和吊架显示器等设备组成，其典型 CT 装置外观示意图见图 9.2-13。



图 9.2-13 典型 CT 装置外观示意图

复合手术室同时包含 DSA 和 CT 的一套系统。CT 机架通过滑轨滑向 DSA 的病人床进行 CT 扫描，而不需要重新定位或者转运病人（为了节省时间并减少转运过程中的并发症）。CT 扫描完成后，可以将 CT 机架从 DSA 的病人床移开，使得病人床可以用于 DSA 的造影。在实际使用当中，这套系统里的 DSA 和 CT 并不能够同时使用。这套系统有两种操作模式，一种是只能使用 DSA 设备进行造影扫描；另一种是只能使用 CT

设备。当需要用到 CT 扫描时，DSA 需要停在 DSA 病人床侧位专门的安放位，否则 CT 无法到位扫描；当 CT 机扫描完成后，CT 机架需要回到专门的安放位，否则 DSA 将无法进行造影。DSA 与 CT 设备之间有专门的数据连接模块，从而使得两个设备能够实时共享数据信息，并实现每次只能一个设备运作且两个设备又不相互干扰。

（2）工作流程及产污环节

①常规 DSA 手术诊疗工作流程

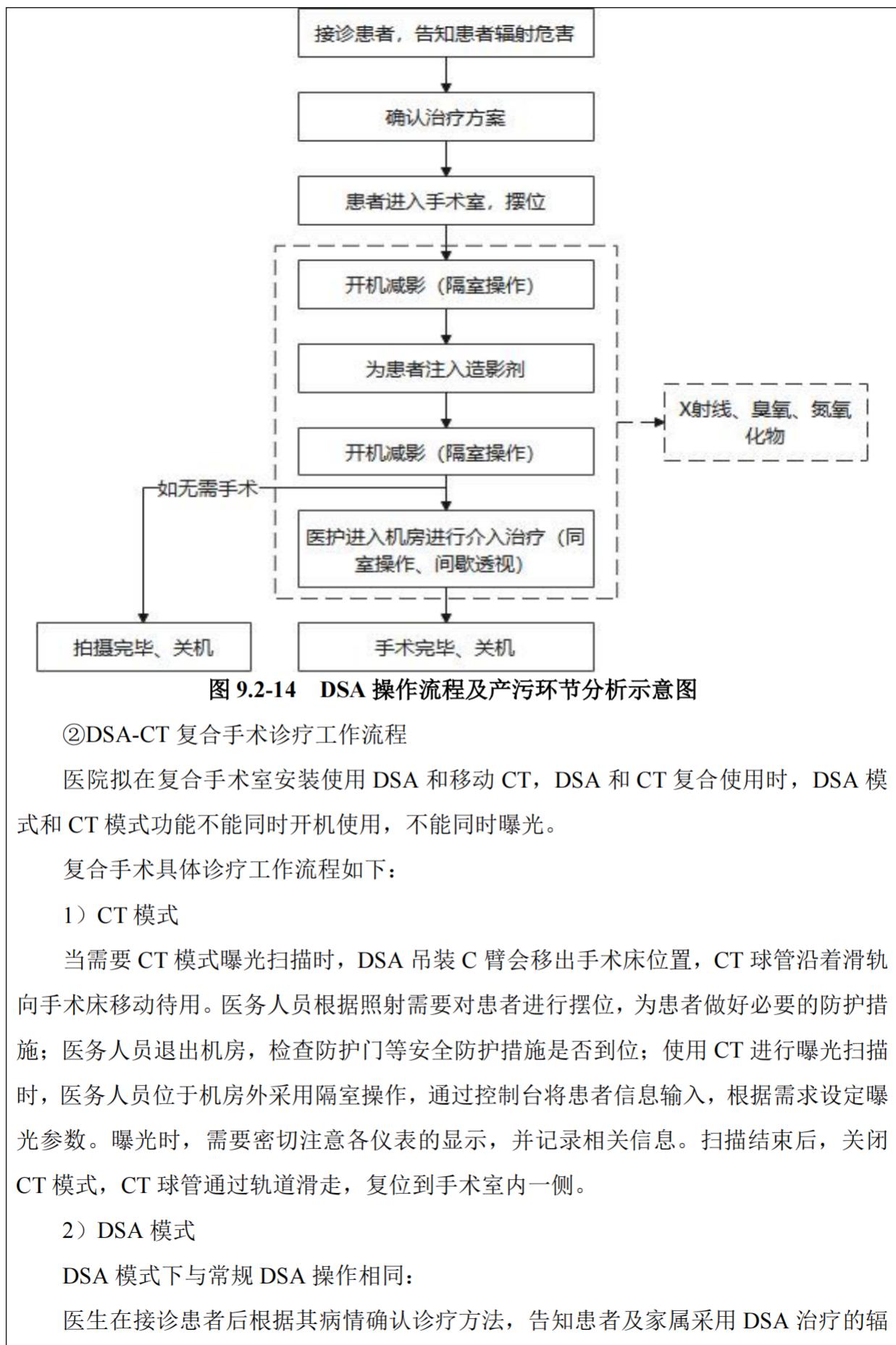
医生在接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 装置，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品后再次进入机房，进行介入治疗，直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医生位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接的介入手术操作。该种情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，减影。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对患者进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况。

DSA 操作流程及产污环节如图 9.2-14 所示。



射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 装置，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品后再次进入机房，进行介入治疗，直到治疗结束，关机。

DSA-CT 复合手术操作流程及产污环节如图 9.2-15 所示。

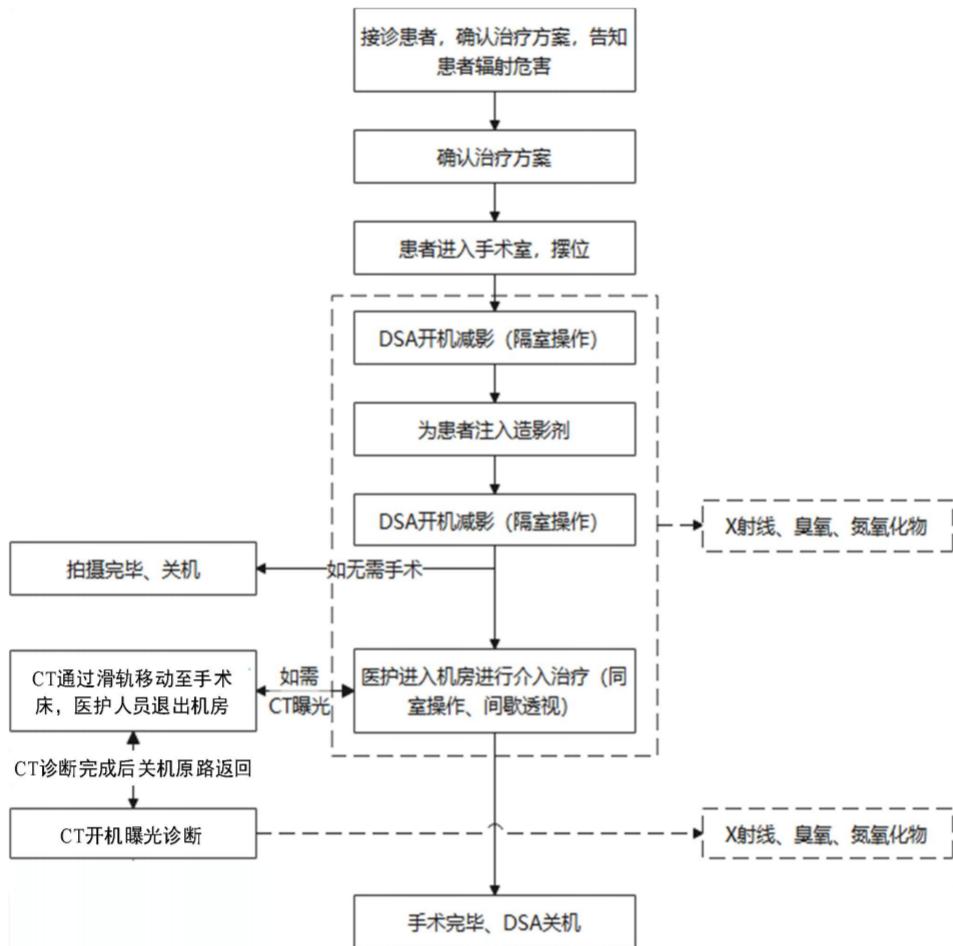


图 9.2-15 DSA-CT 复合手术操作流程及产污环节分析示意图

(4) 工作负荷

根据医院提供资料，本项目 3 台 DSA 年最大手术量共 2400 台，单台 DSA 年最大手术量为 800 台。DSA 主要开展心脏血管、神经介入、外周和综合介入等手术。因每台手术患者和手术要求不同，1 台手术中 DSA 的减影时间和透视时间也不大相同。本次评价按每台手术减影曝光时间 1min，透视曝光时间 20min 作为本项目 DSA 出束时间进行保守考虑，则每台 DSA 减影年曝光时间为 13.33h，透视年曝光时间为 266.67h。每次复合手术 CT 的最大出束扫描时间为 1min，CT 扫描过程年总曝光时间为 13.33h。

本项目 3 台 DSA 拟配备辐射工作人员 42 名，包括医生 24 名，护士 12 名，技师 6 名；单台 DSA 拟配备辐射工作人员 14 名，包括医生 8 名，护士 4 名，技师 2 名。单台 DSA 配备辐射工作人员共分为 4 组，控制室 2 名技师轮岗操作，每台手术配备 2 名医生和 1 名护士，每组医生或护士年手术台数不大于 200 台。本项目每台 DSA 和移动 CT 最大运行工况和工作负荷见表 9.2-11

表 9.2-11 本项目每台 DSA 和移动 CT 最大运行工况和工作负荷一览表

| 设备 | 手术量 | 最大运行工况 | | 曝光时间 (h) | 年出束时间 (h) | 每组医护年 最大受照时 间 (h) | 单个技师年 最大受照时 间 (h) |
|----------|---------|-------------|-----------------|-------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| DSA | 800 台/年 | 减影 | 100kV、 500mA | 13.33 | 280 | 3.33 | 6.67 |
| | | 透视 | 90kV、 15mA | 266.67 | | 66.67 | 133.33 |
| 移动 CT | | 140kV、200mA | | 13.33 | 13.33 | 3.33 | 6.67 |

(5) 人员、物流路径规划（见附图 3-19 和附图 3-20）

① 医护路径

医护人员由 DSA 机房 1 东侧控制室防护门进入手术室内进行手术，技师由控制室北侧门进入控制室。

医护人员由 DSA 机房 2 南侧洁净走廊进入手术室内进行手术，技师由控制室南侧门进入控制室。

医护人员由 DSA 复合手术室南侧洁净走廊进入手术室内进行手术，技师由控制室南侧门进入控制室。

② 患者路径

患者经准备间由 DSA 机房 1 北侧防护门进入手术室内进行治疗。治疗结束后，患者可按原路离开。

患者由 DSA 机房 2 南侧防护门进入手术室内进行治疗。治疗结束后，患者可按原路离开。

患者由 DSA 复合手术室南侧防护门进入手术室内进行治疗。治疗结束后，患者可按原路离开。

③ 污物路径

本项目 2 间 DSA 机房和 1 间 DSA 复合手术室手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束后从 DSA 机房 1 西侧防护门运

出机房至污物暂存间暂存；从 DSA 机房 2 北侧防护门运出机房，运至本层楼西北角污物暂存间暂存；从 DSA 复合手术室西侧防护门运出机房，运至本层楼西北角污物暂存间暂存。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下污染源项描述

9.3.1.1 核医学科污染源项分析

(1) X 射线、 γ 射线、 β 射线和 α 粒子

PET/CT、SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线、氮氧化物、臭氧；在放射性药物操作，患者注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线及 β 射线；在 ^{223}Ra 药物测活、注射等过程中产生的 α 粒子。

(2) α 和 β 表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 α 和 β 表面污染。

(3) 放射性废气

放射性药物在分装、活度测量和给药过程中不需要加热、振荡等步骤，药物所挥发产生含放射性核素的废气极少，因此，不进行定量分析。

(4) 放射性废液

本项目核医学科放射性废液主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。本项目核医学科各项诊疗均为门诊治疗，病人在核医学科停留时间短，采用节水型洁具。甲测、骨转移癌治疗和血液病治疗患者服药后即可直接离开核医学科，因此，不考虑甲测、骨癌治疗和血液病治疗患者产生废水。医院核医学科门诊每日使用 ^{18}F 核素用于显像诊断，每天最多诊断 20 人；使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素用于显像诊断，每天最多诊断 30 人；使用 ^{131}I 核素用于甲功能测定和甲亢治疗，甲功能测定每天诊断 10 人，甲亢治疗每天诊断 10 人； ^{89}Sr 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 核素用于骨转移癌治疗，每天诊断均为 5 人； ^{32}P 核素用于血液病治疗，每天诊断 5 人。

由表 1.1-1 可知，核医学科使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像诊断和使用 ^{131}I 核素甲亢治疗合计日门诊量为 60 人次，年门诊量为 15000 人次，用水定额根据《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014）的相关规定，门诊患者每人次用水定额为 10~15L/人·次，本次评价取 15L/人·次，废水产污系数按 0.85 计，则核医学科放射性废液日排放量为

0.765m³，年排放量为191.25m³。工作人员在完成一天的分装、注射工作后需进行污染监测，并进行去污清洗而产生放射性废液，同时工作场所需进行场所清洗，类比浙江同类型医院，每天清洗废水产生量约100L，每年工作250天，则清洗废水日排放量0.1m³，年排放量为25m³。因此，本项目核医学科工作场所合计放射性废液日排放量为0.865m³，周排放量为4.325m³，年排放量为216.25m³。

(5) 固体放射性废物

固体放射性废物主要为一次性杯子、一次性注射器、针头、手套、杯子、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品以及废气处理更换的废活性炭等。

由表1.1-1可知，核医学科日门诊量为90人次，年门诊量为22500人次，类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程固体放射性废物产生量约0.05kg/人次，则固体放射性废物日产生量为4.5kg，年产生量为1125kg。

核医学科废气处理设施更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于固体放射性废物，本项目核医学科共设有4套排风管道，排风口和手套箱的顶壁安装活性炭过滤装置，活性炭过滤装置装填量共100kg，平均每半年换一次，则废活性炭年产生量为200kg。

因此，本项目核医学科固体放射性废物产生量共计1325kg/a。

本项目放射性药物均根据诊断和治疗计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现患者临时变动，导致购买的放射性药物用不完的情况，可将放射性药物连同铅罐放置于核医学科废物间，¹⁸F、^{99m}Tc和¹⁸⁸Re贮存衰变超过30天后；⁸⁹Sr、²²³Ra和³²P贮存衰变超过十个半衰期后；¹³¹I贮存衰变超过180天后，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/cm²，β表面污染小于0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物处置。

PET/CT校准源⁶⁸Ge其活度无法满足校准需要时，将更换校准源，从而产生废旧放射源，平均4年更换一次。

9.3.1.2 放疗科污染源项分析

(1) 直线加速器污染源项分析

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中第6.1.2条要求，大于10MV的X射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。本项目使用的直线加速器X射线最大能量均为15MV，因此，需考虑中子的影响。

1) X 射线

直线加速器运行时，从电子枪发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线用于治疗，X 射线随机器的开、关而产生和消失。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 15MV X 射线的屏蔽防护，则也能满足 CBCT 150kV 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。

本项目直线加速器 X 射线最大能量为 15MV。由于 X 射线贯穿能力强，将对工作人员、公众及周围环境造成一定的辐射污染，包含以下几种 X 射线辐射：

①有用线束

当直线加速器光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角 14° 的锥形线束，其能量为 15MV。有用线束是唯一用于治疗目的的射线。

②泄漏辐射

由靶向外从各个方向穿过辐射头泄漏出来的射线称为漏射线。漏射线遍布机架各处，因此泄漏线辐射源到任一点的距离会因机架角度不同而变化。

③散射辐射

当有用线束射入治疗床上的人体时，会产生散布于各个方面上的次级散射辐射，这种射线的能量和剂量率比有用线束低得多，剂量率大小决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

直线加速器停止运行后，无 X 射线污染产生。

2) 电子线

此外本项目加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线，电子线最高能量为 22MeV，高能电子线随机器的开关而产生和消失。

3) 中子

加速器在运行过程中产生的高能 X 射线与周围物质相互作用时，均会产生中子。加速器治疗机头外的杂散中子称为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器及电子束和光子束通道上的其他物质互相作用发生光核反应所产生的中子。

4) 感生放射性

根据《辐射防护手册：辐射源与屏蔽》（第一分册）中 P226 页，绝大多数天然核素的 (γ, n) 反应阈能在 10MeV 以上。本项目直线加速器最大的能量为 X 射线 15MeV 和电子线 22MeV，会与直线加速器内部构件和空气作用，使构件激发感生放射性和产生感生放射性核素，如感生放射性核素 ^{15}O 、 ^{13}N 和 ^{41}Ar 。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。

5) 臭氧和氮氧化物

直线加速器和 CBCT 在运行过程中，X 射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧和氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

6) 废靶件

直线加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶件。此外，直线加速器报废时，会有废靶件产生。废靶件应作为固体放射性废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固废暂存间衰变暂存，最终交由有资质的单位收贮。

综上，本项目直线加速器污染因子为 X 射线、电子线、中子、感生放射性，另有废靶件、少量臭氧和氮氧化物。

(2) CT 模拟定位机污染源项分析

1) X 射线

CT 模拟定位机曝光时产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。X 射线防护所要考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

2) 臭氧和氮氧化物

CT 模拟定位机在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，可产生少量臭氧和氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

综上，本项目 CT 模拟定位机机房污染因子为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物。

9.3.1.3 介入科污染源项分析

(1) DSA 和移动 CT 污染源项分析

本项目射线装置运行时，无放射性废气、废液及固体废物产生。且设备运行时，诊断结果可通过显示屏观察或采用数字技术进行打印，不使用胶片冲洗显影，不产生废显影液、废定影液和废胶片。

1) X 射线

DSA 和移动 CT 曝光时产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。X 射线防护所要考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

2) 臭氧和氮氧化物

DSA 和移动 CT 在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，可产生少量臭氧和氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

综上，本项目 DSA 和移动 CT 污染因子为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物。

9.3.1.4 项目噪声污染源项分析

本项目核医学科场所以及放疗科和介入科各机房噪声源主要为通排风风机产生的噪声，设备选用低噪声设备，距风机 1m 处等效声级一般在 70~75dBA 之间。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

9.3.2.1 核医学科

①PET/CT 机房和 SPECT/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撒漏，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。

9.3.2.2 放疗科

(1) 直线加速器

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行直线加速器或 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直线加速器或 CBCT，则会造成机房中人员误照射；

(2) CT 模拟定位机

①装置在运行时，由于门-灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

②工作人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

③X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

9.3.2.3 介入科

(1) DSA 和移动 CT

①装置在运行时，由于门-灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

②工作人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

③X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

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 辐射工作场所布局分析**

本项目核医学科位于医技住院综合楼地下二层。场所四周相邻环境情况见表 10.1-1。

表 10.1-1 非密封放射性物质工作场所相邻环境状况

| 位置 | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 上一层 | 下一层 |
|--------|-----------------------|----|---------|-------------|-------------------|-------|
| 核医学科场所 | 电梯厅、楼梯间、排风机房、报警阀间和库房等 | 走廊 | 下沉庭院和走廊 | 走廊、物理计划室和诊室 | 库房、进风机房、走廊和药剂更衣室等 | 地下停车场 |

非密封放射性物质工作场所由放射性区域和非放射性区域组成，具体情况见表 10.1-2。

表 10.1-2 本项目核医学科工作场所区域情况

| 工作场所 | 放射性区域 | 非放射性区域 |
|--------|--|---|
| 核医学科场所 | 储源室、废物间、注射室、甲测室、给碘室、运动/抢救室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET 候诊室、SPECT 候诊室、 ¹³¹ I 留观室、留观室以及衰变池区域的池体间和多功能一体化生化池等 | 卫生通过间、控制廊、物理计划室、诊室、报警阀间、排风机房、库房以及衰变池区域的管路设备间和控制室等 |

核医学科放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道接入到衰变池，本项目拟建衰变池为成品不锈钢衰变池，设置于医技住院综合楼地下一层西北角。本项目核医学科 2 台手套箱均设置独立排风系统，风速不低于 0.5m/s，通过密闭排风管道引至医技住院综合楼（地上 17 层，排放高度约 72.8m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。

本项目核医学科工作场所位于医技住院综合楼地下二层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科场所出口位于医技住院综合楼西南角，出口周边为医院内部道路，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学科场所出入口处设有卫生通过间，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具，并配备表面污染监测仪；设置有独立的储源室、废物间和注射室，且储源室与注射室邻近，降低了药物操作和转移过程中可能会出现的洒落等情况。场所设置有单独的 PET 候诊室和 SPECT 候诊室，且均设有专用卫生间，患者产生的放射性废水均通至衰变池处理；患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉，患者单向流动，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；患者专用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。综上所述，本项目核医学科工作场所布局满足《核医学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，核医学科工作场所布局合理。

10.1.1.2 放射性废液衰变池选址合理性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“源的选址与定位”的规定：

9.3.2.1 为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2 在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

- a) 可能影响该源的安全和保安的因素；
- b) 可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；
- c) 考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

据此，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定，而医院内的小型源更关注辐射安全防护和工程设计的可行性。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本次环评针对衰变池的选址在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面分析其选址可行性，重点关注衰变池周围环境情况、人流量和人员停留等情况。

根据医院提供的由设计单位出具的图纸资料，本项目衰变池为成品不锈钢衰变池，设置于医技住院综合楼地下一层西北角。衰变池组由4个并联衰变池组成，单个衰变池有效容积为40m³，总容积为160m³。

地埋式衰变池池体间四周墙壁和顶部均为300mm混凝土，地坪为200mm混凝土，且下方为岩土层；衰变池区域内部设备间和生化池间与衰变池组隔墙为240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料，可确保辐射防护安全。

衰变池间设有人员检修出入门，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放，并设有阈值报警装置，同时每个衰变池均设有潜入式辐射活度探测器。核医学科场所放

放射性废液经贮存超过 180 天后，可直接解控排入医院污水处理站，并做好排放记录。本项目排入的医院污水处理站位于医技住院综合楼地下二层，为地埋式。

衰变池监控系统拟设置在核医学科办公室，可实现远程操控和远程监控。放射性废水管道裸露部分拟采用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记，衰变池与核医学科工作场所距离较近，可以最大程度上缩短放射性废液收集管线距离，有利于辐射防护与安全。

综上所述，本项目衰变池组设置在医技住院综合楼地下一层西北角，在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面是可行的。

10.1.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类

(1) 工作场所分级

本项目核医学科场所使用的放射性同位素有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 和 ^{32}P 。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中非密封源工作场所的分级原则和《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号），放射性核素的日等效操作量计算公式见式 10.1-1。修正因子见表 10.1-3、10.1-4，计算见表 10.1-5。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

(式 10.1-1)

表 10.1-3 放射性核素毒性组别修正因子

| 毒性组别 | 毒性组别修正因子 |
|------|----------|
| 极毒 | 10 |
| 高毒 | 1 |
| 中毒 | 0.1 |
| 低毒 | 0.01 |

注：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D，查得 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 毒性分组为低毒组， ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 和 ^{32}P 毒性分组为中毒组， ^{223}Ra 毒性分组为极毒组。

表 10.1-4 操作方式与放射源状态修正因子

| 操作方式 | 放射源状态 | | | |
|--------|-----------------|---------------|--------------|-------------------------|
| | 表面污染水平 较低的固体 | 液体、溶液、悬 浮液 | 表面有污染的 固体 | 气体、蒸汽、粉末、压 力很高的液体、固体 |
| 源的贮存 | 1000 | 100 | 10 | 1 |
| 很简单的操作 | 100 | 10 | 1 | 0.1 |

| | | | | |
|---------|----|-----|------|-------|
| 简单操作 | 10 | 1 | 0.1 | 0.01 |
| 特别危险的操作 | 1 | 0.1 | 0.01 | 0.001 |

注：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录A，医疗机构使用¹⁸F、^{99m}Tc相关活动视为“很简单操作”，使用¹³¹I核素治疗相关活动视为“简单操作”，另外¹⁸F备药视为“很简单操作”，其余核素⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、²²³Ra和³²P未有相关操作方式界定，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录A和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C，⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、²²³Ra和³²P核素参照¹³¹I核素操作方式，均视为“简单操作”。

表 10.1-5 本项目工作场所分级计算表

| 工作场所 | 核素名称 | 实际日最大操作量 (Bq) | 毒性组别修正因子 | 操作方式修正因子 | 日等效最大操作量 (Bq) | 分级 |
|-------------------|---------------------|-----------------------|----------|-----------|--------------------|----|
| 医技住院综合楼地下二层核医学科场所 | ¹⁸ F | 7.40×10^9 | 0.01（低毒） | 10（很简单操作） | 7.40×10^6 | / |
| | ¹⁸ F 备药 | 2.96×10^{10} | 0.01（低毒） | 10（很简单操作） | 2.96×10^7 | / |
| | ^{99m} Tc | 2.78×10^{10} | 0.01（低毒） | 10（很简单操作） | 2.78×10^7 | / |
| | ¹³¹ I 甲测 | 1.85×10^6 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 1.85×10^5 | / |
| | ¹³¹ I 甲亢 | 3.70×10^9 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 3.70×10^8 | / |
| | ⁸⁹ Sr | 9.25×10^8 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 9.25×10^7 | / |
| | ¹⁸⁸ Re | 1.85×10^{10} | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 1.85×10^9 | / |
| | ²²³ Ra | 5.55×10^7 | 10（极毒） | 1（简单操作） | 5.55×10^8 | / |
| | ³² P | 1.85×10^9 | 0.1（中毒） | 1（简单操作） | 1.85×10^8 | / |
| 合计 | | | | | 3.12×10^9 | 乙级 |

经计算结果可知，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 3.12×10^9 Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），属于 2×10^7 Bq~ 4×10^9 Bq的范围，故核医学科场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录G核医学工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三级，见表 10.1-6。

表 10.1-6 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的加权活度 (MBq) |
|-----|------------------------|
| I | >50000 |
| II | 50~50000 |
| III | <50 |

注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和不同操作性质修正因子见表 10.1-7 和表 10.1-8。

表 10.1-7 核医学科常用放射性核素毒性权重因子

| 类别 | 放射性核素 | 核素的毒性权重因子 |
|----|---|-----------|
| A | ^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm | 100 |
| B | ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{13}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{68}Ga 、 ^{99}Tcm 、 ^{111}In 、 ^{113}Inm 、 ^{123}I 、 ^{201}Tl | 1 |
| C | ^{14}C 、 ^{3}H 、 $^{81}\text{Kr}\text{m}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe | 0.01 |

表 10.1-8 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 |
| 复杂放射性药物配置 | 0.1 |

本项目核医学科核素权重活度计算结果见表 10.1-9。

表 10.1-9 本项目核医学科非密封放射性物质加权活度计算结果

| 核医学科场所 | | | | | | | |
|--------|--------------------------|--------|----------|----------------------------|-------------------|-------------------|------|
| 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 | ^{18}F | 1 | 100 | $2.96\text{E}+10$ (备药量) | $2.96\text{E}+08$ | $2.56\text{E}+10$ | II类 |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 1 | 100 | $2.78\text{E}+10$ | $2.78\text{E}+08$ | | |
| | ^{131}I 甲测 | 100 | 100 | $1.85\text{E}+06$ | $1.85\text{E}+06$ | | |
| | ^{131}I 甲亢 | 100 | 100 | $3.70\text{E}+09$ | $3.70\text{E}+09$ | | |
| | ^{89}Sr | 100 | 100 | $9.25\text{E}+08$ | $9.25\text{E}+08$ | | |
| | ^{188}Re | 100 | 100 | $1.85\text{E}+10$ | $1.85\text{E}+10$ | | |
| | ^{223}Ra | 100 | 100 | $5.55\text{E}+07$ | $5.55\text{E}+07$ | | |
| | ^{32}P | 100 | 100 | $1.85\text{E}+09$ | $1.85\text{E}+09$ | | |
| 废物间 | ^{18}F | 1 | 10 | $7.40\text{E}+07$ | $7.40\text{E}+06$ | $2.54\text{E}+09$ | II类 |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 1 | 10 | $2.78\text{E}+08$ | $2.78\text{E}+07$ | | |
| | ^{131}I 甲测 | 100 | 10 | $1.85\text{E}+04$ | $1.85\text{E}+05$ | | |
| | ^{131}I 甲亢 | 100 | 10 | $3.70\text{E}+07$ | $3.70\text{E}+08$ | | |
| | ^{89}Sr | 100 | 10 | $9.25\text{E}+06$ | $9.25\text{E}+07$ | | |
| | ^{188}Re | 100 | 10 | $1.85\text{E}+08$ | $1.85\text{E}+09$ | | |

| | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|-----|----|----------|----------|----------|------|
| | ²²³ Ra | 100 | 10 | 5.55E+05 | 5.55E+06 | | |
| | ³² P | 100 | 10 | 1.85E+07 | 1.85E+08 | | |
| 注射室 | ¹⁸ F | 1 | 1 | 7.40E+09 | 7.40E+09 | 2.17E+12 | I类 |
| | ^{99m} Tc | 1 | 1 | 2.78E+10 | 2.78E+10 | | |
| | ⁸⁹ Sr | 100 | 1 | 9.25E+08 | 9.25E+10 | | |
| | ¹⁸⁸ Re | 100 | 1 | 1.85E+10 | 1.85E+12 | | |
| | ²²³ Ra | 100 | 1 | 5.55E+07 | 5.55E+09 | | |
| | ³² P | 100 | 1 | 1.85E+09 | 1.85E+11 | | |
| 给碘室 | ¹³¹ I 甲测 | 100 | 1 | 1.85E+06 | 1.85E+08 | 3.70E+11 | I类 |
| | ¹³¹ I 甲亢 | 100 | 1 | 3.70E+09 | 3.70E+11 | | |
| 甲测室 | ¹³¹ I 甲测 | 100 | 10 | 1.85E+06 | 1.85E+07 | 1.85E+07 | III类 |
| 运动或抢救室 | ^{99m} Tc | 1 | 1 | 2.78E+10 | 2.78E+10 | 2.78E+10 | II类 |
| PET/CT 机房、两间 PET 候诊室 | ¹⁸ F | 1 | 10 | 7.40E+09 | 7.40E+08 | 7.40E+08 | II类 |
| SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室 | ^{99m} Tc | 1 | 10 | 2.78E+10 | 2.78E+09 | 2.78E+09 | II类 |
| 留观室 | ¹⁸ F | 1 | 10 | 7.40E+09 | 7.40E+08 | 3.52E+09 | II类 |
| | ^{99m} Tc | 1 | 10 | 2.78E+10 | 2.78E+09 | | |
| ¹³¹ I 留观室 | ¹³¹ I 甲亢 | 100 | 10 | 3.70E+09 | 3.70E+10 | 3.70E+10 | II类 |

注：①加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子；
②保守按日最大用量 1%转移至废物衰变桶中考虑。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于“不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，核医学工作场所的防护设计要求见表 10.1-10。

表 10.1-10 核医学科工作场所的室内表面及装备结构要求

| 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 |

| | | | |
|-------|------------------------|------------------------|------------------|
| 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 |

^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。

综上所述，医院应按表 10.1-10 的要求，I类和II类核医学工作场所用房均设置结构屏蔽，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；注射室和给碘室均设置手套箱；卫生通过间内配备洗手盆和去污设备；III类核医学工作场所用房地面和工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；另外核医学工作场所用房设置特殊的强通风装置（通风系统独立设置，保持核医学工作场所用房负压以防止放射性气体交叉污染，操作放射性药物所用的手套箱设置专用的排风装置）；核医学工作场所含放射性废液的排水管道应为特殊管道，在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，裸露部分拟采用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。

10.1.1.4 分区原则及区域划分情况

(1) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射性工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和门-灯联锁装置）限制进出控制区，并定期控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或是更改该区的边界。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌；并定期检查该区工作状况，确认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。

(2) 区域划分

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，本项目控制区、监督区的划分如表 10.1-11 和附图 3-13 所示。

表 10.1-11 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

| 场所 | 控制区 | 监督区 |
|--------|--|--|
| 核医学科场所 | 储源室、废物间、注射室、甲测室、给碘室、运动/抢救室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET 候诊室、SPECT 候诊室、 ¹³¹ I 留观室、留观室以及衰变池区域的池体间和多功能一体化生化池等 | 卫生通过间、控制廊、物理计划室、诊室、报警阀间、排风机房、库房、衰变池区域的管路设备间和控制室以及核医学科部分东、南、西、北侧墙外 30cm 区域等 |

注：衰变池西侧污水处理站和南侧直线加速器机房顶棚人员一般不会到达，因此不划分为监督区。

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，医院应做到：

1) 控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- ②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；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障限制进出控制区；
- ④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。

2) 监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区的边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③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；
- ④在卫生通过间备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜，设有清洗及去污设施。

10.1.1.5 辐射工作场所屏蔽设计

本项目核医学科各工作场所屏蔽设计情况见表 10.1-12。

表 10.1-12 核医学科各工作场所辐射防护屏蔽设计方案

| 工作场所 | 屏蔽体 | 设计厚度 |
|------|-----------|----------------------|
| 注射室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 |
| | PET 注射窗 | 40mmPb 铅玻璃 |
| | SPECT 注射窗 | 20mmPb 铅玻璃 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| 废物间 | 东、南、西侧墙体 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 北侧墙体 | 360mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 4mm 铅板 |

| | | |
|----------------------|----------|----------------------|
| 储源室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 4mm 铅板 |
| 给碘室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| 甲测室 | 东、西和北侧墙体 | 240mm 实心砖 |
| | 南侧墙体 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土 |
| | 防护门 | 内衬 2mm 铅板 |
| 运动/抢救室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 8mm 铅板 |
| PET 候诊室 1 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| PET 候诊室 2 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| SPECT 候诊室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| PET/CT 机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 患者防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 观察窗 | 6mmPb 铅玻璃 |
| SPECT/CT 机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 患者防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| | 观察窗 | 6mmPb 铅玻璃 |
| 留观室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 |
| | 防护门 | 内衬 6mm 铅板 |
| ¹³¹ I 留观室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土 |
| | 防护门 | 内衬 2mm 铅板 |

| | | |
|------|-------|-----------|
| 患者通道 | 入口防护门 | 内衬 8mm 铅板 |
| | 出口防护门 | 内衬 8mm 铅板 |

注：混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡密度不低于 $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖密度不低于 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。

PET/CT 和 SPECT/CT 中的 CT 部分属III类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性见表 10.1-13 和表 10.1-14。

表 10.1-13 PET/CT 和 SPECT/CT 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 | | GB130-2020 要求 | | 是否相符 |
|-------------|------------|-------------------------|---------------|---------------------------|------|
| | 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) | |
| PET/CT 机房 | 5.54 | 45.20 | 4.5 | 30 | 符合 |
| SPECT/CT 机房 | 5.54 | 41.82 | 4.5 | 30 | 符合 |

表 10.1-14 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽防护设计评价表

| 机房名称 | 防护设施 | 屏蔽材料及厚度 | 折算后铅当量 (mm) | GBZ130-2020 表 3 标准要求 | 是否符合要求 |
|-------------|---------|--------------------------|-------------|--------------------------------------|--------|
| PET/CT 机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | 有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb | 符合 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 6mm 铅板 | 6.0 | | 符合 |
| | 患者防护门 | 内衬 6mm 铅板 | 6.0 | | 符合 |
| | 观察窗 | 6mmPb 铅玻璃 | 6.0 | | 符合 |
| SPECT/CT 机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | 有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb | 符合 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 工作人员防护门 | 内衬 6mm 铅板 | 6.0 | | 符合 |
| | 患者防护门 | 内衬 6mm 铅板 | 6.0 | | 符合 |
| | 观察窗 | 6mmPb 铅玻璃 | 6.0 | | 符合 |

注：①混凝土密度取 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 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》（GBZ130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，在 150kV 电压下， 188mm 混凝土折算为 2mmPb ，本次评价保守考虑按 200mm 混凝土折算为 2mmPb 。

②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 150kV 电压的拟合参数，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 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 核算等效屏蔽厚度， 240mm 实心砖折算为 2mmPb 。

③参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于 $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ， 20mm 厚度等效为 1mmPb 。

10.1.1.6 辐射安全防护措施

①医院拟在新建核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全；实行两区管理，入口处设置明显的监督区和控制区标识。

②在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房受检者防护门与工作人员防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。在控制台上、诊断床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令 PET/CT、SPECT/CT 停止运行。

③注射室与等候区之间设置叫号系统；在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口情况；PET/CT、SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置和视频监控、给碘室拟安装对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过对讲装置与受检者联系。

④储源室设置视频监控，实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。台账上记录核素种类、生产单位、活度及出入库使用情况等，严格登记建档。出入口安装摄像头、红外报警装置，并入医院安保监控系统。

⑤患者进出设置专用通道，防护门均为单向门禁，并在工作场所内设置路线指引。

10.1.1.7 辐射防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）以及《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，医院拟配置的防护用品和设备见表 10.1-15。

表 10.1-15 核医学科工作场所拟配置的防护用品和设备表

| 序号 | 种类名称 | 设置场所 | 数量 | 备注 |
|----|-----------|------|-----|---|
| 1 | 储源铅罐 | 储源室 | 7 个 | 铅罐由厂家供药时自带，一般 ¹⁸ F 为 50mmPb， ^{99m} Tc、 ²²³ Ra 和 ¹⁸⁸ Re 为 20mmPb， ¹³¹ I 为 40mmPb， ⁸⁹ Sr、 ³² P 使用 10mmPb+10mm 有机玻璃 |
| 2 | 注射室手套箱 | 注射室 | 1 个 | 正面：40mmPb；侧面：20mmPb，用于 ¹⁸ F 药物分装 |
| 3 | 活度计 | 注射室 | 1 台 | / |
| 4 | PET 注射窗 | 注射室 | 1 个 | 40mmPb |
| 5 | SPECT 注射窗 | 注射室 | 1 个 | 20mmPb |

| | | | | |
|----|------------------------|-----------------------|-------|--|
| 6 | 注射器防护套 | 注射室 | 2 个 | ^{99m}Tc 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 为 4mmPb 防护套、 ^{18}F 为 10mmPb 防护套 |
| 7 | 有机玻璃注射器防护套 | 注射室 | 2 个 | 10mm 有机玻璃 |
| 8 | 注射器防护提盒 | 注射室 | 2 个 | 10mmPb |
| 9 | 给碘室手套箱 | 给碘室 | 1 个 | 40mmPb |
| 10 | 自动分碘仪 | 给碘室 | 1 个 | / |
| 11 | 活度计 | 给碘室 | 1 台 | / |
| 12 | 铅桶 | 注射室、给碘室等 | 若干 | ^{18}F 为 20mmPb, ^{99m}Tc 为 5mmPb, ^{131}I 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 为 10mmPb, ^{89}Sr 和 ^{32}P 为 10mmPb+4mm 有机玻璃 |
| 13 | 废物衰变箱 | 废物间 | 4 个 | ^{18}F 、 ^{99m}Tc 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 和 ^{131}I 为 20mmPb, ^{89}Sr 和 ^{32}P 为 20mmPb+4mm 有机玻璃 |
| 14 | 铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 | 核医学科 | 4 套 | 0.5mmPb |
| 15 | 铅橡胶围裙 | 注射室 | 2 套 | 0.5mmPb |
| 16 | 去污工具组 | 卫生通过间 | 1 套 | / |
| 17 | 放射性污染防护服 | 卫生通过间 | 若干 | / |
| 18 | 铅防护屏风 | PET/CT 机房、PET 候诊室 | 3 个 | 10mmPb |
| 19 | 铅防护屏风 | SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室 | 4 个 | 4mmPb |
| 20 | 表面污染监测仪 | 卫生通过间 | 1 台 | 增配 |
| 21 | 便携式 X-γ 射线监测仪 | 卫生通过间 | 1 台 | 依托现有, 全院共用 1 台 |
| 22 | 个人剂量报警仪 | 人员随身携带 | 4 台 | / |
| 23 | 个人剂量计 | 人员随身携带 | 1 个/人 | / |

本项目拟配备的个人防护用品数量和防护铅当量均满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 相关要求, 可以满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。除此以外, 通过制度规范辐射工作人员的操作, 包括放射性核素的管理、使用, 放射性污染物的处理和患者的活动限制等。

10.1.1.8 放射性药物的存放控制措施

核医学科提前一天向供药单位订购放射性药物, 供药单位在约定的时间, 将预约用量的药物送至核医学科, 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。

储源室门锁和保险柜实行双人双锁管理, 并做好防火、防盗措施, 且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。储源室房间内设置视频监控并入科室监控系

统、门口设置电离辐射标志。

如出现患者临时变动，导致购买的放射性药物用不完的情况，未用完的少量放射性药物将安全的储存在原容器中，连同铅罐转移至废物间暂存衰变。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理，并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。

10.1.1.9 表面污染控制措施

①工作场所分区管理和工作人员的防护措施

本项目按照开展临床核医学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（含淋浴和去污功能），并在卫生通过间内设置更衣、检测区和消洗设施，检测区内配备表面污染监测仪等检测设备。

工作人员进入放射工作场所均更换服装，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，均进行清洗、更衣、并对手部等体表部位进行表面污染测定，确认未受表面污染后离开。

②工作场所表面污染防治

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，1m 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。

放射性药物的操作均在注射室/给碘室手套箱内进行，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管理措施

α 和 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 α 和 β 表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基

本标准》（GB18871-2002）规定的要求，医院要做到以下防护措施：

- 1) 制定完善的操作规范，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，避免造成皮肤直接接触和吸入、食入等情况；
- 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) 做好就诊患者的管理，特别是已服药和注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；
- 9) 如 α 和 β 表面污染水平超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定值，医院应暂停开展核医学科相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务；
- 10) 修订《辐射事故应急预案》，制定非密封放射性物质意外污染的应急处理程序，利用非放射性物质开展放射性药物取用、转移操作练习，及意外洒落时采取去污及监测操作的模拟。定期开展应急预案的培训学习和演练。

10.1.1.10 人员防护措施

(1) 辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护。

屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，PET/CT机房、SPECT/CT机房设置铅防护屏风，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

(2) 受检者、其他人员的防护

为减少受检者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护措施。

①屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护；为受检者配备铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，注射器配备注射器防护套。PET 注射后候诊室床位之间设置铅防护屏风、SPECT 注射后候诊室椅位之间设置铅防护屏风，以减少患者间相互照射。

②应注意做好患者分类、有批次进入，避免患者交叉影响。

10.1.1.11 操作过程中的防护措施

辐射工作人员在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅橡胶围裙、戴铅防护眼镜、铅橡胶颈套、介入防护手套等防护用品，均具备 0.5mmPb 当量。注射时，将定量的药物移至带防护套的注射器内，将其置于注射器防护提盒内后，经测量核定药物活度后转移给患者注射，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，工作人员（采取相应防护措施）与患者及药物分别位于铅玻璃的两侧，患者注射后进入注射后候诊室候诊。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液撒漏造成操作台污染。手套箱底部设有铅桶，用于暂时收集固体放射性废物。

10.1.1.12 对服药和注射后病人防护措施

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在等候室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区，并尽量远离非密封源工作场所，同时需要求患者在注射后在候诊室静候，禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入注射后候诊室内专用厕所，最终排入衰变池组。患者进入机房受检前，工作人员需确保病人走廊没有其他患者，再安排患者进入机房，以避免交叉影响。

10.1.2 放疗科

10.1.2.1 直线加速器和 CT 模拟定位机

(1) 工作场所布局分析及分区情况

① 工作场所布局分析

本项目放疗科位于医技住院综合楼地下二层西北侧，拟建 2 间直线加速器机房及配套附属用房（包括 1 间 CT 模拟定位机机房），直线加速器机房并列设置。

本项目直线加速器机房与控制室、水冷机房分开设置，机房由治疗室、迷路和防护

门组成，且有用线束照射方向没有人员常居留场所。机房周围不邻近儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域以及人员流动性大的商业活动区域，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”的规定以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。”的要求。

本项目直线加速器机房和CT模拟定位机机房六面情况见表10.1-16。

表10.1-16 本项目放疗科各机房六面情况一览表

| 机房名称 | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 上方 | 下方 |
|-----------|------------------|--------------|-------------|--------|----------------------------|-------|
| 1号直线加速器机房 | 2号直线加速器机房 | 控制室、水冷机房、准备区 | 医院污水 处理站 | 岩土层 | 医院道路 | 岩土层 |
| 2号直线加速器机房 | 地下停车场、 真空排水机房 | 控制室、水冷机房、准备区 | 1号直线加速器机房 | 岩土层 | 医院道路 | 岩土层 |
| CT模拟定位机机房 | 体模室、走廊 | 控制室 | 走廊 | 走廊、候诊区 | 病案库办公室、 复印室、走廊、 进风机房 | 地下停车场 |

②工作场所分区情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）对控制区和监督区的定义。本项目放疗科各机房控制区和监督区划分情况见表10.1-17和附图3-16。

表10.1-17 本项目放疗科机房控制区和监督区划分情况一览表

| 场所名称 | 控制区 | 监督区 |
|-----------|----------------|---|
| 1号直线加速器机房 | 直线加速器机房内部(含迷路) | 控制室、水冷机房、防护门外1m区域 |
| 2号直线加速器机房 | 直线加速器机房内部(含迷路) | 控制室、水冷机房、真空排水机房以及 防护门外1m区域、东侧地下停车场30cm 区域 |
| CT模拟定位机机房 | CT模拟定位机房内部 | 控制室、体模室以及机房四周走廊30cm 区域 |

注：1号直线加速器机房西侧污水处理站人员一般不会到达，因此不划分为监督区。

（2）辐射防护屏蔽设计

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中6.1.2，“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”。本项目拟购直线加速器的X射线能量最大为15MV，机房的防护门拟采用内衬含硼聚乙烯和铅板的不锈钢门，即屏蔽设计已考虑到中子辐射防护。

根据医院提供的资料，本项目直线加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土($\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$)浇筑而成，机房辐射屏蔽设计参数详见表 10.1-18。放疗科机房平面图和剖面图分别见附图 3-16 和附图 3-17。

表 10.1-18 直线加速器机房辐射防护屏蔽设计参数一览表

| 场所名称 | 方位及区域 | | 照射线束 | 屏蔽材料及厚度 |
|-----------|-------|------|-------|---------------------|
| 1号直线加速器机房 | 东墙 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 3000mm 混凝土 |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 南墙 | 迷道内墙 | 非有用线束 | 800-1500mm 混凝土 |
| | | 迷道外墙 | 非有用线束 | 1000-1500mm 混凝土 |
| | 西墙 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 3000mm 混凝土 |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 北墙 | 侧墙 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 顶棚 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 2800mm 混凝土 |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 防护门 | | 非有用线束 | 20mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板 |
| 2号直线加速器机房 | 东墙 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 3000mm 混凝土 |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 南墙 | 迷道内墙 | 非有用线束 | 800-1500mm 混凝土 |
| | | 迷道外墙 | 非有用线束 | 1000-1500mm 混凝土 |
| | 西墙 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 3000mm 混凝土 |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 北墙 | 侧墙 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 顶棚 | 主屏蔽区 | 有用线束 | 2800mm 混凝土 |
| | | 次屏蔽区 | 非有用线束 | 1600mm 混凝土 |
| | 防护门 | | 非有用线束 | 20mm 铅+180mm 含硼聚乙烯板 |

注：混凝土密度 $\geq 2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；铅密度不低于 $\geq 11.34\text{g}/\text{cm}^3$ 。

本项目 CT 模拟定位机机房的屏蔽情况、机房最小有效使用面积及最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中的要求比较结果见表 10.1-19 和表 10.1-20。

表 10.1-19 CT 模拟定位机机房屏蔽防护情况一览表

| 工作场所 | 防护设施 | 屏蔽材料及厚度 | 折算后铅当量 (mm) | GBZ130-2020 表 3 标准要求 | 是否符合 |
|------------|------|-------------------------|-------------|-----------------------------|------|
| CT 模拟定位机机房 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡防护涂料 | 3.5 | 有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb | 符合 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 防护门 | 内衬 4mm 铅板 | 4.0 | | 符合 |

| | | | | |
|---|-----------|-----|--|----|
| 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃 | 4.0 | | 符合 |
| 注：①混凝土密度取 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 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》（GBZ130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，在 150kV 电压下，188mm 混凝土折算为 2mmPb，本次评价保守考虑按 200mm 混凝土折算为 2mmPb。 | | | | |
| ②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 150kV 电压的拟合参数，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 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖折算为 2mmPb。 | | | | |
| ③参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于 $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ，20mm 厚度等效为 1mmPb。 | | | | |

表 10.1-20 CT 模拟定位机机房有效使用面积及单边长度一览表

| 工作场所 | 拟设置情况 | | GBZ130-2020 表 2 标准要求 | | 是否符合 |
|------------|---------------|----------------------------|----------------------|-------------------------------|------|
| | 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) | |
| CT 模拟定位机机房 | 5.21 | 40.69 | 4.5 | 30 | 符合 |

由表 10.1-19 和表 10.1-20 可知，本项目 CT 模拟定位机房四面墙体、顶棚、地板、观察窗、防护门、最小有效面积及最小单边长等设计参数均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。因此，CT 模拟定位机房的屏蔽方案是可接受的。

10.1.2.2 直线加速器安全防护措施

（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运动智能开关。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智能开关，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启动和控制。

④急停开关。当发现异常时，按下主机架、治疗床及控制台上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

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，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。直线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 10.1-21。

表 10.1-21 直线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) 直线加速器机房辐射防护设施设计

①固定式剂量报警装置：直线加速器机房内迷路转角处设置固定式剂量报警装置，显示单元设在控制室或机房门附近，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

②视频监视系统、对讲系统：直线加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 3 个（防护门迷路内 1 个、迷路内墙 1 个、侧屏蔽墙体 1 个）、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，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师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路内状况，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。

③急停开关：直线加速器设备自带急停开关。医院拟在直线加速器机房的控制室、防护门内侧、治疗室四周墙壁各设置急停开关。机房内急停开关设在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处）安装，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设置门机安全联锁，防护门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门停止出束。防护门上方设有工作状态指示灯与加速器关联，机房门关闭后，装置才能启动，装置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。防护门设红外防挤压装置，

防止人员被夹伤。另外防护门设紧急开门装置，在紧急情况下能从机房内开门。

⑤直线加速器机房入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

直线加速器机房内安全防护设施分布见图 10.1-1。

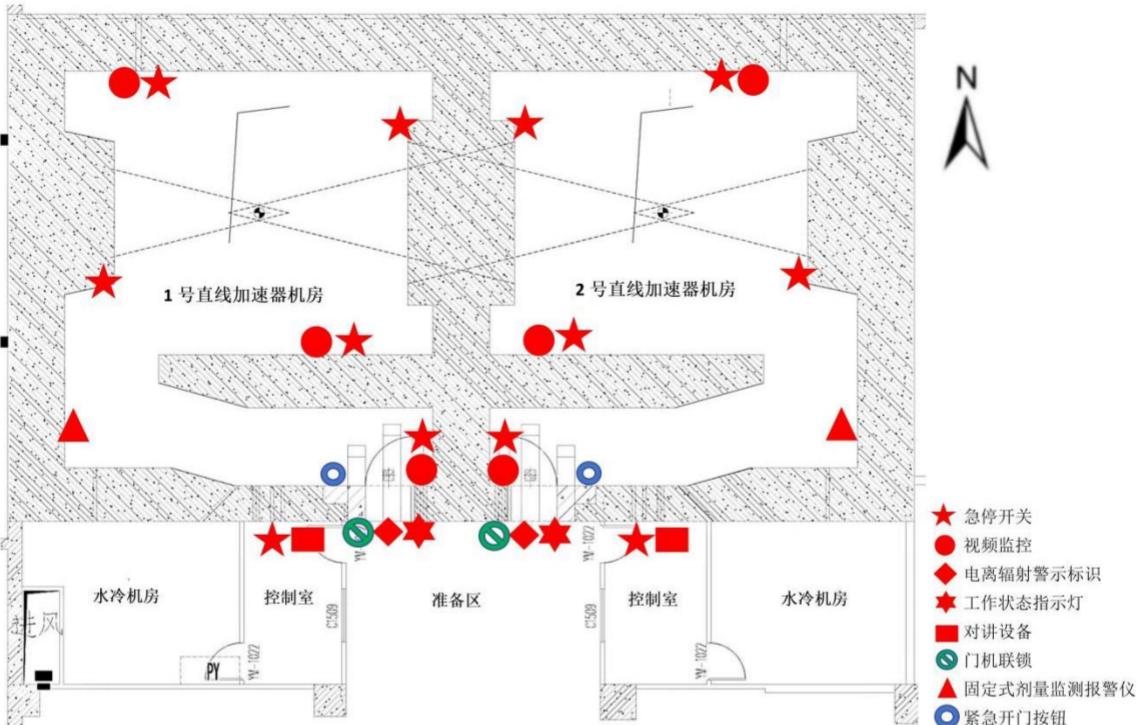


图 10.1-1 直接加速器机房急停开关、监视系统等安全设施分布示意图

(3) 其他防护措施

- ①每个辐射工作人员均配备 1 枚 TLD 个人剂量计。
- ②配备 1 台便携式 X-γ 射线监测仪（依托现有，全院共用 1 台）和中子剂量监测仪（直线加速器机房配置，2 间机房共用一台）；
- 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受检者出入口门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

(4) 机房通风、电缆管线设置

①通风

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。本项目直线加速器机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，根据建设单位提供的设计资料，直线加速器拟安装有效通风量不小于 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风，直线加速器机房有效容积约 436m^3 ，通风换气次数不小于 4.5 次/h。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/h，通风换气次数符合

标准要求。

为避免影响屏蔽效果，新风管拟由防护门上方外墙进入机房，风管采用 5mm 钢板，包裹 8mm 铅板作为屏蔽补偿，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。风管拟以“U”型穿墙，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置；排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30cm，进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁，向上接近顶板处，从防护门上方通往室外，排风口未设置在有门、窗或人口流动较大的过道等位置。排风和新风管线图见附图 3-18，穿墙方式见图 10.1-2。

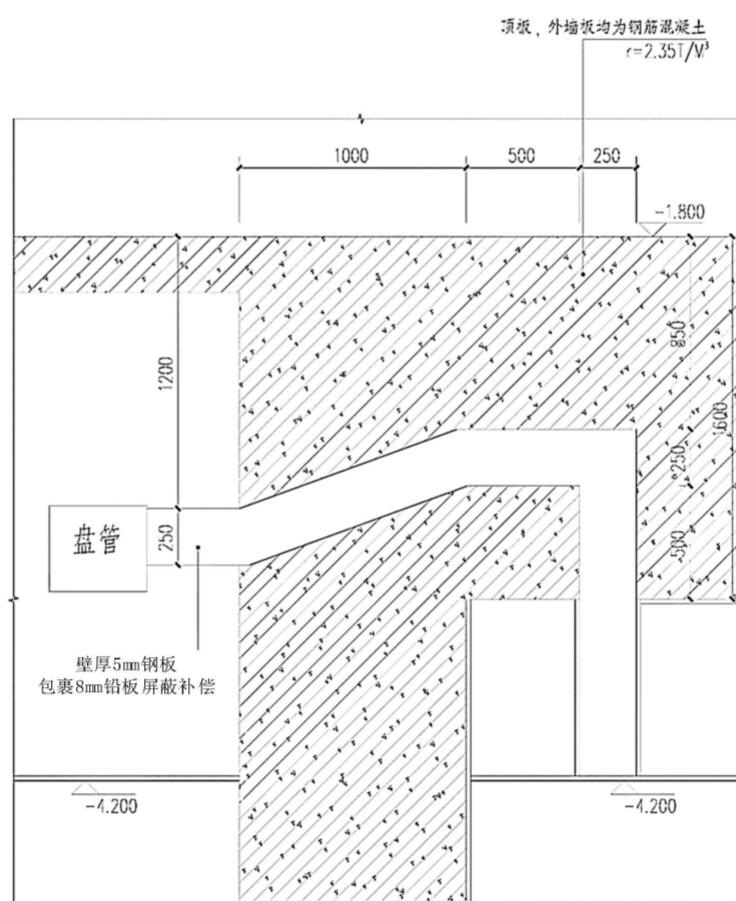


图 10.1-2 直线加速器机房通排风管线穿墙示意图

②电缆及水管布设

直线加速器治疗室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，电缆沟盖板采用 3mm 铅板覆盖，电缆管线以“U”字型穿过迷路外墙，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果，管道穿墙方式见图 10.1-3。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斜45°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。

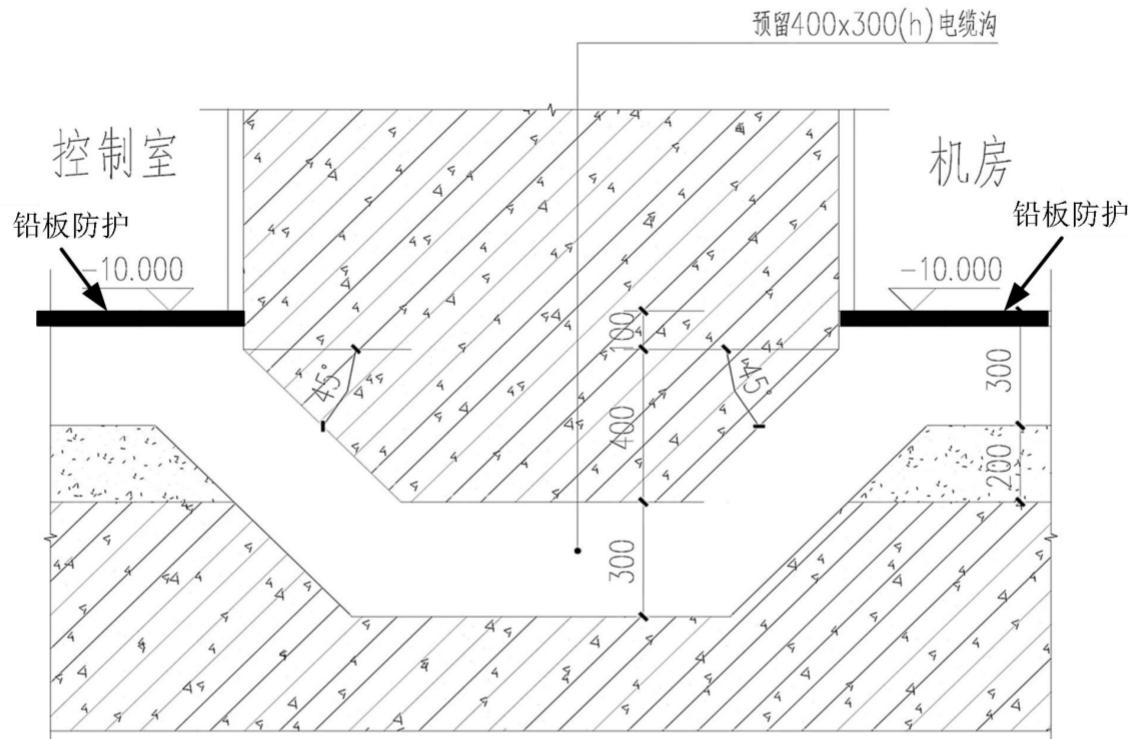


图 10.1-3 直线加速器机房电缆穿墙示意图

10.1.2.3 CT 模拟定位机安全防护措施

本项目 CT 模拟定位机为III类射线装置，主要影响因子为 X 射线，经屏蔽防护后对周围环境的影响较小。本项目拟为受检者配备防护用品并对设备机房采取相应措施进一步减少 CT 模拟定位机对周围环境的影响。

CT 模拟定位机房拟配备防护用品见表 10.1-22。

表 10.1-22 本项目 CT 模拟定位机房防护用品配备情况

| 放射检查类型 (机房内射线装置名称) | 使用对象 | X 射线设备配备的防护用品 (mmPb) |
|-----------------------|------|---|
| CT 模拟定位 | 受检者 | 铅橡胶性腺防护围裙 (0.5)、铅橡胶颈套 (0.5)、铅橡胶帽子 (0.5) 各 1 件 |
| | 儿童 | 儿童铅橡胶方巾 (0.5)、铅橡胶颈套 (0.5)、铅橡胶帽子 (0.5) 各 1 件 |

CT 模拟定位机房拟采取的辐射安全防护措施：

- ①门灯联锁：机房防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；工作状态指示灯与机房门有效关联。

②急停装置：控制台上设置急停开关（各开关分别与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一个急停开关，均可停止 X 射线系统出束。

③视频监控和对讲装置：机房与控制室之间安装 1 套视频监控和对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与机房内的患者联系，同时可以实时监控机房内情况。

④警告标志：机房门外醒目位置设置电离辐射警告标志和中文说明。

⑤机房防护门为电动推拉门，且设有防夹装置，设置有自动闭门装置。

⑥受检者不在机房内候诊，候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

⑦机房设有动力排风装置，保证排风状况良好。

本项目 CT 模拟定位机在采取上述辐射安全防护措施后，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的 X 射线设备工作场所防护的相关要求。

10.1.3 介入科

10.1.3.1 DSA

（1）工作场所布局分析及分区情况

① 工作场所布局分析

本项目拟于医技住院综合楼一层建设 1 间 DSA 机房，并配置 1 台 DSA；于医技住院综合楼四层建设 1 间 DSA 机房和 1 间 DSA 复合手术室，并配备 2 台 DSA 和 1 台移动 CT，用于介入治疗和影像诊断，本项目各 DSA 机房六面情况见表 10.1-23。

表 10.1-23 本项目各 DSA 机房六面情况一览表

| 位置 | 机房名称 | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 上方 | 下方 |
|-----------|-----------|----------|----------|---------------|-----------|--------------|----------------|
| 医技住院综合楼一层 | DSA 机房 1 | 控制室、设备间 | 过道、设备间 | 污物间、仪器室、无菌物品间 | 准备间、更衣室 | 走廊、病人通道、空调机房 | 排风机房、地下停车场、岩土层 |
| 医技住院综合楼四层 | DSA 机房 2 | 控制室、洁净走廊 | 洁净走廊、设备间 | 洁净走廊 | 洁净走廊 | 手术净化机房 | 中心供应室、卫生间、更衣室 |
| | DSA 复合手术室 | 洁净走廊 | 洁净走廊 | 控制室、洁净走廊 | 移动 CT 存放间 | 手术净化机房、走廊 | 中心供应室 |

本项目复合手术室布局与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对照分析见表 10.1-24。

表 10.1-24 本项目复合手术室布局符合性分析

| 项目 | 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求 | 本项目情况 | 是否满足要求 |
|------|--------------------------------|---|--------|
| 机房布局 | 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用 | 本项目新增使用的 DSA 和移动 CT 设置有单独的机房，机房有效使用面积及最小单 | 满足 |

| | 设备的布局要求 | 边长满足设备的布局要求 | |
|--------|--|---|----|
| | X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全 | 本项目各机房采取了相应的屏蔽防护措施，考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。 | 满足 |
| | 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位 | 本项目各机房的有用线束直接照向患者，并为设备的影像接收器及其支撑结构所阻挡，不会直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位 | 满足 |
| 受检者候诊区 | 受检者不应在机房内候诊 | 本项目机房受检者在机房外候诊，不在机房内候诊 | 满足 |
| 机房尺寸 | DSA 机房最小有效使用面积不小于 $20m^2$ ，最小单边长不小于 3.5m；复合手术室最小有效使用面积不小于 $30m^2$ ，最小单边长不小于 4.5m | 本项目机房尺寸符合最小有效使用面积和最小单边长的要求，具体见表 10.1-27 | 满足 |

经分析可知：

- ①本项目各机房相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。
- ②本项目各机房设有患者通道、工作人员通道，相互不交叉，患者通道的宽度满足患者手推车辆的通行，方便治疗。
- ③本项目的建设不影响消防通道，且不占用消防设施等任何公共安全设施。

综上所述，本项目各机房满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）平面布局的要求，采取了防辐射的屏蔽措施，能够满足放射诊疗需求，并且充分考虑了相邻场所的防护安全，因此，复合手术室工作场所布局合理。

②工作场所分区情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准中对控制区和监督区的定义，本项目各机房控制区和监督区划分情况见表 10.1-25、附图 3-19 和附图 3-20。

表 10.1-25 本项目各机房控制区和监督区划分情况一览表

| 场所名称 | 控制区 | 监督区 |
|-----------|-------------|--|
| DSA 机房 1 | DSA 机房 1 内部 | 控制室、设备间、污物暂存间、仪器室、无菌物品间、准备间、更衣室以及机房外过道 30cm 区域 |
| DSA 机房 2 | DSA 机房 2 内部 | 控制室、设备间以及机房外洁净走廊 30cm 区域 |
| DSA 复合手术室 | DSA 复合手术室内部 | 控制室和机房外洁净走廊 30cm 区域 |

（2）工作场所防护屏蔽设计

本项目 DSA 机房的屏蔽情况、机房最小有效使用面积及最小单边长度与《放射诊

断放射防护要求》(GBZ130-2020)中的要求比较结果见表 10.1-26 和表 10.1-27。

表 10.1-26 DSA 机房屏蔽防护情况一览表

| 工作场所 | 防护设施 | 屏蔽材料及厚度 | 折算后铅当量 (mm) | GBZ130-2020 表 3 标准要求 | 是否符合 |
|------------------------|------|-----------------------------|-------------|---|------|
| 医技住院综合楼一层 DSA 机房 1 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖墙 +40mm 硫酸钡防护涂料 | 4.0 | 机房有用线束方向铅当量均不小于 3.0mmPb 及非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb | 符合 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+2mm 铅板 | 4.0 | | 符合 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 防护门 | 内衬 4.0mm 铅板 | 4.0 | | 符合 |
| | 观察窗 | 18mm 铅玻璃 | 3.6 | | 符合 |
| 医技住院综合楼四层 DSA 机房 2 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖墙 +40mm 硫酸钡防护涂料 | 4.0 | 机房有用线束方向铅当量均不小于 3.0mmPb 及非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb | 符合 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+2mm 铅板 | 4.0 | | 符合 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 防护门 | 内衬 4.0mm 铅板 | 4.0 | | 符合 |
| | 观察窗 | 18mm 铅玻璃 | 3.6 | | 符合 |
| 医技住院综合楼四层 DSA 复合手术室 | 四侧墙体 | 240mm 实心砖墙 +40mm 硫酸钡防护涂料 | 4.0 | 机房有用线束方向铅当量均不小于 3.0mmPb 及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb | 符合 |
| | 顶棚 | 200mm 混凝土+2mm 铅板 | 4.0 | | 符合 |
| | 地坪 | 200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.0 | | 符合 |
| | 防护门 | 内衬 4.0mm 铅板 | 4.0 | | 符合 |
| | 观察窗 | 18mm 铅玻璃 | 3.6 | | 符合 |

注：①混凝土密度取 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 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》(GBZ130-2020) 中附录 C 中式(C.1)、式(C.2)及表 C.2，在 150kV 电压下，188mm 混凝土折算为 2mmPb ，本次评价保守考虑按 200mm 混凝土折算为 2mmPb 。

②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 150kV 电压的拟合参数，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 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖折算为 2mmPb 。

③参考《放射防护实用手册》(主编赵兰才、张丹枫) 表 6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于 $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ，20mm 厚度等效为 1mmPb ；铅玻璃按 $4.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，5mm 厚度等效为 1mmPb 。

④DSA 复合手术室为 DSA+CT 复合手术室，因此机房屏蔽防护铅当量厚度要求保守取最大值。

表 10.1-27 DSA 机房有效使用面积及单边长度一览表

| 工作场所 | 拟设置情况 | | GBZ130-2020 表 2 标准要求 | | 是否符合 |
|------------------------|------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|------|
| | 最小单边长度 (m) | 最小有效使用面积 (m ²) | 最小单边长度 (m) | 最小有效使用面积 (m ²) | |
| 医技住院综合楼一层 DSA 机房 1 | 6.75 | 51.23 | 3.5 | 20 | 符合 |
| 医技住院综合楼四层 DSA 机房 2 | 5.46 | 53.61 | 3.5 | 20 | 符合 |
| 医技住院综合楼四层 DSA 复合手术室 | 7.29 | 59.92 | 4.5 | 30 | 符合 |

注：DSA 复合手术室为 DSA+CT 复合手术室，因此机房规格需对标 CT 机房的标准要求。

综上所述，本项目各 DSA 机房最小有效使用面积和最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目各 DSA 机房的防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.3.2 辐射安全及防护措施

本项目 DSA 和移动 CT 装置污染因子主要为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

（1）设备固有安全性

1) DSA

本项目 DSA 射线装置拟购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，仪器本身具备多种安全防护措施。

- ①具有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射；
- ②采取栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉和余辉，起到消除软 X 射线，提高有用射线品质并减少脉冲宽度；
- ③采取光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适的过滤板，以此消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱；
- ④采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，可减少透视剂量；

⑤采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射；

⑥透视开关为常断式，并配有透视限时装置；机房内具有工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

⑦配备相应的表征剂量的指示装置：配备有相应的表征剂量的指示装置，当机房内出现超剂量照射时会出现报警提醒。

⑧急停按钮：介入手术床旁设置急停按钮（各开关串联并与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停按钮，可停止 X 射线系统出束，并在急停按钮旁设置醒目的中文提示。

2) 移动 CT

本项目复合手术室移动 CT 拟采取多种固有安全防护措施：

①移动 CT 购置于正规厂家，为合格出厂的射线装置，各项功能的输出剂量满足相关标准要求。

②有接收器，接收器有一定的屏蔽作用，能降低有用射线的影响。

③CT 定位光精度、厚度偏差、CT 值线性、高对比分辨力、低对比可探测能力、诊断床定位精度、扫描架倾角等各项指标的满足 WS519 要求。

④急停按钮，控制台上、射线装置旁设置急停按钮（各开关串联并与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停按钮，可停止 X 射线系统出束，并在急停按钮旁设置醒目的中文提示。

（3）其他辐射安全防护措施

①本项目各机房设有观察窗和双向交流对讲系统各 1 套，观察窗位置能够观察到受检者状态及防护门开闭情况，控制室的工作人员可以实时通过对讲机与机房内的手术人员联系。

②机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

③机房拟设置动力通风装置，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。

④机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“射线有害，灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警

告标志。

⑤机房患者进出防护门为电动推拉式门，工作人员、污物进出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；设有门-灯联锁装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

⑥受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。

⑦控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

⑧机房患者进出防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。

⑨拟为本项目所有辐射工作人员配备个人剂量计，手术医护人员每人配备2枚个人剂量计，技师每人配备1枚个人剂量计。医院已配备1台X- γ 辐射剂量率巡检仪可对机房周围辐射水平进行自行监测。

⑩机房控制室内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换减影和透视功能的控制键。

本项目各DSA机房其他辐射防护措施与《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)符合性分析见表10.1-28。

表 10.1-28 本项目各DSA机房其他辐射安全和防护措施符合性分析

| 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)要求 | 本项目拟配置情况 | 是否符合 |
|---|--|------|
| 6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。 | 本项目各机房设有观察窗，观察窗位置能够观察到受检者状态及防护门开闭情况。 | 符合 |
| 6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。 | 机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。 | 符合 |
| 6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。 | 本项目各机房拟设置动力通风装置进行通排风，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。 | 符合 |
| 6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。 | 本项目各机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“射线有害，灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。 | 符合 |
| 6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。 6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。 | 各机房患者进出防护门为电动推拉式门；DSA机房1工作人员、污物进出机房防护门为平开式门；DSA机房2和复合手术室工作人员进出机房防护门为电动推拉式门，污物进出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置 | 符合 |

| | | |
|---|---|----|
| | 有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；设有门-灯联锁装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。 | |
| 6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。 | 本项目受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。 | 符合 |

(5) 个人防护用品和辅助防护用品

本项目介入科各机房应配置相应的个人防护用品与辅助防护设施，其配置需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，具体见表 10.1-29。

表 10.1-29 本项目单间机房拟配置的个人防护用品和辅助防护设施与标准对照表

| 机房名称 | 人员类型 | 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 要求 | | 本项目单间机房拟配置情况 | | 符合情况 |
|--|----------|---|---|--|---|------|
| | | 个人防护用品 | 辅助防护设施 | 个人防护用品 | 辅助防护设施 | |
| DSA 机房 1、 DSA 机房 2、 DSA 复合 手术 室 | 工作 人员 | 铅橡胶围裙、铅 橡胶颈套、铅防 护眼镜、介入防 护手套； 选配：铅橡胶帽 子 | 铅悬挂防护屏/ 铅防护吊帘、 床侧防护帘/床 侧防护屏； 选配：移动铅 防护屏风 | 防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶围 裙、铅橡胶颈套、铅 防护眼镜 2 套，防护 铅当量不低于 0.025mmPb 的介入防 护手套 2 套 | 防护铅当量为 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏/ 铅防护吊帘、 床侧防护帘各 1 件 | 符合 |
| | 受检 者 | 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 | — | 防护铅当量为 0.5mmPb 的方巾 1 套， 防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶颈 套、铅橡胶帽子含儿 童、成人尺寸各 1 套 | — | 符合 |

注：1. “—”表示不做要求；

由表 10.1-29 可知，本项目各机房拟配置的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

(6) 管线穿墙设计及屏蔽补偿

①风管穿墙设计及屏蔽补偿

本项目各 DSA 机房拟采用洁净通风系统进行机械通风，进风口及排放口均设置于机房吊顶，排风管线穿墙部分拟采用 4mm 厚铅皮覆盖管道表面，防止射线泄漏，满足机房屏蔽要求。排风管线穿过屏蔽墙的防护措施见图 10.1-4。

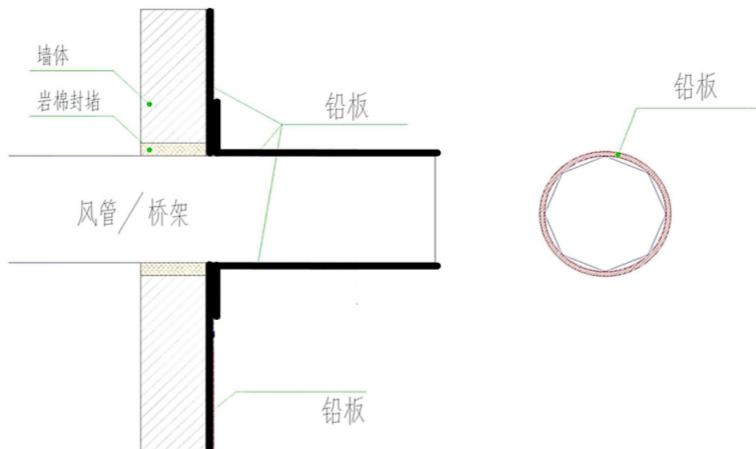


图 10.1-4 风管穿墙屏蔽补偿示意图

②电缆管线穿墙设计及屏蔽补偿

本项目各机房通向设备间与控制室电缆拟采用下沉穿越的穿墙方式，通过地面下沉电缆沟穿出机房，电缆通过设备间和控制室的出线口穿出，电缆沟穿墙部分覆盖 4.0mm 铅板的方式穿过机房与设备间和控制室之间的防护墙，以防止射线泄漏。电缆沟屏蔽防护示意图见图 10.1-5。

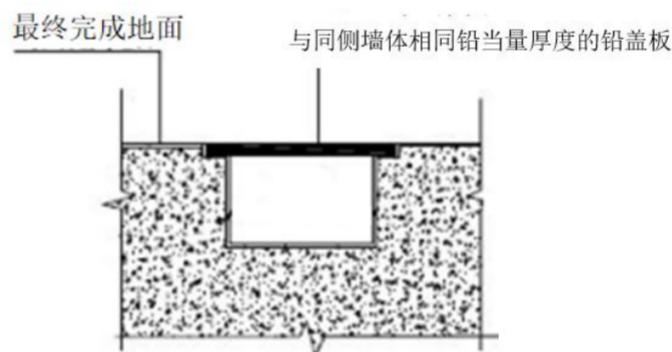


图 10.1-5 电缆管线穿墙屏蔽补偿示意图

(7) 辐射工作场所安防措施

为确保本项目辐射工作场所的使用安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10.1-30。

表 10.1-30 各机房拟采取的安全保卫措施

| 工作场所 | 措施类别 | 对应措施 |
|--------------------------------|---------------|--|
| DSA 机房 1、DSA 机房 2、DSA 复合手术室 | 防盗、防抢和 防破坏 | ①本项目各机房将纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②工作场所安装监控系统实行 24h 实时监控； ③DSA 和 CT 射线装置将安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案； ④射线装置机房和邻近房间禁止存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。 |
| | 防泄漏 | ①本项目拟新购使用 3 台 DSA 和 1 台 CT，型号未定，设备各项安全措施齐备；设置有不同的联锁装置确保运行过程中的辐射泄漏； |

| | |
|--|---|
| | ②本项目射线装置工作场所将按照有关规范要求进行辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房不存在辐射泄漏的情况。 |
|--|---|

10.2 三废的治理

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废气、放射性废水和固体放射性废物，医院拟采取以下“三废”治理措施。

10.2.1.1 放射性废气

本项目核医学科场所共设有4套排风管道，1号管道单独连接注射室手套箱，设计使用总排风量为1000m³/h的排风机，排放风速不低于0.5m/s；2号管道单独连接给碘室手套箱，设计使用总排风量为1000m³/h的排风机，排放风速不低于0.5m/s；3号管道单独连接废物间，设计使用总排风量为500m³/h的排风机；4号管道单独连接注射室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、候诊室和留观室等区域，设计使用总排风量为4000m³/h的排风机。核医学科4套排风管道均通过排风井分别引至医技住院综合楼（地上17层，排放高度约72.8m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置，平均每半年更换一次。本项目排风管线图见附图3-15。

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）6.3密闭和通风要求，本项目核医学科废气处理措施符合性分析见表10.2-1。

表 10.2-1 核医学科符合性分析表

| 序号 | 标准要求 | 本项目分析 | 符合性 |
|----|---|---|-----|
| 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。 | 核医学科共设有4套排风管道，4套排风管道均通过排风井分别引至医技住院综合楼（地上17层，排放高度约72.8m）楼顶高出屋脊排放。 | 符合 |
| 2 | 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。 | 1号管道单独连接注射室手套箱，设计使用总排风量为1000m ³ /h的排风机，排放风速不低于0.5m/s；2号管道单独连接给碘室手套箱，设计使用总排风量为1000m ³ /h的排风机，排放风速不低于0.5m/s。排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶部和排风口均设活性炭吸附装置。 | 符合 |
| 3 | 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物 | 本项目核医学科场所产生的废气经由排风井内密闭管道排至医技住院综合楼楼顶，并远离邻近的高层建筑排放。 | 符合 |

| | |
|------------------|--|
| 屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。 | |
|------------------|--|

10.2.1.2 放射性废水

本项目核医学科产生的放射性废水包括：工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水以及给药后患者等候、留观时产生的废水。放射性废水通过独立下水管道统一接入衰变池中衰变后排入医院污水处理站，本项目新建衰变池位于医技住院综合楼地下一层西北角，为成品不锈钢衰变池。衰变池组位置见附图 3-4，衰变池组平面布置见图 10.2-1，剖面图见图 10.2-2。

（1）核医学放射性废水收集管线

核医学科患者产生的废水主要在候诊和留观时产生，工作台面、地面去污时产生的放射性废水以及工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水主要在卫生通过间产生，上述区域产生的放射性废水涉及核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，废水经管道引至真空排水机房，由真空排水主机抽至医技住院综合楼地下一层衰变池组中。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）要求，经衰变池暂存超过 180 天后可以直接解控排入医院污水处理站处理。核医学科放射性废水管线走向见附图 3-15。

放射性废水排放时应在台账上详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀，并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道裸露部分拟采用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。

（2）衰变池设计

本项目衰变池组由 4 个并联衰变池组成，交替使用，新增衰变池均为成品不锈钢衰变池，材质均为底板、侧板 2.5mm 厚和顶板 2.0mm 厚 304 不锈钢，单个衰变池尺寸为 5.0m×2.5m×3.5m，单个衰变池有效容积为 40m³，总容积为 160m³。衰变池安装前做防渗和压力试验，确保池体不渗漏。

衰变池组前端设置 2 个多功能一体化生化池，交替使用，后端设置 1 个集水井，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。运行时先关闭第二、三、四池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三、四池；待第四池达到设计液位后，关闭第四池进水管上的电磁阀，打

开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理，经处理达标后纳入市政污水管网。

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：

- ①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，应有防水、防渗和防漏的措施；
- ②规定患者诊断期间使用专用厕所，不得使用其他厕所；
- ③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；
- ④衰变池末端设置标准取样检测口，以方便取样检测；
- ⑤衰变池间周边设置栅栏，并设置电离辐射警告标志和中文警示说明。
- ⑥设置专人管理放射性废水的暂存和处理，并建立放射性废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

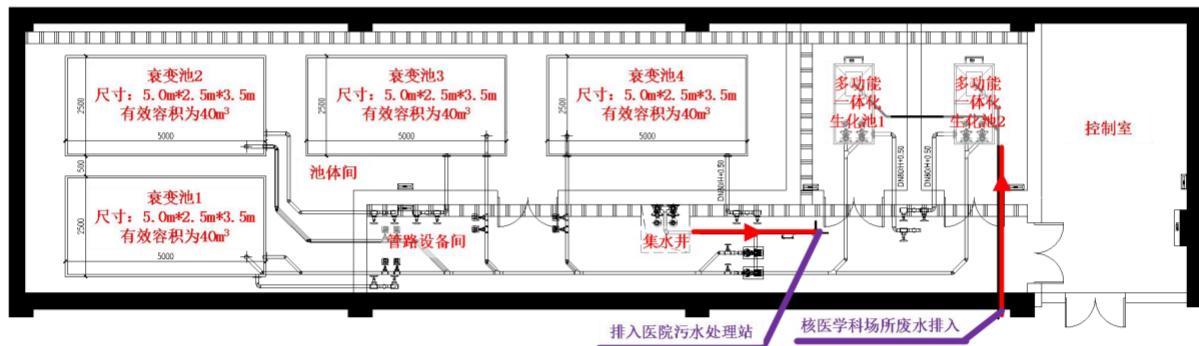


图 10.2-1 衰变池组平面布置图



图 10.2-2 衰变池组剖面图

(3) 衰变池容量可行性分析

本项目核医学科放射性废液主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。根据 9.3.1.1 核医学科污染源项分析可知，核医学科场所以产生的放射性废水量为 $4.325\text{m}^3/\text{周}$ ， $216.25\text{m}^3/\text{a}$ 。

核医学科放射性废水涉及核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20号) 要求，经衰变池暂存超过 180 天后可以直接解控排入医院污水处理站处理。

核医学科衰变池组由 4 个并联衰变池组成，交替使用，单个衰变池有效容积为 40m^3 ，则第 1 个衰变池最后进入的废水存储时间为： $40\text{m}^3 \times 3 \div 4.325\text{m}^3/\text{周} \approx 27.74$ 周（即约 194 天，为第 4 个衰变池注满的时间），放射性废水可以在衰变池组内暂存 194 天，可满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 放射性废水暂存要求。因此，衰变池内放射性废水暂存 194 天后可直接解控排入医院污水处理系统进一步处理。

10.2.1.3 固体放射性废物

本项目核医学科运行过程会产生废弃的一次性注射器、针头、杯子、手套、药棉、纱布、破碎杯皿及擦拭污染地面的物品和废活性炭等固体放射性废物。医院拟将上述固体放射性废物收集于核医学科铅桶内专用塑料包装袋，包装袋、废物桶显著位置要标明废物所含核素的名称、种类、收贮时间及数量等内容，做好台账记录。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg 。专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物间的废物衰变箱中，废物衰变箱采用铅屏蔽防护。含核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{188}Re 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过十个半衰期；含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$, β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$, 可对废物清洁解控并作为医疗废物处置。医院应建立固体废物排放台账, 每次固体废物排放应详细记录固体废物排放量、固体废物种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数, 并存档备查。

医院在院区西侧设有医疗废物暂存间, 医疗废物暂存间建筑面积为 58.42m^2 , 贮存能力约为 6t, 本项目核医学科固体放射性废物年产生量为 1325kg。因此, 医疗废物暂存间设置能够满足本项目固体废物贮存需求。

医疗废物暂存间地面与裙角使用防渗材料建造, 房间内设有泄漏液体收集装置, 危废容器存放处地面做硬化, 裙角做堵截泄漏设计, 地面整体做防渗处理, 液体危险废物下方设置托盘。不同种类危险废物进行分类分区管理, 设置有相应的标识牌和警示牌。医疗废物暂存间有相应的台账记录和责任人, 手工台账在医疗废物暂存间留存, 电子台账实时更新与纸质台账本相符。医疗垃圾暂存点与医疗废物暂存间设置能基本满足“四防”（防风、防雨、防晒、防渗漏）要求, 满足《医疗废物管理条例》（中华人民共和国国务院令第 380 号）、《医疗卫生机构医疗废物管理办法》（中华人民共和国卫生部令第 36 号）、《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB39707-2020）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的相关要求。

PET/CT更换校准源产生废旧放射源, 根据相关法律法规要求, 应返回放射源生产厂家或原出口方, 确定无法交回生产单位或者返回原出口方的, 送交有相应资质的单位收贮, 并承担相关费用。医院应当在退役放射源交回、返回或者送交活动完成之日起 20 日内, 向其所在地省级生态环境主管部门备案。

10.2.2 放疗科

10.2.2.1 废气

本项目直线加速器机房设有强制排风系统（排风和新风管线图见附图 3-18）, 采取全排全送的通风方式。臭氧密度大于空气平均密度, 因此, 排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处, 风管底部（吸风口）离地 30cm, 进风口和排风口对角设置, 上进风, 下排风, 排风管再沿墙体向内壁向上接近顶板处, 排风口未设置在有门、窗或人口流动较大的过道等位置, 产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。风管拟以“U”字型穿墙。机房内排风量为 $2000\text{m}^3/\text{h}$, 直线加速器机房有效容积约 436m^3 , 通风换气次数不小于 4.5 次/h, 能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射

治疗室换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

10.2.2.2 废水

直线加速器运行过程中不产生放射性废水。

10.2.2.3 固体废物

直线加速器正常运行时，无废靶件产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶件。此外，直线加速器报废时，会有废靶件产生。对于更换下来的废靶件和退役时拆卸下来的废靶件，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶件等组件进行监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般固体废物处置，并做好存档记录；若监测异常，应先在屏蔽容器内暂存，然后委托具有固体放射性废物收贮资质的单位收贮。

10.2.3 介入科

本项目运营期 DSA 和 CT 射线装置无放射性废气、废水、固体废物产生，仅在曝光过程产生少量臭氧和氮氧化物，介入手术过程产生少量废药棉、废纱布、废手套、废试剂瓶等医疗废物，器械清洗废水和医护手部清洗废水。

10.2.3.1 废气

本项目 DSA 机房和复合手术室均设有动力通风装置，进风口和排风口均位于机房吊顶处，管道布设于机房吊顶处，臭氧和氮氧化物最终经排风管道引至室外，能够保证机房内有效地通风换气，设置情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.4.3 款“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，对周围环境影响较小。

10.2.3.2 废水

本项目 DSA 和 CT 采用数字成像，无废显影液、定影液产生。介入手术产生的器械清洗废水、医护手部清洗废水以及医护人员产生的生活污水依托医院污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准要求后，纳入市政污水管网集中处理。

10.2.3.3 固体废物

介入手术产生的医疗废物待手术结束后收集至本楼层污物间暂存，定期移至医院在建医疗废物暂存间，并委托医疗废物处置单位进行处置；医护人员产生的生活垃圾分类收集后委托当地环卫部门定期清运处理。

按照《浙江省辐射环境管理办法》要求：本项目 DSA、移动 CT、PET/CT、SPECT/CT 和模拟定位 CT 射线装置报废时，建设单位应对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销。

10.2.4 噪声

本项目核医学科场所以及放疗科和介入科各机房通风设备拟选用低噪声设备，通风设备设置于室内并设置隔声罩，排风管设置微穿孔消声器，风管与风机软连接，排风口设置防雨百叶窗，项目通风设备经墙体隔声、距离衰减后，对医院场界噪声贡献值很小，运行期间场界噪声可达到相关标准要求。

10.3 环保措施及其投资估算

本项目总投资预计为 6000 万元，其中环保投资 830 万元，占总投资的 13.83%，详见表 10.3-1。

表 10.3-1 本项目环保投资估算一览表

| 工作场所 | 类别 | 环保设施措施 | 金额(万元) |
|------|---------|---|-----------|
| 核医学科 | 辐射屏蔽措施 | 核医学科实体屏蔽防护，包括墙体、顶棚、地坪防护涂料防护、铅门、铅玻璃等购买及安装施工。详见表 10.1-12 | 150 |
| | 安全装置 | 核医学科控制区各房间防护门外设置电离辐射警告标志；监督区和控制区入口处设置明显的标识；候诊区设置放射防护注意事项告知栏 | 0.3 |
| | | PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房各设置门灯联锁、工作状态指示灯以及在控制台上和诊断床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮 | 5.0 |
| | | 工作场所内对讲装置和视频监控 | 2.0 |
| | | 患者进出设置专用通道，防护门均为单向门禁，并在工作场所内设置路线指引 | 0.5 |
| | 防护用品和设备 | 核医学科工作场所建议按照表 10.1-15 配置防护用品和设备 | 25 |
| | 其他 | 核医学科控制区地面采用易清洗且不易渗透材料等 | 5.0 |
| | 废气处理 | 核医学科共设置 4 套排风系统，4 套排风管道均通过排风井分别引至医技住院综合楼（地上 17 层，排放高度约 72.8m）楼顶高出屋脊排放。手套箱的顶壁安装活性炭，排风口处设置活性炭装置，活性炭每半年由厂家更换一次 | 50 |
| | 废水处理 | 设置衰变池组，由 4 个并联衰变池组成，单个衰变池有效容积为 40m ³ ，总容积为 160m ³ ，放射性废水管道裸露部分应采用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记 | 100 |
| | 固废处理 | 注射室、给碘室和废物间区域设置铅桶和废物衰变箱 | 计入防护用品和设备 |
| | 噪声处理 | 选用低噪声设备，设置隔声罩和消声器 | 5.0 |

| | | | | |
|------|---------|-------------------|--|------|
| 放疗科 | 辐射屏蔽措施 | | 直线加速器机房和 CT 模拟定位机机房实体屏蔽防护，包括墙体、顶棚、地坪防护涂料防护、铅门、铅玻璃等购买及安装施工。详见表 10.1-18 和表 10.1-19 | 200 |
| | 安全装置 | | 各机房设置门灯联锁、工作状态指示灯以及在控制台上和诊断床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮等安全设施 | 10.0 |
| | | | 机房入口处设电离辐射警告标志；监督区和控制区入口处设置明显的标识；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏 | 0.3 |
| | | | 各机房设置双向对讲装置和视频监控 | 2.0 |
| | 防护用品和设备 | | 工作场所建议按照图 10.1-1 和表 10.1-22 配置防护用品和设备 | 15 |
| | 废气处理 | | 各机房设置通排风装置 | 35 |
| | 固废处理 | | 与有资质的单位签订废靶件处理协议 | 0.5 |
| 噪声处理 | | 选用低噪声设备，设置隔声罩和消声器 | 5.0 | |
| 介入科 | 辐射屏蔽措施 | | 各机房实体屏蔽防护，包括墙体铅板防护、顶棚、地坪防护涂料防护、铅门、铅玻璃等购买及安装施工，详见表 10.1-26 | 80 |
| | 安全装置 | | 各机房操作台和手术床旁“急停开关”装置；各机房控制室内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换减影和透视功能的控制键；诊断床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮等安全设施 | 10.0 |
| | | | 各机房入口处设电离辐射警告标志；监督区和控制区入口处设置明显的标识；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏 | 0.3 |
| | | | 各机房设置双向对讲装置和视频监控 | 2.0 |
| | 防护用品 | | 各机房建议按照表 10.1-29 配置防护用品和设备 | 15 |
| | 废气处理 | | 各机房设置通排风装置 | 20 |
| | 固废处理 | | 依托医院现有医疗废物暂存间 | / |
| 噪声处理 | | 选用低噪声设备，设置隔声罩和消声器 | 5.0 | |
| 其他 | 人员配备 | 辐射防护与安全培训和考核 | 组织新增辐射工作人员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培训学习，考核合格后上岗，并定期组织再培训 | 5.0 |
| | | 个人剂量监测和职业健康监护 | 组织辐射工作人员定期健康检查，定期进行个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案 | |
| | 制度上墙 | | 辐射工作制度、操作规程、岗位职责、设备检维修制度、辐射事故应急制度等 | 0.1 |
| | 监测仪器 | | 建议按照表 12-1 配置监测仪器 | 50 |
| | 环境监测 | | 委托第三方机构常规监测和自主环境保护竣工验收监测 | 10 |
| | 运行维护 | | 监测仪器的维护、校准，安全设施的维护等 | 2.0 |
| | 辐射事故应急 | | 应急和救助的物资准备，开展辐射事件应急演练等 | 20 |
| 合计 | | | | 830 |

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

本项目主体土建工程已编制《嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程环境影响报告书》，已由嘉兴市生态环境局以嘉环（经开）建〔2024〕1号进行了批复，其评价内容包含了除辐射以外的建设内容。

有关主体工程施工期环境影响内容详见《嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程环境影响报告书》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

本项目射线装置在安装调试过程中会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物，因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X 射线将即时消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境影响很小。

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院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，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在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 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科辐射影响分析

11.2.1.1 α 、 β 表面污染环境影响分析

α 、 β 表面污染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产生放射性沾污，造成小面积的 α 和 β 表面污染。因此，医护人员执行 10.1.1.9 中的表面污染防护和管理措施后，可将 α 和 β 表面污染水平降至《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关规定要求，对周围环境影响较小。

11.2.1.2 α 粒子辐射环境影响分析

本项目涉及使用的²²³Ra核素为α衰变，在衰变过程中会产生α粒子。由于α粒子的体积比较大，又带两个正电荷，很容易就可以电离其他物质。因此，它的能量亦散失得较快，穿透能力在众多电离辐射中是最弱的，人类的皮肤或一张纸已能阻隔α粒子。因此不考虑其对人体的外照射辐射影响。

11.2.1.3 β射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的⁸⁹Sr和³²P核素为纯β衰变，在衰变过程中仅产生β射线。根据《辐射防护导论》（方杰，北京，1991）P127-P128，β粒子射程公式和屏蔽厚度公式如下：

$$R=0.412E^{(1.265-0.095411nE)} \quad 0.01 < E < 2.5 \text{ MeV} \quad (\text{式 11.2-1})$$

$$R=0.53E-1.06 \quad 2.5 \leq E < 20 \text{ MeV} \quad (\text{式 11.2-2})$$

式中：

R——电子在低原子序数物质中的射程，g/cm²；

E——β粒子最大能量，MeV，本项目⁸⁹Sr为1.46MeV，³²P为1.71MeV。

$$d=R/\rho \quad (\text{式 11.2-3})$$

式中：

d——屏蔽厚度，cm；

ρ——物质密度，g/cm³。

根据式11.2-1，计算得⁸⁹Sr和³²P放出的β粒子在物质中的射程R分别为0.66g/cm²和0.79g/cm²。根据式11.2-3，计算得不同材料下屏蔽β粒子所需的厚度，计算结果见表11.2-1。

表 11.2-1 屏蔽所需的厚度

| 屏蔽材料及密度(g/cm ³) | | 水 (1) | 混凝土 (2.35) | 铅 (11.3) | 天然乳胶 (0.93) | 有机玻璃 (1.18) | 铅玻璃 (4.6) | 空气 (1.29×10 ⁻³) |
|-----------------------------|------------------|----------|---------------|-------------|----------------|----------------|--------------|--------------------------------|
| 屏蔽β粒子所需的厚度 (mm) | ⁸⁹ Sr | 6.60 | 2.81 | 0.58 | 7.10 | 5.59 | 1.44 | 5116 |
| | ³² P | 7.90 | 3.36 | 0.70 | 8.50 | 6.70 | 1.72 | 6124 |

根据表11.2-1计算可知，⁸⁹Sr和³²P产生的β射线在空气中屏蔽距离分别为5116mm，和6124mm，而本项目核医学科设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在有机玻璃中的射程最大为8.50mm，医护人员在操作过程中穿戴0.5mm铅当量的防护服，且有铅玻璃进行屏蔽，故放射性核素⁸⁹Sr和³²P产生的β射线对周围环境影响很小。

^{89}Sr 和 ^{32}P 放出的β粒子被周围物质（如盛放标记药物的有机玻璃瓶等容器）阻挡时产生的轫致辐射不可忽视。参考《辐射防护导论》P133，轫致辐射所致X辐射剂量率估算如下：

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \quad (\text{式 11.2-4})$$

式中：

H_r ——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

A ——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数，取自《辐射防护导论》表4.4，本项目有机玻璃取5.85；

E_b ——轫致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的1/3，即 $E_b=E_{\max}/3$ ，MeV，本项目 ^{89}Sr 取0.487MeV， ^{32}P 取0.570MeV；

r ——参考点与屏蔽层的距离，m；

μ_{en}/ρ ——平均能量为 E_b 的轫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，本项目 ^{89}Sr 取 $2.966 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$ ， ^{32}P 取 $2.953 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$ ；

q ——参考点所在区域相应的居留因子，本项目保守取1；

η ——透射比，根据公式 $\eta=10^{-d/TVL}$ 得出（其中TVL根据《辐射防护导论》表3.5内插法得 ^{89}Sr 在铅和混凝土中分别取值：1.003cm、11.653cm， ^{32}P 在铅和混凝土中分别取值：1.239cm、12.334cm）。

本项目 ^{32}P 核素单次最大使用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ； ^{89}Sr 单次最大使用量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日最大操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。核素产生的轫致辐射剂量率情况见11.2-2。

表 11.2-2 核素产生的轫致辐射剂量率计算结果

| 序号 | 关注点 | 距离(m) | 源强(Bq) | 屏蔽厚度 | 透射比 | 辐射剂量率($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|----------|-------|------------------------------------|---------------------------|----------|----------------------------------|
| 1-1 | 南侧墙外30cm | 2.5 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+240mm实心砖+20mm硫酸钡涂料 | 2.26E-03 | 3.28E-04 |
| | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | | 4.31E-03 | |
| 1-2 | 西侧墙外30cm | 1.8 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+240mm实心砖+20mm硫酸钡涂料 | 2.26E-03 | 6.33E-04 |
| | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | | 4.31E-03 | |
| 1-3 | 北侧墙外30cm | 2.5 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+360mm实心砖+20mm硫酸钡涂料 | 4.27E-04 | 6.79E-05 |
| | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | | 8.93E-04 | |
| 1-4 | 东侧防护门 | 1.8 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+内衬4mm铅 | 4.02E-02 | 1.09E-02 |

| | | | | | | | | |
|------|-----|--|-----|------------------------------------|---------------------------------|----------|----------|--|
| | | 外 30cm | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | 板 | 7.41E-02 | | |
| 1-5 | | 顶棚正上方 30cm | 3.9 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+200mm混凝土+20mm硫酸钡涂料 | 1.21E-03 | 7.47E-05 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | | 2.39E-03 | | |
| 1-6 | | 楼下距地面 1.7m | 3.9 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+200mm混凝土+20mm硫酸钡涂料 | 1.21E-03 | 7.47E-05 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | | 2.39E-03 | | |
| 2-1 | 废物间 | 东侧墙外 30cm | 2.1 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^6$ | 20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 2.27E-04 | 5.31E-07 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^7$ | | 6.72E-04 | | |
| 2-2 | | 南侧墙外 30cm | 1.6 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^6$ | 20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 2.27E-04 | 9.15E-07 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^7$ | | 6.72E-04 | | |
| 2-3 | | 北侧墙外 30cm | 1.6 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^6$ | 20mmPb 衰变箱+360mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 4.30E-05 | 1.89E-07 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^7$ | | 1.39E-04 | | |
| 2-4 | | 南侧防护门 外 30cm | 1.6 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^6$ | 20mmPb 衰变箱+内衬 4mm 铅板 | 4.05E-03 | 1.58E-05 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^7$ | | 1.16E-02 | | |
| 2-5 | | 顶棚正上方 30cm | 3.9 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^6$ | 20mmPb 衰变箱+200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 1.22E-04 | 8.55E-08 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^7$ | | 3.73E-04 | | |
| 2-5 | | 楼下距地面 1.7m | 3.9 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^6$ | 20mmPb 衰变箱+200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 1.22E-04 | 8.55E-08 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^7$ | | 3.73E-04 | | |
| 2-8 | | 废物衰变箱 (^{89}Sr 、 ^{32}P) 表面 30cm 处 | 0.8 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^6$ | 20mmPb 衰变箱 | 1.01E-02 | 1.81E-04 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^7$ | 20mmPb 衰变箱 | 2.43E-02 | | |
| 3-1 | 注射室 | 手套箱取药 位 | 0.5 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+40mmPb手 套箱 | 1.04E-05 | 1.75E-04 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | | 9.21E-05 | | |
| 3-2 | | 手套箱取侧 面 | 0.5 | $^{89}\text{Sr } 9.25 \times 10^8$ | 10mm铅罐+20mmPb手 套箱 | 1.02E-03 | 7.21E-03 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 1.85 \times 10^9$ | | 3.79E-03 | | |
| 3-3 | | 89Sr注射位 | 0.5 | $^{89}\text{Sr } 1.85 \times 10^8$ | 注射窗 20mmPb | 1.01E-02 | 1.41E-09 | |
| 3-3 | | 32P注射位 | 0.5 | $^{32}\text{P } 3.7 \times 10^8$ | | 2.43E-02 | 9.24E-03 | |
| 3-5 | | 南侧墙外 30cm | 3.5 | $^{89}\text{Sr } 1.85 \times 10^8$ | 240mm实心砖+40mm硫 酸钡涂料 | 1.40E-02 | 5.04E-06 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 3.7 \times 10^8$ | | 1.77E-02 | | |
| 3-6 | | 西侧墙外 30cm | 3.3 | $^{89}\text{Sr } 1.85 \times 10^8$ | 240mm实心砖+40mm硫 酸钡涂料 | 1.40E-02 | 5.67E-06 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 3.7 \times 10^8$ | | 1.77E-02 | | |
| 3-7 | | 北侧墙外 30cm | 3.5 | $^{89}\text{Sr } 1.85 \times 10^8$ | 240mm实心砖+40mm硫 酸钡涂料 | 1.40E-02 | 5.04E-06 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 3.7 \times 10^8$ | | 1.77E-02 | | |
| 3-8 | | 东侧防护门 外 30cm | 3.3 | $^{89}\text{Sr } 1.85 \times 10^8$ | 内衬 6mm铅板 | 2.52E-01 | 1.43E-02 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 3.7 \times 10^8$ | | 3.28E-01 | | |
| 3-9 | | 南侧防护门 外 30cm | 3.5 | $^{89}\text{Sr } 1.85 \times 10^8$ | 内衬 6mm铅板 | 2.52E-01 | 1.27E-02 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 3.7 \times 10^8$ | | 3.28E-01 | | |
| 3-10 | | 西侧防护门 外 30cm | 3.3 | $^{89}\text{Sr } 1.85 \times 10^8$ | 内衬 6mm铅板 | 2.52E-01 | 1.43E-02 | |
| | | | | $^{32}\text{P } 3.7 \times 10^8$ | | 3.28E-01 | | |

| | | | | | | |
|------|--------------------------------------|-----|-------------------------------------|--------------------|----------|----------|
| 3-11 | 顶棚正上方 30cm | 3.9 | ^{89}Sr 1.85×10^8 | 200mm混凝土+20mm硫酸钡涂料 | 1.20E-02 | 3.51E-06 |
| | | | ^{32}P 3.7×10^8 | | 1.53E-02 | |
| 3-12 | 楼下距地面 1.7m | 3.9 | ^{89}Sr 1.85×10^8 | 200mm混凝土+20mm硫酸钡涂料 | 1.20E-02 | 3.51E-06 |
| | | | ^{32}P 3.7×10^8 | | 1.53E-02 | |
| 3-13 | 铅桶 (^{89}Sr) 表面 30cm 处 | 0.6 | ^{89}Sr 1.85×10^6 | 10mmPb铅桶 | 1.01E-01 | 4.89E-08 |
| | 铅桶 (^{32}P) 表 面 30cm 处 | 0.6 | ^{32}P 3.7×10^6 | 10mmPb铅桶 | 1.56E-01 | 2.06E-01 |

注：①由于无硫酸钡涂料、实心砖和轻质砖的什值层参数，因此硫酸钡涂料和实心砖防护效果根据混凝土按密度进行折算，折算公式为 $d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1$ ，混凝土密度为 2.35g/cm^3 ，硫酸钡水泥密度为 2.79g/cm^3 ，实心砖密度为 1.65g/cm^3 ，即 20mm 硫酸钡水泥折算为 23.74mm 混凝土、40mm 硫酸钡水泥折算为 47.49mm 混凝土、240mm 实心砖折算为 168.51mm 混凝土和 360mm 实心砖折算为 252.77mm 混凝土。

由表 11.2-2 估算结果可知，本项目核素产生的轫致辐射所致的屏蔽体外周围剂量当量率最大值为 $2.06 \times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准中“实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内人员居留因子小于 $1/2$ 的场所周围剂量当量率小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱其他面周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，铅桶、废物衰变箱表面 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，因此，对周围辐射环境影响较小。

11.2.1.4 γ 射线辐射环境影响分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作和给病人注射放射性核素，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。当病人注射了放射性药物之后，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。

(1) 工作场所屏蔽体外剂量率计算公式

核医学科场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算见下式。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots \dots \dots \quad (\text{式 11.2-5})$$

式中：

H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

X——屏蔽厚度，单位为 mm；

TVL—— γ 射线的十分之一值层厚度，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 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

R——参考点与放射源间的距离, m。

表 11.2-3 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 | ^{18}F | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | ^{131}I | ^{188}Re | ^{223}Ra |
|--|-----------------|--------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 铅什值层厚度 mm ($\rho=11.3\text{g/cm}^3$) | 16.6 | 1 | 11 | 3 | 8.27 |
| 混凝土什值层厚度 mm ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) | 176 | 110 | 170 | 120 | 166 |
| 砖什值层厚度 mm ($\rho=1.65\text{g/cm}^3$) | 263 | 160 | 240 | 171 | 236 |
| 周围剂量当量率常数(裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{(h}\cdot\text{MBq)}$ | 0.143 | 0.0303 | 0.0595 | / | 0.013 |
| 患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{(h}\cdot\text{MBq)}$ | 0.092 | 0.0207 | 0.0583 | 0.0069 | / |

注: ① ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I TVL 来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 表 I.1, ^{188}Re 和 ^{223}Ra TVL 取值参考《辐射防护手册第三分册》(潘自强主编) 中的图 2.16 几种常用屏蔽材料对宽束 γ 射线的半值层和十分之一值层厚度;

② ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 表 H.1, ^{223}Ra 周围剂量当量率常数来源于《辐射防护手册》(第一分册) 经单位换算得到;

③ ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 和 ^{188}Re 患者体外 1m 处的周围剂量当量率来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 表 L.1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 附录 A 选取, 具体数值见表 11.2-4。

表 11.2-4 不同场所的居留因子一览表

| 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 |
| 部分停留 | 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 |
| 偶然停留 | 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) 工作场所 γ 射线辐射水平分析及预测

甲状腺吸碘率测定 ^{131}I 用量较小, 单个病人最大用量仅为 $5\mu\text{Ci}$, 对环境影响较小。因此, 甲状腺吸碘率测定主要考虑甲测室的辐射影响分析。

1) 储源室

医院根据与患者预约情况向药物供应商订货, 由药物供应商将药物放置于铅罐, 放射性药物置于铅罐内送至储源室。其中 ^{18}F 使用 50mmPb 铅罐、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{223}Ra 和 ^{188}Re 使用 20mmPb 铅罐、 ^{131}I 使用 40mmPb 铅罐, 核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 储存源强分别为 $2.78\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 $2.96\times 10^{10}\text{Bq}$ (备药量)、 $3.70\times 10^9\text{Bq}$ 、 $1.85\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 $5.55\times 10^7\text{Bq}$ 。

2) 废物间

本项目核医学科为方便固体放射性废物收集，设置 1 间废物间，位于储源室东侧，本次评价保守按照所有固体放射性废物集中收集至废物间进行预测分析。废物间设有 3 个 20mmPb 的废物衰变箱，一个暂存含核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{188}Re 的固体放射性废物，一个暂存含核素 ^{131}I 的固体放射性废物，一个暂存含核素 ^{223}Ra 的固体放射性废物，暂存间内废物衰变箱半径取 0.5m，源强保守按日最大用量 1% 转移至废物衰变箱中考虑，即核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 源强分别为 $2.78 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $7.40 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $3.70 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ 和 $5.55 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

3) 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。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 不开展分装， ^{18}F 根据病人的需要采用手动分装，分装测活操作时源强以实际日最大操作量计，即核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 操作时源强分别为 $2.78 \times 10^{10} \text{Bq}$ 、 $2.96 \times 10^{10} \text{Bq}$ （备药量）、 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ 、 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 分装测活后放入注射器防护套内，在 PET/SPECT 注射窗为患者注射，给药过程源强以单次给药最大量计，即核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 给药操作时源强分别为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ 和 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

PET/CT 诊断患者 (^{18}F) 注射时，药物置于 10mmPb 注射器防护套内，工作人员在 40mmPb 铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。

SPECT/CT 诊断患者 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 注射时，药物置于 4mmPb 注射器防护套内，工作人员在 20mmPb 铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。

^{188}Re 和 ^{223}Ra 治疗患者注射时，药物置于 4mmPb 注射器防护套内，工作人员在 20mmPb 铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。

注射室设置 20mmPb 的铅桶用于暂存含核素 ^{18}F 的固体放射性废物，设置 5mmPb 的铅桶用于暂存含核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物，设置 10mmPb 的铅桶用于暂存含核素 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 的固体放射性废物，每日工作结束后转移至废物间的废物衰变箱进行衰变，铅桶半径约为 0.3m，单个铅桶源强保守按日最大用量 1% 转移至废物衰变桶中考虑，即单个铅桶源强分别为 ^{18}F $7.40 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ $2.78 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 ^{188}Re $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ 和 ^{223}Ra $5.55 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

4) 给碘室

医护人员将装有药物 (^{131}I) 的铅罐放在给碘室手套箱内的自动分碘仪，通过电脑控

制系统远程遥控操作自动分碘仪自动分装药物，源强以实际日最大操作量计，即核素¹³¹I分装操作时源强为 $3.70\times10^9\text{Bq}$ 。

给碘室设置有10mmPb的铅桶用于暂存含核素¹³¹I的固体放射性废物，铅桶半径约为0.3m，铅桶源强保守按日最大用量1%转移至废物衰变桶中考虑，即铅桶源强为¹³¹I $3.70\times10^7\text{Bq}$ 。

服药过程源强以单次给药最大量计，即核素¹³¹I服药操作时源强为 $3.70\times10^8\text{Bq}$ 。

5) 运动/抢救室

作为运动室时，存在使用^{99m}Tc的患者；作为抢救室时，患者在显像诊断和治疗过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。因此，运动/抢救室可能存在使用各个核素的患者，以照射量常数及什值层厚度最大的核素¹⁸F进行估算，故按单个患者 $3.7\times10^8\text{Bq}$ 点源计算。抢救过程工作人员穿着0.5mmPb当量的铅橡胶围裙，按身体距离患者约0.5m进行估算。

6) 注射后候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房和留观室

PET/CT、SPECT/CT显像诊断患者注射完放射性药物后，经患者通道进入对应的候诊室，等候时间一般为30min，随后进入相应机房进行显像和诊断；诊断患者结束检查后经患者通道进入留观室，留观时间一般为10min，无特殊情况发生则由患者通道离开核医学科。

本项目核医学科拟设置2间PET/CT注射后候诊室，单个候诊室设置2张候诊座位，座位均匀分布，每间候诊室均设置有10mmPb的铅防护屏风1个。PET/CT每次仅能扫描一个患者，患者注射¹⁸F药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.70\times10^8\text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者 $3.70\times10^8\text{Bq}$ 的点源计算。候诊室按2个¹⁸F扫描患者同时等待计，单个患者注射¹⁸F为 $3.70\times10^8\text{Bq}$ ，则每间候诊室源强总活度为 $7.40\times10^8\text{Bq}$ 。

本项目核医学科拟设置1间SPECT/CT候诊室，候诊室设置4张候诊座位，座位均匀分布，设置4mmPb铅防护屏风3个。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 $9.25\times10^8\text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25\times10^8\text{Bq}$ 的点源计算。候诊室按4个^{99m}Tc扫描患者同时等待计，单个患者注射^{99m}Tc为 $9.25\times10^8\text{Bq}$ ，则SPECT/CT候诊室源强总活度为 $3.7\times10^9\text{Bq}$ 。

本项目核医学科拟设置1间留观室，为单人留观室，患者扫描后如有需要在留观室进行观察。因此，留观室可能存在各个核素的患者留观，以照射量常数及什值层厚度最

大的核素¹⁸F进行估算，故按单个患者 3.7×10^8 Bq点源计算。

摆位过程工作人员穿着0.5mmPb当量的铅橡胶围裙，在防护屏风（PET/CT机房为10mm铅当量，SPECT/CT机房4mm铅当量）后进行摆位工作，按身体距离患者约1m进行估算。

7) 甲测室和¹³¹I留观室

甲测患者经医护人员指示后进入甲测室进行甲功能测定，同一时间甲测室内仅存在一名患者，保守按单个患者 1.85×10^5 Bq计算，则甲测室源强总活度为 1.85×10^5 Bq。

甲亢患者服碘后在医生的语音指导下在¹³¹I留观室短暂留观，同一时间留观室内仅存在一名患者，保守按单个患者 3.70×10^8 Bq计算，则¹³¹I留观室源强总活度为 3.70×10^8 Bq。

根据式11.2-5，拟建核医学科关注点位置见图11.2-1，辐射剂量率计算结果见表11.2-5。

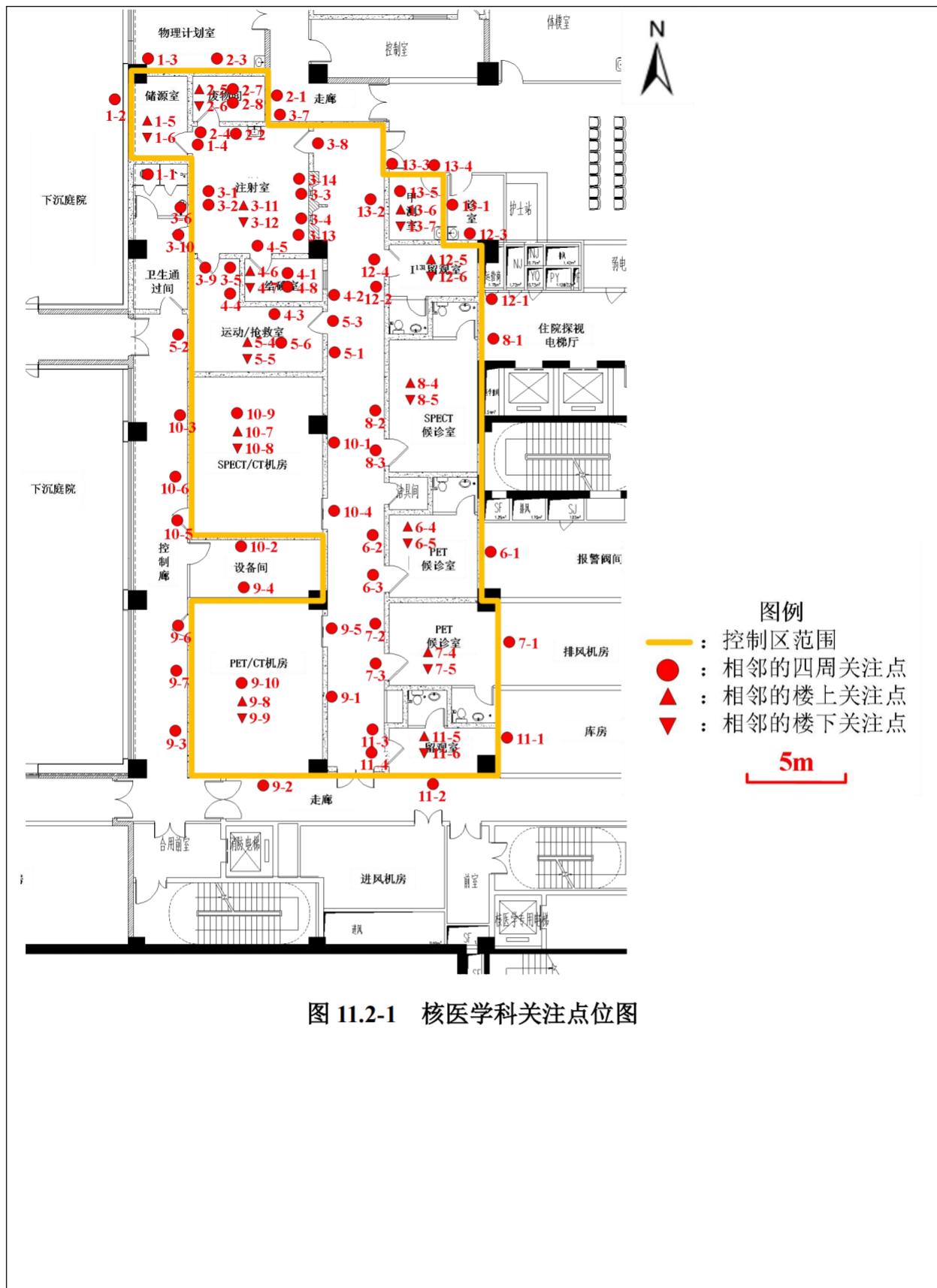


图 11.2-1 核医学科关注点位图

表 11.2-5 核医学科工作场所关注点 γ 辐射剂量率预测结果

| 序号 | 关注点 | 预测条件 | | | 屏蔽措施 | 距离 (m) | 预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$) | | 备注 |
|-----|-----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | 核素 | 源强 (Bq) | Γ | | | 预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$) | 预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$) | |
| 1-1 | 储源室南侧墙外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 20mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | 2.5 | 2.59E-20 | 5.97E-02 | 源强取 日实际 最大操 作量 |
| | | ^{18}F | 2.96×10^{10} | 0.143 | 50mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | | 5.91E-02 | | |
| | | ^{131}I | 3.70×10^9 | 0.0595 | 40mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | | 5.90E-04 | | |
| | | ^{188}Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | 20mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.10E-07 | | |
| | | ^{223}Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | 20mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | | 3.05E-05 | | |
| 1-2 | 储源室 (裸源) | 储源室西侧墙外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 1.8 | 5.00E-20 | 1.15E-01 | 源强取 日实际 最大操 作量 |
| | | | ^{18}F | 2.96×10^{10} | 0.143 | | 1.14E-01 | | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^9 | 0.0595 | | 1.14E-03 | | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | | 2.13E-07 | | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | | 5.88E-05 | | |
| 1-3 | | 储源室北侧墙外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 2.5 | 4.61E-21 | 2.09E-02 | 源强取 日实际 最大操 作量 |
| | | | ^{18}F | 2.96×10^{10} | 0.143 | | 2.07E-02 | | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^9 | 0.0595 | | 1.87E-04 | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------|--------------------------------------|-----|----------|----------|-----|--|
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | 20mmPb 铅防护罐+360mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | | 2.19E-08 | | | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | 20mmPb 铅防护罐+360mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | | 9.45E-06 | | | |
| 1-4 | | 储源室东侧防护门 外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 20mmPb 铅防护罐+内衬 4mm 铅板 | 1.8 | 2.60E-22 | 7.37E-01 | | |
| | | | ^{18}F | 2.96×10^{10} | 0.143 | 50mmPb 铅防护罐+内衬 4mm 铅板 | | 7.30E-01 | | | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^9 | 0.0595 | 40mmPb 铅防护罐+内衬 4mm 铅板 | | 6.79E-03 | | | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | 20mmPb 铅防护罐+内衬 4mm 铅板 | | 3.94E-07 | | | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | 20mmPb 铅防护罐+内衬 4mm 铅板 | | 2.79E-04 | | | |
| 1-5 | | 储源室顶棚正上方 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 20mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 5.12E-21 | 1.47E-02 | | |
| | | | ^{18}F | 2.96×10^{10} | 0.143 | 50mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.45E-02 | | | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^9 | 0.0595 | 40mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.61E-04 | | | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | 20mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 2.47E-08 | | | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | 20mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 8.13E-06 | | | |
| 1-6 | | 储源室楼下距地面 1.7m | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 20mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 5.12E-21 | 1.47E-02 | | |
| | | | ^{18}F | 2.96×10^{10} | 0.143 | 50mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.45E-02 | | | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^9 | 0.0595 | 40mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.61E-04 | | | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | 20mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 2.47E-08 | | | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | 20mmPb 铅防护罐+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 8.13E-06 | | | |
| 2-1 | 废物间 | 废物间东侧墙外 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^8 | 0.0303 | 20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 | 2.1 | 3.67E-22 | 1.40E-02 | 按不超 | |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------|-------------------------------------|-----|----------|----------|
| | (裸源) | 30cm | ^{18}F | 7.40×10^7 | 0.143 | +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.34E-02 | 过使用量的1%计 |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^7 | 0.0595 | | | 5.50E-04 | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | | | 1.56E-09 | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | | | 4.32E-07 | |
| 2-2 | | 废物间南侧墙外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^8 | 0.0303 | 20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | 1.6 | 6.33E-22 | 2.40E-02 |
| | | | ^{18}F | 7.40×10^7 | 0.143 | | | 2.31E-02 | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^7 | 0.0595 | | | 9.48E-04 | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | | | 2.69E-09 | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | | | 7.44E-07 | |
| 2-3 | | 废物间北侧墙外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^8 | 0.0303 | 20mmPb 衰变箱+360mm 实心砖 +20mm 硫酸钡涂料 | 1.6 | 1.13E-22 | 8.39E-03 |
| | | | ^{18}F | 7.40×10^7 | 0.143 | | | 8.09E-03 | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^7 | 0.0595 | | | 3.00E-04 | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | | | 5.35E-10 | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | | | 2.31E-07 | |
| 2-4 | | 废物间南侧防护门 外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^8 | 0.0303 | 20mmPb 衰变箱+内衬 4mm 铅板 | 1.6 | 3.29E-24 | 1.54E-01 |
| | | | ^{18}F | 7.40×10^7 | 0.143 | | | 1.48E-01 | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^7 | 0.0595 | | | 5.66E-03 | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | | | 4.99E-09 | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | | | 3.53E-06 | |
| 2-5 | | 废物间顶棚正上方 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^8 | 0.0303 | 20mmPb 衰变箱+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 5.12E-23 | 2.43E-03 |
| | | | ^{18}F | 7.40×10^7 | 0.143 | | | 2.32E-03 | |
| | | | ^{131}I | 3.70×10^7 | 0.0595 | | | 1.06E-04 | |
| | | | ^{188}Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | | | 2.47E-10 | |
| | | | ^{223}Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | | | 8.13E-08 | |
| 2-6 | | 废物间楼下距地面 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^8 | 0.0303 | 20mmPb 衰变箱+200mm 混凝土 | 3.9 | 5.12E-23 | 2.43E-03 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------------|--|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|----------|----------|------|-------------|--|
| | | 1.7m | ¹⁸ F | 7.40×10^7 | 0.143 | +20mm 硫酸钡涂料 | | 2.32E-03 | | | | |
| | | | ¹³¹ I | 3.70×10^7 | 0.0595 | | | 1.06E-04 | | | | |
| | | | ¹⁸⁸ Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | | | 2.47E-10 | | | | |
| | | | ²²³ Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | | | 8.13E-08 | | | | |
| 2-7 | | | 废物衰变箱 (¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹⁸⁸ Re) 表面 30cm 处 | ^{99m} Tc | 2.78×10^8 | 0.0303 | 20mmPb 衰变箱 | 0.8 | 1.32E-19 | 1.03 | | |
| | | | | ¹⁸ F | 7.40×10^7 | 0.143 | | | 1.03 | | | |
| | | | | ¹⁸⁸ Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | | | 4.30E-07 | | | |
| 2-8 | | | 废物衰变箱 (¹³¹ I) 表面 30cm 处 | ¹³¹ I | 3.70×10^7 | 0.0595 | 20mmPb 衰变箱 | 0.8 | 5.23E-02 | | | |
| | | | 废物衰变箱 (²²³ Ra) 表面 30cm 处 | ²²³ Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | | | 4.30E-05 | | | |
| 3-1 | | 注射室手套箱取药位 | ^{99m} Tc | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 20mmPb 铅罐+手套箱 40mmPb | 0.5 | 3.37E-57 | 6.41E-02 | | 源强取日实际最大操作量 | |
| | | | ¹⁸ F | 2.96×10^{10} | 0.143 | 50mmPb 铅罐+手套箱 40mmPb | | 6.41E-02 | | | | |
| | | | ¹⁸⁸ Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | 20mmPb 铅罐+手套箱 40mmPb | | 5.11E-18 | | | | |
| | | | ²²³ Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | 20mmPb 铅罐+手套箱 40mmPb | | 1.60E-07 | | | | |
| 3-2 | | 注射室 (裸源) | 注射室手套箱侧面 | ^{99m} Tc | 2.78×10^{10} | 0.0303 | 20mmPb 铅罐+手套箱 20mmPb | 0.5 | 3.37E-37 | 1.03 | 1.03 | |
| | | | | ¹⁸ F | 2.96×10^{10} | 0.143 | 50mmPb 铅罐+手套箱 20mmPb | | 1.03 | | | |
| | | | | ¹⁸⁸ Re | 1.85×10^{10} | 0.0069 | 20mmPb 铅罐+手套箱 20mmPb | | 2.37E-11 | | | |
| | | | | ²²³ Ra | 5.55×10^7 | 0.013 | 20mmPb 铅罐+手套箱 20mmPb | | 4.20E-05 | | | |
| 3-3 | | | ^{99m} Tc 注射位 | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0303 | 注射窗 20mmPb+4mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣 | 0.5 | 3.55E-23 | | 源强取单次给药最大量 | |
| 3-4 | | | ¹⁸ F 注射位 | ¹⁸ F | 3.70×10^8 | 0.143 | 注射窗 40mmPb+10mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣 | | 1.92E-01 | | | |
| 3-3 | | | ¹⁸⁸ Re 注射位 | ¹⁸⁸ Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 注射窗 20mmPb+4mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣 | | 6.96E-07 | | | |
| 3-3 | | | ²²³ Ra 注射位 | ²²³ Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 注射窗 20mmPb+4mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣 | | 6.29E-04 | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----|--|--------------------|-------------------|--------------------|--------|-------------------------------------|-----|----------|--|
| 3-5 | | 注射室南侧墙外 30cm | ^{99m}Tc | 9.25×10^8 | 0.0303 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | 3.5 | 2.68E-06 | |
| | | | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +10mmPb 防护套 | | 7.09E-02 | |
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | | 1.54E-03 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | | 1.92E-04 | |
| 3-6 | | 注射室西侧墙外 30cm | ^{99m}Tc | 9.25×10^8 | 0.0303 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | 3.3 | 3.01E-06 | |
| | | | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +10mmPb 防护套 | | 7.97E-02 | |
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | | 1.73E-03 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | | 2.17E-04 | |
| 3-7 | | 注射室北侧墙外 30cm | ^{99m}Tc | 9.25×10^8 | 0.0303 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | 3.5 | 2.68E-06 | |
| | | | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +10mmPb 防护套 | | 7.09E-02 | |
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | | 1.54E-03 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套 | | 1.92E-04 | |
| 3-8 | | 注射室东侧防护门 外 30cm | ^{99m}Tc | 9.25×10^8 | 0.0303 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | 3.3 | 2.57E-10 | |
| | | | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 10mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 5.28E-01 | |
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 1.09E-03 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 8.19E-04 | |
| 3-9 | | 注射室南侧防护门 外 30cm | ^{99m}Tc | 9.25×10^8 | 0.0303 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | 3.5 | 2.29E-10 | |
| | | | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 10mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 4.69E-01 | |

| | | | | | | | | | |
|------|--|--|--------------------------|--------------------|--------|-------------------------------------|-----|----------|-------------------------|
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 9.67E-04 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 7.28E-04 | |
| 3-10 | | 注射室西侧防护门 外 30cm | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 9.25×10^8 | 0.0303 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | 3.3 | 2.57E-10 | |
| | | | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 10mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 5.28E-01 | |
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 1.09E-03 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 4mmPb 防护套+内衬 6mm 铅板 | | 8.19E-04 | |
| | | | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 9.25×10^8 | 0.0303 | 4mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.70E-06 | |
| 3-11 | | 注射室顶棚正上方 30cm | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 10mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 4.65E-02 | |
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 4mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.06E-03 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 4mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.40E-04 | |
| | | | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 9.25×10^8 | 0.0303 | 4mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.70E-06 | |
| 3-12 | | 注射室楼下距地面 1.7m | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.143 | 10mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 4.65E-02 | |
| | | | ^{188}Re | 3.70×10^9 | 0.0069 | 4mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.06E-03 | |
| | | | ^{223}Ra | 1.11×10^7 | 0.013 | 4mmPb 防护套+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | | 1.40E-04 | |
| 3-13 | | 铅桶 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 表面 30cm 处 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 2.78×10^8 | 0.0303 | 5mmPb 铅桶 | 0.6 | 2.34E-04 | 按不超 过使用 量的 1%计 |
| 3-14 | | 铅桶 (^{18}F) 表面 30cm 处 | ^{18}F | 7.40×10^7 | 0.143 | 20mmPb 铅桶 | 0.6 | 1.83 | |
| 3-13 | | 铅桶 (^{188}Re) 表面 30cm 处 | ^{188}Re | 1.85×10^8 | 0.0069 | 10mmPb 铅桶 | 0.6 | 1.65E-03 | |
| 3-13 | | 铅桶 (^{223}Ra) 表面 30cm 处 | ^{223}Ra | 5.55×10^5 | 0.013 | 10mmPb 铅桶 | 0.6 | 1.24E-03 | |

| | | | | | | | | | |
|-----|----------------|-----------------------------------|------------------|--------------------|--------|----------------------------------|-----|----------|--------------|
| 4-1 | 给碘室 (裸源) | 给碘室手套箱操作位 | ^{131}I | 3.70×10^9 | 0.0595 | 40mmPb 铅罐+手套箱 40mmPb | 0.5 | 4.70E-05 | 源强取日实际最大操作量 |
| 4-2 | | 给碘室东侧墙外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0595 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料+ 手套箱 40mmPb | 2.4 | 4.64E-05 | 源强取单次给药最大量 |
| 4-3 | | 给碘室南侧墙外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0595 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料+ 手套箱 40mmPb | 1.5 | 1.19E-04 | |
| 4-4 | | 给碘室西侧墙外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0595 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料+ 手套箱 40mmPb | 2.4 | 4.64E-05 | |
| 4-5 | | 给碘室北侧防护门外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0595 | 手套箱 40mmPb+内衬 6mm 铅板 | 1.5 | 6.44E-04 | |
| 4-6 | | 给碘室顶棚正上方 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0595 | 手套箱 40mmPb+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.61E-05 | |
| 4-7 | | 给碘室楼下距地面 1.7m | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0595 | 手套箱 40mmPb+200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.61E-05 | |
| 4-8 | | 铅桶 (^{131}I) 表面 30cm 处 | ^{131}I | 3.70×10^7 | 0.0595 | 10mmPb 铅桶 | 0.6 | 7.54E-01 | 按不超过使用量的 1%计 |
| 5-1 | 运动/抢救室 (患者) | 运动/抢救室东侧墙外 30cm | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 3.6 | 1.73E-01 | 源强取单次给药最大量 |
| 5-2 | | 运动/抢救室西侧墙外 30cm | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 3.6 | 1.73E-01 | |
| 5-3 | | 运动/抢救室东侧防护门外 30cm | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.092 | 内衬 6mm 铅板 | 3.6 | 1.14 | |
| 5-4 | | 运动/抢救室顶棚正上方 30cm | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.20E-01 | |
| 5-5 | | 运动/抢救室楼下距地面 1.7m | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.20E-01 | |
| 5-6 | | 运动/抢救室抢救位 | ^{18}F | 3.70×10^8 | 0.092 | 0.5mmPb 铅橡胶围裙 | 0.5 | 1.27E+02 | |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------|----------------------|-----|----------|-------------------------|
| 6-1 | PET 候诊室 1 (患者) | PET 候诊室 1 东侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 | 2.6 | 4.85E-01 | 源强取单次注射最大量, 按 2 个患者等待取值 |
| 6-2 | | PET 候诊室 1 西侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 | 2.6 | 4.85E-01 | |
| 6-3 | | PET 候诊室 1 西侧防护门外 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 内衬 6mm 铅板 | 2.6 | 4.38 | |
| 6-4 | | PET 候诊室 1 顶棚正上方 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.76E-01 | |
| 6-5 | | PET 候诊室 1 楼下距地面 1.7m | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.76E-01 | |
| 7-1 | PET 候诊室 2 (患者) | PET 候诊室 2 东侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | 4.97E-01 | 源强取单次注射最大量, 按 2 个患者等待取值 |
| 7-2 | | PET 候诊室 2 西侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | 4.97E-01 | |
| 7-3 | | PET 候诊室 2 西侧防护门外 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 内衬 6mm 铅板 | 3.0 | 3.29 | |
| 7-4 | | PET 候诊室 2 顶棚正上方 30cm | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.76E-01 | |
| 7-5 | | PET 候诊室 2 楼下距地面 1.7m | ¹⁸ F | 7.40×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.76E-01 | |
| 8-1 | SPECT 候诊室 (患者) | SPECT 候诊室东侧墙外 30cm | ^{99m} Tc | 3.70×10^9 | 0.0207 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 2.6 | 1.33E-01 | 源强取单次注射最大量, 按 4 个患者等待取值 |
| 8-2 | | SPECT 候诊室西侧墙外 30cm | ^{99m} Tc | 3.70×10^9 | 0.0207 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 2.6 | 1.33E-01 | |
| 8-3 | | SPECT 候诊室西侧防护门外 30cm | ^{99m} Tc | 3.70×10^9 | 0.0207 | 内衬 6mm 铅板 | 2.6 | 1.13E-05 | |
| 8-4 | | SPECT 候诊室顶棚正上方 30cm | ^{99m} Tc | 3.70×10^9 | 0.0207 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 2.83E-02 | |
| 8-5 | | SPECT 候诊室楼下距地面 1.7m | ^{99m} Tc | 3.70×10^9 | 0.0207 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 2.83E-02 | |
| 9-1 | PET/CT 机房 | PET/CT 机房东侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 3.6 | 2.35E-01 | 源强取单次注 |

| | | | | | | | | | |
|------|---------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------|---------------------------|-----|----------|------|
| 9-2 | (患者) | PET/CT 机房南侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 4.4 | 1.58E-01 | 射最大量 |
| 9-3 | | PET/CT 机房西侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 3.6 | 2.35E-01 | |
| 9-4 | | PET/CT 机房北侧墙外 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 4.4 | 1.58E-01 | |
| 9-5 | | PET/CT 机房东侧防护门外 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 内衬 6mm 铅板 | 3.6 | 1.14 | |
| 9-6 | | PET/CT 机房西侧防护门外 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 内衬 6mm 铅板 | 3.6 | 1.14 | |
| 9-7 | | PET/CT 机房西侧观察窗外 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 6mmPb 铅玻璃 | 3.6 | 1.14 | |
| 9-8 | | PET/CT 机房顶棚正上方 30cm | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.20E-01 | |
| 9-9 | | PET/CT 机房楼下距地面 1.7m | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.20E-01 | |
| 9-10 | | PET/CT 摆位处 | ¹⁸ F | 3.7×10^8 | 0.092 | 铅防护屏风 10mmPb+铅防护衣 0.5mmPb | 0.5 | 3.17E+01 | |
| 10-1 | SPECT/CT 机房 (患者) | SPECT/CT 机房东侧墙外 30cm | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 3.6 | 2.84E-02 | |
| 10-2 | | SPECT/CT 机房南侧墙外 30cm | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 4.3 | 1.99E-02 | |
| 10-3 | | SPECT/CT 机房西侧墙外 30cm | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料 | 3.6 | 2.84E-02 | |
| 10-4 | | SPECT/CT 机房东侧防护门外 30cm | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 内衬 6mm 铅板 | 3.6 | 1.48E-06 | |
| 10-5 | | SPECT/CT 机房西侧防护门外 30cm | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 内衬 6mm 铅板 | 3.6 | 1.48E-06 | |
| 10-6 | | SPECT/CT 机房西侧观察窗外 30cm | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 6mmPb 铅玻璃 | 3.6 | 1.48E-06 | |
| 10-7 | | SPECT/CT 机房顶棚正上方 30cm | ^{99m} Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.16E-02 | |

| | | | | | | | | | |
|------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|--------|-----------------------------|-----|----------|--|
| 10-8 | | SPECT/CT 机房楼下距地面 1.7m | ^{99m}Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 1.16E-02 | |
| 10-9 | | SPECT/CT 摆位处 | ^{99m}Tc | 9.25×10^8 | 0.0207 | 铅防护屏风 4mmPb+铅防护衣 0.5mmPb | 0.5 | 2.42E-03 | |
| 11-1 | 留观室 (患者) | 留观室东侧墙外 30cm | ^{18}F | 3.7×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | 2.49E-01 | 留观室可能存 在使用 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的患 者，以 照射量常数及 什值层厚度最 大的核 素 ^{18}F 进行估 算 |
| 11-2 | | 留观室南侧墙外 30cm | ^{18}F | 3.7×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 2.0 | 5.59E-01 | |
| 11-3 | | 留观室西侧墙外 30cm | ^{18}F | 3.7×10^8 | 0.092 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 3.0 | 2.49E-01 | |
| 11-4 | | 留观室西侧防护门 外 30cm | ^{18}F | 3.7×10^8 | 0.092 | 内衬 6mm 铅板 | 3.0 | 1.65 | |
| 11-5 | | 留观室顶棚正上方 30cm | ^{18}F | 3.7×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 8.78E-02 | |
| 11-6 | | 留观室楼下距地面 1.7m | ^{18}F | 3.7×10^8 | 0.092 | 200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 8.78E-02 | |
| 12-1 | ^{131}I 留观室 (患者) | ^{131}I 留观室东侧墙 外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0583 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 2.6 | 1.68E-01 | 源强取 单次服 药最大 量 |
| 12-2 | | ^{131}I 留观室西侧墙 外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0583 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 2.6 | 1.68E-01 | |
| 12-3 | | ^{131}I 留观室北侧墙 外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0583 | 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 | 1.8 | 3.50E-01 | |
| 12-4 | | ^{131}I 留观室西侧防 护门外 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0583 | 内衬 6mm 铅板 | 2.6 | 9.09E-01 | |
| 12-5 | | ^{131}I 留观室顶棚正 上方 30cm | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0583 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 6.85E-02 | |
| 12-6 | | ^{131}I 留观室楼下距 地面 1.7m | ^{131}I | 3.70×10^8 | 0.0583 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 | 3.9 | 6.85E-02 | |
| 13-1 | 甲测室 | 甲测室东侧墙外 30cm | ^{131}I | 1.85×10^5 | 0.0583 | 240mm 实心砖 | 1.8 | 3.33E-04 | |

| | | | | | | | | | |
|------|------|--------------------|------------------|--------------------|--------|---------------|-----|----------|--|
| 13-2 | (患者) | 甲测室西侧墙外 30cm | ^{131}I | 1.85×10^5 | 0.0583 | 240mm 实心砖 | 1.8 | 3.33E-04 | |
| 13-3 | | 甲测室北侧墙外 30cm | ^{131}I | 1.85×10^5 | 0.0583 | 240mm 实心砖 | 2.0 | 2.70E-04 | |
| 13-4 | | 甲测室北侧防护门 外 30cm | ^{131}I | 1.85×10^5 | 0.0583 | 内衬 2mm 铅板 | 2.0 | 1.77E-03 | |
| 13-5 | | 甲测室顶棚正上方 30cm | ^{131}I | 1.85×10^5 | 0.0583 | 200mm 混凝土 | 3.9 | 4.72E-05 | |
| 13-6 | | 甲测室楼下距地面 1.7m | ^{131}I | 1.85×10^5 | 0.0583 | 200mm 混凝土 | 3.9 | 4.72E-05 | |
| 13-7 | | 甲测室护士位 | ^{131}I | 1.85×10^5 | 0.0583 | 0.5mmPb 铅橡胶围裙 | 0.5 | 3.89E-02 | |

注: ①由于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 I 中无硫酸钡涂料的什值层参数,因此硫酸钡涂料防护效果根据混凝土按密度进行折算,折算公式为 $d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1$, 混凝土密度为 2.35g/cm^3 , 硫酸钡水泥密度不低于 2.79g/cm^3 , 即 20mm 硫酸钡水泥折算为 23.74mm 混凝土、40mm 硫酸钡水泥折算为 47.49mm 混凝土和 60mm 硫酸钡水泥折算为 71.23mm 混凝土;

由表 11.2-5 估算结果可知,本项目核医学科实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率最大值为 $1.14\mu\text{Sv/h}$, 小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$; 控制区内人员居留因子小于 $1/2$ 的场所周围剂量当量率最大值为 $4.38\mu\text{Sv/h}$, 小于 $10\mu\text{Sv/h}$; 手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率最大值分别为 $6.41 \times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 和 $1.92 \times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$, 均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 手套箱其他面周围剂量当量率最大值为 $1.03\mu\text{Sv/h}$, 小于 $25\mu\text{Sv/h}$, 铅桶、废物衰变箱表面 30cm 处周围剂量当量率最大值为 $1.83\mu\text{Sv/h}$, 小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。因此,本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平均符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)标准要求,对周围辐射环境影响较小。

实际上,患者在注射或服用药物后的候诊室等待过程中,由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少,因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

11.2.1.5 X射线辐射环境影响分析

本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 在扫描过程需考虑泄漏辐射和散射辐射，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 额定管电压均为 150kV，管电流均为 1300mA，型号未定，扫描时 CT 最大工况为 140kV、200mA。

泄漏辐射：参考《医用电气设备第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020），本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 1mGy/h。

散色辐射：根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mmAl，又根据《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1，可以查得过滤片为 2.5mmAl 时，距靶 1m 处空气中的空气比释动能为 0.200mGy/mAs。因此，根据式 11.2-19，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 $1.44 \times 10^5 \text{mGy/h}$ 。

屏蔽透视因子：根据表 10.1-14 可知，PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽体外最低铅当量均为 3.0mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子均为 1.08×10^{-4} 。

其他参数： $\alpha=a/400$ ，根据《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1，本项目保守取 150kV X 射线 $a=0.0016$ （90°散射）；散射面积取 100cm²；源与患者的距离取 0.7m；距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.6m。

根据上述数据核算，PET/CT 和 SPECT 设备运行所致的泄漏辐射剂量率均为 $8.33 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，散射辐射剂量率均为 $9.80 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，因此，总辐射剂量率均为 $8.33 \times 10^{-3} + 9.80 \times 10^{-1} = 9.88 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

根据表 11.2-5 中 PET/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果最大值（预测点 9-7）为 $1.14 \mu\text{Sv/h}$ ，叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值约为 $2.13 \mu\text{Sv/h}$ ，也不超过设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

根据表 11.2-5 中 SPECT/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果最大值（预测点 10-3）为 $2.84 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值约为 $1.02 \mu\text{Sv/h}$ ，也不超过设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

11.2.1.6 工作人员年有效剂量估算

根据医院提供的资料，本项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学科工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.2-8。

根据表 11.2-5 预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式 11.2-6 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，计算结果见表 11.2-7。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：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times U \dots \dots \dots \quad (\text{式 11.2-6})$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T——居留因子；

U——使用因子，U 取 1。

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 11.2-6。

表 11.2-6 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 |
| 部分停留 | 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 |
| 偶然停留 | 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 |

表 11.2-7 核医学科工作人员个人年有效剂量估算

| 工作场所 | 人员 | 排班情况 | 操作 | 关注点位 | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 年工作时间 | 年有效剂量 (mSv) | |
|------|----|-------|---------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------|--------|
| 注射室 | 护士 | 2 组轮岗 | 分装、测活 | 3-1 注射室手套箱取药位 | 6.52E-02 | 187.5h (30s/次 ×22500 次) | 1.22E-02 | 0.33/人 |
| | | | ^{89}Sr 注射 | 3-3 ^{89}Sr 注射位 | 1.41E-09 | 10.4h (30s/次) | 1.47E-11 | |

| | | | | | | | |
|---------------|----|------|-----------------------------|--|------------------|---|----------|
| | | | | | $\times 1250$ 次) | | |
| | | | ^{32}P 注射 | $3\text{-}3^{32}\text{P}$ 注射位 | 9.24E-03 | 10.4h (30s/次 $\times 1250$ 次) | 9.61E-05 |
| | | | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射 | $3\text{-}3^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射位 | 3.55E-23 | 62.5h (30s/次 $\times 7500$ 次) | 2.22E-24 |
| | | | ^{18}F 注射 | $3\text{-}4^{18}\text{F}$ 注射位 | 1.92E-01 | 41.7h (30s/次 $\times 5000$ 人次) | 8.01E-03 |
| | | | ^{188}Re 注射 | $3\text{-}3^{188}\text{Re}$ 注射位 | 6.96E-09 | 10.4h (30s/次 $\times 1250$ 次) | 7.24E-11 |
| | | | ^{223}Ra 注射 | $3\text{-}3^{188}\text{Re}$ 注射位 | 1.18E-04 | 10.4h (30s/次 $\times 1250$ 次) | 1.23E-06 |
| | | | 测活、自动分装仪操作、指导服碘 | 4-1 给碘室手套箱操作位 | 4.70E-05 | 229.2h (5.5min/次 $\times 2500$ 次) | 1.08E-05 |
| | | | 抢救 | 5-6 运动/抢救室抢救位 | 1.27E+02 | 5h (每次抢救按30分钟计，一年不超过10次) | 6.35E-01 |
| | | | 甲状腺功能测定 | 13-7 甲测室护士位 | 3.89E-02 | 166.7 (1min/次 $\times 4 \times 2500$ 次) | 6.48E-03 |
| PET/CT机房摆位 | 技师 | 2人轮班 | 摆位 | 9-10PET/CT 摆位处 | 3.17E+01 | 83.3h (1min/次 $\times 5000$ 次) | 2.64 |
| PET/CT操作位 | | | 扫描 | 9-7PET/CT 机房西侧观察窗外 30cm | 1.14 | 1250h (15min/次 $\times 5000$ 次) | 1.43 |
| SPEC T/CT机房摆位 | | | | PET/CT X 射线辐射 | 9.88E-01 | | 1.24 |
| SPEC T/CT操作位 | 技师 | 2人轮班 | 摆位 | 10-9SPE CT/CT 摆位处 | 2.42E-03 | 125h (1min/次 $\times 7500$ 次) | 3.03E-04 |
| | | | 扫描 | 10-6SPE CT/CT 机房西侧观察窗外 30cm | 1.48E-06 | 1875h (15min/次 $\times 7500$ 次) | 2.78E-06 |
| | | | | SPECT/CT X 射线辐射 | 9.88E-01 | | 1.85 |

根据表 11.2-7 可知：辐射工作人员年有效剂量最大为 2.66mSv，可满足本项目职业

人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

11.2.1.5 公众受照剂量估算

根据表 11.2-5 预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子、关注点与预测点的距离等参数，由式 11.2-6 计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，计算结果见表 11.2-8。

表 11.2-8 核医学科公众人员年有效剂量估算

| 关注场所 | 方位 | 距离 (m) | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 居留因子 | 受照时间 (h) | 年有效剂量 (mSv) | | |
|-------------------------|-----|--------|-----------------------------------|-------------------|---------------------------------------|--------------|----------|--|
| 电梯厅、楼梯间、排风机房、报警阀间和库房等公众 | 东侧 | 紧邻 | 4.97E-01 (7-1) | 1/16 | 2000 (8h/天×250天) | 6.21E-02 | | |
| 走廊公众 | 南侧 | 紧邻 | 5.59E-01 (11-2) | 1/16 ^① | 2000 (8h/天×250 天) | 6.99E-02 | | |
| 下沉庭院和走廊公众 ^② | 西侧 | 紧邻 | 6.33E-04 (1-2) | 1/5 | 2000 (8h/天×250 天) | 2.53E -04 | 4.67E-02 | |
| | | | 1.16E-01 (1-2) | | | 4.64E -02 | | |
| 走廊和物理计划室公众 ^② | 北侧 | 紧邻 | 6.79E-05 (1-3) | 1 | 2000 (8h/天×250 天) | 1.36E -04 | 5.87E-02 | |
| | | | 2.09E-02 (1-3) | | | 4.18E -02 | | |
| | | | 1.89E-07 (2-3) | 1 | 2000 (8h/天×250 天) | 3.78E -07 | | |
| | | | 8.39E-03 (2-3) | | | 1.68E -02 | | |
| 诊室公众 | 北侧 | 紧邻 | 3.50E-01 (12-3) | 1 | 208.33 (10 人留观, 50min/ 天×250 天) | 7.29E -02 | 7.30E-02 | |
| | | | 3.33E-04 (13-1) | 1 | 166.67 (10 人监测, 40min/ 天×250 天) | 5.55E -05 | | |
| 库房、进风机房、走廊和药剂更衣室等公众 | 正上方 | 紧邻 | 1.76E-01 (6-4) | 1/5 | 2000 (8h/天×250 天) | 7.04E-02 | | |
| 地下停车场公众 | 正下方 | 紧邻 | 1.76E-01 (6-5) | 1/40 | 2000 (8h/天×250 天) | 8.80E-03 | | |

注：①核医学科场所南侧过道为核医学科患者出口过道，居留因子按偶然停留取 1/16；②下沉庭院和走廊公众和走廊和物理计划室公众辐射剂量率考虑轫致辐射剂量率和 γ 辐射剂量率同时作用影响。

由表 11.2-8 可知，核医学科公众年有效剂量最大为 $7.30 \times 10^{-2}\text{mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

对于核医学科屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比

以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，因此，也能够满足本项目核医学科周围公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.2 核医学科“三废”影响分析

11.2.2.1 放射性废气影响分析

本项目核医学科场所共设有4套排风管道。本项目手套箱均设置独立排风系统，手套箱和其它区域排风通过密闭管道引至内科大楼（地上17层，楼高74.8m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。因此，放射性废气对周围环境影响较小。

11.2.2.2 放射性废水影响分析

本项目核医学科放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入医技住院综合楼地下一层西北角的衰变池组进行衰变，根据 10.2.1.2 分析，放射性废水可以在衰变池组内暂存 194 天，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性废水暂存要求，暂存至满足衰变要求的放射性废水排入医院污水处理站处理，最终纳入市政污水管网。

放射性废水管道拟采用地埋设置，管道裸露部分外包裹 1.5mmPb 铅皮进行屏蔽防护。本项目衰变池组位于医技住院综合楼地下一层西北角，衰变池组上方绿化区域设置栅栏，并设置电离辐射警告标志和中文警示说明，防止无关人员靠近和在上方停留，且衰变池间四侧墙体和顶棚采取混凝土进行屏蔽防护。因此，放射性废水收集管道和衰变池对周围环境影响较小。

综上所述，核医学科场所产生的放射性废水对周围环境影响较小。

11.2.2.3 固体放射性废物影响分析

本项目固体放射性废物均暂存在核医学科废物间的衰变箱中，含核素¹⁸F、^{99m}Tc 和¹⁸⁸Re 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含核素⁸⁹Sr、²²³Ra 和³²P 的固体放射性废物暂存时间超过十个半衰期；含¹³¹I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 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/cm²，β 表面污染小于 0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物处置。PET/CT 更换校准源产生废旧放射源，根据相关法律法规要求，应返回放射源生产厂家或原出口方，确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮。因此，固体放射性废物对周边环境影响较小。

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对所有固体放射性废物采用先收集在各自相关工作场所的铅桶内，再将铅桶内的固体放射性废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，包装袋、废物桶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，做好台账记录，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。

11.2.3 放疗科

11.2.3.1 直线加速器运行时环境影响分析

本项目直线加速器设备各配套使用 1 套锥形束 CT (CBCT) 影像引导设备，最大管电压不超过 150kV，用于图像引导定位。CBCT 是近年发展起来的基于大面积非晶硅数字化 X 射线探测板的锥形束 CT，具有体积小，重量轻，开放式架构的特点，可以直接整合到直线加速器上，其设备主要由影像拍摄系统、计算机系统、固定支架和配套软件系统组成。设备机架旋转一周就能获取和重建一个体积范围内的 CT 图像。这个体积内的 CT 影像重建后的三维患者模型可以与治疗计划的患者模型匹配比较并得到治疗床需要调节的参数。平板探测器的读数装置和探测器结合在一起，本身就具有提高空间分辨率的优势，达到比传统的 CT 更高的空间分辨率，密度分辨率也足以分辨软组织结构，可以通过肿瘤本身成像引导放疗。

本项目机房屏蔽体在满足直线加速器（X 射线）屏蔽要求的情况下，完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护，因此本项目进行评价时，主要进行加速器治疗过程中使用 X 射线过程中的环境影响。

(1) 直线加速器技术参数及机房设计情况

本项目新增 2 台直线加速器，位于医技住院综合楼地下二层放疗科。根据医院提供的资料，直线加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) 浇筑而成，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。直线加速器机房上方为医院道路，下方为岩土层，

无地下层。本项目 2 间直线加速器机房设计相同，因此，仅计算 2 号直线加速器机房周围剂量率，1 号直线加速器机房周围剂量率参考 2 号直线加速器机房。

表 11.2-9 2 号直线加速器机房设计空间几何尺寸

| 机房 | 所在部位 | 净尺寸 (mm) |
|----------|--|----------|
| 2 号加速器机房 | 机房南北长度 (不含迷道) | 8000 |
| | 机房东西宽度 | 10375 |
| | 迷道内入口宽度 | 2650 |
| | 迷道外入口宽度 (门洞) | 1400 |
| | 迷道长度 | 10375 |
| | 迷道宽度 | 2200 |
| | 机房净高 | 4400 |
| | 注：本项目 2 间直线加速器机房设计相同，因此以 2 号直线加速器机房为例。 | |

本项目采用最大加载条件进行估算，即直线加速器最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行，具体参数见表 11.2-10。

表 11.2-10 直线加速器设备参数

| 参数名称 | 参数值 |
|---------|--|
| 能量 | 最大 X 射线能量：15MV；电子线能量：22MeV |
| X 射线泄漏率 | X 射线： $\leq 0.1\%$ |
| 正常治疗距离 | 100cm |
| 常用最大剂量率 | X 射线能量：10/15MV，距靶 1m 处的最大剂量率 360Gy/h FFF 模式下 X 射线能量：10MV，距靶 1m 处的最大剂量率 1440Gy/h |
| 最大照射野大小 | 400mm×400mm |
| 机架旋转角度 | $\pm 180^\circ$ |
| 等中心高度 | 1.3m |

(2) 工作负荷

根据医院提供资料，本项目拟建 2 间直线加速器机房，分别安装 1 台直线加速器，投入使用后，预计每台加速器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，则直线加速器日照射时间为 1.5h，周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

(3) 关注点选取

关注点选取详见图 11.2-2 与图 11.2-3。

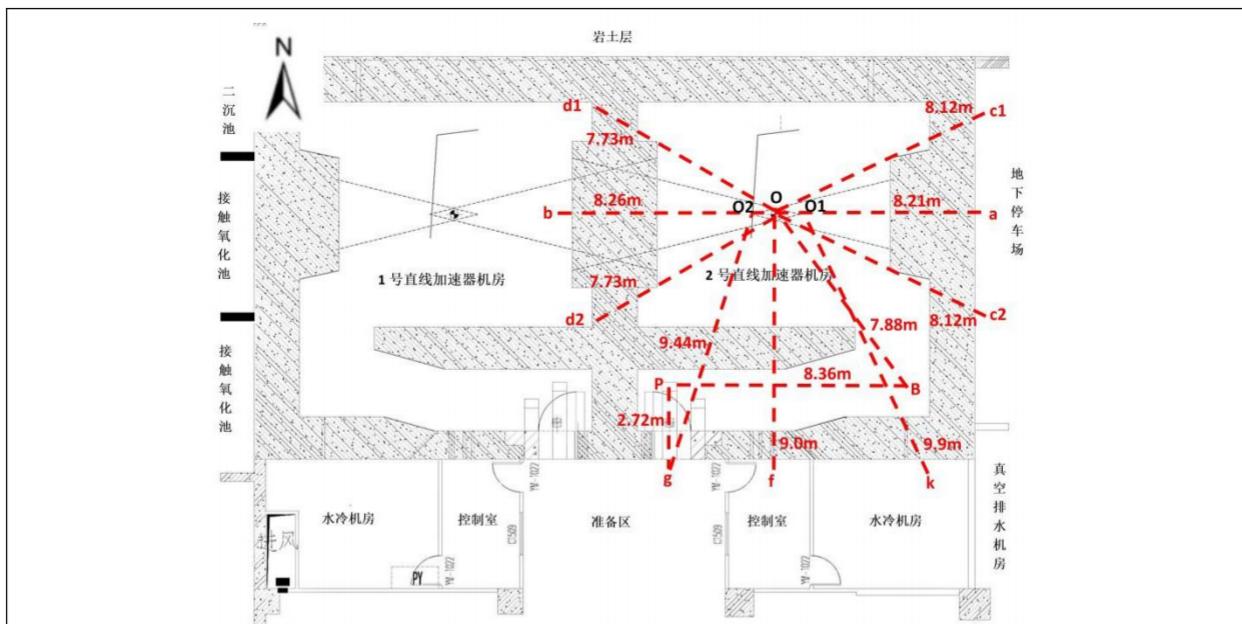


图 11.2-2 2号直线加速器机房关注点示意图（平面）

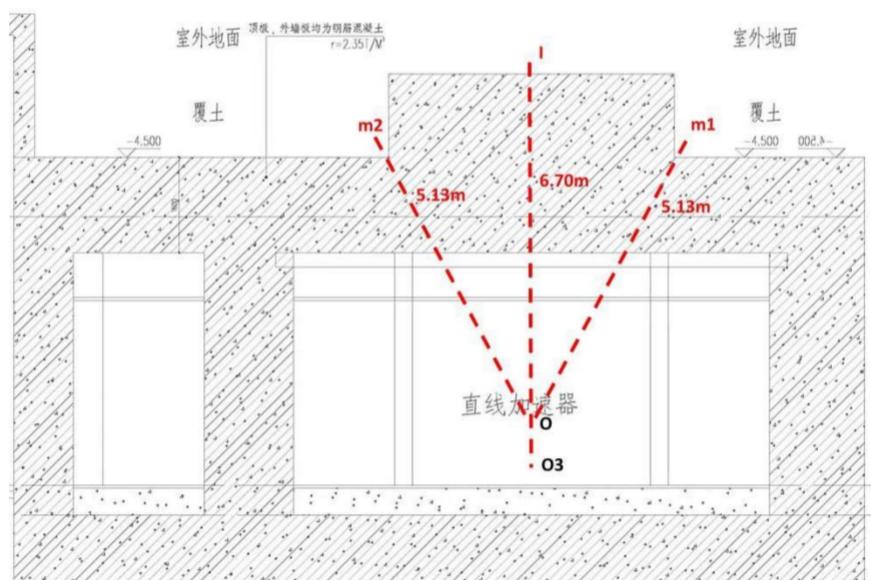


图 11.2-3 2号直线加速器机房关注点示意图（剖面）

(4) 屏蔽体外剂量的计算

本项目评价采用《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)及《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)中给出的方法计算。

①有用线束主屏蔽区宽度计算

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：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \times \tan\theta + 0.3] \dots \dots \dots \quad (式 11.2-7)$$

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。

本项目2号直线加速器机房需考虑东墙、西墙、顶棚主防护区，计算结果见表11.2-11。

表 11.2-11 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 |
|-----------|------------------|-------|---------|---------|------|
| 2号直线加速器机房 | 东墙主屏蔽墙宽度 (内凸) | 6.31 | 4.24 | 4.6 | 满足 |
| | 西墙主屏蔽墙宽度 (外凸) | 7.96 | 5.06 | 5.2 | 满足 |
| | 顶棚主屏蔽墙宽度 (外凸) | 6.40 | 4.29 | 4.8 | 满足 |

本项目直线加速器机房下方为岩土层，因此，地坪的防护不予考虑，由表 11.2-11 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。

设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，即主射束为东侧、西侧、地坪及顶棚，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

②有用线束主屏蔽区关注点的剂量率估算（关注点：a 点、b 点、I 点）

A、有效屏蔽厚度

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。

$$X_e = X \sec \theta \dots \dots \dots \quad (\text{式 11.2-8})$$

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、有效屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots \dots \dots \text{ (式 11.2-9)}$$

式中:

B—辐射屏蔽透射因子;

X_e—有效屏蔽厚度, cm;

TVL₁—第一个十分之一值层厚度, cm;

TVL—平衡十分之一值层厚度, cm。

C、屏蔽体外关注点的剂量率:

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。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 f}{R^2} \cdot B \dots \dots \dots \text{ (式 11.2-10)}$$

式中:

\dot{H} —相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

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

f—比例因子, 对有用线束为1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率;

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

B—透射因子, 无量纲。

表 11.2-12 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

| 关注点 | \dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$) | X _e (cm) | TVL ₁ (cm) | TVL(cm) | f | R (m) | \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--|---------------------|-----------------------|---------|---|-------|---------------------------------------|
| a 点 | 3.6×10^8 (15MV) | 280 | 44 | 41 | 1 | 8.21 | 9.35E-01 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 280 | 41 | 37 | 1 | 8.21 | 2.14E-01 |
| b 点 | 3.6×10^8 (15MV) | 280 | 44 | 41 | 1 | 8.26 | 9.23E-01 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 280 | 41 | 37 | 1 | 8.26 | 2.11E-01 |
| 1 点 | 3.6×10^8 (15MV) | 280 | 44 | 41 | 1 | 6.70 | 1.40 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 280 | 41 | 37 | 1 | 6.70 | 3.21E-01 |

③侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的剂量率估算(关注点: f 点、k 点)

本项目2间机房北侧为岩土层, 因此不设置关注点, f 点、k 点主要考虑加速器泄漏

辐射，泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001，偏保守考虑入射角为 0° ，计算参数及结果见表 11.2-13。

表 11.2-13 侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

| 关注点 | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | Xe (cm) | TVL ₁ (cm) | TVL (cm) | f | R (m) | \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--|---------|-----------------------|----------|-------|-------|---------------------------------------|
| f 点 | 3.6×10^8 (15MV) | 100+150 | 36 | 33 | 0.001 | 9.0 | 1.45E-04 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 100+150 | 35 | 31 | 0.001 | 9.0 | 2.06E-04 |
| k 点 | 3.6×10^8 (15MV) | 150 | 36 | 33 | 0.001 | 9.9 | 1.29E-01 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 150 | 35 | 31 | 0.001 | 9.9 | 2.87E-01 |

④与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：c1 点、c2 点、d1 点、d2 点、m1 及 m2 点）

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。

A、患者体表的散射辐射

散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率，利用以下公式计算患者体表的散射辐射在防护实体外关注点的剂量率。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots \dots \dots \quad (\text{式 11.2-11})$$

式中：

\dot{H} —防护实体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

a_{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 。

次屏蔽墙外关注点的散射辐射剂量率参数及结果见表 11.2-14。

表 11.2-14 次屏蔽墙外及迷道外墙关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

| 关注点 | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | Xe (cm) | TVLs (cm) | a_{ph} | F | R_s (m) | $\dot{H}_{散}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|--------|--|---------|-----------|-----------------------|------|-----------|---|
| c1/c2点 | 3.6×10^8 (15MV) | 177 | 31 | 3.18×10^{-3} | 1600 | 8.12 | 1.35E-01 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 177 | 28 | 3.18×10^{-3} | 1600 | 8.12 | 1.33E-01 |

| | | | | | | | |
|--------|------------------------------|-----|----|-----------------------|------|------|----------|
| d1/d2点 | 3.6×10^8 (15MV) | 183 | 31 | 3.18×10^{-3} | 1600 | 7.73 | 9.58E-02 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 183 | 28 | 3.18×10^{-3} | 1600 | 7.73 | 8.92E-02 |
| m1/m2点 | 3.6×10^8 (15MV) | 184 | 31 | 3.18×10^{-3} | 1600 | 5.13 | 2.02E-01 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 184 | 28 | 3.18×10^{-3} | 1600 | 5.13 | 1.87E-01 |

注：本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知。

B、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。次屏蔽墙外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-15。

表 11.2-15 次屏蔽墙外及迷道外墙关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

| 关注点 | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$) | Xe (cm) | TVL_I (cm) | TVL (cm) | f | R (m) | $\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|--------|--|---------|--------------|------------|-------|-------|---|
| c1/c2点 | 3.6×10^8 (15MV) | 177 | 36 | 33 | 0.001 | 8.12 | 2.92E-02 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 177 | 35 | 31 | 0.001 | 8.12 | 5.74E-02 |
| d1/d2点 | 3.6×10^8 (15MV) | 183 | 36 | 33 | 0.001 | 7.73 | 2.11E-02 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 183 | 35 | 31 | 0.001 | 7.73 | 4.05E-02 |
| m1/m2点 | 3.6×10^8 (15MV) | 184 | 36 | 33 | 0.001 | 5.13 | 4.47E-02 |
| | 1.44×10^9 (10MV) | 184 | 35 | 31 | 0.001 | 5.13 | 8.54E-02 |

注：本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知。

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率见表 11.2-16。

表 11.2-16 与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率

| 关注点 | $\dot{H}_{散}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | $\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|--------|---|---|---------------------------------------|
| c1/c2点 | 15MV | 1.35E-01 | 2.92E-02 |
| | 10MV | 1.33E-01 | 5.74E-02 |
| d1/d2点 | 15MV | 9.58E-02 | 2.11E-02 |
| | 10MV | 8.92E-02 | 4.05E-02 |
| m1/m2点 | 15MV | 2.02E-01 | 4.47E-02 |
| | 10MV | 1.87E-01 | 8.54E-02 |

⑤防护门外辐射剂量（关注点：g 点）

一、10MV

加速器在 10MV 下运行时有用线束不向迷道照射，加速器迷道入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射。

A、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。防护门

外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-17。

表 11.2-17 迷道外口关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

| 关注点 | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | Xe (cm) | TVL_I (cm) | TVL (cm) | f | R (m) | \dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--|---------|--------------|------------|-------|-------|--|
| g点 | 1.44×10^9 (10MV) | 158 | 35 | 31 | 0.001 | 9.44 | 1.75E-01 |

注：本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知。

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：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \dots \quad (\text{式 11.2-12})$$

式中：

\dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

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 (本项目为 B) 的散射面积， m^2 ；

R_1 —“o-i” (本项目为 o-B) 之间的距离， m；

R_2 —“i-g” (本项目为 B-P+P-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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11.2-18 关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果 (10MV)

| 关注点 | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | α_{ph} | α_2 | A (m^2) | F (cm^2) | R_I (m) | R_2 (m) | \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------|-------------|---|
| g | 1.44×10^9 (10MV) | 1.35×10^{-3} | 22×10^{-3} | 14.08 | 1600 | 7.88 | $8.36+2.72$ | 316 |

C、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} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \dots \dots \dots \quad (\text{式 11.2-13})$$

式中：

\dot{H} —防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\dot{H}_g — g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\dot{H}_{og} — g 处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

X —防护门厚度， mm ；

TVL—十分之一值层厚度， cm ；在 g 处散射的辐射能量约 0.2MeV ，铅中的 TVL 为 5mm 。

表 11.2-19 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

| 关注点 | \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | X (mm) | TVL (mm) | \dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--|------------------------|------------------------|---|--|
| g | 316 | 20 | 5 | 1.75E-01 | 0.21 |

二、15MV

根据 GBZ/T201.2-2011 第 4.3.2.6 要求，对于 $>10\text{MV}$ 的加速器机房，迷路入口处应估算中子辐射在迷路内产生的散射中子及中子俘获 γ 射线在迷路入口 g 点位置的辐射剂量。此外，还需要估算加速器的泄漏辐射经过迷路内墙屏蔽后在 g 处的辐射剂量。

A、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。防护门外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-20。

表 11.2-20 迷道外口关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

| 关注点 | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$) | X_e (cm) | TVL_1 (cm) | TVL (cm) | f | R (m) | \dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-------|--|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------|--------------------|--|
| g 点 | 3.6×10^8 (15MV) | 158 | 36 | 33 | 0.001 | 9.44 | 8.12E-02 |

注：本表中 X_e 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。

B、散射辐射

(a) 总中子注量 (Φ_B)

图 11.2-2 迷路的中子散射路径为“o-B-P-g”。B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 B 点的总中子注量 Φ_B 按式 11.2-14 计算：

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots \quad (\text{式 11.2-14})$$

式中：

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，($\text{中子数}/\text{m}^2$) /Gy；

Q_n —等中心处每 1Gy 治疗照射时加速器机头发射出的总中子数，根据 NCRPNO.151

表 B.9 (P172~173) , 本项目型号未定, 因此保守取 7.6×10^{11} ;

d_l —等中心 O 至 B 的距离, m;

S—治疗机房的总内表面积 (m^2) , 包括四壁墙、顶面和底面, 不包括迷路内各面积。

表 11.2-21 总中子注量

| 参数 | Q_n (中子数/Gy) | d_l (m) | S (m^2) | Φ_B (中子数/ m^2) /Gy) |
|-------|----------------------|-----------|-------------|-----------------------------|
| 总中子注量 | 7.6×10^{11} | 7.88 | 313 | 3.55E+09 |

(b) 机房入口处中子俘获 γ 射线剂量率 (\dot{H}_γ)

机房内及迷路内的中子与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线, 机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ 按式 11.2-15 计算:

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \bullet \Phi_B \bullet 10^{-d_2/TVD} \bullet \dot{H}_o \dots \dots \dots \text{(式 11.2-15)}$$

式中:

6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子, Sv/(中子数/ m^2) ;

d_2 —B 点至机房入口 g 点的距离, m; 本项目为 B-P-g 距离;

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离 (称为什值距离), 对于 15MV 电子直线加速器为 3.9m;

\dot{H}_o —等中心点处治疗 X 射线剂量率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$) , 依据 GBZ/T201.1 的 4.8.3, 屏蔽计算中可视为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

各参数选取及估算结果见表 11.2-22。

表 11.2-22 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率

| 关注点 | Φ_B (中子数/ m^2) /Gy) | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | d_2 (m) | TVD (m) | \dot{H}_γ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--------------------------------|---|-----------|---------|--|
| g 点 | 3.55E+09 | 3.6×10^8 (15MV) | 8.36+2.72 | 3.9 | 1.27 |

(c) 机房入口的中子剂量率 (\dot{H}_n)

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n 按式 11.2-16 计算:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \bullet \Phi_B \bullet \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \bullet [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \bullet \dot{H}_o \dots \dots \text{(式 11.2-16)}$$

式中:

2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子, $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$;

S_0 —迷路内口的面积, $S_0=2.65 \times 4.4=11.66 \text{ m}^2$;

S_1 —迷路横截面积, $S_1=2.2 \times 4.4=9.68 \text{ m}^2$;

d_2 —B 点到迷路入口 (g) 的距离, m;

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分式 (式 11.2-16) 方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离 (m), 称为什值距离。 T_n 是一个经验值, 与迷路横截面积有关, T_n 按下式计算:

$$T_n=2.06 \sqrt{S_1} \dots \dots \dots \text{ (式 11.2-17)}$$

各参数选取及估算结果见表 11.2-23。

表 11.2-23 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率

| 关注点 | Φ_B (中子数/ m^2) /Gy | \dot{H}_o ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | S_0 (m^2) | S_1 (m^2) | d_2 (m) | T_n (m) | \dot{H}_n ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--------------------------------------|---|------------------------|------------------------|-------------|-----------|--|
| g 点 | 3.55E+09 | 3.6×10^8 (15MV) | 11.66 | 9.68 | $8.36+2.72$ | 6.41 | 62.95 |

(d) 防护门外散射辐射剂量率计算

迷路入口防护门屏蔽设计时, 通常使用中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率, 对于中子俘获 γ 射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽, 对于已经定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时, 防护门外的辐射剂量率按式 11.2-18 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \bullet 10^{-(x_\gamma / TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \bullet 10^{-(x_n / TVL_n)} + \dot{H}_{og} \bullet B_{og} \dots \dots \text{ (式 11.2-18)}$$

式中:

\dot{H} 、 \dot{H}_γ 、 \dot{H}_n 、 \dot{H}_{og} 意义同前文;

X_γ —防护门铅屏蔽厚度, mm;

X_n —防护门含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽厚度, mm;

B_{og} —防护门对 \dot{H}_{og} 的屏蔽透射因子, \dot{H}_{og} 相对防护门入口处的总剂量率较小, 可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项;

TVL_γ —中子俘获 γ 射线铅屏蔽中的什值层, cm, 根据 GBZ/T201.2-2011 附录 C, 查得 $TVL_\gamma=31 \text{ mm}$;

TVL_n —中子在含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽中的什值层, cm, 根据 GBZ/T201.2-2011 附录 C, 查得 $TVL_n=45 \text{ mm}$;

各参数选取及估算结果见表 11.2-24。

表 11.2-24 机房入口门外 30cm (g 点) 的总辐射剂量率

| 关注点 | \dot{H}_γ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | X $_\gamma$ (mm) | TVL $_\gamma$ (mm) | \dot{H}_n ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | X $_n$ (mm) | TVL $_n$ (mm) | \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|-----|--|------------------|--------------------|---|-------------|---------------|---------------------------------------|
| g点 | 1.27 | 20 | 31 | 62.95 | 180 | 45 | 0.29 |

⑥加速器治疗室辐射防护评价小结

直线加速器机房周边关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表 11.2-25。

表 11.2-25 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

| 关注点 | 预测剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 居留因子 | 剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 是否满足控制要求 |
|---------|-----------------------------------|------|--|----------|
| a 点 | 9.35E-01 | 1/16 | 10 | 满足 |
| b 点 | 9.23E-01 | 1/2 | 1.33 | 满足 |
| I 点 | 1.40 | 1/16 | 10 | 满足 |
| f 点 | 2.06E-04 | 1 | 2.5 | 满足 |
| k 点 | 2.87E-01 | 1/16 | 10 | 满足 |
| c1/c2 点 | 1.90E-01 | 1/16 | 10 | 满足 |
| d1/d2 点 | 1.30E-01 | 1/2 | 1.33 | 满足 |
| m1/m2 点 | 2.72E-01 | 1/16 | 10 | 满足 |
| g | 0.29 | 1/8 | 5.33 | 满足 |

注: ①预测剂量率取 15MV 和 10MV 条件下最大值; ②剂量率参考控制水平值源于表 7.3-5。

综上所述, 经理论预测, 本项目直线加速器运行时, 直线加速器机房各屏蔽体外表
面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 相应的
剂量率参考控制水平。

(5) 年有效剂量预测分析

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 11.2-6 进行计算。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表 11.2-26。

表 11.2-26 直线加速器辐射工作人员及公众年有效剂量估算结果

| 机房 | 关注区域 | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | t (h/a) | U | T | 年有效剂量 (mSv/a) | 备注 |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------|---|------|---------------|----|
| 1号 加速 器 机 房 | 东侧 2 号直线加速器 机房 (b) | 9.23E-01 | 375 | 1 | 1/2 | 1.73E-01 | 职业 |
| | 南侧控制室 (f) | 2.06E-04 | 375 | 1 | 1 | 7.73E-05 | 职业 |
| | 南侧水冷机房 (k) | 2.87E-01 | 375 | 1 | 1/16 | 6.73E-03 | 公众 |
| | 南侧防护门外 (g) | 0.29 | 375 | 1 | 1/8 | 1.36E-02 | 公众 |
| | 西侧污水处理站 (a) | 9.35E-01 | 375 | 1 | 1/16 | 2.19E-02 | 公众 |
| | 上方医院道路 (I) | 1.40 | 375 | 1 | 1/16 | 3.28E-02 | 公众 |
| 2号 | 东侧地下停车场 (a) | 9.35E-01 | 375 | 1 | 1/16 | 2.19E-02 | 公众 |
| | 南侧控制室 (f) | 2.06E-04 | 375 | 1 | 1 | 7.73E-05 | 职业 |

| | | | | | | | |
|-------|-------------------|----------|-----|---|------|----------|----|
| 加速器机房 | 南侧水冷机房 (k) | 2.87E-01 | 375 | 1 | 1/16 | 6.73E-03 | 公众 |
| | 南侧防护门外 (g) | 0.29 | 375 | 1 | 1/8 | 1.36E-02 | 公众 |
| | 西侧 1 号直线加速器机房 (b) | 9.23E-01 | 375 | 1 | 1/2 | 1.73E-01 | 职业 |
| | 上方医院道路 (I) | 1.40 | 375 | 1 | 1/16 | 3.28E-02 | 公众 |

①辐射工作人员年有效剂量

由表 11.2-26 可知，直线加速器机房工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为 $7.73 \times 10^{-5} \text{ mSv}$ ，考虑到一间直线加速器机房出束时，另一间直线加速器机房中辐射工作人员有可能在进行摆位，因此辐射工作人员年有效剂量进行叠加考虑，一间直线加速器机房出束时，另一间直线加速器辐射工作人员年有效剂量为 $1.73 \times 10^{-1} \text{ mSv}$ ，则直线加速器机房辐射工作人员年有效剂量合计为 $7.73 \times 10^{-5} \text{ mSv} + 1.73 \times 10^{-1} \text{ mSv} \approx 1.73 \times 10^{-1} \text{ mSv}$ 。满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5 mSv 的要求。

②公众年有效剂量

由表 11.2-26 可知，直线加速器机房外公众的年有效剂量最大值为 $3.28 \times 10^{-2} \text{ mSv}$ ，为机房上方医院道路公众。

由于 2 号直线加速器机房上方医院道路公众也为 1 号直线加速器机房周边公众，因此上方医院道路公众需要叠加考虑 2 个机房的共同影响，则上方医院道路公众年有效剂量最大估算值为 $3.28 \times 10^{-2} + 3.28 \times 10^{-2} = 6.56 \times 10^{-2} \text{ mSv}$ 。

综上所述，公众年有效剂量最大为 $6.56 \times 10^{-2} \text{ mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1 mSv 的要求。

对于直线加速器机房屏蔽物边界外 50 m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50 m 范围内公众所受年有效剂量更小，因此，也能够满足本项目直线加速器机房周围公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1 mSv 的要求。

(6) 电子线和感生放射性的影响分析

本项目直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线。本项目加速器最大 X 射线能量为 15 MV ，电子线最大能量为 22 MeV ，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的轫致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，

对屏蔽电子束的轫致辐射所需要的厚度也低于对于 15MV X 射线的屏蔽要求。

当治疗电子线能量大于 10MeV 时，会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：1) 加速器结构材料等（主要为加速器靶）的感生放射性；2) 气态感生放射性核素。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 , ^{13}N 和 ^{41}Ar ，其半衰期分别为 2.0min, 10.0min 和 1.82h，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病人造成危害。

（7）废靶件对环境的影响分析

对于更换下来的废靶件和退役时拆卸下来的废靶件，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶件等组件进行监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般固体废物处置，并做好存档记录；若监测异常，应先在屏蔽容器内暂存，然后委托具有固体放射性废物收贮资质的单位收贮。因此，正常情况下不会对环境造成明显影响。

（8）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

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，产生臭氧和氮氧化物。本项目 2 间直线加速器机房拟安装有效通风量不小于 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风，直线加速器机房有效容积约 436m^3 ，通风换气次数不小于 4.5 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时的要求。臭氧和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。

11.2.3.2 CT 模拟定位机

本项目 CT 模拟定位机在扫描过程需考虑泄漏辐射和散射辐射，本项目 CT 模拟定位机额定管电压均为 150kV，管电流均为 1300mA，型号未定，扫描时 CT 最大工况为 140kV、200mA。

泄漏辐射：参考《医用电气设备第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020），本项目 CT 模拟定位机距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 $1\text{mGy}/\text{h}$ 。

散色辐射：根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mmAl，又根据《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1，可以查得过滤片为 2.5mmAl 时，距靶 1m 处空气中的空气比释动能为 $0.200\text{mGy}/\text{mAs}$ 。因此，

根据式 11.2-19，本项目 CT 模拟定位机距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 $1.44 \times 10^5 \text{ mGy/h}$ 。

屏蔽透视因子：根据表 10.1-19 可知，CT 模拟定位机机房屏蔽体外最低铅当量均为 3.0mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子均为 1.08×10^{-4} 。

其他参数： $\alpha=a/400$ ，根据《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1，本项目保守取 150kV X 射线 $a=0.0016$ （ 90° 散射）；散射面积取 100cm^2 ；源与患者的距离取 0.7m；距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.1m。

根据上述数据核算，CT 模拟定位机设备运行所致的泄漏辐射剂量率为 $1.12 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，散射辐射剂量率为 $1.32 \mu\text{Sv/h}$ ，因此，总辐射剂量率为 $1.12 \times 10^{-2} + 1.32 = 1.33 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

CT 模拟定位机辐射工作人员保守按年工作 2000h 计，则辐射工作人员年有效剂量为 2.66 mSv ，符合辐射工作人员年剂量约束值 5 mSv 的要求；根据每台直线加速器每天放射治疗患者最多为 60 人次，则 CT 模拟定位机日扫描人数为 120 人次，扫描时间约 30s，年出束时间约 250h，因 CT 模拟定位机机房相邻区域为走廊，因此居留因子取 1/5，则机房周围公众年有效剂量为 0.07 mSv ，符合公众年剂量约束值 0.1 mSv 的要求。

11.2.4 介入科

11.2.4.1 DSA 运行时环境影响分析

DSA 设备在手术中分透视和减影两种模式。DSA 减影模式是指 DSA 的 X 射线系统曝光时，工作人员位于操作间，即为隔室操作方式。DSA 透视模式是指在透视条件下，医护人员近台同室进行介入操作。本次评价分别对减影、透视两种工况下机房周围的辐射水平进行了预测。

在介入手术过程中，机头有用线束直接照向患者，根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》（NCRP147 号出版物）第 4.1.6 节指出，在血管造影术中将使用图像增强器，可阻挡主射线，初级辐射的强度会大幅度地被病人、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱，因此，DSA 屏蔽估算时可不考虑主束照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

（1）DSA 技术参数及机房设计情况

本项目新增 3 台 DSA，每台 DSA 射线装置额定参数均为最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA，型号未定。根据 DSA 设备的工作原理，设备在正常工况时，项目 DSA 设备参数无法同时达到最大管电压 150kV，最大管电流 1250mA，正常工况时，不同手术类型和不同患者身体状况都会影响管电压和管电流的参数，实际使用时管电压通常在 90kV 以下，透视管电流通常为十几毫安，减影时功率较大，管电流通常为几百毫安。根据目前一些医院的实际值统计，减影模式下，普遍情况下 DSA 设备的管电压和管电流为 60~100kV/300~500mA；透视模式下管电压和管电流为 60~90kV/5~15mA，本环评拟进行保守估算，采用减影工况下的设备参数：管电压 100kV，管电流 500mA；透视工况下的设备参数：管电压 90kV，管电流 15mA。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），介入设备等效总滤过不小于 2.5mmAl，项目购置正规生产厂家生产的设备，滤过参数满足标准要求，本次计算总滤过取 2.5mmAl 保守读数，根据减影工况下的设备参数：管电压 100kV，管电流 500mA，透视模式下的设备参数：管电压 90kV，管电流 15mA。根据《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1（见图 11.2.4.1-1），可以查得减影模式下距靶 1m 处空气中的空气比释动能为 0.090mGy/mAs，透视模式下距靶 1m 处空气中的空气比释动能为 0.075mGy/mAs。

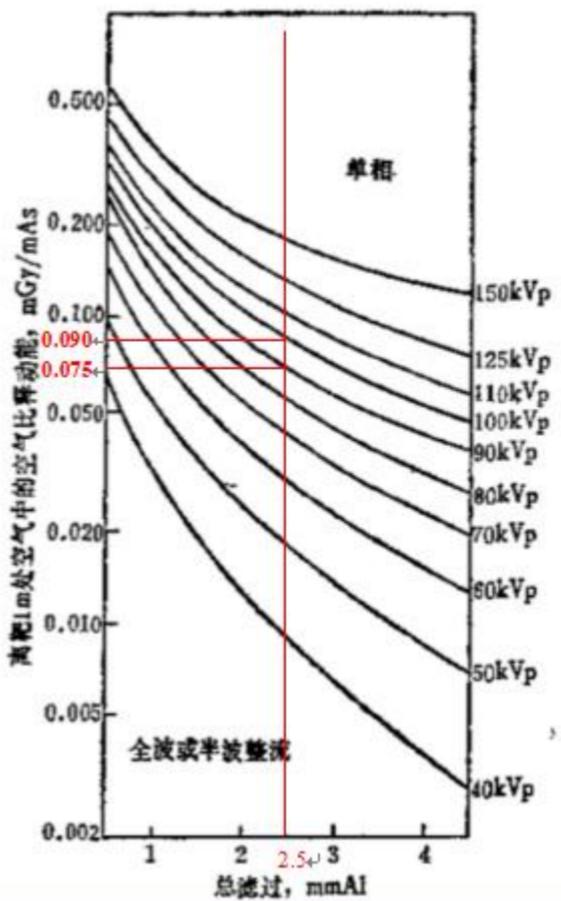


图 11.2-4 距 X 射线源 1m 处的照射量率随管电压及总滤过厚度变化的情况

根据《辐射防护导论》射线装置距靶 1m 处的空气比释动能率，按公式 11.2-19 计算：

$$\dot{K} = I \cdot \delta_x \frac{r_0^2}{r^2} \dots \quad (\text{式 11.2-19})$$

式中：

\dot{K} ——离靶 r (m) 处由 X 射线机产生的初级 X 射线束造成的空气比释动能率，
mGy/min；
 I ——管电流 (mA)；
 δ_x ——管电流为 1mA，距靶 1m 处的发射率常数，mGy/(mA·s)；
 $r_0=1\text{m}$ ；
 r ——源至关注点的距离，m。

表 11.2-27 DSA 不同运行模式下距靶 1m 处空气比释动能率一览表

| 设备 | 运行模式 | 过滤材料厚度 | 距靶 1m 处的空气比释动能率 (mGy/mA·s) | 最大常用电压 (kV) | 最大常用电流 (mA) | 距靶 1m 处的空气比释动能率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$) |
|-----|------|---------|----------------------------|-------------|-------------|---|
| DSA | 减影 | 2.5mmAl | 0.09 | 100 | 500 | 1.62×10^8 |

| | | | | | | |
|--|----|---------|-------|----|----|--------------------|
| | 透视 | 2.5mmAl | 0.075 | 90 | 15 | 4.05×10^6 |
|--|----|---------|-------|----|----|--------------------|

(2) 工作负荷

本项目DSA工作负荷见表 9.2-11。

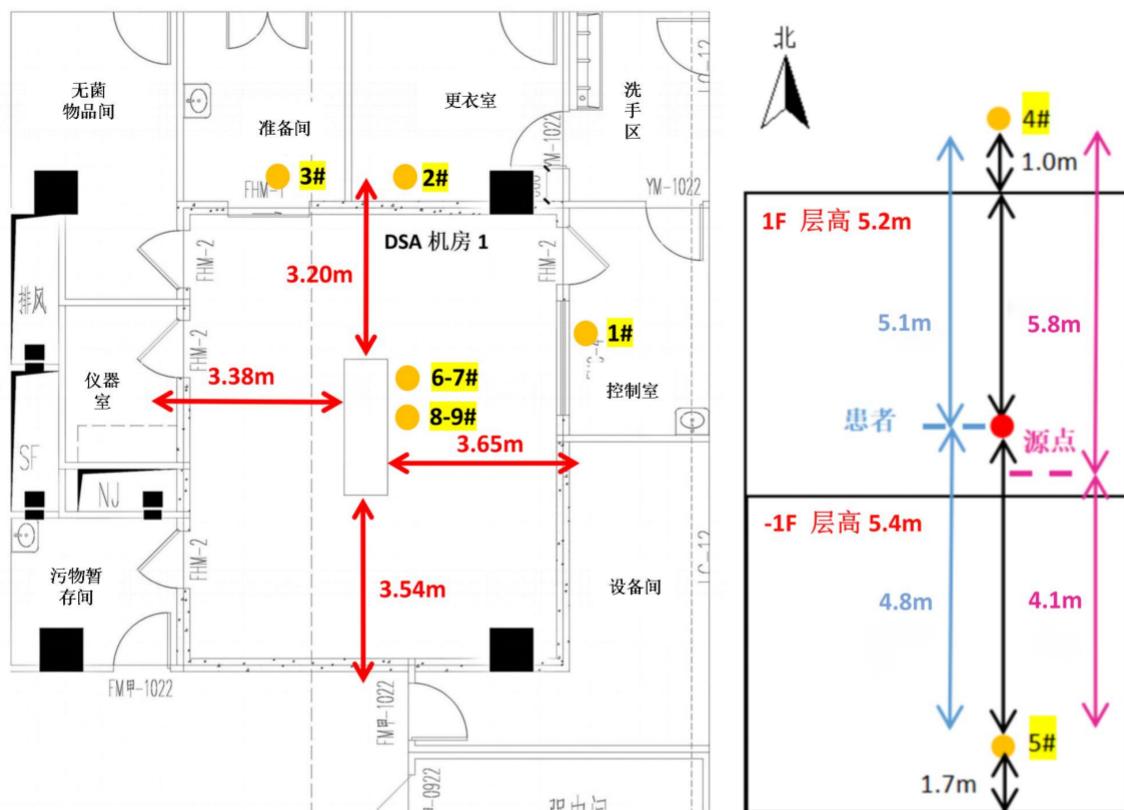
(3) 关注点选取

本项目DSA未确定设备型号，无法确定准确的球管位置，结合机房情况，保守按照如下情况进行理论预测计算：在机房中心设置 $2.5m \times 0.8m$ 较大规格手术床，X射线球管距地面 0.4m，患者距地面 1.1m，关注点选取机房门外 30cm 处、墙外 30cm 处、观察窗外 30cm 处、顶棚上方距顶棚地面 1m 处和地面楼下距楼下地面 1.7m 处。关注点示意图见图 11.2-5 至图 11.2-7，点位情况见表 11.2-28。

表 11.2-28 各机房关注点位情况表

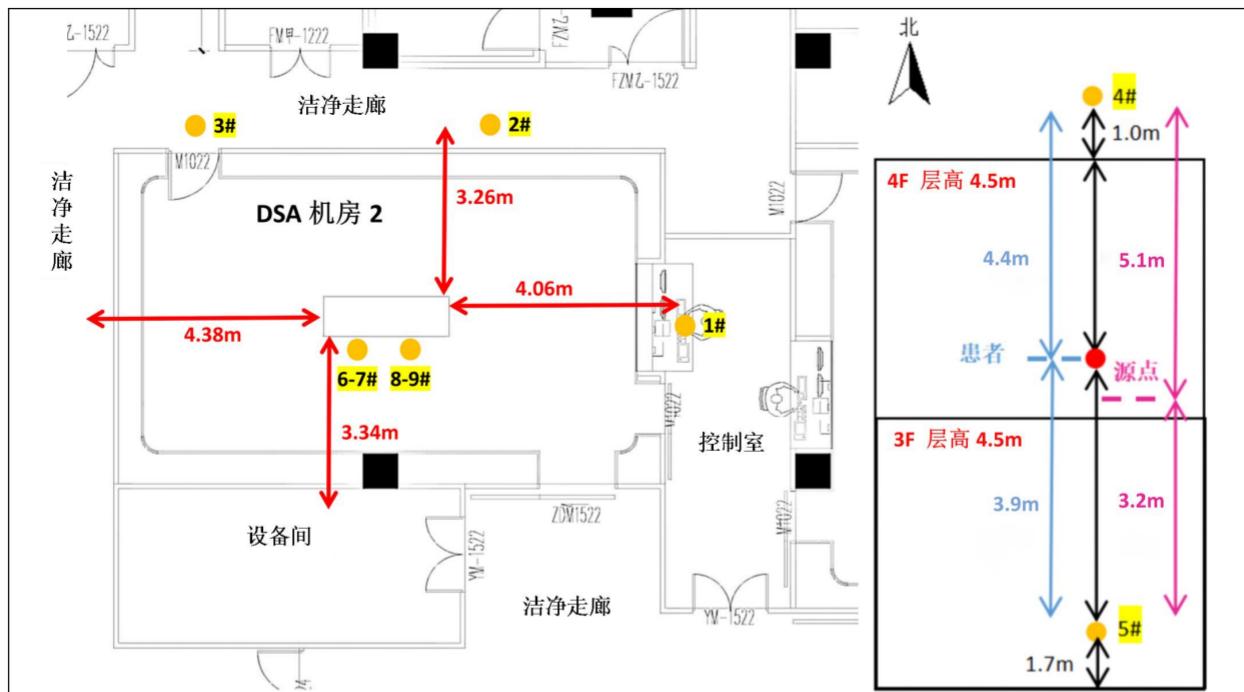
| 关注点位 | | 方位 | 与散射体(患者体表)的距离 (m) | 与辐射源点(靶点)的距离 (m) |
|----------------------|----------------------------|-----|-------------------|------------------|
| DSA 机房 1 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 东侧 | 3.65 | 3.65 |
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处 (更衣室) | 北侧 | 3.20 | 3.20 |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处 (准备间) | 北侧 | 3.20 | 3.20 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (走廊) | 上方 | 5.10 | 5.80 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (排风机房) | 下方 | 4.80 | 4.10 |
| | 6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外) | 机房内 | 0.5 | 0.6 |
| | 7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内) | 机房内 | 0.5 | 0.6 |
| | 8#: 第二术者位 (铅衣外) | 机房内 | 0.9 | 1.0 |
| | 9#: 第二术者位 (铅衣内) | 机房内 | 0.9 | 1.0 |
| DSA 机房 2 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 东侧 | 4.06 | 4.06 |
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处 (洁净走廊) | 北侧 | 3.26 | 3.26 |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处 (洁净走廊) | 北侧 | 3.26 | 3.26 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 上方 | 4.40 | 5.10 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 下方 | 3.90 | 3.20 |
| | 6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外) | 机房内 | 0.5 | 0.6 |
| | 7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内) | 机房内 | 0.5 | 0.6 |
| | 8#: 第二术者位 (铅衣外) | 机房内 | 0.9 | 1.0 |
| | 9#: 第二术者位 (铅衣内) | 机房内 | 0.9 | 1.0 |
| DSA 复合 手术 室 | 1#: 机房西侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 西侧 | 3.64 | 3.64 |
| | 2#: 机房西侧墙外 30cm 处 (控制室) | 西侧 | 3.64 | 3.64 |
| | 3#: 机房西侧防护门外 30cm 处 (控制室) | 西侧 | 3.64 | 3.64 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 上方 | 4.40 | 5.10 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 下方 | 3.90 | 3.20 |
| | 6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外) | 机房内 | 0.5 | 0.6 |

| | | | | |
|--|----------------------|-----|-----|-----|
| | 7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内) | 机房内 | 0.5 | 0.6 |
| | 8#: 第二术者位 (铅衣外) | 机房内 | 0.9 | 1.0 |
| | 9#: 第二术者位 (铅衣内) | 机房内 | 0.9 | 1.0 |



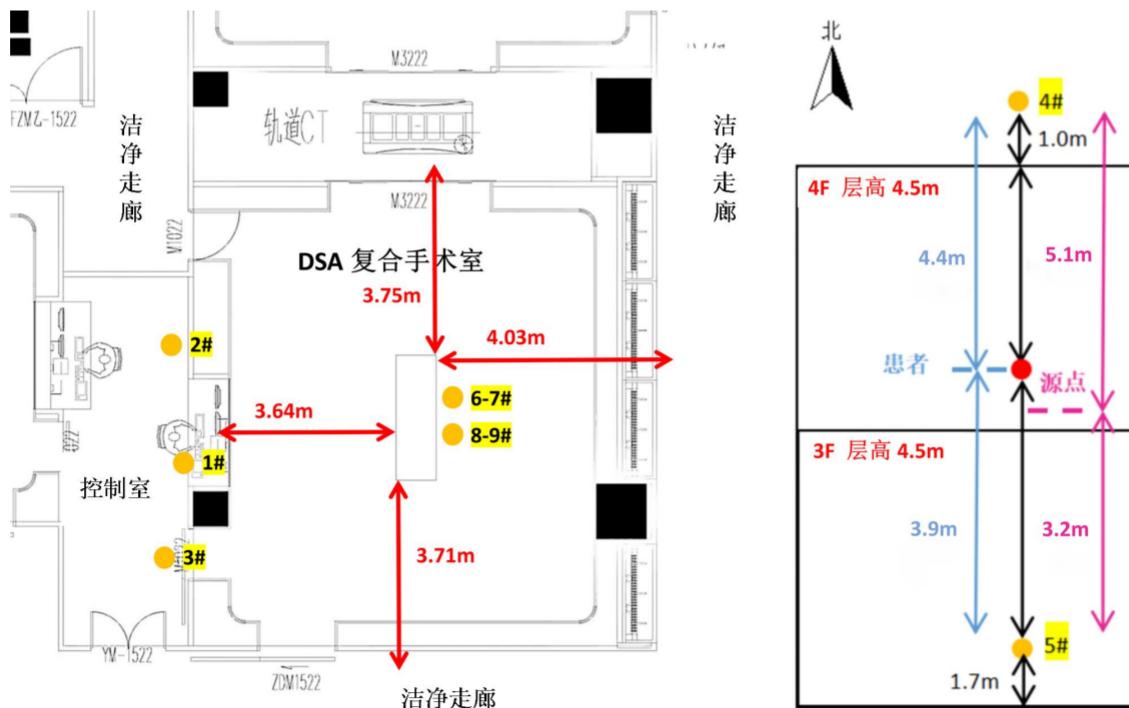
*注: DSA 机房 1 只有 1 扇观察窗, 取观察窗外 30cm 处的 1# 进行计算; 机房各侧墙体的防护屏蔽相同, 取距离最短的 2# 作为墙外剂量率代表点进行计算; 机房的各个防护门防护屏蔽相同, 取距离最短的 3# 作为防护门外剂量率代表点进行计算。

图 11.2-5 DSA 机房 1 关注点示意图



*注：DSA 机房 2 只有 1 扇观察窗，取观察窗外 30cm 处的 1# 进行计算；机房各侧墙体的防护屏蔽相同，取距离最短的 2# 作为墙外剂量率代表点进行计算；机房的各个防护门防护屏蔽相同，取距离最短的 3# 作为防护门外剂量率代表点进行计算。

图 11.2-6 DSA 机房 2 关注点示意图



*注：DSA 复合手术室只有 1 扇观察窗，取观察窗外 30cm 处的 1# 进行计算；机房各侧墙体的防护屏蔽相同，取距离最短的 2# 作为墙外剂量率代表点进行计算；机房的各个防护门防护屏蔽相同，取距离最短的 3# 作为防护门外剂量率代表点进行计算。

图 11.2-7 DSA 复合手术室关注点示意图

(4) 泄漏辐射的影响预测

参考国际放射防护委员会第33号出版物《医用外照射源的辐射防护》：“(77)用于诊断目的的每一个X射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的X射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点1m处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过1mGy/h”。

根据《辐射防护手册》第一分册（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987年），计算公式如公式11.2-20所示：

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \dots \dots \dots \text{(式 11.2-20)}$$

式中：

H_L —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

H_0 ——距靶1m处的泄漏辐射在空气中的比释动能率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，项目取1mGy/h；

d —靶点距关注点的距离，m；第一术者位身体取0.6m，第二术者位身体取1.0m。

B ——屏蔽透射因子。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）计算屏蔽透射因子，公式如下：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots \dots \dots \text{(式 11.2-21)}$$

式中：

B ——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

β ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X ——铅厚度；

铅、混凝土、铁对不同管电压X射线辐射衰减的有关的三个拟合参数见表11.2-29。

表 11.2-29 不同材料对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数一览表

| 管电压 (kv) | 材料 | α | β | γ |
|----------|-----|----------|---------|----------|
| 90 | 铅 | 3.067 | 18.83 | 0.7726 |
| | 混凝土 | 0.04228 | 0.1137 | 0.469 |
| | 砖 | 0.0375 | 0.082 | 0.892 |
| 100 (主束) | 铅 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 |
| | 混凝土 | 0.03925 | 0.08567 | 0.4273 |
| | 砖 | 0.0352 | 0.088 | 1.149 |
| 100 (散射) | 铅 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 |
| | 混凝土 | 0.0395 | 0.0844 | 0.5191 |

注：拟合参数均取自于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

各个机房各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-30 至表 11.2-32。

表 11.2-30 DSA 机房 1 各预测点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

| 工作模式 | 关注点位 | H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 屏蔽材料及厚度 | 靶点距关注点距离 (m) | B | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------|----------|-----------------------------------|
| 减影 | 1#：机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 1.0×10^3 | 18mm 铅玻璃 | 3.65 | 9.21E-06 | 6.91E-04 |
| | 2#：机房北侧墙外 30cm 处（更衣室） | 1.0×10^3 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 3.20 | 3.72E-08 | 3.63E-06 |
| | 3#：机房北侧防护门外 30cm 处（准备间） | 1.0×10^3 | 内衬 4mm 铅板 | 3.20 | 3.39E-06 | 3.31E-04 |
| | 4#：机房楼上 1m 处（走廊） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 5.80 | 1.42E-08 | 4.22E-07 |
| | 5#：机房楼下距地 1.7m 处（排风机房） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 4.10 | 2.02E-07 | 1.20E-05 |
| 透视 | 1#：机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 1.0×10^3 | 18mm 铅玻璃 | 3.65 | 1.26E-06 | 9.46E-05 |
| | 2#：机房北侧墙外 30cm 处（更衣室） | 1.0×10^3 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 3.20 | 5.80E-09 | 5.66E-07 |
| | 3#：机房北侧防护门外 30cm 处（准备间） | 1.0×10^3 | 内衬 4mm 铅板 | 3.20 | 3.69E-07 | 3.60E-05 |
| | 4#：机房楼上 1m 处（走廊） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 5.80 | 2.32E-09 | 6.90E-08 |
| | 5#：机房楼下距地 1.7m 处（排风机房） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 4.10 | 5.51E-08 | 3.28E-06 |

| | | | | | | |
|--|---------------------|-------------------|--------------------------|-----|----------|-------|
| | 6#: 第一术者位（手术医生位铅衣外） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 0.6 | 2.52E-02 | 70.00 |
| | 7#: 第一术者位（手术医生位铅衣内） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣 | 0.6 | 4.08E-03 | 11.33 |
| | 8#: 第二术者位（铅衣外） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 1.0 | 2.52E-02 | 25.20 |
| | 9#: 第二术者位（铅衣内） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘 | 1.0 | 4.08E-03 | 4.08 |

表 11.2-31 DSA 机房 2 各预测点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

| 工作模式 | 关注点位 | H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 屏蔽材料及厚度 | 靶点距关注点距离 (m) | B | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------|----------|-----------------------------------|
| 减影 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 1.0×10^3 | 18mm 铅玻璃 | 4.06 | 9.21E-06 | 6.91E-04 |
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处（洁净走廊） | 1.0×10^3 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 3.26 | 3.72E-08 | 3.63E-06 |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处（洁净走廊） | 1.0×10^3 | 内衬 4mm 铅板 | 3.26 | 3.39E-06 | 3.31E-04 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处（手术净化机房） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 5.10 | 1.42E-08 | 4.22E-07 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（中心供应室） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.20 | 2.02E-07 | 1.20E-05 |
| 透视 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 1.0×10^3 | 18mm 铅玻璃 | 4.06 | 1.26E-06 | 9.46E-05 |
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处（洁净走廊） | 1.0×10^3 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 3.26 | 5.80E-09 | 5.66E-07 |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处（洁净走廊） | 1.0×10^3 | 内衬 4mm 铅板 | 3.26 | 3.69E-07 | 3.60E-05 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处（手术净化机房） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 5.10 | 2.32E-09 | 6.90E-08 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（中心供应室） | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.20 | 5.51E-08 | 3.28E-06 |
| | 6#: 第一术者位（手术医生位铅衣外） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 0.6 | 2.52E-02 | 70.00 |
| | 7#: 第一术者位（手术医生位铅衣内） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣 | 0.6 | 4.08E-03 | 11.33 |
| | 8#: 第二术者位（铅衣外） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 1.0 | 2.52E-02 | 25.20 |
| | 9#: 第二术者位（铅衣内） | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘 | 1.0 | 4.08E-03 | 4.08 |

表 11.2-32 DSA 复合手术室各预测点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

| 工作模式 | 关注点位 | H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 屏蔽材料及厚度 | 靶点距关注点距离 (m) | B | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------|----------|-----------------------------------|
| 减影 | 1#: 机房西侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 1.0×10^3 | 18mm 铅玻璃 | 3.64 | 9.21E-06 | 6.91E-04 |
| | 2#: 机房西侧墙外 30cm 处 (控制室) | 1.0×10^3 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 3.64 | 3.72E-08 | 3.63E-06 |
| | 3#: 机房西侧防护门外 30cm 处 (控制室) | 1.0×10^3 | 内衬 4mm 铅板 | 3.64 | 3.39E-06 | 3.31E-04 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 5.10 | 1.42E-08 | 4.22E-07 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.20 | 2.02E-07 | 1.20E-05 |
| 透视 | 1#: 机房西侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 1.0×10^3 | 18mm 铅玻璃 | 3.64 | 1.26E-06 | 9.46E-05 |
| | 2#: 机房西侧墙外 30cm 处 (控制室) | 1.0×10^3 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 3.64 | 5.80E-09 | 5.66E-07 |
| | 3#: 机房西侧防护门外 30cm 处 (控制室) | 1.0×10^3 | 内衬 4mm 铅板 | 3.64 | 3.69E-07 | 3.60E-05 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 5.10 | 2.32E-09 | 6.90E-08 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 1.0×10^3 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 3.20 | 5.51E-08 | 3.28E-06 |
| | 6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外) | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 0.6 | 2.52E-02 | 70.00 |
| | 7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内) | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣 | 0.6 | 4.08E-03 | 11.33 |
| | 8#: 第二术者位 (铅衣外) | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 1.0 | 2.52E-02 | 25.20 |
| | 9#: 第二术者位 (铅衣内) | 1.0×10^3 | 0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘 | 1.0 | 4.08E-03 | 4.08 |

(5) 病人体表散射辐射环境影响分析

对于病人体表的散射的X射线可以采用反照射率法估算，引用李德平、潘自强主编的《辐射防护手册》第一分册——《辐射源与屏蔽》 ([M]北京：原子能出版社，1987)。可按以下公式进行估算。

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot s}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots \dots \dots \text{ (式 11.2-22)}$$

式中：

H_s ——关注点处的患者散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

H_0 ——距靶点 1m 处的最大剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

α ——患者对 X 射线的散射比, $\alpha=a/400$ 查《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1 得 100kV X 射线 $a=0.0013$ (90° 散射);

S ——散射面积, 取 100cm^2 ;

d_0 ——源与患者的距离, m; 取 0.7m;

d_s ——患者散射点与关注点的距离, m; 第一术者位身体取 0.5m, 第二术者位身体取 0.9m;

B ——屏蔽透射因子。

表 11.2-33 DSA 机房 1 各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

| 工作模式 | 关注点位 | H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 屏蔽材料及厚度 | S (cm^2) | d_0 (m) | d_s (m) | B | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|--------------|----------|--------------------------------------|
| 减影 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 1.62×10^8 | 18mm 铅玻璃 | 100 | 0.7 | 3.65 | 1.40E-05 | 1.13E-01 |
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处 (更衣室) | 1.62×10^8 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.20 | 5.62E-08 | 5.90E-04 |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处 (准备间) | 1.62×10^8 | 内衬 4mm 铅板 | 100 | 0.7 | 3.20 | 5.14E-06 | 5.39E-02 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (走廊) | 1.62×10^8 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 100 | 0.7 | 5.10 | 3.27E-08 | 1.35E-04 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (排风机房) | 1.62×10^8 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 4.80 | 4.40E-07 | 2.05E-03 |
| 透视 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 4.05×10^6 | 18mm 铅玻璃 | 100 | 0.7 | 3.65 | 1.26E-06 | 2.54E-04 |

| | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|--------------------|--------------------------|-----|-----|------|----------|----------|--|
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处 (更衣室) | 4.05×10^6 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.20 | 1.24E-11 | 3.25E-09 | |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处 (准备间) | 4.05×10^6 | 内衬 4mm 铅板 | 100 | 0.7 | 3.20 | 3.69E-07 | 9.68E-05 | |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (走廊) | 4.05×10^6 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 100 | 0.7 | 5.10 | 2.32E-09 | 2.40E-07 | |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (排风机房) | 4.05×10^6 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 4.80 | 2.32E-09 | 2.70E-07 | |
| | 6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 100 | 0.7 | 0.5 | 2.52E-02 | 270.77 | |
| | 7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣 | 100 | 0.7 | 0.5 | 4.08E-03 | 43.84 | |
| | 8#: 第二术者位 (铅衣外) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 100 | 0.7 | 0.9 | 2.52E-02 | 83.57 | |
| | 9#: 第二术者位 (铅衣内) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘 | 100 | 0.7 | 0.9 | 4.08E-03 | 13.53 | |

表 11.2-34 DSA 机房 2 各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

| 工作模式 | 关注点位 | H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 屏蔽材料及厚度 | S (cm^2) | d_0 (m) | d_s (m) | B | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|--------------------------------------|
| 减影 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 1.62×10^8 | 18mm 铅玻璃 | 100 | 0.7 | 4.06 | 1.40E-05 | 1.13E-01 |
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处 (洁净走廊) | 1.62×10^8 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.26 | 5.62E-08 | 5.90E-04 |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处 (洁净走廊) | 1.62×10^8 | 内衬 4mm 铅板 | 100 | 0.7 | 3.26 | 5.14E-06 | 5.39E-02 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 1.62×10^8 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 100 | 0.7 | 4.40 | 3.27E-08 | 1.35E-04 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 1.62×10^8 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.90 | 4.40E-07 | 2.05E-03 |
| 透视 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 4.05×10^6 | 18mm 铅玻璃 | 100 | 0.7 | 4.06 | 1.26E-06 | 2.54E-04 |
| | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处 (洁净走廊) | 4.05×10^6 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.26 | 5.80E-09 | 1.52E-06 |
| | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处 (洁净走廊) | 4.05×10^6 | 内衬 4mm 铅板 | 100 | 0.7 | 3.26 | 3.69E-07 | 9.68E-05 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----------------------|--------------------|--------------------------|-----|-----|------|----------|----------|
| | 廊) | | | | | | | |
| 4#: | 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 4.05×10^6 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 100 | 0.7 | 4.40 | 2.32E-09 | 2.40E-07 |
| 5#: | 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 4.05×10^6 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.90 | 5.51E-08 | 6.42E-06 |
| 6#: | 第一术者位 (手术医生位铅衣外) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 100 | 0.7 | 0.5 | 2.52E-02 | 270.77 |
| 7#: | 第一术者位 (手术医生位铅衣内) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣 | 100 | 0.7 | 0.5 | 4.08E-03 | 43.84 |
| 8#: | 第二术者位 (铅衣外) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 100 | 0.7 | 0.9 | 2.52E-02 | 83.57 |
| 9#: | 第二术者位 (铅衣内) | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘 | 100 | 0.7 | 0.9 | 4.08E-03 | 13.53 |

表 11.2-35 DSA 复合手术室各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

| 工作模式 | 关注点位 | H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 屏蔽材料及厚度 | S (cm^2) | d_0 (m) | ds (m) | B | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) |
|------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|-------------|----------|--------------------------------------|
| 减影 | 1#: 机房西侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 1.62×10^8 | 18mm 铅玻璃 | 100 | 0.7 | 3.64 | 1.40E-05 | 1.13E-01 |
| | 2#: 机房西侧墙外 30cm 处 (控制室) | 1.62×10^8 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.64 | 5.62E-08 | 5.90E-04 |
| | 3#: 机房西侧防护门外 30cm 处 (控制室) | 1.62×10^8 | 内衬 4mm 铅板 | 100 | 0.7 | 3.64 | 5.14E-06 | 5.39E-02 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 1.62×10^8 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 100 | 0.7 | 4.40 | 3.27E-08 | 1.35E-04 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 1.62×10^8 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.90 | 4.40E-07 | 2.05E-03 |
| 透视 | 1#: 机房西侧观察窗外 30cm 处 (控制室) | 4.05×10^6 | 18mm 铅玻璃 | 100 | 0.7 | 3.64 | 1.26E-06 | 2.54E-04 |
| | 2#: 机房西侧墙外 30cm 处 (控制室) | 4.05×10^6 | 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料 | 100 | 0.7 | 3.64 | 5.80E-09 | 1.52E-06 |
| | 3#: 机房西侧防护门外 30cm 处 (控制室) | 4.05×10^6 | 内衬 4mm 铅板 | 100 | 0.7 | 3.64 | 3.69E-07 | 9.68E-05 |
| | 4#: 机房楼上 1m 处 (手术净化机房) | 4.05×10^6 | 200mm 混凝土+2mmPb 铅板 | 100 | 0.7 | 4.40 | 2.32E-09 | 2.40E-07 |
| | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (中心供应室) | 4.05×10^6 | 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护 | 100 | 0.7 | 3.90 | 5.51E-08 | 6.42E-06 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----------------|--------------------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|--------|
| | | | 涂料 | | | | | |
| 6#: | 第一术者位（手术医生位铅衣外） | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 100 | 0.7 | 0.5 | 2.52E-02 | 270.77 |
| 7#: | 第一术者位（手术医生位铅衣内） | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣 | 100 | 0.7 | 0.5 | 4.08E-03 | 43.84 |
| 8#: | 第二术者位（铅衣外） | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 床侧防护帘 | 100 | 0.7 | 0.9 | 2.52E-02 | 83.57 |
| 9#: | 第二术者位（铅衣内） | 4.05×10^6 | 0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘 | 100 | 0.7 | 0.9 | 4.08E-03 | 13.53 |

(6) 预测结果及评价

①总辐射剂量率估算

各个机房各预测点总辐射剂量率结果见表 11.2-36。

表 11.2-36 各个机房各预测点总辐射剂量率

| 工作场所 | 工作模式 | 关注点位置描述 | 泄漏辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 散射辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 总辐射剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$) |
|----------|------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| DSA 机房 1 | 减影 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 6.91E-04 | 1.13E-01 | 1.14E-01 |
| | | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处（更衣室） | 3.63E-06 | 5.90E-04 | 5.94E-04 |
| | | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处（准备间） | 3.31E-04 | 5.39E-02 | 5.42E-02 |
| | | 4#: 机房楼上 1m 处（走廊） | 4.22E-07 | 1.35E-04 | 1.35E-04 |
| | | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（排风机房） | 1.20E-05 | 2.05E-03 | 2.06E-03 |
| | 透视 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 9.46E-05 | 2.54E-04 | 3.49E-04 |
| | | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处（更衣室） | 5.66E-07 | 1.52E-06 | 2.09E-06 |
| | | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处（准备间） | 3.60E-05 | 9.68E-05 | 1.33E-04 |
| | | 4#: 机房楼上 1m 处（走廊） | 6.90E-08 | 2.40E-07 | 3.09E-07 |
| | | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（排风机房） | 3.28E-06 | 6.42E-06 | 9.70E-06 |

| | | | | | |
|--------------|----|---------------------------|----------|----------|----------|
| | | 6#: 第一术者位（手术医生位铅衣外） | 70.00 | 270.77 | 340.77 |
| | | 7#: 第一术者位（手术医生位铅衣内） | 11.33 | 43.84 | 55.17 |
| | | 8#: 第二术者位（铅衣外） | 25.20 | 83.57 | 108.77 |
| | | 9#: 第二术者位（铅衣内） | 4.08 | 13.53 | 17.61 |
| DSA 机房 2 | 减影 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 6.91E-04 | 1.13E-01 | 1.14E-01 |
| | | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处（洁净走廊） | 3.63E-06 | 5.90E-04 | 5.94E-04 |
| | | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处（洁净走廊） | 3.31E-04 | 5.39E-02 | 5.42E-02 |
| | | 4#: 机房楼上 1m 处（手术净化机房） | 4.22E-07 | 1.35E-04 | 1.35E-04 |
| | | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（中心供应室） | 1.20E-05 | 2.05E-03 | 2.06E-03 |
| | 透视 | 1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 9.46E-05 | 2.54E-04 | 3.49E-04 |
| | | 2#: 机房北侧墙外 30cm 处（洁净走廊） | 5.66E-07 | 1.52E-06 | 2.09E-06 |
| | | 3#: 机房北侧防护门外 30cm 处（洁净走廊） | 3.60E-05 | 9.68E-05 | 1.33E-04 |
| | | 4#: 机房楼上 1m 处（手术净化机房） | 6.90E-08 | 2.40E-07 | 3.09E-07 |
| | | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（中心供应室） | 3.28E-06 | 6.42E-06 | 9.70E-06 |
| | | 6#: 第一术者位（手术医生位铅衣外） | 70.00 | 270.77 | 340.77 |
| | | 7#: 第一术者位（手术医生位铅衣内） | 11.33 | 43.84 | 55.17 |
| | | 8#: 第二术者位（铅衣外） | 25.20 | 83.57 | 108.77 |
| | | 9#: 第二术者位（铅衣内） | 4.08 | 13.53 | 17.61 |
| DSA 复合手术室 | 减影 | 1#: 机房西侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 6.91E-04 | 1.13E-01 | 1.14E-01 |
| | | 2#: 机房西侧墙外 30cm 处（控制室） | 3.63E-06 | 5.90E-04 | 5.94E-04 |
| | | 3#: 机房西侧防护门外 30cm 处（控制室） | 3.31E-04 | 5.39E-02 | 5.42E-02 |
| | | 4#: 机房楼上 1m 处（手术净化机房） | 4.22E-07 | 1.35E-04 | 1.35E-04 |

| | | | | | |
|----|--|--------------------------|----------|----------|----------|
| | | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（中心供应室） | 1.20E-05 | 2.05E-03 | 2.06E-03 |
| 透视 | | 1#: 机房西侧观察窗外 30cm 处（控制室） | 9.46E-05 | 2.54E-04 | 3.49E-04 |
| | | 2#: 机房西侧墙外 30cm 处（控制室） | 5.66E-07 | 1.52E-06 | 2.09E-06 |
| | | 3#: 机房西侧防护门外 30cm 处（控制室） | 3.60E-05 | 9.68E-05 | 1.33E-04 |
| | | 4#: 机房楼上 1m 处（手术净化机房） | 6.90E-08 | 2.40E-07 | 3.09E-07 |
| | | 5#: 机房楼下距地 1.7m 处（中心供应室） | 3.28E-06 | 6.42E-06 | 9.70E-06 |
| | | 6#: 第一术者位（手术医生位铅衣外） | 70.00 | 270.77 | 340.77 |
| | | 7#: 第一术者位（手术医生位铅衣内） | 11.33 | 43.84 | 55.17 |
| | | 8#: 第二术者位（铅衣外） | 25.20 | 83.57 | 108.77 |
| | | 9#: 第二术者位（铅衣内） | 4.08 | 13.53 | 17.61 |

由表 11.2-36 计算结果可知：本项目DSA在减影模式下，控制室操作位的辐射剂量率最大值为 $1.14 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，机房外周围关注点的辐射剂量率最大值为 $5.42 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；在透视模式下，控制室操作位的辐射剂量率最大值为 $3.49 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，机房周围关注点的辐射剂量率最大值为 $1.33 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

②DSA机房周围辐射剂量率叠加分析

根据本项目医技住院综合楼四层 2 间DSA机房平面布局，保守考虑 2 台DSA共同影响，在减影模式下，控制室操作位的辐射剂量率为 $1.14 \times 10^{-1} \times 2 = 0.23 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，机房外周围的辐射剂量率为 $5.42 \times 10^{-2} \times 2 = 0.11 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；在透视模式下，控制室操作位的辐射剂量率为 $3.50 \times 10^{-4} \times 2 = 7.00 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，机房外周围的辐射剂量率为 $1.33 \times 10^{-4} \times 2 = 2.66 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

综上所述，本项目DSA在正常运行情况下，机房各屏蔽体外辐射剂量率在透视模式下不大于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，在减影模式下不大于 $25 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对“具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。”的要求。

(7) 年有效剂量预测分析

①辐射工作人员年有效剂量

根据医院预计最大工作量保守假设，DSA每年的最大手术量为 800 台。本项目DSA最大运行工况和工作负荷见表 9.2-11。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）对于工作人员穿戴铅围裙的情况，按照以下公式进行估算有效剂量：

$$E_{\text{外}} = \alpha H_U + \beta H_O \quad (\text{式 11.2-23})$$

$E_{\text{外}}$ ——有效剂量 E 中的外照射分量，单位为 mSv；

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84，本项目取 0.79；

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100，本项目取 0.051；

H_U ——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_P(10)$ ，本项目取理论计算的医生铅衣内的年剂量，单位为 mSv；

H_O ——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_P(10)$ ，本项目采取理论计算医生铅衣外的年剂量，单位为 mSv。

职业人员居留因子均取 1，根据式 11.2-6 和式 11.2-23 进行计算，辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 11.2-37。

表 11.2-37 辐射工作人员年有效剂量估算结果一览表

| 工作人员 | 操作方式 | 工作时间 (h) | 剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | | 居留因子 | 年有效剂量 (mSv) | 剂量约束值 (mSv) |
|------|------|----------|---------------------------------|--------|------|-------------|-------------|
| 医生 | 同室 | 66.67 | 第一术者位 (铅围裙外) | 340.77 | 1 | 4.07 | 5 |
| | | | 第一术者位 (铅围裙内) | 55.17 | | | |
| | 隔室 | 3.33 | 机房外最大值 | 0.23 | | | |
| 护士 | 同室 | 66.67 | 第二术者位 (铅围裙外) | 108.77 | 1 | 1.30 | 5 |
| | | | 第二术者位 (铅围裙内) | 17.61 | | | |
| | 隔室 | 3.33 | 机房外最大值 | 0.23 | | | |
| 技师 | 隔室 | 140 | 观察窗外 | 0.23 | 1 | 3.22E-02 | 5 |

注：1、医生、护士和技师隔室操作时，考虑 2 台 DSA 共同影响，保守取在减影模式下控制室操作位的辐射剂量率 $0.23\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

根据表 11.2-37 可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大值为 4.07mSv，能够满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

本项目设备型号未定，设备运行时的 X 射线辐射剂量率保守按最小固有滤过 2.5mmAl 进行计算，未考虑附加滤过材料的影响，因此估算结果是偏保守的。DSA 射线装置在固有滤过材料的基础上，均配备有 Al、Cu 等附加滤过材料，实际运行过程中，

辐射工作人员只要严格按照操作规程规范使用设备、正确使用防护用品和设施，正常情况下辐射工作人员实际年有效剂量值将小于上述保守预测结果。

④公众年有效剂量

根据 DSA 机房周围公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。公众年有效剂量按照式 11.2-2 计算,根据②DSA 机房周围辐射剂量率叠加分析,保守考虑,关注点剂量率分别取减影模式和透视模式下机房周围关注点的辐射剂量率最大值 $0.11\mu\text{Sv}/\text{h}$ 和 $2.66 \times 10^{-4}\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。公众年有效剂量计算结果见下表 11.2-38。

表 11.2-38 公众年有效剂量一览表

| 场所 | 位置描述 | 相对机房方位 | 透视模式辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 年出束时间 (h) | 减影模式辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) | 年出束时间 (h) | 居留因子 | 年有效剂量 (mSv) |
|-----------------|-----------------|--------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|------|-------------|
| DSA 机房 1 | 设备间公众 | 东侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 设备间和过道公众 | 南侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 污物间、仪器间和无菌物品间公众 | 西侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/4 | 3.84E-04 |
| | 准备间和更衣室公众 | 北侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/2 | 7.69E-04 |
| | 走廊、病人通道、空调机房公众 | 上方 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/2 | 7.69E-04 |
| | 排风机房、地下停车场公众 | 下方 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/16 | 9.61E-05 |
| DSA 机房 2 | 洁净走廊公众 | 东侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 设备间和洁净走廊公众 | 南侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 洁净走廊公众 | 西侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 洁净走廊公众 | 北侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 手术净化机房公众 | 上方 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/16 | 9.61E-05 |
| | 中心供应室、卫生间、更衣室公众 | 下方 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1 | 1.54E-03 |
| DSA 复合 手术 | 洁净走廊公众 | 东侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 洁净走廊公众 | 南侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 洁净走廊公众 | 西侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/5 | 3.07E-04 |
| | 移动 CT 存放间公众 | 北侧 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1/4 | 3.84E-04 |

| | | | | | | | | |
|---|-------------|----|----------|--------|------|-------|---|----------|
| 室 | 手术净化机房、走廊公众 | 上方 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1 | 1.54E-03 |
| | 中心供应室公众 | 下方 | 2.66E-04 | 266.67 | 0.11 | 13.33 | 1 | 1.54E-03 |

由表 11.2-38 可知：本项目 DSA 在正常运行时，DSA 机房周围公众受照的最大年有效剂量为 $1.54 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

对于 DSA 机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，能够满足本项目 DSA 机房周围公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

(8) DSA 复合手术室配套 CT 辐射影响分析

本项目移动 CT 在扫描过程需考虑泄漏辐射和散射辐射，本项目移动 CT 额定管电压均为 140kV ，管电流均为 1000mA ，型号未定，扫描时 CT 最大工况为 130kV 、 200mA 。

泄漏辐射：参考《医用电气设备第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020），本项目移动 CT 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 1mGy/h 。

散色辐射：根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mmAl ，又根据《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1，可以查得过滤片为 2.5mmAl 时，距靶 1m 处空气中的空气比释动能为 0.200mGy/mAs 。因此，根据式 11.2-19，本项目移动 CT 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 $1.44 \times 10^5 \text{mGy/h}$ 。

屏蔽透视因子：根据表 10.1-26 可知，DSA 复合手术室屏蔽体外最低铅当量均为 3.0mmPb ，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子均为 1.28×10^{-4} 。

其他参数： $\alpha=a/400$ ，根据《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1，本项目保守取 150kV X 射线 $a=0.0016$ (90° 散射)；散射面积取 100cm^2 ；源与患者的距离取 0.7m ；距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.2m 。

根据上述数据核算，移动 CT 设备运行所致的泄漏辐射剂量率为 $1.25 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，散射辐射剂量率为 $1.47 \mu\text{Sv/h}$ ，因此，总辐射剂量率为 $1.25 \times 10^{-2} + 1.47 = 1.48 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放

射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率要求。

DSA 复合手术室配套的 1 台移动 CT 工作量为每年 800 台手术，且移动 CT 与 DSA 不同时出束，因此仅考虑 CT 隔室操作时对周边人员的影响。单台手术 CT 曝光时间为 1min，年出束时间约 13.33h，则对机房周围全居留人员的年附加剂量贡献仅为 $1.97\times10^{-2}\text{mSv}$ 。

叠加后 DSA 机房辐射工作人员和周围的公众所受外照射仍满足本环评提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 的要求。

（9）运营期臭氧和氮氧化物影响分析

本项目 DSA 和 DSA 配套 CT 在曝光过程中，会产生少量臭氧和氮氧化物，每个 DSA 机房均设置动力通风装置，产生的臭氧和氮氧化物最终从楼顶排放。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.5 声环境影响分析

本项目核医学科场所以及放疗科和介入科各机房通风设备拟选用低噪声设备，通风设备设置于室内并设置隔声罩，排风管设置微穿孔消声器，风管与风机软连接，排风口设置防雨百叶窗，项目通风设备经墙体隔声、距离衰减后，对医院场界噪声贡献值很小，运行期间场界噪声可达到相关标准要求。对周边环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

11.3.2 事故等级分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

根据原国家环境保护总局 2006 年环发〔2006〕145 号文件中《辐射事故分级》规定，“一般辐射事故：是指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。”如管理不当本项目可能会发生以上两

种事故，事故等级分别为一般辐射事故。

11.3.3核医学科工作场所

11.3.3.1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。

①PET/CT机房和SPECT/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撒漏，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、取用药物或校准后未及时锁好防护门以及保险柜等药物保管工作不到位等情况致使放射性药物和校准源丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

11.3.3.2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，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质撒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质撒漏，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撒漏放射性液体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和校准源安全管理制度，设专人负责，做好核素和校准源的领取、使用登记工作，确保放射性药物和校准源的安全。储源室设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性核素或校准源丢失事故时，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核素和校准源进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

③加强对患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出

院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

④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所含核素的名称、种类、收贮时间及数量等内容，做好台账记录；放射性废水在衰变池组暂存时间满足要求后（暂存超过 180 天后）直接解控排放至医院污水处理站进一步处理；放射性固体废物在废物间储存时间满足要求后（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，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十个半衰期，含¹³¹I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

⑤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，以及铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等附加防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅橡胶衣/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。

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。

11.3.3.3 应急处置措施

发生事故时，采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的液体药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。若大量放射性物质撒漏，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器对撒漏

放射性液体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。处理药物撒漏的擦拭物收集放到固体放射性物衰变箱中，作为固体放射性废物进行管理。

②因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大。之后根据不同核素分别去污。

③若发生放射性药物丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

④放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

11.3.4 直线加速器机房

11.3.4.1 可能发生的事情

本项目直线加速器的安装、检修由设备厂家负责，医院只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，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直线加速器正在运行时，人员误入治疗机房；
- ②工作人员或病人家属还未全部撤离机房，控制室人员启动设备，造成有关人员被误照射。

11.3.4.2 工作场所防范措施

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。为防止直线加速器辐射事故发生，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：直线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，当吸收剂量未达到预选值时，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告标志。

⑫视频监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有电视监控、对讲装置，控制室能通过电视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。

11.3.4.3 安全保卫措施

为确保放疗科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，放疗科拟安装摄像头，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：放疗科机房设置在地下二层，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。一旦可能盗抢事件，立即关闭机房防护门，并立即向公安机关报案。

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。

综上所述，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。

11.3.5 DSA、CT模拟定位机和移动CT等射线装置

11.3.5.1 可能发生的事故

射线装置事故工况主要包括以下三种情况：

①装置在运行时，由于门-灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

②工作人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

③X射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

11.3.5.2 预防措施

将射线装置放置于专用机房内，机房墙体采用实心砖、硫酸钡防护涂料进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置工作人员防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置急停开关，操作人员可通过急停开关等停机操作来确保人员安全。因此射线装置发生的辐射事故及风险主要原因是管理上出的问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报生态环境部门和卫生行政部门，并接受监督部门的处理。

11.3.6 辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院已制定辐射事故应急预案，应针对本项目新增内容对辐射事故应急预案进行更新修订，并在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

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》等有关法律法规，使用放射性同位素、射线装置的单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有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。

医院已成立辐射安全与环境防护管理小组（见附件7），全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。组成人员如下：

组长：陶跃平、刘杰

成员：王晓庭、汪海东、金惠明、贾全林、陆丽红、高特生、周冰、张军、万伟荣

该文件中明确了管理小组成员组成及相关职责，故医院现有辐射安全与环境保护管理机构能够满足现有辐射安全管理工作的要求。本项目实施后，医院应将本项目核医学科、放疗科和介入科的负责人纳入现有放射防护安排领导小组中。若辐射安全与环境防护管理小组成员发生变动，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）职业健康检查

医院现有辐射工作人员建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过2年。根据医院提供的职业健康体检报告可知，医院每两年对辐射工作人员进行体检以及对需要复查的辐射工作人员进行复检，体检结果为在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作。

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

本项目辐射工作人员均为新增，医院应严格执行辐射工作人员培训制度，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）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第2021年第9号），医院应及时组织仅从事III类射线装置的辐射工作人员参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，取得合格成绩，并建立成绩档案；操作使用其他类别的辐射工作人员应

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培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。

从事使用II类射线装置和非密封放射性物质操作的辐射工作人员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培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。仅从事III类射线装置的辐射工作人员应参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

(3) 个人剂量检测

本项目新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，并按期（至少每3个月1次）委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

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、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一；医院应当为辐射工作人员建立职业健康监护档案和职业照射个人剂量档案并终生保存。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、个人剂量检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。

年度个人剂量超过 5mSv （季度超过 1.25mSv ）时，医院要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，医院需进行原因调查，并形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关；当单年个人剂量超过 50mSv 时，应立即采取措施，报告发证机关，并开展调查处理。检测报告及有关调查报告应存档备查。

12.1.3 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对本单位放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。医院年度评估报告包括：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。

医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，编制了《辐射安全和防护状况年度

评估报告》，并上报至发证机关。本项目运行后，医院应将本项目纳入现有评估体系。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

医院已制定《放射科辐射事故应急预案》、《放射安全防护管理制度》、《放射诊疗工作人员职业健康管理制度》和《放射诊疗工作人员守则》等辐射防护管理制度。

医院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。医院应认真落实各项规章制度，鉴于医院目前核医学科和放疗科尚未建设，在本项目建设后运行中，医院应根据本项目的特点，制定和完善辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、操作规程、放射源使用台账制度等，并对现有制度进行补充和完善，以保证本项目工作安全有序开展。具体要求如下：

(1) 操作规程：根据本项目特点制定核医学科和放疗科等设备的操作规程，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

(2) 岗位职责：明确辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(3) 辐射防护和安全保卫制度：根据各科室的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。环境辐射监测仪和表面污染监测仪必须保持良好工作状态。

(4) 设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

(5) 台账管理制度：医院应当建立放射性核素、放射源与射线装置台账，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(6) 放射性“三废”管理制度：明确医院运营过程中产生的放射性“三废”，明

确放射性“三废”的收集、处理、处置等事项。

(7) 放射诊疗质量保证大纲制度：根据本项目特点制定不同诊疗类型放射诊疗质量保证大纲，避免过多的用药或照射，使用最少的剂量完成诊断。

(8) 质量控制监测计划制度：根据本项目特点以及参考表 12-2 自行监测计划，对不同辐射工作场所制定对应的监测计划，防止机房和场所防护削弱导致的辐射泄漏。

(9) 应急预案：对应急措施、事故后续处理等做出要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括辐射工作场所、环境监测和个人剂量监测。

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 12-1。

表 12-1 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 | 备注 |
|------|-----------|---------------|--------|---------------------|
| 核医学科 | | 便携式 X-γ 射线监测仪 | 配置 1 台 | 依托现有，全院共用 1 台 |
| | | 表面污染监测仪 | 配置 1 台 | 增配 |
| 放疗科 | 直线加速器机房 | 便携式 X-γ 射线监测仪 | 配置 1 台 | 依托现有，全院共用 1 台 |
| | | 中子剂量监测仪 | 配置 1 台 | 增配，2 间直线加速器机房共用 1 台 |
| | | 固定式剂量报警装置 | 配置 2 台 | 增配 |
| | CT 模拟定位机房 | 便携式 X-γ 射线监测仪 | 配置 1 台 | 依托现有，全院共用 1 台 |
| | DSA 机房 1 | 便携式 X-γ 射线监测仪 | 配置 1 台 | 依托现有，全院共用 1 台 |
| | DSA 机房 2 | 便携式 X-γ 射线监测仪 | 配置 1 台 | |
| | DSA 复合手术室 | 便携式 X-γ 射线监测仪 | 配置 1 台 | |

本项目运行期间主要污染物为 X-γ 射线、α 表面污染、β 表面污染、中子等，根据项目特点，医院拟配置 1 台表面污染监测仪、1 台中子剂量监测仪，需要定期对监测仪器

进行鉴定或校准，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

(1) 年度监测

继续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。

(2) 日常自行监测

日常工作中，每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），需使用表面污染监测仪对本项目辐射工作场所放射性污染情况进行监测，工作人员离开辐射工作场所时，需监测手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋、帽等的污染水平，这部分日常监测工作由本项目辐射工作人员自行完成。此外，本项目辐射工作场所应采用辐射监测仪进行定期监测，频次不少于1次/月，以确保屏蔽防护性能的良好。

(3) 验收监测

本项目建成、设备调试正常后，医院需委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，出具验收监测报告。

(4) 监测内容和要求

监测依据：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

监测内容：表面放射性污染；周围剂量当量率；放射性废液、固体放射性废物。

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。

监测范围：控制区和监督区域及周围环境。

表 12-2 辐射工作场所监测计划一览表

| 工作场所 | 监测内容 | 监测点位 | 监测频次 | | |
|------|----------------|---|--------------------------|------|----------|
| | | | 自行监测 | 委托监测 | 验收监测 |
| 核医学科 | α表面污染 β表面污染 | 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，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等 | 每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测） | 1次/年 | 项目完成3个月内 |
| | 周围剂量 | 控制区和监督区所有工作 | 1次/月 | 1次/年 | |

| | | | | | |
|------------------------|---------|--|-------|---|---|
| | 当量率 | 人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面 | | | |
| | 放射性废液 | 衰变池排放口总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ | / | 排放前（首次排放委托有资质的单位监测，后续排放做好记录，每年根据排放计划委托一次年度监测） | |
| | 固体放射性废物 | 废物间（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ） | 每次排放前 | 1次/年 | |
| 1号和2号直线加速器机房 | 周围剂量当量率 | 直线加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处、顶棚100cm处及周围需要关注的监督区 | 1次/月 | 1次/年 | |
| | 中子剂量当量率 | 直线加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处、顶棚100cm处及周围需要关注的监督区 | 1次/月 | 1次/年 | |
| DSA机房1、DSA机房2和DSA复合手术室 | 周围剂量当量率 | 防护门外、门缝、观察窗、控制室操作位、各侧屏蔽墙外30cm处、顶棚100cm处、楼下170cm处及周围需要关注的监督区 | 1次/月 | 1次/年 | |
| 个人剂量监测 | 个人剂量当量 | 每个辐射工作人员配备的个人剂量计 | / | 至少每3个月1次 | / |

12.4 竣工环保验收

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设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，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。

12.5 辐射事故应急

12.5.1 应急预案的要求

医院按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和生态环境主管部门的要求已制定《放射科辐射事故应急预案》，对应急措施、事故后续处理等做出要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。医院应针对本项目建设内容，更新现有辐射事件应急处理预案，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- (一) 应急机构和职责分工；
- (二) 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；
- (三) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (四) 辐射事故调查、报告和处理程序。

本项目投入运行前，医院应依据本项目情况制定《嘉兴市中医医院辐射事故应急预案》。同时医院应定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演习和辐射安全的法律、法规知识的培训，演习内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，相关演习和培训记录存档。在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

12.5.2 辐射事故上报要求

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》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》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 2h 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 项目概况

本项目核医学科拟购置 1 台 PET/CT，使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗；使用核素 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 和 ^{223}Ra 进行骨转移癌治疗；使用核素 ^{32}P 进行血液病治疗。根据计算，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $3.12 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；本项目放疗科拟建设 2 间直线加速器机房及配套用房（包括 1 间 CT 模拟定位机机房），购置 2 台 15MV 直线加速器和 1 台 CT 模拟定位机，开展放射治疗；本项目介入科拟建设 2 间 DSA 机房和 1 间 DSA 复合手术机房，购置 3 台 DSA 和 1 台移动 CT，用于介入治疗和影像诊断。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全防护措施结论

本项目核医学科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、 γ 射线、 β 射线和 α 粒子等的辐射影响。核医学科注射室和给碘室拟配备专用手套箱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员拟配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品；核医学科工作场所拟设置电离辐射警示标识、工作状态指示灯、对讲及监控设施，配有表面污染仪、个人剂量报警仪等监测设备；设置有满足要求的并联衰变池组、固体放射性废物收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。

本项目放疗科直线加速器机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，直线加速器机房防护门为铅门+含硼聚乙烯材料，其防护效果满足要求。机房内配置有钥匙开关联锁、剂量联锁、门联锁等联锁装置，电离辐射警示标志、固定式剂量率报警仪、急停按钮、视频监控等辐射安全设施；放疗科 CT 模拟定位机机房四侧墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，顶棚和地坪采用混凝土+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，并配有人身防护用品。

本项目介入科 DSA 机房和复合手术室四侧墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，顶棚和地坪采用混凝土+铅板或者混凝土+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，并配有人身防护用品。

综上所述，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减

少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

(2) 辐射安全管理结论

医院已成立辐射安全与环境防护管理小组，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作；本项目实施后，医院应将本项目核医学科、放疗科和介入科的负责人纳入现有放射防护安排领导小组中。若辐射安全与环境防护管理小组成员发生变动，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。医院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.3 环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

根据本报告表 11 章节对本次核技术利用项目运行过程中对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常工况下，本项目核医学科工作场所监督区边界外、放疗科各机房墙体及防护门外、介入科各机房墙体及防护门外 30cm 处剂量率均小于剂量率控制水平要求；本项目辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量低于本环评提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 的要求。

(2) 核医学科“三废”影响分析

本项目核医学科场所共设有4套排风管道。本项目手套箱均设置独立排风系统，手套箱和其它区域排风通过密闭管道引至内科大楼（地上17层，楼高74.8m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。因此，放射性废气对周围环境影响较小。

本项目核医学科放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入医技住院综合楼地下一层西北角的衰变池组进行衰变，根据 10.2.1.2 分析，放射性废水可以在衰变池组内暂存 194 天，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性废水暂存要求，暂存至满足衰变要求的放射性废水排入医院污水处理站处理，最终纳入市政污水管网。因此，核医学科场所产生的放射性废水对周围环境影响较小。

本项目固体放射性废物均暂存在核医学科废物间的衰变箱中，含核素 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 和 ^{188}Re 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过十个半衰期；含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 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/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物处置。因此，固体放射性废物对周边环境影响较小。

（3）放疗科“三废”影响分析

直线加速器和 CT 模拟定位机运行过程产生的臭氧、氮氧化物经机房动力排风系统排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

直线加速器感生放射性气体产生量较少，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病人造成危害。

直线加速器更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，由厂家回收；若放射性超标，则委托有资质单位收贮。

（4）介入科“三废”影响分析

本项目 DSA 和 DSA 配套 CT 在曝光过程中，会产生少量臭氧和氮氧化物，每个 DSA 机房均设置动力通风装置，产生的臭氧和氮氧化物最终从楼顶排放。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

13.1.4 可行性分析结论

（1）实践的正当性

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。

医院在放射诊断、放射治疗和放射介入过程中，对放射性核素、放射源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，对放射性核素、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理的情况下，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，该核技术利用实践具有正当性，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。

（2）产业政策符合性

本项目属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类鼓励类中“十三、医药—4、高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，……”，因此，本项目建设符合国家产业政策要求。

(3) 项目选址合理性

本项目核医学科位于医技住院综合楼地下二层西侧，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医技住院综合楼（地上 17 层，排放高度约 72.8m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。核医学科衰变池设置于医技住院综合楼地下一层西北角，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。因此，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中关于核医学工作场所选址的相关要求。

本项目放疗科 2 间直线加速器机房和 1 间 CT 模拟定位机机房位于医技住院综合楼地下二层西北侧。各机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，选址避开了儿科病房、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) 中关于放射治疗场所选址的相关要求。

医技住院综合楼内设置介入科和手术中心，本项目 DSA 机房 1、DSA 机房 2 和 DSA 复合手术室布置于医技住院综合楼一层介入科和四层手术中心内，相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。因此介入科各机房选址合理。

综上所述，整个核技术利用项目布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响和辐射类项目尽量集中设置的原则，因此，医院的整体布局及主要辐射工作场所的位置选择较为合理。

(4) 嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目位于浙江省嘉兴市中山东路 1501 号嘉兴市中医医院北侧地块医院医技住院综合楼内，根据《嘉兴市生态环境局关于印发<嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（嘉环发〔2024〕39 号），本项目所在地属于“浙江省嘉兴市南湖区中心城区生活重点管控单元（环境管控单元编码：ZH33040220007）”。本项目为医院核技术利用项目，经分析，项目的实施符合《嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

综上所述，嘉兴市中医医院医技住院综合楼工程核技术利用建设项目符合实践的正当性，符合国家产业政策和《嘉兴市生态环境分区管控动态更新方案》的管控要求，选址合理可行，在落实本评价报告所提出的各项污染防治和辐射环境管理措施后，医院具备从事相应的辐射工作技术能力。本项目运行对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，从辐射安全和环境保护的角度论证，本项目建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

- 1、辐射监测仪器和其他辐射防护设备要落实专人负责定期检查、维护，确保其状况良好，以确保监测数据的可靠，为单位辐射防护提供可靠依据。
- 2、强化管理、加强辐射工作人员的培训学习，个人剂量计应严格按照规定正确佩戴。另外合理安排辐射工作人员工作分组，降低某一工作人员因长时间操作所致剂量。
- 3、认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，进行核与辐射安全知识宣传，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

13.2.2 承诺

- 1、按照国家相关法律法规及环评报告的要求补充和更新相关辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案，保证各种规章制度和操作规程的有效执行，并对应急预案定期进行演练、总结。
- 2、医院承诺加强辐射工作人员的管理，相关辐射工作人员配备个人剂量仪，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；相关辐射工作人员进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托相关资质单位对其进行职业健康检查，建立职业健康档案。
- 3、医院承诺严格按照本报告提出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，发现问题及时整改。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。
- 4、医院应严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改
- 5、在本次环评报告取得批复后及时重新申领辐射安全许可证；及时组织开展项目工程竣工环境保护验收，编制验收报告，经验收合格后方可正式投入运行。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

经办人:

公章

年 月 日

审批意见:

经办人:

公章

年 月 日