目录

表 1 项目概况 1

一、项目概述 1

1、建设单位简介 1

2、项目由来 2

3、产业政策符合性 8

4、实践正当性评价 9

5、项目组成及建设内容 9

6、项目建设规模 10

7、工作人员配置 12

8、工作负荷 12

9、项目选址及布局合理性 13

10、现有核技术利用项目情况 21

11、评价目的 27

表 2 放射源 28

表 3 非密封放射性物质 28

表 4 射线装置 29

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 30

表 6 评价依据 31

表 7 保护目标与评价标准 34

一、评价范围 34

二、环境保护目标 34

三、评价标准 36

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 36

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 37

3、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号） 42

4、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005） 43

5、《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023） 44

6、环评要求 45

表 8 环境质量和辐射现状 47
一、项目地理位置和场所位置 47
二、环境质量现状 47
三、监测因子 47
四、监测点位 47
五、监测概况 47
1、监测日期 47
2、监测仪器 47
3、质量保证 47
六、监测结果 48
表 9 项目工程分析及源项 52
一、工程设备和工艺分析 52
1、PET-CT 52
2、SPECT-CT 55
3、^{131}I 放射性核素诊疗 58
二、污染源项描述 62
1、正常工况 62
2、非正常工况 64
表 10 辐射安全与防护 65
一、项目安全设施 65
1、场所分区 65
2、辐射屏蔽及防护措施 67
3、核医学科人流、物流设计合理性分析 70
4、辐射安全与防护措施 74
二、三废的治理 78
1、放射性固体废物处置措施 78
2、放射性废气处置措施 79
3、放射性废水处置措施 80
表 11 环境影响分析 86

一、建设阶段对环境的影响.....86
1、土建施工阶段.....86
二、运行阶段对环境的影响.....86
1、计算参数.....87
2、辐射环境影响分析.....88
3、年附加有效剂量估算.....107
4、核医学科β表面污染影响分析.....112
5、核医学科废气影响分析.....112
6、核医学科放射性废水影响分析.....113
7、核医学科放射性固体废物影响分析.....114
三、事故影响分析.....115
1、放射性药物造成的事故分析.....115
表 12 辐射安全管理.....119
一、辐射安全与环境保护管理机构的设置.....119
1、辐射安全与环境保护管理机构.....119
2、人员配备与职能.....120
二、辐射安全管理规章制度.....121
三、辐射监测.....123
四、环境保护投资与环保验收要求.....124
1、环境保护投资.....124
2、竣工环境保护验收内容及要求.....125
五、辐射事故应急.....127
表 13 结论与建议.....128
一、结论.....128
1、项目概况.....128
2、辐射环境影响分析.....129
3、辐射安全管理.....129
4、项目可行性分析结论.....129
二、建议和要求.....130

表 14 审批 131

附件

附件 1：安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（重大变动）环境影响评价委托书，2025 年 5 月；

附件 2：陕西省生态环境厅关于安康市中心医院核技术利用项目变动认定的复函（陕环辐射函〔2025〕22 号）；

附件 3：陕西省环境保护厅关于安康市中心医院新增医用射线装置核技术应用项目环境影响报告表的批复（陕环批复〔2015〕463 号）；

附件 4：陕西省环境保护厅关于安康市中心医院医用 X 射线装置应用项目竣工环境保护验收的批复（陕环批复〔2016〕645 号）；

附件 5：安康市生态环境局厅关于对安康市中心医院总院医用血管造影 X 射线系统（DSA）改造核技术利用项目环境影响报告表的批复（安环函〔2021〕307 号）；

附件 6：安康市中心医院总院医用血管造影 X 射线系统（DSA）改造核技术利用项目竣工环境保护验收组意见，2022 年 2 月 16 日；

附件 7：陕西省生态环境厅关于安康市中心医院门诊楼建设核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目环境影响报告表的批复（陕环批复〔2022〕36 号）；

附件 8：安康市中心医院门诊楼建设核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（直线加速器部分）竣工环境保护验收组意见，2024 年 9 月 29 日；

附件 9：安康市中心医院辐射安全许可证，（陕环辐证〔80001〕）；

附件 10：个人剂量检测报告（2024 年第 2 季度、2024 年第 3 季度、2024 年第 4 季度、2025 年第 1 季度）；

附件 11：2024 年放射诊疗场所防护检测报告；

附件 12：安康市中心医院关于调整辐射安全与放射卫生管理委员会的通知（安医发〔2024〕81 号）；

附件 13：安康市中心医院放射人员体检结果（2024 年）；

附件 14：安康市中心医院放射人员辐射安全培训合格证书（本次拟调配人员）

附件 15：安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（重大变动）辐射环境现状监测报告（报告编号：XAZC-JC-2025-210），西安志诚辐射环境检测有限公司，2025 年 6 月 30 日。

表 1 项目概况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（重大变动）</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">安康市中心医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>李东波</td><td>联系人</td><td colspan="2">陈枭</td><td>电话</td><td>17729250665</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">陕西省安康市汉滨区金州南路 85 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">陕西省安康市汉滨区金州南路 85 号安康市中心医院（江南总院）门诊楼地下一层核医学科</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>3000</td><td>环保投资（万元）</td><td>115</td><td>投资比例</td><td>3.83%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">□新建 □改建 ■扩建 □其它</td><td>占地面积（m^2）</td><td>725.5</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□Ⅰ类(医疗使用) □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>■使用</td><td colspan="5">■乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>■使用</td><td colspan="5">□Ⅱ类 ■Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

一、项目概述

1、建设单位简介

安康市中心医院始建于 1937 年，是一所集医疗、教学、科研、急救、防保、康复为一体的国家三级甲等综合医院，编制床位 1650 张。医院分设江南总院（南院区）、江北院区（北院区）、城东院区三大院区，市医废处置中心、市 120 急救指挥中心挂靠在医院，设有市传染病医院、市脑科医院、市骨科医院、市儿童医院、市精神专科医院、市职业病院等医疗机构或专科院中院，建成了国家级胸痛中心、心衰中心、高级卒中中心、省级产前诊断中心，市级高危孕产妇和新生儿救治中心、创伤中心，挂靠有 9 个市级质控中心，形成“一院三区多中心”发展格局；共开设 76 个临床医技科室。医院配置 256 排 512 层超高端螺旋 CT、3.0T 核磁、大型数字减

影 X 光机等医疗设备。

2、项目由来

为了满足广大患者的诊疗需要，改善现有的医疗设施条件，提高医疗服务水平，安康市中心医院在江南总院新建的门诊楼建设“安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目”，并于 2022 年 6 月 15 日取得《陕西省生态环境厅关于安康市中心医院门诊楼建设核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目环境影响报告表的批复》（陕环批复〔2022〕36 号）。该项目于 2022 年 9 月开工建设，医院对该项目采取分期建设、分期验收的方式，其中医用电子直线加速器已按环评的内容建设完成并于已于 2024 年 9 月 29 日通过了竣工环境保护验收；后装机机房主体结构已经随大楼主体建设完成，但未进行防护装修，后装治疗设备暂未采购安装；DSA 机房及辅助用房已竣工，正在开展竣工环境保护验收；核医学科主体部分随大楼主体已建设完成，衰变池尚未建设。

建设过程中医用电子直线加速器、后装机及 DSA 的建设内容不变，但由于核医学科就诊人次上限下调、建设场地限制等原因，对核医学科的建设内容进行了调整，具体如下：

① 取消 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器的使用，^{99m}Tc 药物采用厂家购买成品针剂的方式，不再进行 ^{99m}Tc 的淋洗制备；对于甲状腺功能测定的患者使用成品 ^{131}I（胶囊式）；

② 将拟使用 PET-CT 显像的患者人数按照安康地区近年预计的患者人数进行了核减，减少了放射性核素的使用量及放射性废物的产生量；

③ 调整了核医学科部分布局，将核医学科 PET-CT 机房及 SPECT-CT 机房交换位置，将原 PET-CT 注药候诊室 1 变更为甲亢留观室，甲亢患者在服药后至甲亢留观室进行留观；在原控制室增设缓冲区，医护人员进出时使用；原分装质控室变更为通过间，原锝淋洗室变更为检测登记室，原注射室变更为分装质控注射间，原卫生通过间变更为运动能力检测室，原运动能力检测及抢救室变更为抢救室；

④ 对衰变池数量、位置及容积进行了重新设计，放射性废水收集管道路径随之变动。

由于医用电子直线加速器、后装机及 DSA 的建设内容不变，故本次仅针对核医学科建设内容的变动情况进行重新评价，变动内容的详细情况见表 1-1。

表 1-1　项目变动情况一览表（核医学科）

项目		环评文件中的要求		项目实际建设情况		变化情况/履行情况
建设性质		新建		新建		建设性质未变
地点	项目建设地点及场所位置	拟在安康市中心医院江南总院新建的门诊楼地下一楼建设核医学科		拟在安康市中心医院江南总院新建的门诊楼地下一楼建设核医学科		建设地点未变
规模	建设内容	新增 1 台 PET-CT，使用 ^{18}F 药物；新增 1 台 SPECT-CT，使用 ^{99m}Tc 药物（医院使用 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器淋洗制备 ^{99m}Tc）；使用 ^{131}I 药物；使用 ^{89}Sr、^{223}Ra		新增 1 台 PET-CT，使用 ^{18}F 药物；新增 1 台 SPECT-CT，使用 ^{99m}Tc 药物；使用 ^{131}I 药物；使用 ^{89}Sr 或 ^{223}Ra，均采用向厂家购买的方式		建设内容基本不变，^{99m}Tc 药物采用厂家购买成品针剂的方式，不再进行 ^{99m}Tc 的淋洗制备
	活动种类及范围	乙级非密封放射性物质工作场所 1 处，操作放射性核素：^{18}F、^{99m}Tc、^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra		乙级非密封放射性物质工作场所 1 处，操作放射性核素：^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra		取消 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器的使用，不再进行 ^{99m}Tc 的淋洗制备
		使用 2 台 III 类射线装置：1 台 PET-CT、1 台 SPECT-CT		使用 2 台 III 类射线装置：1 台 PET-CT、1 台 SPECT-CT		
	非密封放射性物质工作场所核素日等效最大操作量及射线装置参数	场所日等效最大操作量：$5.20\times10^{8}Bq$		场所日等效最大操作量：$4.51\times10^{8}Bq$		取消 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器的使用，不再进行淋洗制备；进行 PET-CT 显像的患者人数减少，则 ^{18}F 的使用量相应减少，^{89}Sr、^{223}Ra、^{99m}Tc 及 ^{131}I 的使用量不变，场所日等效最大操作量降低
		PET-CT	III 类射线装置，CT 部分：最大管电压 150kV、最大管电流 800mA	PET-CT	III 类射线装置，CT 部分：最大管电压 150kV、最大管电流 800mA	射线装置类别不变，PET-CT 参数不变，SPECT-CT 最大管电压和最大管电流减小
		SPECT-CT	III 类射线装置，CT 部分：最大管电压 150kV、最大管电流 800mA	SPECT-CT	III 类射线装置，CT 部分：最大管电压 140kV、最大管电流 200mA	
	污染源项	放射性废水：约 $0.95m^3/d$ 放射性固体废物：约 2.85kg/d 放射性废气：微量		放射性废水：长半衰期（^{131}I）产生量约 $0.053m^3/d$；短半衰期（^{18}F 或 ^{99m}Tc）产生量约 $0.399m^3/d$ 放射性固体废物：约 2.1kg/d 放射性废气：微量		患者人数减少，则每天用水量减少，产生的放射性废水及固废也相应减少

辐射安全防护措施	场所布局及人流、物流、气流路径	核医学科平面布置情况详见图 1-1	核医学科（变更后）平面布置情况详见图 1-2	本次变动将核医学科 PET-CT 机房及 SPECT-CT 机房交换位置；将原 PET-CT 注药候诊室 1 变更为甲亢留观室，甲亢患者在服药后至甲亢留观室进行留观；在原控制室增设缓冲区，医护人员进出时使用；原分装质控室变更为通过间，原锝淋洗室变更为检测登记室，原注射室变更为分装质控注射间，原卫生通过间变更为运动能力检测室，原运动能力检测及抢救室变更为抢救室
		在核医学科内部划定医护人员通道、患者通道、药物通道、放射性废物通道，并设置了单向门禁系统，避免了工作人员、患者之间交叉影响	在核医学科内部划定医护人员通道、患者通道、药物通道、放射性废物通道，并设置了单向门禁系统，避免了工作人员、患者之间交叉影响	调整了核医学科部分布局，但患者活动范围不变，患者流动路径未变；工作人员活动范围不变，流动路径未变；核医学科的药物通道、放射性废物通道不变。
	放射性“三废”处置措施	在门诊楼地下一层西北侧新建 1 座槽式衰变池，衰变池设置 6 格（1 格衰变池有效容积为 39.39m^3；2、3、4、5、6 格衰变池有效容积均为 57.77m^3；6 格衰变池总容积 328.24m^3），衰变池前设置化粪池（一备一用）。经衰变达到《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求后由衰变池底部出水管道输送至缓冲池，最终经排污坑排至医院污水处理站，经处理后最终排入市政污水管网	拟在门诊楼地下二层北侧设置衰变间，衰变间内共有 2 套放射性废水处理设施，其中 1 套为长半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成；1 套为短半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成。 长半衰期（^{131}I）废水可暂存约 264 天，短半衰期废水可暂存约 35 天，均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，废水由衰变池底部出水管道输送至集水坑排至医院污水处理站，经处理后最终排入市政污水管网	① 放射性废水的收集方式由原先的混合收集贮存变更为长、短半衰期分开收集贮存； ② 衰变池的位置发生变化，由原先的地下一层改为地下二层（见图 1-7）； ③ 放射性废水产生量减小，单套衰变池的有效容积减小，但仍满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的要求； ④ 变更前后评价范围变化，环境保护目标增加； ⑤ 放射性废水收集管道路径随之变动
		放射性固体废物（包括废活性炭）分类收集，暂存于废物间内，暂存至其放射性比活度低于相应清洁解控水平后作为一般医疗固体废物处理	放射性固体废物（包括废活性炭）分类收集，暂存于废物间内，暂存至其放射性比活度低于相应清洁解控水平后作为一般医疗固体废物处理	放射性固体废物处置措施不变
		① 锝淋洗室中淋洗、分装手套箱、分装、质	① 检测登记室、开包室、废物间、储源室、分装	由于布局的略微调整，放射性废气管道

		控室手套箱和分装给药室手套箱，专设一路排风管道（管道内设有过滤吸附装置，风速不小于 0.5m/s，保证手套箱的负压状态），该排风管道通过项目核医学科东北侧排风井延伸至门诊楼主楼楼顶，排放口高出所在建筑楼顶； ② 项目废物间、储源室、分装、质控室、注射间、分装、给药间、注射后候诊室卫生间、留观室卫生间、污物间、洁具间等，此区域设一路排风管道（管道内设有过滤吸附装置，风速不小于 0.5m/s，），该排风管道通过项目核医学科东南侧排风井延伸至门诊楼主楼楼顶，排放口高出所在建筑楼顶； ③ 运动能力检测抢救室、控制室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、注射后候诊室、留观室、控制室、检查室等可能含放射性核素（^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra、^{99m}Tc）、臭氧、氮氧化物的废气汇至排风主管，通过核医学科西侧排风井延伸至门诊楼主楼楼顶，排放口高出所在建筑楼顶	质控注射间、分装给药室、运动能力检测室共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科北侧的排风井通往门诊楼主楼楼顶。各区域均设置有止回阀，以保持各区域的负压和各区域之间的压差； ② 淋浴、一更、二更、缓冲 2、抢救室、甲亢留观室及卫生间、污物间、洁具间、PET-CT 注药候诊室及卫生间、SPECT-CT 注药候诊室及卫生间、留观室及卫生间共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科东侧的竖向排风管至门诊楼五层楼顶。各区域均设置有止回阀，以保持各区域的负压和各区域之间的压差，且淋浴、一更、二更、缓冲 2 均为该管路气流的上游； ③ SPECT-CT 机房、PET-CT 机房共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科东侧的排风井通往门诊楼楼顶； ④ 分装质控注射间内的手套箱、分装给药室内的自动分碘仪单独设置一套排风系统，在立管上安装电动风阀与手套箱联动，管道经患者走廊，至核医学科北侧的排风井通往门诊楼楼顶，手套箱、自动分碘仪及排气口均设有活性炭过滤器	设计相应进行了调整，详见“表 10 辐射安全与防护”
	辐射防护屏蔽设计	核医学科各工作场所的四周墙体均采用一定厚度的实心砖+$BaSO_4$防护砂浆，顶棚和地面均采用一定厚度的混凝土+$BaSO_4$防护砂浆，各防护门均采用一定铅当量的铅防护门，观察窗及注射窗口均采用一定铅当量的铅玻璃，制备和分装药物采用手套箱；SPECT-CT 机房、PET-CT 机房均设有屏蔽效能的孔道及线缆穿屏蔽墙孔道	核医学科各工作场所的四周墙体均采用一定厚度的实心砖+$BaSO_4$防护砂浆，顶棚和地面均采用一定厚度的混凝土+$BaSO_4$防护砂浆，各防护门均采用一定铅当量的铅防护门，观察窗及注射窗口均采用一定铅当量的铅玻璃，^{18}F 分装采用手套箱，^{131}I（甲亢）采用自动分碘仪（自带屏蔽），^{99m}Tc、^{131}I（甲功测定）使用防护提盒或铅罐储存；SPECT-CT 机房、PET-CT 机房均设有屏蔽效能的孔道及线缆穿屏蔽墙孔道	场所布局变更，但相应辐射屏蔽措施不变；^{99m}Tc 药物采用厂家购买成品针剂的方式，不再进行 ^{99m}Tc 的淋洗制备；^{18}F 分装采用手套箱，^{131}I（甲亢）采用自动分碘仪（自带屏蔽），^{99m}Tc、^{131}I（甲功测定）使用防护提盒或铅罐储存。详细参数见“表 10 辐射安全与防护”

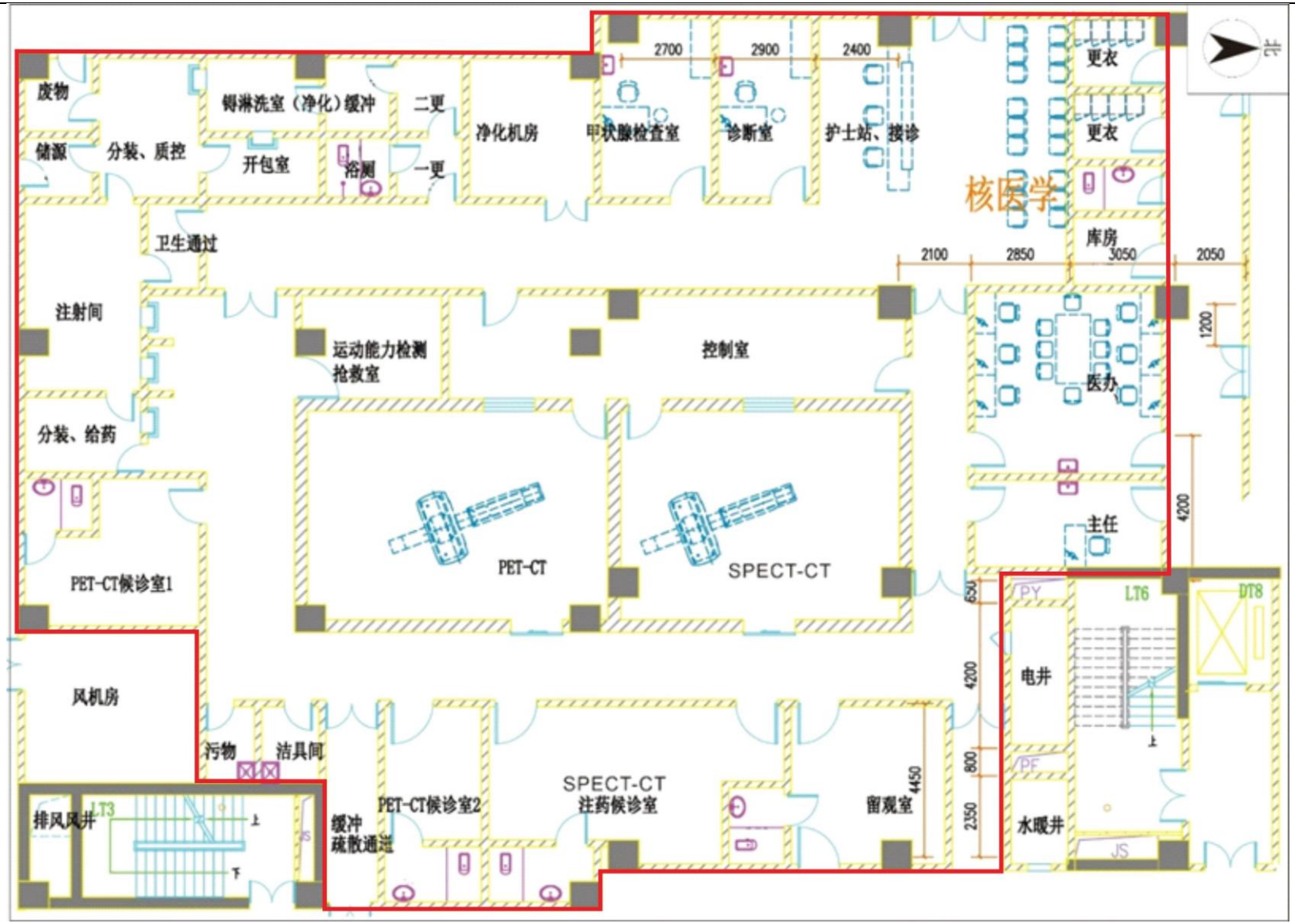

图 1-1　　核医学科平面布置图（变更前）

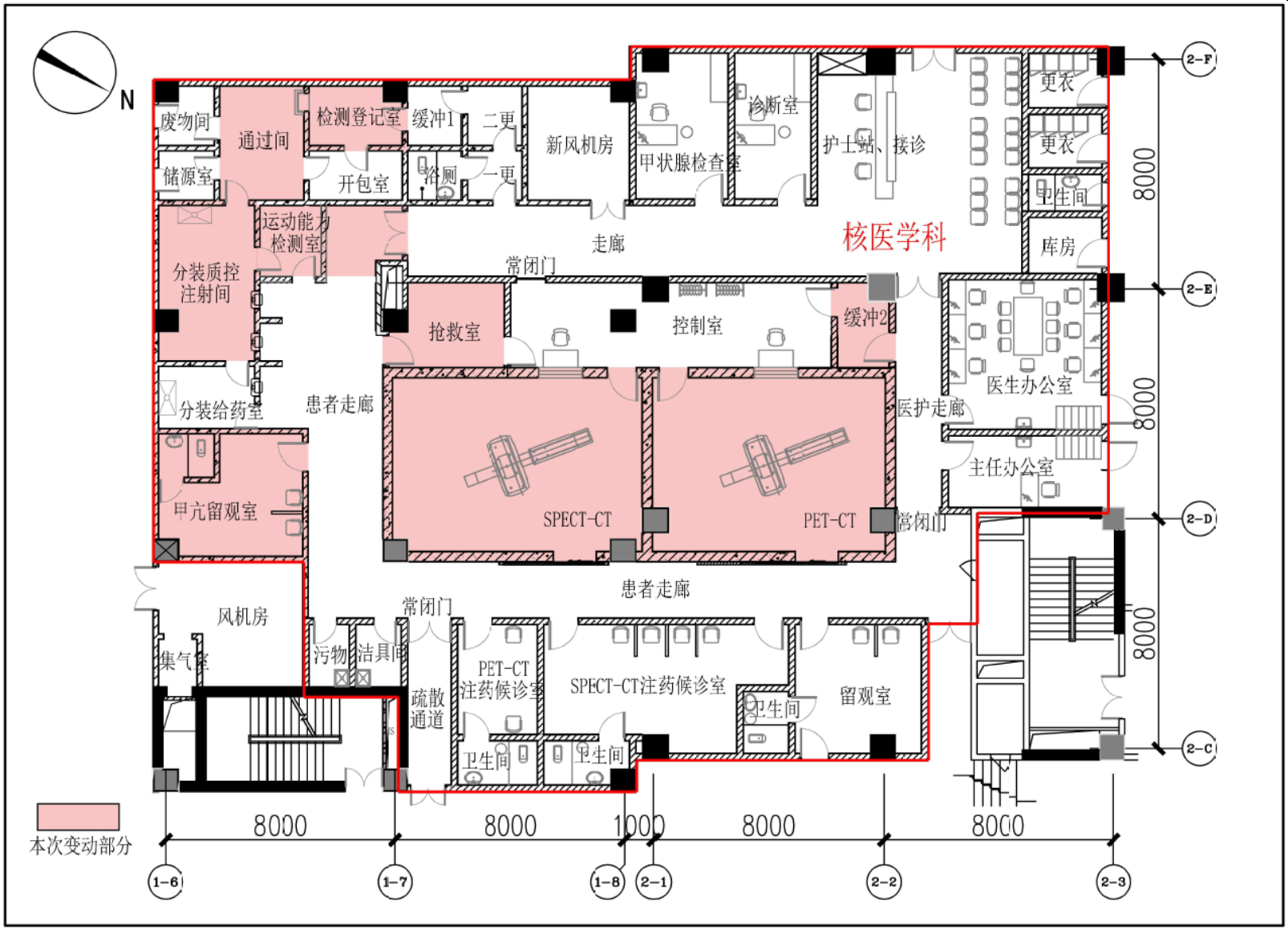

图 1-2　　核医学科平面布置图（变更后）

根据《关于印发环评管理中部分行业建设项目重大变动清单的通知》（环办〔2015〕52 号）的有关规定，建设项目的性质、规模、地点、生产工艺和环境保护措施五个因素中的一项或一项以上发生重大变动，且可能导致环境影响显著变化（特别是不利环境影响加重）的，界定为重大变动。属于重大变动的应当重新报批环境影响评价文件，不属于重大变动的纳入竣工环境保护验收管理。

安康市中心医院为此编制了《安康市中心医院门诊楼核医学科、后装机和射线装置核技术利用项目变动分析报告》，经评估后，陕西省生态环境厅出具了《陕西省生态环境厅关于安康市中心医院核技术利用项目变动认定的复函》（陕环辐射函〔2025〕22 号，见附件），判定本次核医学科的变动为重大变动，需重新进行环境影响评价。本次仅对变动部分进行重新评价（核医学科及衰变池）。

另外，由于医院计划开展的甲状腺功能测定使用的 ^{131}I 为成品胶囊式，患者单次用量为 $1.85\times10^{5}Bq$。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 A，^{131}I 豁免活度为 $1.0\times10^{6}Bq$，满足其豁免管理要求。

本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中“五十五、核与辐射”、“172、核技术利用建设项目”中“…**乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）**…”，需要编制环境影响报告表；“…；生产、销售、**使用III类射线装置的**”，为登记表管理。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中“第四条 …建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定”，本次核医学科非密封放射性物质工作场所为乙级，使用 III 类射线装置（PET-CT、SPECT-CT），综合判定后，本次环评编制环境影响报告表。

2025 年 5 月 22 日安康市中心医院委托我公司承担该项目的环境影响评价工作。接受委托后，我公司立即组织技术人员进行现场踏勘，收集、整理有关资料，对项目的建设等情况进行初步分析，并根据项目的应用类型及项目所在地周围区域的环境特征，在现场踏勘、资料调研、预测分析的基础上，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》（HJ 10.1-2016）的基本要求，编制了《安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（重大变动）环境影响报告表》。

3、产业政策符合性

项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年）》鼓励类中“六、核能/4、核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”、“十三、医药/4、高端医疗器械创新发展：…新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备…”，满足国家相关法律法规和政策规定，符合国家产业政策。

4、实践正当性评价

项目建成后可提高医院对疾病的诊断能力，更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的体检需要，项目在采取相应的防护屏蔽措施、管理措施后，对周边环境辐射影响较小，项目建设所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

5、项目组成及建设内容

安康市中心医院在门诊楼地下一层设置核医学科，具体建设内容见表 1-2。

表 1-2　　项目组成一览表

组成	项目内容	建设内容
主体工程	开包室	1 间，有效面积 5.53m^2，用于购置的放射性药物进行开包检查的
	检测登记室	1 间，有效面积 6.8m^2，用于药物的登记
	通过间	1 间，有效面积 11.6m^2，用于医护人员接手药物时的经过区域
	分装质控注射间	1 间，有效面积 18.09m^2，用于 ^{18}F 药物的分装，以及为患者进行 ^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Sr、^{223}Ra 药物注射的区域
	运动能力检测	1 间，有效面积 5.15m^2，用于患者在 ^{99m}Tc（心脏患者）药物注射前进行运动能力检测
	甲亢留观室	1 间，有效面积 21.5m^2（含卫生间），用于甲亢患者服药后留观的区域
	分装给药室	1 间，有效面积 7.20m^2，用于 ^{131}I（甲亢）药物分装和给药
	PET-CT	PET-CT（正电子发射计算机断层成像）机房 1 间，有效面积 48.61m^2，安装 1 台 PET-CT，使用放射性核素 ^{18}F 药物开展显像检查
	SPECT-CT	SPECT-CT（单光子发射计算机断层成像）机房 1 间，有效面积 52.34m^2，安装 1 台 SPECT-CT，使用 ^{99m}Tc 药物开展显像检查
	控制室	1 间，有效面积 32.5m^2，用于 PET-CT、SPECT-CT 设备操作控制区域
	抢救室	1 间，有效面积 12.07m^2，给药后患者出现特殊情况进行抢救使用
	SPECT-CT 注药候诊室	1 间，有效面积 36.67m^2（含卫生间），用于患者注射 ^{99m}Tc 药物后等候显像检查使用
	PET-CT 注药候诊室	1 间，有效面积 15.82m^2（含卫生间），用于患者注射 ^{18}F 药物后等候显像检查使用
	留观室	1 间，有效面积 23.48m^2（含卫生间），用于注射 ^{18}F 药物的患者在显像检查后进行留观
公辅工程	储源室 1 间，有效面积 5.63m^2，用于外购 ^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra 核素临时储存	
	废物间 1 间，有效面积 4.10m^2，用于暂存核医学科日常放射性固体废物	

	设置医办、护士接诊站、诊断室、甲状腺检查室、卫生间等，用于核医学科日常办公使用	
	设置一更、二更、浴厕、缓冲 1，缓冲 2 用于医护人员更衣使用	
环保工程	废气	分装质控注射间内的手套箱、分装给药室内的自动分碘仪单独设置排风系统，并安装有活性炭过滤器；其他区域设置送风、排风系统
	废水	本次拟在门诊楼地下二层北侧设置衰变间，衰变间内共有 2 套放射性废水处理设施，其中 1 套为长半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成；1 套为短半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成。废水经衰变达到《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求后由衰变池底部出水管道输送至集水坑后排至医院污水处理站，经处理后最终排入市政污水管网
	固废	建设有废物间 1 间，有效面积 4.10m^2，用于核医学科内产生的放射性固体废物（包括废活性炭）分类收集暂存，暂存至其低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的要求，所有放射性固体废物均经检测合格（即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2）后作为医疗废物进行处置，废活性炭作为一般固体废物由厂家回收处置，医疗废物统一委托有资质单位处置

6、项目建设规模

⑴ 射线装置

本项目拟配备 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），均属于III类射线装置。根据医院提供的资料，uMI vista 型 PET-CT 设备无需使用校准源进行校验。设备参数见表 1-3。

表 1-3　　拟建射线装置参数一览表

设备名称	设备型号	数量（台）	管电压（kV）	管电流（mA）	射线装置类别
PET-CT	uMI vista	1	150	800	III类
SPECT-CT	NM/CT 860	1	140	200	III类

⑵ 非密封放射性物质

本项目非密封放射性物质用量情况见表 1-4。

表 1-4　　核医学科使用放射性同位素用量情况

核素名称	状态	半衰期	患者每人次核素用量（Bq）	每天预计接待患者人数（人）	接诊天数（天）	日最大操作量（Bq）①	年最大使用量（Bq）	用途
^{18}F	液体	109.8min	3.7×10^8（10mCi）	6	250	7.62×10^{9}②	1.91×10^{12}	PET-CT 显像
^{99m}Tc	液体	6.02h	9.25×10^8（25mCi）	20	250	3.17×10^{10}③	7.93×10^{12}	SPECT-CT 显像
^{131}I	固体	8.02d	1.85×10^5（0.005mCi）	8	250	2.22×10^{6}④	5.55×10^8	甲功测定
^{131}I	液体	8.02d	3.7×10^8（10mCi）	3	250	1.67×10^{9}⑤	4.16×10^{11}	甲亢治疗
^{89}Sr	液体	50.53d	1.48×10^8（4mCi）	13	48	2.89×10^{9}⑥	7.22×10^{11}	转移性骨肿瘤诊疗
^{223}Ra	液体	11.44d	1.11×10^7（0.3mCi）	13	48	2.16×10^{8}⑥	5.41×10^{10}	

备注：① 表中日最大操作量为医院向厂家订购的最大量；

② ^{18}F 一天只送药一次，医院计划每人注射间隔时间约 45min。由于 ^{18}F 半衰期较短，考虑到放射性核素的衰变，以及存在的其他不可控因素，日最大操作量仍需留有部分冗余。本次考虑冗余量按照估算的实际注射量的一半考虑，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。估算出医院 ^{18}F 的实际最大订购量为：（10mCi×（$1+2^{(45/109.8)}+2^{(90/109.8)}+2^{(135/109.8)}+2^{(180/109.8)}+2^{(225/109.8)}$））*1.5=206mCi；开展时间为每周一至周五的上午 11:00；

③ ^{99m}Tc 一天只送药一次，医院计划分 5 批进行注射，每批为 4 人，每批注射间隔时间为 30min，每人注射间隔时间为 1min。考虑到放射性核素的衰变，以及存在的其他不可控因素，日最大操作量仍需留有部分冗余，本次考虑冗余量按照估算的实际注射量的一半考虑，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。估算出医院 ^{99m}Tc 的实际最大订购量为：（25mCi×（$1+2^{(1/6.02*60)}+2^{(2/6.02*60)}+2^{(3/6.02*60)}+2^{(33/6.02*60)}+2^{(34/6.02*60)}+2^{(35/6.02*60)}+2^{(36/6.02*60)}+\cdots+2^{(115/6.02*60)}$））*1.5=857mCi，开展时间为每周一至周五的上午 11:00；

④ 本次进行甲状腺功能测定的患者单次用量为 1.85×10^5Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 A，^{131}I 豁免活度为 1.0×10^6Bq，满足其豁免管理要求；本次考虑冗余量按照估算的实际注射量的一半考虑，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。估算出医院 ^{131}I（甲功测定）的实际最大订购量为：8×0.005mCi×1.5=0.06mCi，甲状腺功能测定开展时间为每周一至周五的上午 9:00～11:00；

⑤ 本次考虑冗余量按照估算的实际注射量的一半考虑，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。估算出医院 ^{131}I（甲亢）的实际最大订购量为：3×10mCi×1.5=45mCi，甲亢治疗的开展时间为每周一至周五的上午 9:00～11:00；

⑥ 本次考虑冗余量按照估算的实际注射量的一半考虑，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。估算出医院 ^{89}Sr 的实际最大订购量为：13×4mCi×1.5=78mCi，^{223}Ra 的实际最大订购量为：13×0.3mCi×1.5=5.9mCi，转移性骨肿瘤诊疗的开展时间为每周五的上午 8:00～9:00

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C中“非密封源工作场所的分级要求”，使用以下公式计算日等效最大操作量，确定其工作场所等级。

$$日等效最大操作量=\frac{日实际操作量\times毒性组别修正因子}{操作方式修正因子}$$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，确定 ^{99m}Tc、^{18}F 和 ^{131}I 的核素毒性权重因子、工作场所的操作方式因子及工作场所的分级要求，见表 1-5～表 1-7。

表 1-5　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

表 1-6　操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	操作性质修正因子			
	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

表 1-7　　非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量（Bq）
甲	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}～4×10^{9}
丙	豁免活度值以上～2×10^{7}

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），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操作量核算：

a 有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

b 工艺流程连续完整；

c 有相对独立的辐射防护措施。

经对比，本项目各类放射性药品使用场所均位于核医学科同一个区域，因此本次工作场所等级以单个核素等效最大操作量之和进行计算。经估算后核医学科工作场所等级为乙级，计算结果见表 1-8。

表 1-8　　核医学科工作场所分级计算结果

核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式	方式与状态修正因子	单个核素日等效最大操作量（Bq）	场所日等效最大操作量（Bq）	工作场所级别
^{18}F	7.62×10^{9}	低毒	0.01	液体	很简单的操作①	10	7.62×10^{6}	4.51×10^{8}	乙级
^{99m}Tc	3.17×10^{10}	低毒	0.01	液体	很简单的操作①	10	3.17×10^{7}		
^{131}I	2.22×10^{6}	中毒	0.1	固体	简单操作①	10	2.22×10^{4}		
^{131}I	1.67×10^{9}	中毒	0.1	液体	简单操作①	1	1.67×10^{8}		
^{89}Sr	2.89×10^{9}	中毒	0.1	液体	很简单的操作②	10	2.89×10^{7}		
^{223}Ra	2.16×10^{8}	极毒	10	液体	很简单的操作②	10	2.16×10^{8}		

备注：① 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A：本项目医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 液态属于很简单操作；核素治疗使用 ^{131}I 属于简单操作；
② 参考医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 液态，^{89}Sr 和 ^{223}Ra 属于很简单操作。

7、工作人员配置

本项目核医学科拟配置工作人员 7 人，其中 2 名为新增辐射工作人员，其余 5 名为现有辐射工作人员调配，参与本项目的辐射工作人员不参与其他核技术利用相关工作。

对于新增的辐射工作人员，医院将在上岗前按照《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》（公告 2019 年第 57 号）的要求，组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后才允许上岗，同时将组织辐射工作人员参加岗前体检，建立职业健康档案。

8、工作负荷

本项目变动部分核医学科工作负荷如下：

表 1-9　　本项目核医学科的工作负荷情况表

射线装置	核素	患者人次（人/天）	周工作日（天）	年工作日（天）	操作方式	每人每次操作时间	年操作时间
PET-CT	^{18}F	6	5	250	手套箱内药物分装及质控	1min	25h
					药物自手套箱转移至注射窗口	20s	8.33h
					注射	10s	4.17h
					对患者进行摆位	1min	25h
					控制室操作时间	20min	500h
					候诊时间	45min	1125h
					留观时间	1h	1500h
SPECT-CT	^{99m}Tc	20	5	250	药物自储源室转移至注射窗口	20s	27.8h
					注射	10s	13.9h
					对患者进行摆位	1min	83.3h
					控制室操作时间	20min	1666.7h
					候诊时间	21min	1750h
/	^{131}I（甲亢治疗）	3	5	250	留观时间	1h	750h
/	^{89}Sr	13	1	48	药物自储源室转移至注射窗口	20s	3.47h
/	^{223}Ra	13	1	48	药物自储源室转移至注射窗口	20s	3.47h

9、项目选址及布局合理性

⑴ 项目选址合理性

① 医院地理位置及四邻关系

安康市中心医院江南总院位于安康市汉滨区金州南路 85 号，地理位置见图 1-3。

图 1-3　　安康市中心医院地理位置示意图

本项目位于江南总院门诊楼内，门诊楼东侧紧邻金州南路，北侧为安康市公安局家属院，西侧紧邻内科大楼和医院家属楼，南侧为南方新世纪。项目周边环境关系见图 1-4。

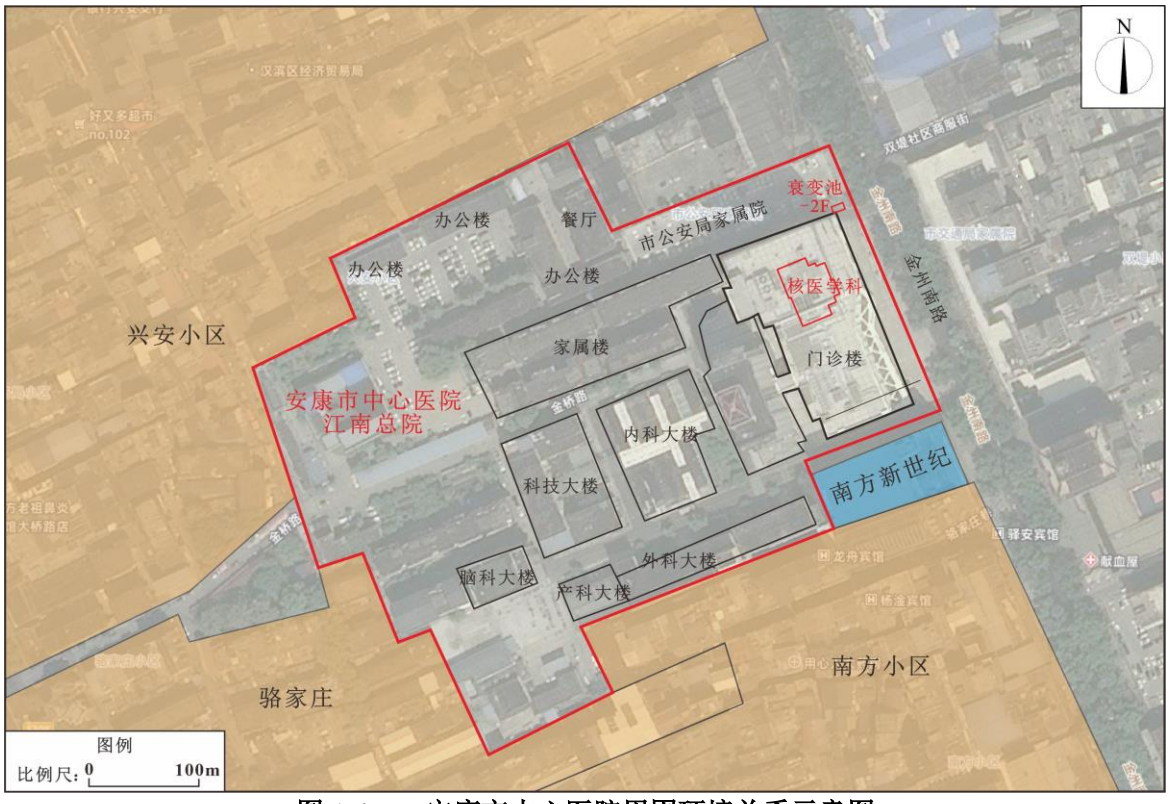

图 1-4　　安康市中心医院周围环境关系示意图

② 核医学科选址合理性分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），本项目选址合理性分析如下：

表 1-10　　核医学科选址合理性分析

法规标准	相关要求	本项目情况	是否符合
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	核医学科集中布设于江南总院的门诊楼地下一层，该场所无人长期居留。核医学科相邻四周均为停车场，设置有通顶墙体作为物理隔离，废物间及储源室均通过门禁来控制辐射源的活动，见图 1-5。根据核医学科人流物流设计（见表 10 辐射安全与防护），设置有单独的人员、物流通道	是
	5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	核医学科相邻四周均为停车场，西侧为放疗科（加速器、后装机、CT 模拟定位机等），正上方为门诊住院大厅、急诊中心（CT 室、急诊检验室、诊室、治疗室、办公室等），正下方为手术部（预留，战时用）、停车位等。不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，核医学科边界均为通顶墙体	是
	5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学科排风系统包括 4 部分（详见表 10 辐射安全与防护），均经排风管道通往门诊楼楼顶排出，排风口位置离周边高层建筑较远	是

综上所述，项目建设地点与周边建筑相互独立，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素，选址基本合理，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的选址要求。

③ 衰变间选址合理性分析

a. 本次变动后拟在门诊楼地下二层北侧设置衰变间，衰变间内共有 2 套放射性废水处理设施。衰变间北侧、东侧及底部为土层，正上方为地下一层空调机房，西侧及南侧为地下二层的停车场、手术部（预留，人防工程战备用）、配电间、水泵房、空调机房、排风机房、排烟机房等，人员流动均较少；

b. 放射性废水经核医学科内的排水管道收集后，长半衰期的废水由缓冲 2 南侧竖向管道至地下二层，再经管道至衰变间；短半衰期的废水由留观室南侧竖向管道至地下二层，再经管道至衰变间。排水管道所经区域为手术室（预留，人防工程战备用）、卫生间、扩散室、集气室等，人员流动较少，且管道以尽可能短捷的路径接

至衰变池。

综上所述，目前变动后的衰变间选址基本合理。

⑵ 项目平面布局合理性

PET-CT、SPECT-CT 机房位于核医学科中部，机房西侧紧邻控制室和抢救室，患者走廊布设于机房南侧和东侧，医护走廊布设于控制室北侧。沿南侧患者走廊自西向东依次为通过间、废物间、储源室、分装质控注射间、运动能力检测室、分装给药室、甲亢留观室等，沿东侧患者走廊自南向北依次为污物间、洁具间、PET-CT 注药候诊室、SPECT-CT 注药候诊室、留观室等。沿西侧走廊由北向南依次为护士站、诊断室、甲状腺检查室、新风机房、一更、二更、缓冲间、浴厕、检测登记室、开包室等，核医学科平面布置见图 1-5。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），本项目核医学科布局合理性分析如下：

表 1-11　　核医学科布局合理性分析

法规标准	相关要求	本项目情况	是否符合
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	5.2.1 核医学科工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减少放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间	本次核医学科仅进行门诊诊断，未设置住院治疗场所。控制区相对集中，分装质控注射间集中在核医学科的南侧，防止交叉污染；放射性药物存放在储源室（^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra）、分装质控注射间的手套箱（^{18}F）和分装给药室的自动分碘仪（^{131}I）内，范围较小；放射性废物存放至废物间内；给药后患者经患者走廊至注射窗口、甲亢留观室、PET-CT 注药候诊室、SPECT-CT 注药候诊室、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、留观室等，行动路线较短，可有效限制给药后患者的活动空间	是
	5.2.2 核医学科工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。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	核医学科设立有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，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相对短捷。详见“表 10 辐射安全与防护”部分	是
	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随	核医学科在患者进出口门防护门设计单向门禁系统；储源室门、废物间门、医护通道出入口门等设门禁，授	是

	意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间	权工作人员才可进出；各个场所及地面均设置有相应标识等。采取以上措施后，控制了无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免了工作人员和公众受到不必要的照射； 在进出检测登记室、分装质控注射间、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房均设置有缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备； 给药后患者使用的 PET-CT 注药候诊室、SPECT-CT 注药候诊室、留观室及甲亢留观室均设置有患者专用卫生间	

综上，核医学科布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。本项目涉及的各楼层平面布局见图 1-5～图 1-8。

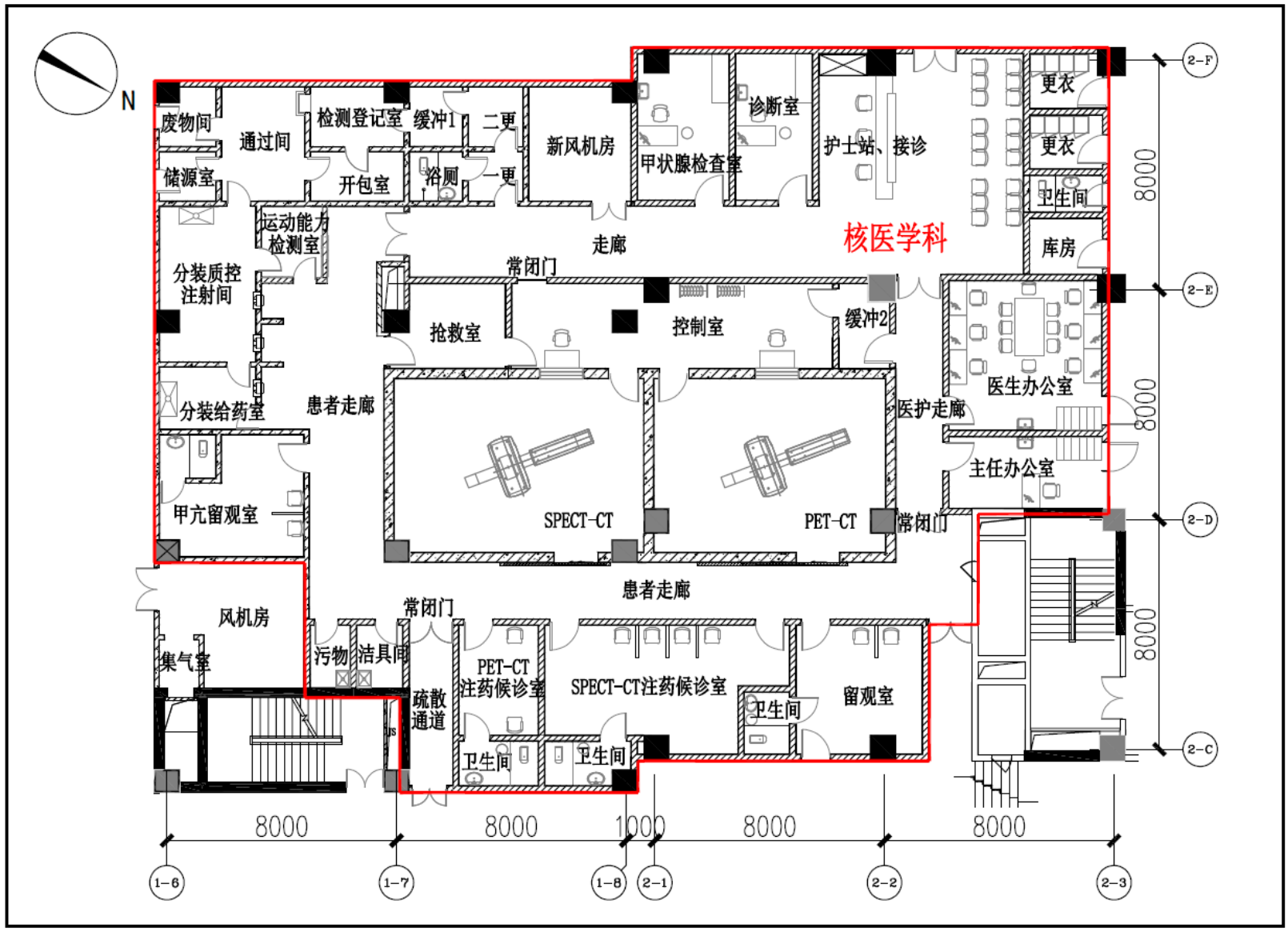

图 1-5　　核医学科平面布置图

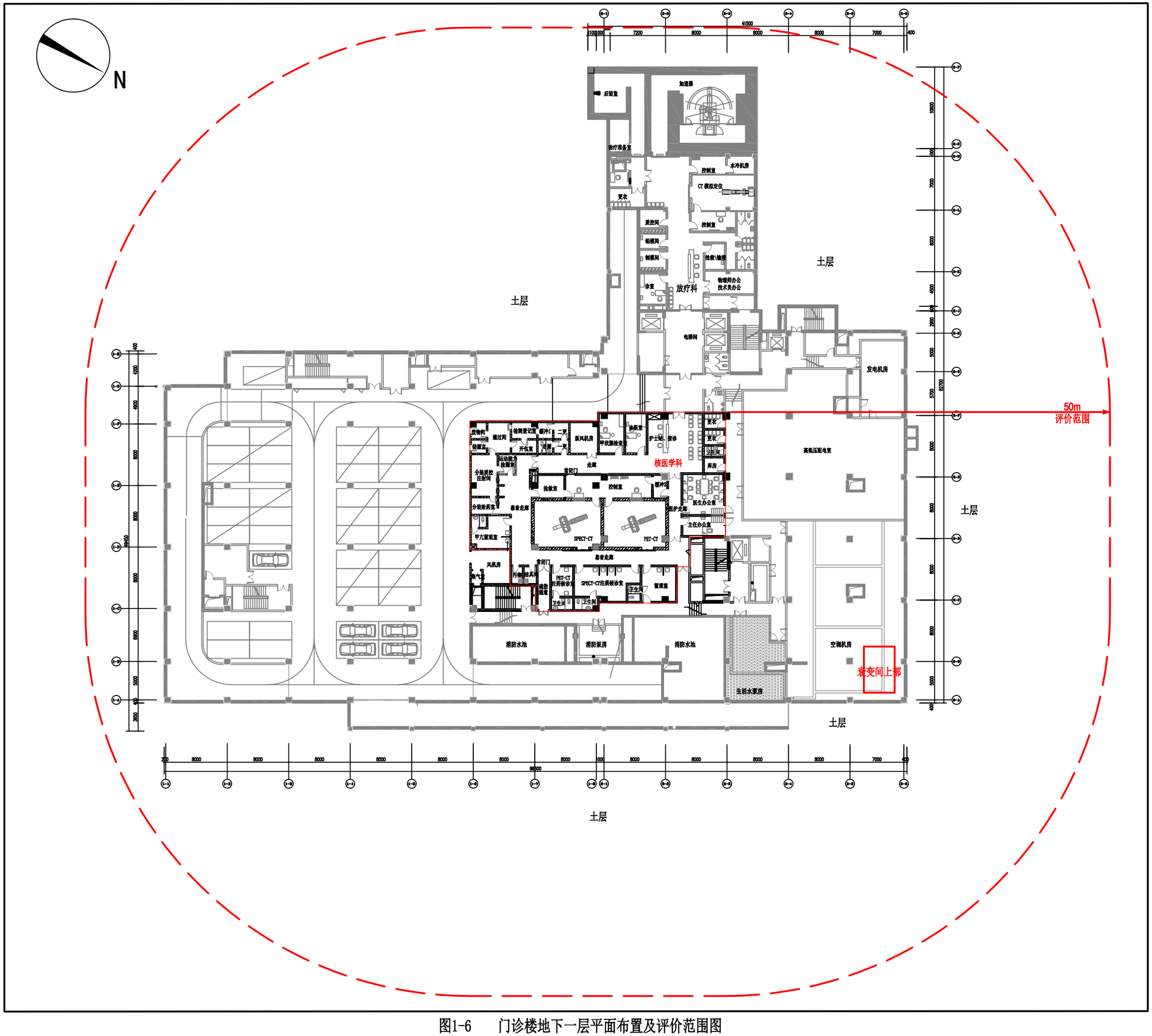

图1-6　　门诊楼地下一层平面布置及评价范围图

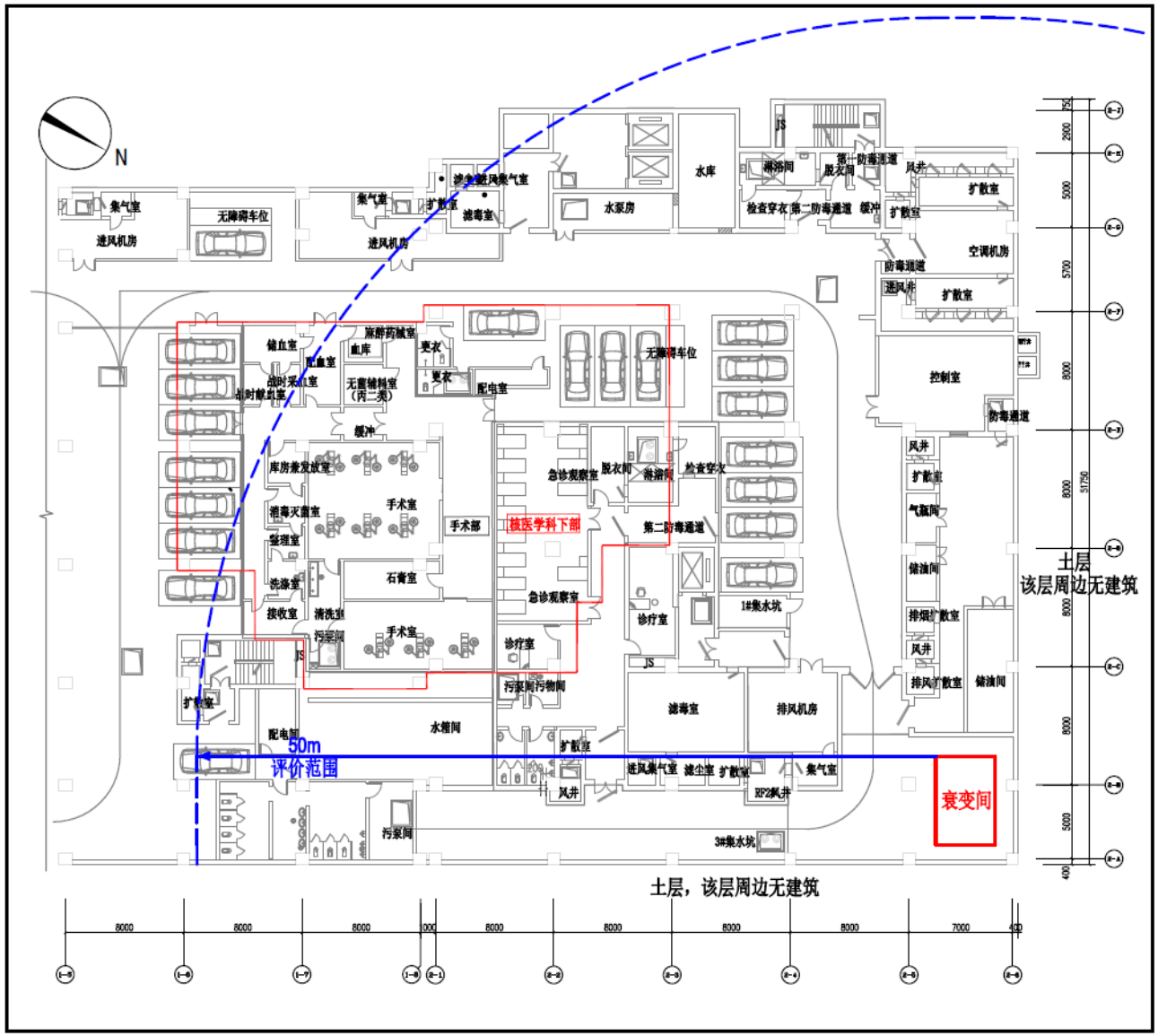

图 1-7　　门诊楼地下二层平面布置及评价范围图

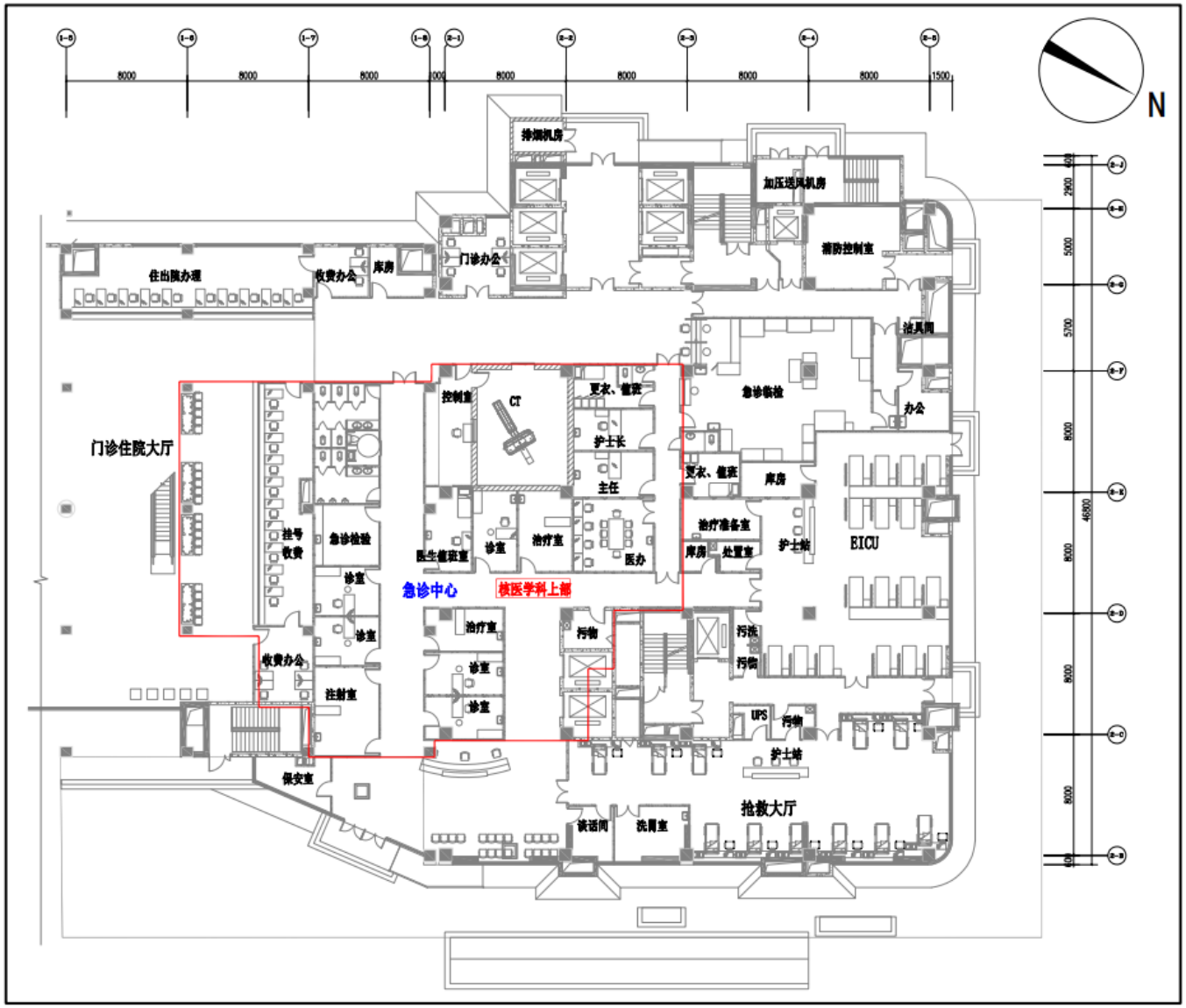

图 1-8　　门诊楼一层平面布置图

10、现有核技术利用项目情况

⑴ 环保手续履行情况

安康市中心医院现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-12。

表 1-12　　现有核技术利用项目环保手续履行情况一览表

项目名称	评价内容	环评手续		验收手续		备注
		批复文号	批复时间	批复文号	批复时间	
开放型放射性同位素应用丙级场所（使用 ^{99m}Tc、^{125}I、^{131}I）、^{192}Ir 密封放射源、射线装置	I-125（粒子源）、I-131、I-125、Tc-99m、^{192}Ir 密封放射源、直线加速器（BJ-6B/400）、模拟定位机（BMD-2）、DSA（Advantx Lcv+）、2 台 DR（Digital Diagnost vr、red speed）、3 台 X 线机（COMPACT 100-15、IME-100L、TMX+）、2 台 CT（Light Speed Ultra、OPTIMA CT520PRO）、1 台肠胃机（OPERA）	陕环批复〔2007〕199 号	2007 年 3 月 29 日	陕环批复〔2014〕21 号	2014 年 1 月	^{192}Ir 密封放射源已退役，医院现无 ^{192}Ir 密封放射源 CT（Light Speed Ultra）报废，于 2022 年 9 月备案更换
		陕环批复〔2009〕522 号	2009 年 9 月 17 日			
安康市中心医院核技术应用项目	1 台 DSA（Allura xper Fd20）	陕环批复〔2014〕527 号	2014 年 9 月 18 日			此 DSA 为补做环评
安康市中心医院新增医用射线装置核技术应用项目	2 台 DSA，1 台 CT（REVOLUTION CT）、4 台 DR（VX3733-SYS、DRXR-1、Udr592H、VX3733-SYS）、3 台 X 射线机（Apsaras Opera FP、OEC One CFD、JZ06）	陕环批复〔2015〕463 号	2015 年 9 月 1 日	陕环批复〔2016〕645 号	2016 年 12 月	仅验收了 1 台 DSA（UNIQFD20）及 8 台 III 类射线装置
安康市中心医院总院医用血管造影 X 射线系统（DSA）改造核技术利用项目	1 台 DSA（InnovaIGS520）	安环函〔2021〕307 号	2021 年 11 月 1	2022 年 2 月 16 日进行了竣工环境保护自主验收		拆除原 DSA（Advantx Lcv+）
安康市中心医院城东院区 CT 机房建设项目	1 台 CT（Optima Advance）	2020 年 2 月 27 日进行了登记备案（备案编号：202061090200000124）				/
安康市中心医院城东院区移动 DR 项目	1 台 DR（DP326C-3）	2020 年 3 月 2 日进行了登记备案（备案编号：202061090200000170）				/

安康市中心医院北院区DR机房建设项目		2021年8月4日进行了登记备案（备案编号：202161090200000711）			由城东院区搬迁至北院区
安康市中心医院北院区乳腺机机房改造项目	1台乳腺机（Senographe Pristina）	2021年8月4日进行了登记备案（备案编号：20216109000100000014）			/
安康市中心医院骨密度机机房改建项目	1台骨密度机（Horizon-Wi）	2021年8月4日进行了登记备案（备案编号：202161090200000714）			/
安康市中心医院口腔门诊搬迁射线装置（牙片机、口腔CBCT、牙科全景机）机房建设项目	1台曲面断层全景x光机（OC200D）、1台口内牙片x光机（INTR）、1台口腔CBCT（i-CAT17-19）	2021年8月4日进行了登记备案（备案编号：202161090200000713）			/
安康市中心医院移动DR项目	1台移动DR（DP326C-3）	2021年8月9日进行了登记备案（备案编号：202161090200000729）			/
安康市中心医院车载CT项目	1台车载移动CT（ANATOM 32Fit）	2021年8月9日进行了登记备案（备案编号：202161090200000731）			/
安康市中心医院新增射线装置项目	2台DR（DP326C-3、VX3733-SYS）、1台CT（Light speetd vct xt）、CT模拟定位机（Discovery RT）	2022年3月23日进行了登记备案（备案编号：202261090200000234）			/
安康市中心医院总院CT机房改建项目	CT（Incisive CT）	2022年9月2日进行了登记备案（备案编号：202261090200000834）			更换原CT（Light Speed Ultra）设备
安康市中心医院门诊楼建设核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目	1台加速器（Elekta infinity）、1台后装机、核医学科（1台PET-CT、1台SPECT-CT、使用^{18}F、^{99m}Tc、^{99}Mo-^{99m}Tc发生器、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra）、2台DSA	陕环批复〔2022〕36号	2022年6月15日	直线加速器部分已自主验收，验收时间为2024年9月29日 后装机尚未采购安装，暂未进行验收 DSA部分正在验收 核医学科部分发生重大变动，正在重新上报环评	分批验收

⑵ 辐射安全许可证办理情况

安康市中心医院现持有辐射安全许可证，证书编号为〔陕环辐证 80001〕，发证

日期为 2025 年 1 月 13 日，有效期至 2030 年 1 月 12 日，许可种类和范围为：使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所，详见表 1-13。

表 1-13　　辐射安全许可证活动种类和范围

序号	活动种类和范围								
	辐射活动场所名称	场所等级	核素	物理状态	活动种类	用途	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）
1	南院区 CT 一室	丙级	^{125}I（粒籽源）	固态	使用	放射性药物治疗	8.0×10^{9}	8.0×10^{6}	2.69×10^{12}
2	南院区核医学科	丙级	^{99m}Tc	液态	使用	放射性药物诊断	1.9×10^{9}	1.9×10^{6}	6.40×10^{11}
3			^{131}I	液态	使用	放射性药物治疗	1.0×10^{8}	1.0×10^{7}	3.37×10^{10}

（三）射线装置

序号	活动种类和范围					使用台账		
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台（套）	装置名称	规格型号	技术参数（最大）
1	北院区 CT 二室	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III 类	使用	1	高档螺旋 CT	REVOLUTION CT	管电压 140kV，管电流 750mA
2	北院区 CT 一室	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III 类	使用	1	螺旋 CT	OPTIMA CT520PRO	管电压 140kV，管电流 400mA
3	北院区发热门诊	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	移动 X 线机	TMX+	管电压 125kV，管电流 300mA
4	北院区放射科拍片二室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	DR	VX3733-SYS	管电压 150kV，管电流 900mA
5		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	DR	DRXR-1	管电压 150kV，管电流 400mA
6	北院区放射科拍片三室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	DR	Udr592H	管电压 150kV，管电流 800mA
7	北院区放射科拍片一室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	DR	VX3733-SYS	管电压 150kV，管电流 900mA
8	北院区放射科造影室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	数字化透视摄影 X 射线机	Apsaras Opera FP	管电压 150kV，管电流 800mA
9	北院区介入中心	血管造影用 X 射线装置	II 类	使用	1	平板数字血管造影机	UNIQFD20	管电压 125kV，管电流 1250mA
10	北院区乳	医用诊断 X 射	III 类	使用	1	乳腺机	Senographe	管电压

	腺机房	线装置					Pristina	49kV，管电流 100mA
11	北院区手术麻醉科	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	移动 C 型臂	OEC One CFD	管电压 110kV，管电流 25mA
12		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	移动 X 线机	JZ06	管电压 125kV，管电流 40mA
13	城东院区 CT 室	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III 类	使用	1	CT 机	Optima Advance	管电压 140kV，管电流 350mA
14	城东院区放疗中心	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器	II 类	使用	1	医用直线加速器	BJ-6B/400	粒子能量 10MeV
15		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	模拟定位机	BMD-2	管电压 0.38kV，管电流 7mA
16	南院区 CT 二室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	CT	Lightspeetd vct xt	管电压 140kV，管电流 800mA
17	南院区 CT 楼北侧	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III 类	使用	1	车载移动 CT	ANATOM 32Fit	管电压 140kV，管电流 10mA
18	南院区 CT 一室	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III 类	使用	1	螺旋 CT	Incisive CT	管电压 140kV，管电流 650mA
19	南院区放射科骨密度室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	骨密度仪	Horizon-Wi	管电压 140kV，管电流 10mA
20	南院区放射科拍片二室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	X 线机床头机	IME-100L	管电压 0.22kV，管电流 300mA
21		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	DR	digital diagnostvr	管电压 150kV，管电流 900mA
22	南院区放射科拍片三室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	DR	VX3733-SYS	管电压 150kV，管电流 900mA
23	南院区放射科拍片一室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	DR	rad speed	管电压 120kV，管电流 500mA
24	南院区放射科造影室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	平板数字肠胃机	OPERA	管电压 150kV，管电流 800mA
25	南院区介入中心二室	血管造影用 X 射线装置	II 类	使用	1	数字减影血管造影	Alluraxper fd20	管电压 125kV，管电流 800mA
26	南院区介入中心一室	血管造影用 X 射线装置	II 类	使用	1	医用血管造影机	Innova IGS520	管电压 125kV，管电流 800mA

27	南院区口腔科门诊	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	口内牙片 X 线机	INTR	管电压 70kV，管电流 7mA
28		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	曲面断层全景 X 光机	OC200D	管电压 85kV，管电流 16mA
29		口腔（牙科）X 射线装置	III 类	使用	1	口腔 CT 机	i-CAT 17-19	管电压 120kV，管电流 5mA
30	南院区门急诊大楼负一楼放疗科	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	III 类	使用	1	CT 模拟定位机	Discovery RT	管电压 140kV，管电流 800mA
31		粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器	II 类	使用	1	医用直线加速器	Elekta infinity	粒子能量 15MeV
32	南院区脑科大楼	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	X 射线床头机	COMPACT100-15	管电压 0.22kV，管电流 375mA
33	南院区外科大楼	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	移动 DR	DP326C-3	管电压 150kV，管电流 400mA

⑶ 辐射安全管理现状

医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等相关法律法规要求，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

⑷ 辐射防护管理机构设置情况

安康市中心医院已成立辐射安全与放射卫生管理委员会，管理委员会下设应急处理组、技术专家组、放射防护组及培训考核组。委员会办公室负责委员会日常工作。办公室设在医务科，办公室主任由医务科科长兼任，副主任由设备科科长兼任。医务科、设备科均有专人负责此项工作。具体职责见表 12 辐射安全管理部分。

⑸ 规章制度建设及落实情况

医院根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全防护条例》、《陕西省放射性污染防治条例》，已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，具体如下：

辐射安全管理制度：《放射人员培训制度》《放射工作人员职业健康监护制度》《职业健康检查工作程序》《职业健康检查结果的告知程序及报告程序》《职业健康检查质量保证管理制度》《职业健康检查档案管理规章制度》《监测仪表使用与校准

制度》《全国核技术利用辐射安全中报系统运行管理制度》《放射卫生暨辐射安全管理员岗位职责》《放射诊疗工作场所辐射安全防护巡查和维护制度》《放射诊疗设备维护检修制度》《放射防护管理制度》《放射性同位素与射线装置放射防护管理制度》《放射性药品订购、领取、保管、使用制度》《放射性药品管理制度》《核医学科放射性废物处理》《核医学科安全管理巡查制度》《核医学科高活性室操作规程》等；

工作场所及人员剂量监测制度：《放射工作场所监测计划与管理制度》《放射工作人员个人剂量检测制度》；

应急预案：《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》。

医院现有辐射安全和防护制度的建立落实、档案管理等方面运行正常。

⑹ 工作人员培训情况辐射安全管理现状

医院严格按照国家相关规定，所有从事放射工作的人员需参加相关部门的培训，经考核合格取得放射工作人员岗位培训合格证后才可以从事放射工作。根据医院提供的资料，已有 177 名放射工作人员取得培训合格证书。

⑺ 职业健康检查情况

医院对上岗前、在岗期间及离岗前从事放射性工作的职业人员进行了职业性健康体检，建立了职业健康体检档案并存档。根据医院提供的 2024 年度体检结果报告，本次体检人员共计 177 人，其中 171 人为在岗体检，3 人为岗前体检，3 人为离岗体检。体检检查结果均未发现疑似职业病及职业禁忌症，适宜从事辐射工作。

经与医院核实，职业健康体检每 2 年/次，全院辐射工作人员统一进行。医院目前在岗辐射工作人员为 177 人，根据医院提供的 2024 年度体检报告可知，有 3 人未及时参与健康体检。医院已按照管理规定要求该 3 人进行补检，暂未出结果，若发现疑似职业病及职业禁忌症，将调离原岗位。医院应加强辐射工作人员的职业健康管理，严格执行辐射安全管理规章制度。

⑻ 个人剂量检测情况

医院为从事放射工作人员均配备了个人剂量计，并委托陕西新高科辐射技术有限公司进行了个人剂量检测，并建立了个人剂量档案并存档。根据各科室 2024 年 4 月～2025 年 3 月（剂量计佩戴时间）4 个季度的个人剂量检测结果，医院放射工作人员连续 4 个季度的剂量最大值为 1.28mSv（介入科），满足不大于 5mSv 的剂量约束。

⑼ 工作场所及辐射环境监测情况

医院制定了辐射环境监测方案，委托有资质的单位对现有设备的辐射工作场所每年进行 1 次定期监测。根据陕西思迈奥健康科技服务有限公司出具的 2024 年度《放射诊疗场所防护检测》（思迈奥（FH）字（2024）第 410-2 号），根据报告监测结果可知，各监测点位周围剂量当量率为 0.11～1.58μSv/h，均符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求。

⑽ 应急管理情况

医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》，以保证本单位一旦发生核技术利用项目辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处置放射事故，保护工作人员、公众的健康与环境安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。

⑾ 目前存在的环保问题及整改措施

综上，安康市中心医院原有核技术利用项目环保手续及辐射安全许可证手续齐全；辐射安全管理情况运行良好；规章制度及应急管理基本落实；工作人员个人剂量满足剂量约束要求；各工作场所定期开展监测，其监测结果均满足相应标准要求。根据最近的健康体检报告（2024 年度），约有 3 人未及时参与健康体检，医院已按照管理规定要求该 3 人进行补检，暂未出结果，若发现疑似职业病及职业禁忌症，将调离原岗位。医院应加强辐射工作人员的职业健康管理，严格执行辐射安全管理规章制度。

11、评价目的

⑴ 对医院在使用射线装置和非密封放射性物质时产生的辐射环境影响进行预测分析，确保该射线装置及非密封放射性物质使用过程中对周围环境、人员产生辐射影响满足国家标准相关要求；

⑵ 对射线装置和非密封放射性物质使用过程中对周围环境可能产生的不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

⑶ 为医院辐射环境保护管理提供科学依据。

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	贮存方式及地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注: 密封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	贮存方式及地点
1	^{18}F	液态	使用	7.62×10^{9}	7.62×10^{6}	1.91×10^{12}	PET-CT 显像	很简单的操作	核医学科	分装质控注射间
2	^{99m}Tc	液态	使用	3.17×10^{10}	3.17×10^{7}	7.93×10^{12}	SPECT-CT 显像	很简单的操作	核医学科	储源室
3	^{131}I	固体	使用	2.22×10^{6}	2.22×10^{4}	5.55×10^{8}	甲功测定	简单操作	核医学科	甲状腺检查室
4	^{131}I	液态	使用	1.67×10^{9}	1.67×10^{8}	4.16×10^{11}	甲亢治疗	简单操作	核医学科	分装给药室
5	^{89}Sr	液态	使用	2.89×10^{9}	2.89×10^{7}	7.22×10^{11}	转移性骨肿瘤诊疗	很简单操作	核医学科	储源室
6	^{223}Ra	液态	使用	2.16×10^{8}	2.16×10^{8}	5.41×10^{10}	转移性骨肿瘤诊疗	很简单操作	核医学科	储源室

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

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	PET-CT	III	1 台	uMI vista	150	800	医用诊断和病症评估	核医学科 PET-CT 机房	无校准源
2	SPECT-CT	III	1 台	NM/CT 860	140	200	医用诊断和病症评估	核医学科 SPECT-CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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(mA)	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度(Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液体	^{131}I	/	1.06 m^3	13.25 m^3	远低于 10Bq/L	排入衰变池（长半衰期）内暂存，可暂存 264 天	经衰变池（长半衰期）暂存衰变后经集水坑排放至医院污水处理站
		^{18}F、^{99m}Tc、	/	7.98 m^3	99.75 m^3	远低于 10Bq/L	排入衰变池（短半衰期）内暂存，可暂存 35 天	经衰变池（短半衰期）暂存衰变后经集水坑排放至医院污水处理站
放射性固体废物（剩余放射性药物、注射器、针头、手套、药棉、纱布、擦拭污染地面的物品、患者呕吐物、废活性炭等）	固体	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra	/	42kg	525 kg	辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染 <0.8Bq/cm^2	分类收集暂存于废物间，^{18}F、^{99m}Tc 的放射性固体废物需暂存超过 30 天，^{89}Sr、^{223}Ra 的放射性固体废物需暂存超过核素最长半衰期的 10 倍，^{131}I 的放射性固体废物需暂存超过 180 天	按照医疗废物处理，废活性炭作为一般固体废物处置
放射性废气	气体	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra	/	微量	微量	/	/	经活性炭吸附后，通过专用管道排放
非放射性废气	气体	臭氧、氮氧化物等	/	少量	少量	/	/	通过排风管道排出

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固态为 mg/kg，气态单位为 mg/kg；年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	⑴《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日； ⑵《中华人民共和国环境影响评价法》（修订），2018 年 12 月 29 日； ⑶《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日； ⑷《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日； ⑸《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日； ⑹《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日； ⑺《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 修改），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日； ⑻《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日； ⑼《关于发布<放射源分类办法>的公告》，国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日； ⑽《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日； ⑾《放射性废物分类》（环保部公告 2017 年第 65 号），环境保护部、工业和信息化部、国家防科技工业局，2018 年 1 月 1 日； ⑿《放射性物品分类和名录》（试行），国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日； ⒀《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； ⒁《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）； ⒂《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，2019 年 12 月 23 日； ⒃《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年 7 月 31 日修正）； ⒄《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）；

	⑱《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）。
技术标准	⑴《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； ⑵《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； ⑶《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； ⑷《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； ⑸《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； ⑹《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； ⑺《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； ⑻《操作非密封放射源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； ⑼《职业性外照射个人检测规范》（GBZ128-2019）； ⑽《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）； ⑾《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）。

其他	⑴ 安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（重大变动）环境影响评价委托书，2025 年 5 月； ⑵ 陕西省生态环境厅关于安康市中心医院核技术利用项目变动认定的复函（陕环辐射函〔2025〕22 号）； ⑶ 陕西省环境保护厅关于安康市中心医院新增医用射线装置核技术应用项目环境影响报告表的批复（陕环批复〔2015〕463 号）； ⑷ 陕西省环境保护厅关于安康市中心医院医用 X 射线装置应用项目竣工环境保护验收的批复（陕环批复〔2016〕645 号）； ⑸ 安康市生态环境局厅关于对安康市中心医院总院医用血管造影 X 射线系统（DSA）改造核技术利用项目环境影响报告表的批复（安环函〔2021〕307 号）； ⑹ 安康市中心医院总院医用血管造影 X 射线系统（DSA）改造核技术利用项目竣工环境保护验收组意见，2022 年 2 月 16 日； ⑺ 陕西省生态环境厅关于安康市中心医院门诊楼建设核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目环境影响报告表的批复（陕环批复〔2022〕36 号）； ⑻ 安康市中心医院门诊楼建设核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（直线加速器部分）竣工环境保护验收组意见，2024 年 9 月 29 日； ⑼ 安康市中心医院辐射安全许可证，（陕环辐证〔80001〕）； ⑽ 个人剂量检测报告（2024 年第 2 季度、2024 年第 3 季度、2024 年第 4 季度、2025 年第 1 季度）； ⑾ 2024 年放射诊疗场所防护检测报告； ⑿ 安康市中心医院关于调整辐射安全与放射卫生管理委员会的通知（安医发〔2024〕81 号）； ⒀ 安康市中心医院放射人员体检结果（2024 年）； ⒁ 安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目（重大变动）辐射环境现状监测报告（报告编号：XAZC-JC-2025-210），西安志诚辐射环境检测有限公司，2025 年 6 月 30 日； ⒂ 建设单位、设计单位提供的相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

一、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》（HJ 10.1-2016）中评价范围要求：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 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”。

本项目变动后仍属于乙级非密封放射性物质工作场所，同时使用III类射线装置，均位于安康市中心医院门诊楼核医学科内，评价范围为核医学科及衰变间外 50m 区域。该项目评价范围见图 1-4、图 1-5。

二、环境保护目标

本项目环境保护目标主要为从事核医学科工作的职业人员、安康市中心医院其它科室的工作人员和患者。项目主要环境保护目标见表 7-1。

表 7-1　　本项目主要环境保护目标一览表

场所	保护对象		位置		距辐射源最近距离（m）	人数（人）	年有效剂量控制水平
核医学科	职业人员	PET-CT 操作人员及摆位人员	PET-CT 机房（摆位）		0.5	7	≤5mSv
			控制室及缓冲 2		7.2		
		SPECT-CT 操作人员及摆位人员	SPECT-CT 机房（摆位）		0.5		
			控制室		7.6		
		工作人员（药物制备、药物分装质控、注射、给药人员）	一更、二更、浴厕、缓冲 1		1.8		
			检测登记室		0.5		
			开包室		0.5		
			储源室		0.5		
			分装质控注射间		0.5		
			运动能力检测		1.3		
			分装给药室		0.5		
			废物间		0.3		
			甲状腺检查室		0.3		
		护士	抢救室		0.5		
	放疗科职业人员②		医用电子直线加速器控制室		47.1	8	≤5mSv
			CT 模拟定位机控制室		39.7		
			质控间		39.5		
			铅模间		36.7		
			制模间		33.8		
			后装治疗机准备治疗室		49.3		
			更衣室		41.2		
			物理室及技术员办公室		32.7		
	公	核医学科其他工作	北侧	新风机房	11.0	流动人员	≤0.1mSv

	众	人员		库房	12.9	流动人员	
				卫生间	14.2	流动人员	
				更衣室	15.2	流动人员	
				医生办公室	8.7	6	
				主任办公室	6.2	2	
			西侧	诊断室	9.0	2	
				护士站	11.1	2	
		屏蔽体外周边其他医务人员、其他患者及其患者家属	西侧	放疗科（诊室、抢救/输液、卫生间）、发电机房	29.7	流动人员	
				电梯/楼梯间等	24.7	流动人员	
			北侧	高低压配电室	15.4	流动人员	
				空调机房	27.9	流动人员	
				生活水泵房	17.9	流动人员	
			东侧	消防泵房	2.8	流动人员	
				风机房	1.2	流动人员	
				电梯/楼梯间等	4.0	流动人员	
			南侧	停车场	6.4	流动人员	
		核医学科正下方其他医务人员、患者及其患者家属	手术部（预留，战时用）		3.0	约 20	
			电梯/楼梯间、停车场等			流动人员	
		核医学科正上方其他医务人员、患者及其他患者家属	急诊科（诊室、值班室、医护办场所、污物间等）		4.3	约 15	
			住院大厅、卫生间、电梯/扶梯			流动人员	
衰变间	公众	衰变间屏蔽体外周边其他医务人员、患者及其家属等	南侧	进风机房	44.4	流动人员	≤0.1mSv
				滤毒室	45.8	流动人员	
				水泵房	39.7	流动人员	
				水库	37.8	流动人员	
				检查脱衣、淋浴间、脱衣间	35.6	流动人员	
				手术部（预留，战时用）	30.2	/	
				配电间	43.0	流动人员	
				水箱间	30.0	流动人员	
				扩散室	23.6	流动人员	
				滤毒室、进风集气室、滤尘室、扩散室	13.0	流动人员	
				排风机房、集气室	6.3	流动人员	
			西侧	空调机房、扩散室	32.3	流动人员	
				控制室	21.6	流动人员	
				扩散室、排风扩散室、排烟扩散室	3.9	流动人员	
				气瓶间	14.5	流动人员	
				储油间	1.6	流动人员	
			地下停车场、电梯/扶梯		14.3	流动人员	
		衰变间正上方其他医务人员、患者、患者家属等	空调机房		4.3	流动人员	
备注：① 衰变间的正下方、北侧及东侧均为土层； ② 核医学科评价范围内还包含西侧的放疗科，距离较远，项目开展后基本不会对放疗科职业人员造成叠加影响							

三、评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何 工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

b）任何一年中的有效剂量，50mSv；

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：

a）年有效剂量，1mSv；

b）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。

6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

第 B2 款表面污染控制水平

第 B2.1 款，工作场所的表面污染控制水平如表 7.3-2 所示。

第 B2.2 款，工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-2 所列设备类的控制水平五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当做普通物品使用。

表 7-1　　工作场所的放射性表面污染控制水平　　单位：Bq/cm²

表面类型		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	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}

6.4 辐射工作场所的分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

6.4.3 非密封源工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 7-2 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-2　　非密封源工作场所分级

级别	日等效最大操作/Bq
甲	＞4×10^{9}
乙	2×10^{7}～4×10^{9}
丙	豁免活度值以上～2×10^{7}

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

① 每月排放的总活度不超过 10ALImin（ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；

② 每一次排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，

核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置：同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。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应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

6.1.5 距核医学工作场所各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 2.5μSv/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 10μSv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/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 25μSv/h。

6.1.7 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应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立合账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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

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

6.3.5 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 放射性废物的管理

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物

应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录 C。

7.2.2.5 废物间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a）**所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；**b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm^2、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm^2。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射，性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，

以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要：衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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 GB 18871 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。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

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

3、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）

一、关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放

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。

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/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 10μSv/h。本条规定的具体含义为：

1. 控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

2. 控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

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道在汇入“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、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

该标准适用于医疗机构污水排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 7-3 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7-3　　综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	总 β（Bq/L）	**10**	10

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1 污水取样与监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 总 α、总 β 在衰变池出口取样监测。

6.1.3 监测频率

6.1.3.4 理化指标监测频率：pH 每日监测不少于 2 次，COD 和 SS 每周监测 1 次，其他污染物每季度监测不少于 1 次。

5、《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）

《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）将于 2023 年 7 月 1 日实施，并替代 GB 18597-2001；本项目建设进度描述，预计于 2024 年 1 月 1 日投产运行，本次评价危险废物贮存按《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）执行。

4 总体要求

4.1 产生、收集、贮存、利用、处置危险废物的单位应建造危险废物贮存设施或设置贮存场所，并根据需要选择贮存设施类型。

4.2 贮存危险废物应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和环境风险等因素，确定贮存设施或场所类型和规模。

4.3 贮存危险废物应根据危险废物的类别、形态、物理化学性质和污染防治要求进行分类贮存，且应避免危险废物与不相容的物质或材料接触。

4.4 贮存危险废物应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取措施减少渗滤液及其衍生废物、渗漏的液态废物（简称渗漏液）、粉尘、VOCs、酸雾、有毒有害大气污染物和刺激性气味气体等污染物的产生，防止其污染环境。

4.5 危险废物贮存过程产生的液态废物和固态废物应分类收集，按其环境管理要求妥善处理。

4.6 贮存设施或场所、容器和包装物应按 HJ1276 要求设置危险废物贮存设施或场所标志、危险废物贮存分区标志和危险废物标签等危险废物识别标志。

4.7 HJ1259 规定的危险废物环境重点监管单位，应采用电子地磅、电子标签、电

子管理台账等技术手段对危险废物贮存过程进行信息化管理，确保数据完整、真实、准确；采用视频监控的应确保监控画面清晰，视频记录保存时间至少为 3 个月。

4.10 危险废物贮存除应满足环境保护相关要求外，还应执行国家安全生产、职业健康、交通运输、消防等法律法规和标准的相关要求。

6 贮存设施污染控制要求

6.1 一般规定

6.1.1 贮存设施应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐以及其他环境污染防治措施，不应露天堆放危险废物。

6.1.2 贮存设施应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和污染防治等要求设置必要的贮存分区，避免不相容的危险废物接触、混合。

6.1.3 贮存设施或贮存分区内地面、墙面裙脚、堵截泄漏的围堰、接触危险废物的隔板和墙体等应采用坚固的材料建造，表面无裂缝。

6.1.4 贮存设施地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。贮存的危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层（渗透系数不大于 10^{-7}cm/s），或至少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料（渗透系数不大于 10^{-10}cm/s），或其他防渗性能等效的材料。

6.1.5 同一贮存设施宜采用相同的防渗、防腐工艺（包括防渗、防腐结构或材料），防渗、防腐材料应覆盖所有可能与废物及其渗滤液、渗漏液等接触的构筑物表面；采用不同防渗、防腐工艺应分别建设贮存分区。

6.1.6 贮存设施应采取技术和管理措施防止无关人员进入。

6、环评要求

⑴ 职业照射和公众照射的年受照剂量约束值

本项目根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），针对职业照射和公众照射的年受照剂量约束值分别进行了设定，见下表：

表 7-4　　本次环评职业照射和公众照射的年受照剂量约束值

工作场所	年受照剂量约束值（mSv/a）		标准依据
	职业照射	公众照射	
核医学科	5	0.1	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

⑵ 场所周围剂量当量率要求

表 7-5　　本次核医学科工作场所周围剂量当量率要求

工作场所		周围剂量当量率（μSv/h）	标准依据
各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处		2.5	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）
屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域		10	
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	
	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	

⑶ “三废”处理要求

表 7-6　　本次“三废”处理要求

内容		要求	标准依据
废气	放射性废气	独立的通风系统，并配备有过滤装置；合成和操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
	非放射性废气	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）
放射性废水		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；含碘-131 核素的暂存超过 180 天	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
		总 β 放射性＜10Bq/L	《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
固体废物	放射性固体废物	所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的暂存超过 180 天	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
		β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2	
		废活性炭暂存至其放射性比活度低于相应清洁解控水平后，作为一般固体废物处置	/
	非放射性固体废物	按照医疗废物处理	《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）

表 8 环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

安康市中心医院位于安康市金州南路 85 号。地理位置见图 1-3。核医学科工作场所位于安康市中心医院门诊楼地下一层，衰变间位于安康市中心医院门诊楼地下二层，在具体位置见图 1-6～图 1-8。

二、环境质量现状

本次委托西安志诚辐射环境检测有限公司对拟建场所辐射环境质量进行现状监测，监测时间为 2025 年 6 月 30 日，监测单位按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等有关要求进行监测。

三、监测因子

X、γ 辐射剂量率。

四、监测点位

拟建核医学科及周边区域、拟建核医学科楼上、楼下区域、拟建衰变间区域，监测点位布设情况详见图 8-1～图 8-3。

五、监测概况

1、监测日期

2025 年 6 月 30 日。

2、监测仪器

监测仪器为便携式辐射检测仪，参数详见表 8-1。

表 8-1 监测仪器参数

型号规格	JB4010
仪器编号	XAZC-YQ-046
测量范围	0.001μGy/h～50μGy/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2025H21-10-5837685001
检定有效期	2025.4.15～2026.4.14

3、质量保证

按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《环境监测用 X、γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-1995）的要求，实施监测全过程质量控制。合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性。所用监测仪器全部经过计量部门检定，并在有效期内。监测数据严格实行三级审核制度。

六、监测结果

项目辐射环境质量现状监测结果见表 8-2。

表 8-2　　项目拟建场所各监测点位监测结果

监测点位编号	监测点位描述	X、γ辐射剂量率（μGy/h）
1	浴厕	0.133
2	缓冲 1	0.138
3	检测登记室	0.129
4	开包室	0.137
5	通过间	0.124
6	废物间	0.103
7	储源室	0.105
8	分装质控注射间	0.095
9	运动能力检测室	0.135
10	分装给药室	0.096
11	患者走廊	0.107
12	甲亢留观室	0.109
13	污物间	0.121
14	洁具间	0.125
15	PET-CT 候诊室	0.111
16	SPECT-CT 候诊室	0.120
17	留观室	0.122
18	医护走廊	0.108
19	缓冲 2	0.126
20	控制室	0.120
21	PET-CT 机房	0.113
22	SPECT-CT 机房	0.120
23	抢救室	0.106
24	拟建核医学科北侧	0.132
25	拟建核医学科东侧	0.134
26	拟建核医学科南侧	0.106
27	拟建核医学科西侧	0.108
28	拟建核医学科楼下（-2F 室内）	0.125
29	拟建衰变间	0.134
30	拟建核医学科楼上（1F 室内）	0.078
备注：① 以上监测点位均位于室内； ② 监测结果已校准，监测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值 0.029μGy/h		

由表 8-2 监测结果表明，拟建场所室内各监测点位 X、γ辐射剂量率测量值范围为（0.078～0.138）μGy/h，即（78～138）nGy/h，监测结果已扣除仪器对宇宙射线的响应。

对照《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年版）中“安康市室内 γ 辐射剂量率为（62.0～141.0）nGy/h”。经比较，本项目拟建核医学科工作场所辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底波动水平。

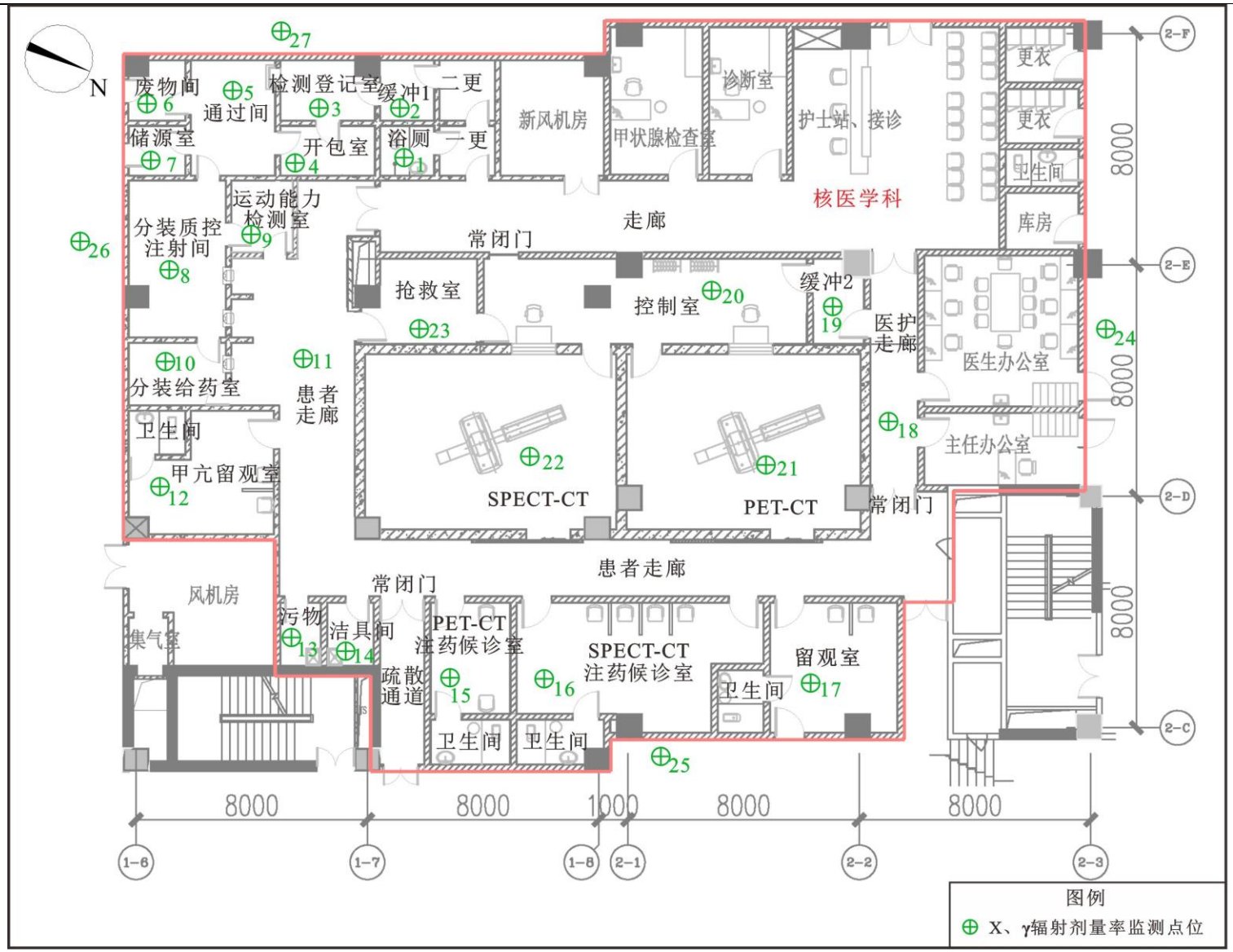

图 8-1　　门诊楼地下一层核医学科区域监测点位示意图

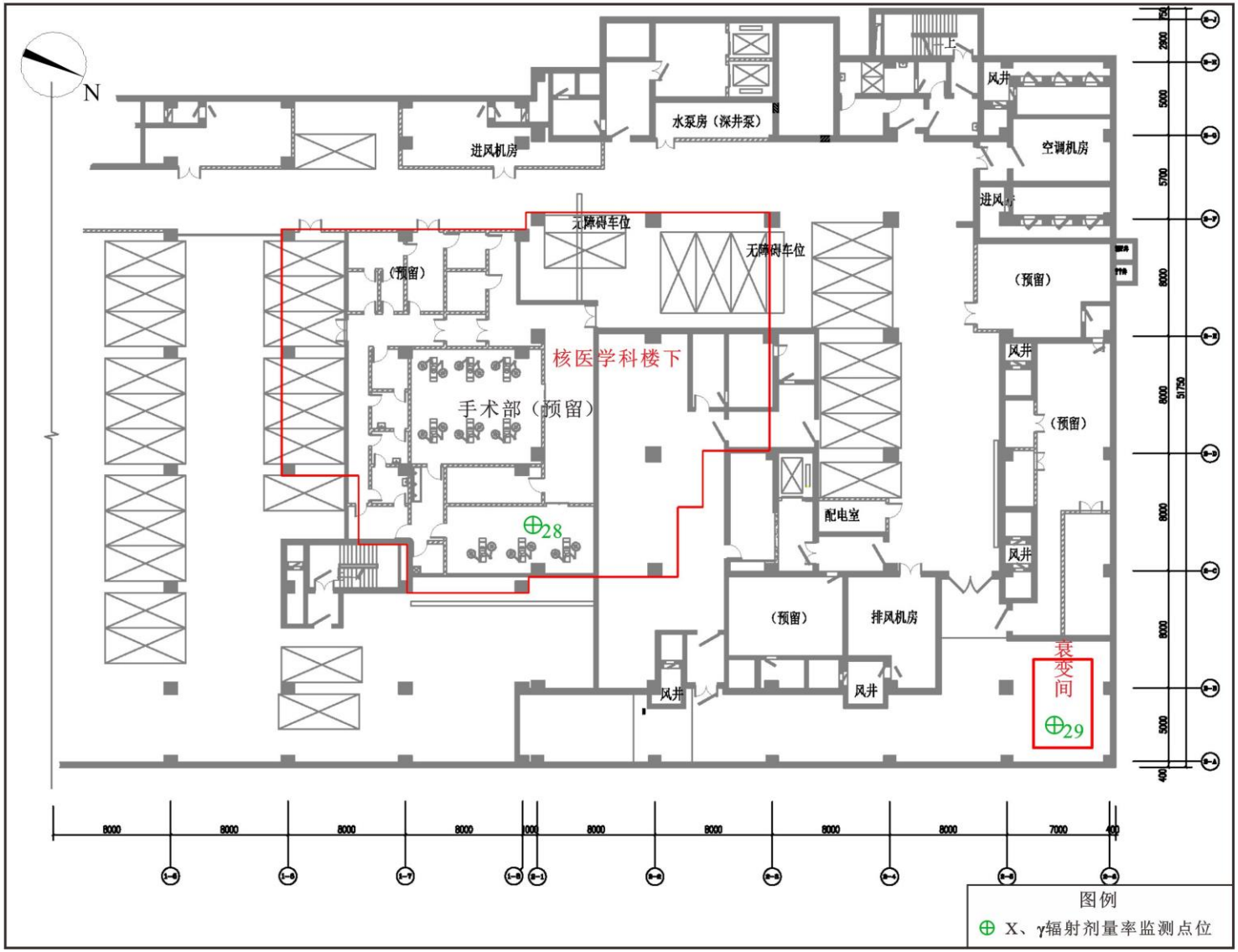

图 8-2　　门诊楼地下二层核医学科楼下区域监测点位示意图

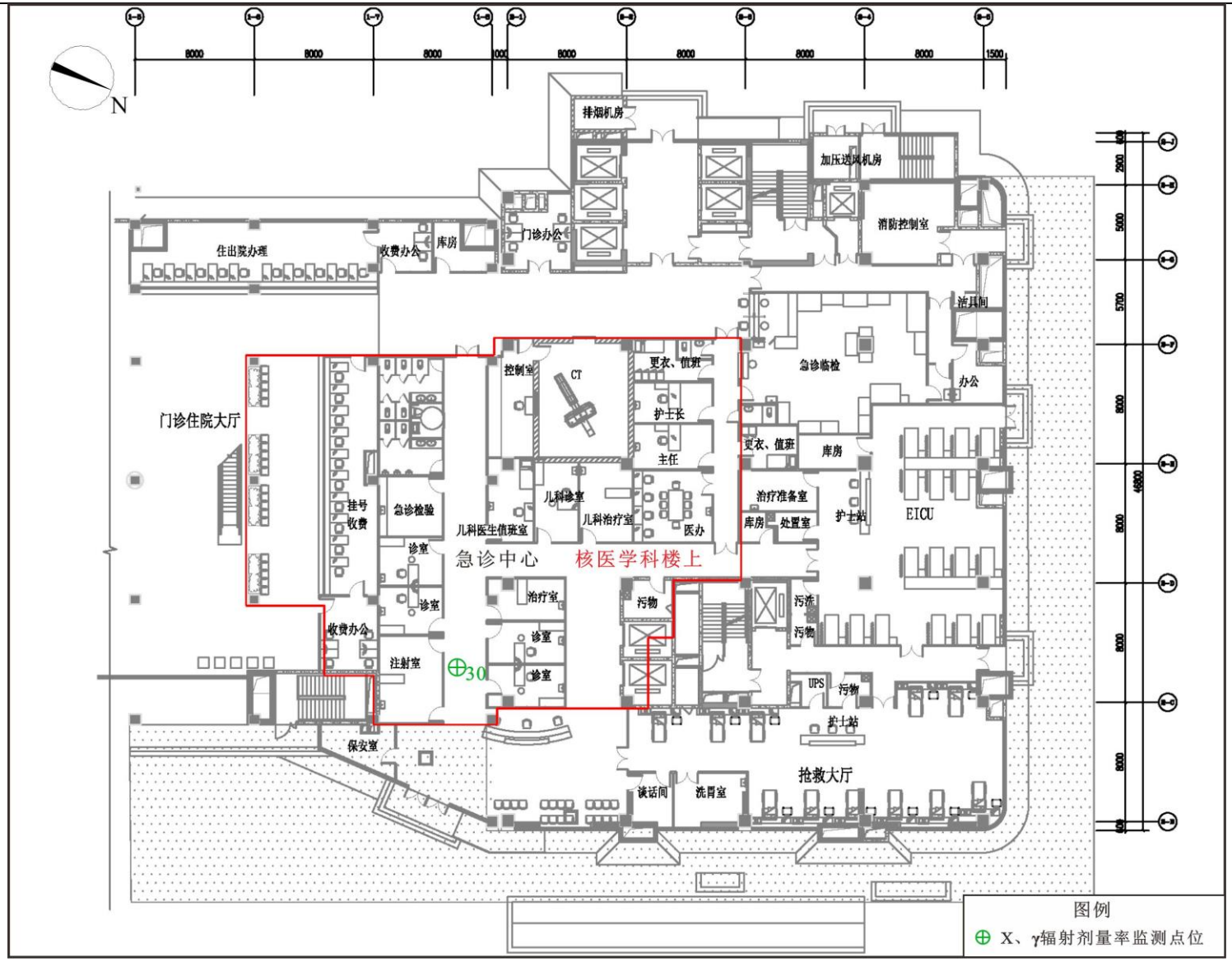

图 8-3　　门诊楼一层核医学科楼上区域监测点位示意图

表 9 项目工程分析及源项

一、工程设备和工艺分析

1、PET-CT

⑴ 设备组成及工作原理

PET-CT 是正电子发射断层与计算机断层诊断技术（Positron Emission Tomography and Computer Tomography）的缩写，是在 PET（Positron Emission Tomography）和 CT(Computer Tomography)的基础上发展起来的新设备，是将 PET 和 CT 设备有机地结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站。PET-CT 同时具有 PET 和 CT 的功能，PET 显示病灶病理生理特征，灵敏度高，更容易发现病灶；CT 可以精确定位病灶，显示病灶结构变化。PET-CT 除了具备 PET 和 CT 各自的功能外，将 PET 图像与 CT 图像融合，可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构，提高诊断的准确性。

PET-CT 主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配 PET、CT 融合对位工作站，一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

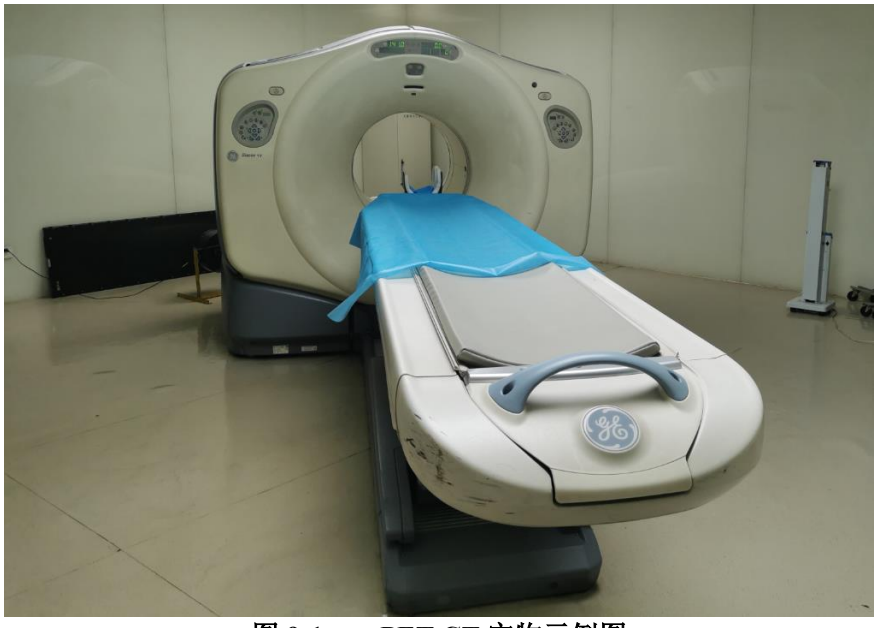

图 9-1　　PET-CT 实物示例图

PET-CT 显像的物理原理是利用正电子放射性核素制备的显像剂（如 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 等），注射人体后定位于靶器官，这些核素在衰变过程中发射正电子，这种正电子在组织中运行很短距离后，即与周围物质中的电子相互作用，发生湮灭反

应，产生出方向相反、能量相等（511keV）的两个光子。PET 显像是采用一系列成对的互成 180°排列并与符合线路相连的探测器测量湮灭反应产生的光子，从而获得机体正电子核素的断层分布图，显示病变的位置、形态、大小和代谢功能，对疾病进行诊断。

PET-CT 显像能够通过一次快速扫描成像，不仅能提供精确的全身解剖图像，而且可依据不同的正电子显像药物勾画出不同组织器官特定的生物代谢分布图。主要用于人体器官的功能代谢显像，对那些有代谢异常的疾病，如：肿瘤、冠心病、神经系统等病种有着独特的优势，能够更早期地发现和诊断疾病，为及早治疗和观察治疗赢得宝贵时间。

正电子发射及其湮灭示意如图 9-2 所示。

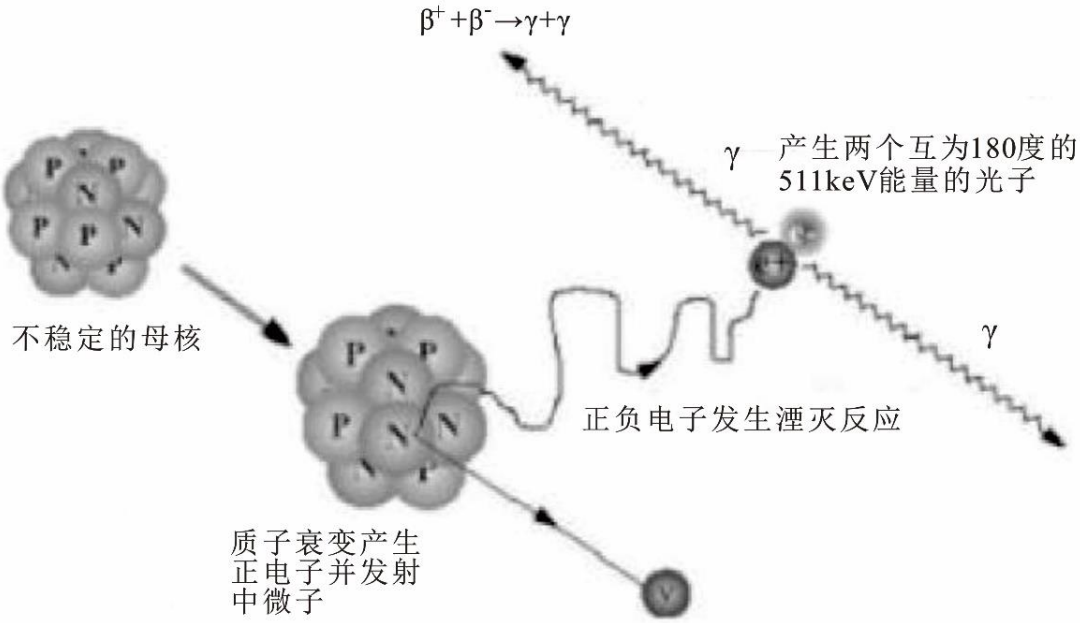

图 9-2　　正电子发射及其湮灭示意图

⑵ 工作流程及产污环节

① 根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物（^{18}F）。

② 供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂存于分装质控注射间的手套箱。

③ 项目外购的放射性药物是事先未分装的，在分装质控注射间内的手套箱进行分装。

④ 护士站的工作人员根据工作安排，呼叫轮到诊断的患者名字。在确认患者身份后，该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

放射工作人员隔着注射窗口对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用放射性废物桶。

⑤ 放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入 PET-CT 注药候诊室候诊。

⑥ 通过语音提示，患者进入 PET-CT 机房接受显像扫描。患者进入机房后，放射工作人员自控制室进入机房对患者辅助摆位，指导患者正确躺在检查床上，随后离开机房进入控制室，隔室操作 PET-CT，对患者实施显像扫描。

⑦ 扫描完成后，患者在留观室留观，无不良反应后，由控制区出口离开。

综上，PET-CT 诊断治疗过程的污染源项主要是：γ 射线、X 射线、β 表面污染、放射性废气、放射性废水及放射性固废。

PET-CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-3。

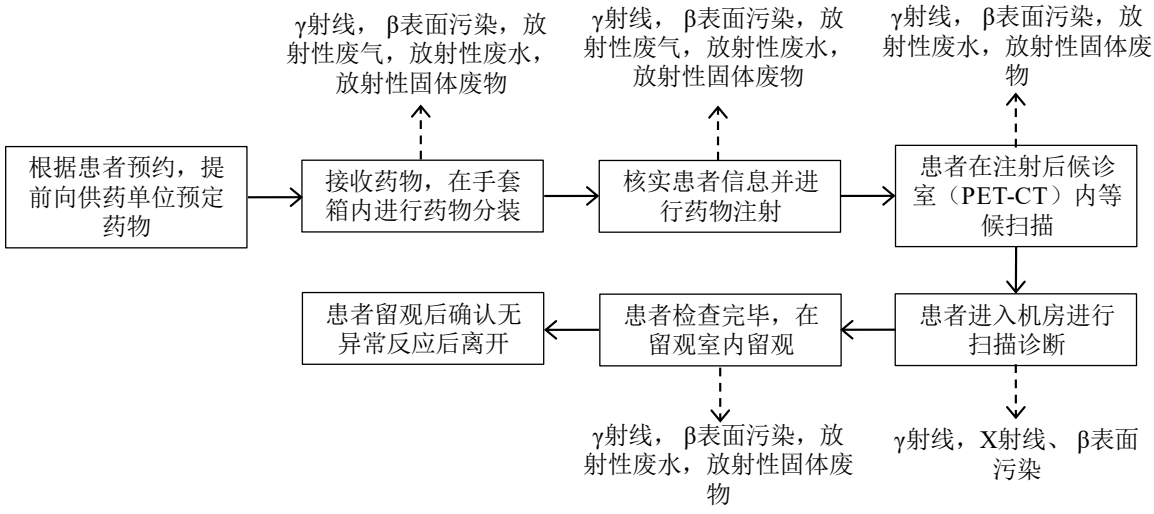

图 9-3　　PET-CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

⑶ ^{18}F 用药情况

项目 PET-CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，放射性核素 ^{18}F 外购。医院根据临床诊断所需药物的使用量，向供药单位订购药物，供药单位在约定时间内，根据提前预定告知的放射性药品种类、活度、剂量和数量生产放射性药物。放射性药物采用 20mmPb 的防护提盒贮存，经 β 表面污染和外表面辐射剂量率检测合格后，将铅罐置于专用运输包装内，由专用运输车辆进行配送。由供药单位将放射性药物

（^{18}F）运送至分装质控注射间的手套箱内。

项目 PET-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 9-1。

表 9-1　　项目 PET-CT 使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	状态	半衰期	衰变方式	患者每人次核素用量（Bq）	日最大操作活度（Bq/d）	周围剂量当量率常数 μSv·m²/(h·MBq)		用途
						裸源	患者或受检者体内	
^{18}F	液体	109.8min	EC、β^+	3.7×10^8（10mCi）	7.62×10^9	0.143	0.092	PET-CT 显像

⑷ 设备参数

项目核医学科 PET-CT 设备参数见表 9-2。

表 9-2　　项目核医学科 PET-CT 主要设备参数一览表

设备名称	型号	数量	类别	具体参数
PET-CT	uMI vista	1 台	III类	CT 部分：最大管电压 150kV、最大管电流 800mA

2、SPECT-CT

⑴ 工作原理

SPECT-CT 在 SPECT 基础上发展起来的双模式显像设备，即单光子发射型计算机断层显像仪和 CT 一体化组合的影像诊断设备，能将功能代谢与解剖结构结合显示成像。SPECT-CT 由 SPECT 部分、CT 部分、后处理部分及检查床四大部分组成。

SPECT 利用注入或吸入人体内的放射性核素发射出的 γ 射线构成图像，检查时，将人体待查部位作为一个横断面，从该切面的侧向用探测器按预定角度增量进行描记，从而收到足够数量的试图，获得大量横断面内放射性核素分布的数据，并将其贮存于寄存器内，利用计算机对信息进行运算处理，最后在显示设备中重建和显现出一幅三维空间的待查部位横断面图。SPECT 是将具有选择性聚集在特定脏器或病变的放射性核素或其标记化合物引入体内，根据在体内器官发射到体表的光子（γ 射线）密度，由计算机处理重建断层影像。因示踪的放射性核素或其标记化合物参与体内的某些代谢过程，所得影像主要反映人体全身及多器官放射性核素的功能、血流、代谢情况。SPECT 的工作原理见图 9-4。

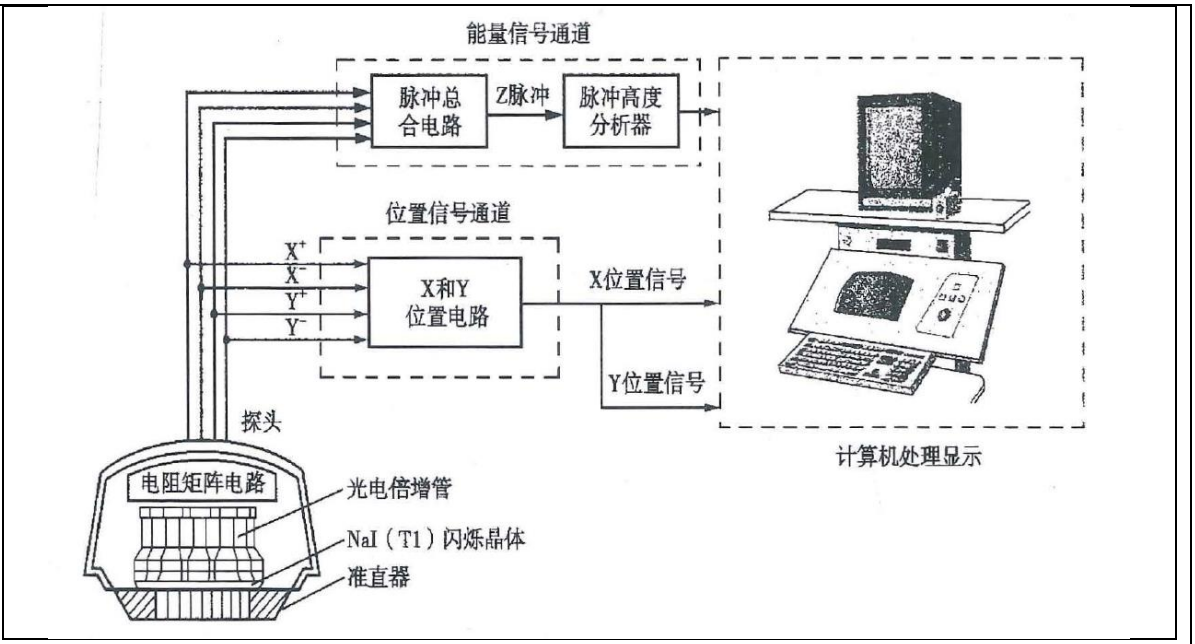

图 9-4　　SPECT 的工作原理示意图

SPECT-CT 在 SPECT 的基础上增配了 CT 部分，能够为 SPECT 图像提供精确的解剖定位以及对 SPECT 图像进行衰减校正，CT 图像与 SPECT 图像有机结合后对脏器进行提取、分离然后帮助进行放射性药物内照射吸收剂量计算作用。CT 图像提供的解剖结构信息对 SPECT 诊断也起着帮助作用，并能进行独立的螺旋 CT 临床诊断。实现一次扫描即可以得到反映功能改变的核医学图像又能同时获得精确定位信息的解剖图像。

⑵ 操作流程及产污环节

① 预约登记：根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记。

② 根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物（^{99m}Tc）。供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂存于储源室。

③ 项目外购的放射性药物（^{99m}Tc）是成品针剂，无需分装质控。

④ 护士站的工作人员根据工作安排，呼叫轮到诊断的患者名字。在确认患者身份后，该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

放射工作人员在分装质控注射间隔着注射窗口对患者进行药物注射（静推给

药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用放射性废物桶。

⑤ 放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入 SPECT-CT 注药候诊室进行候诊。

⑥ SPECT-CT 检查

通过语音提示，患者进入 SPECT-CT 机房接受显像扫描。将病人安置到 SPECT-CT 机上，对准所需检查的病变部位，然后关闭机房防护门，最后启动 SPECT-CT 机进行扫描检查。

⑦ 离开

检查后的患者，无不适或异常再自行离开核医学科。

综上，SPECT-CT 诊断治疗过程的污染源项主要是：γ 射线、X 射线、β 表面污染、放射性废气、放射性废水及放射性固废。

SPECT-CT 诊断治疗流程以及产污环节见图 9-5。

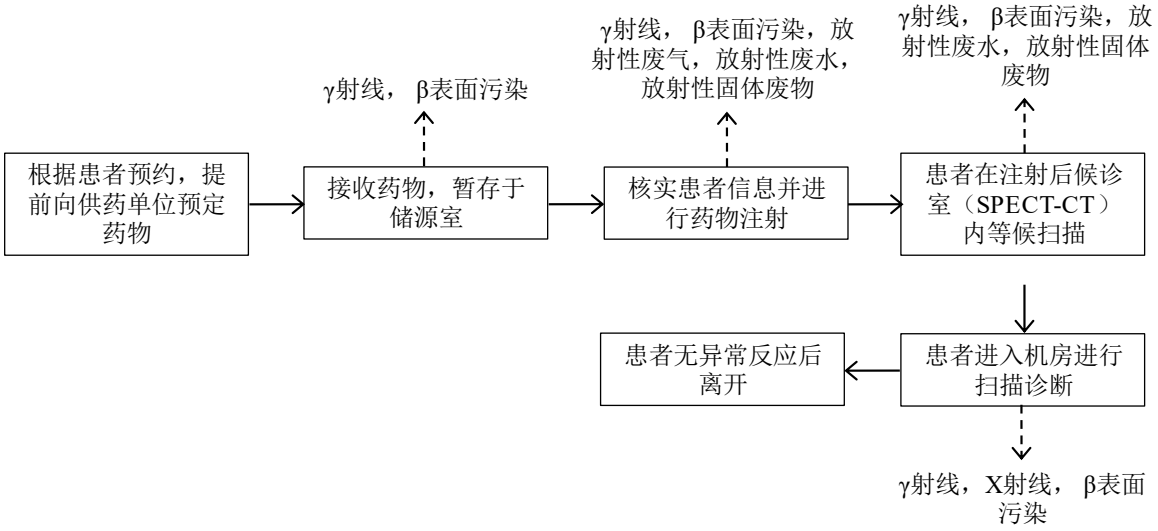

图 9-5　　SPECT-CT 操作流程及产污环节图

⑶ 用药量情况

项目 SPECT/CT 拟使用放射性核素相关情况见表 9-3。

表 9-3　　项目 SPECT/CT 使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	状态	半衰期	衰变方式	患者每人次核素用量/Bq	日最大操作活度/Bq	周围剂量当量率常数 μSv·m²/(h·MBq)		用途
						裸源	患者或受检者体内	
^{99m}Tc	液体	6.02h	同质异能跃迁（IT）	9.25×10^{8}（25mCi）	3.17×10^{10}	0.0303	0.0207	SPECT/CT 显像

⑷ 设备参数

项目核医学科 SPECT/CT 设备参数见表 9-4。

表 9-4　　项目核医学科 SPECT/CT 主要设备参数一览表

设备名称	型号	数量	类别	具体参数
SPECT/CT	NM/CT 860	1 台	III类	CT 部分：最大管电压：140kV 最大管电流：200mA

3、^{131}I 放射性核素诊疗

⑴ 工作原理

① ^{131}I 的特性

碘在元素周期表中属于卤素族元素，化学性质非常活泼。^{131}I 物理半衰期为 8.02 天，衰变时主要发射能量为 0.606MeV 的 β 射线和能量分别为 0.364MeV（82%）、0.627MeV（7.2%）、0.284MeV（5.9%）和 0.731MeV（1.8%）的多条 γ 射线。

碘是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺组织具有高度选择性摄取和浓聚碘的能力，^{131}I 在甲状腺组织细胞内的代谢动力学过程和普通碘一样，能迅速参与甲状腺激素的合成，甲状腺疾病受检者口服的 ^{131}I 药剂大都聚集在甲状腺内，因此 ^{131}I 可用于甲状腺方面疾病的诊治。国内外大量临床应用证明 ^{131}I 治疗甲状腺疾病简便安全、疗效确切、复发率低、并发症少和费用低。

② 甲状腺碘代谢功能测定

在进行吸碘率检查时，一般口服少量 ^{131}I（用量一般不会超过 1.85×10^5Bq（5μCi）），^{131}I 在体内可被甲状腺滤泡上皮细胞摄取，利用甲状腺功能仪可在体外探测到甲状腺组织摄取的 ^{131}I 发射的 γ 射线，在受检者服药后 2 小时、4 小时、24 小时分别测量甲状腺部位、标准源以及本底的计数率，根据甲状腺摄取 ^{131}I 的数量和速度来判定甲状腺的功能状态。

③ 甲亢治疗

甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，服用药物后 ^{131}I 能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢病人的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高；^{131}I 在衰变过程中放射出 β 射线有效射程为 0.5～2mm，能选择性地破坏甲状腺腺泡上皮而不影响邻近组织，通过长时间的集中照射，甲状腺腺体被破坏后逐渐坏死，达到治疗目的。

⑵ 工作流程及产污环节

① 甲状腺碘代谢功能测定

a. 需进行甲状腺碘代谢功能测定的患者提前预约登记，进行治疗前准备。需停用含碘药物两周以上，禁止食用含碘丰富的食物；

b. 门诊接诊后，进行相关体检，医师制定出测定方案；

c. 根据制定方案预定药物，供药单位将 ^{131}I 药物送至甲状腺检查室；

d. 本次医院对于甲状腺功能测定的患者使用成品胶囊，患者至甲状腺检查室进行服药；

e. 患者空腹口服 ^{131}I 药物前，取等量的 ^{131}I 放入颈部模型中作为标准源进行 1 次计数后，即可给患者进行服用，并于服药后 2、4、24 小时分别到至甲状腺检查室进行检测，测定结束后离开。

综上，甲状腺碘代谢功能测定过程的污染因子主要是：γ 射线、β 表面污染。甲状腺碘代谢功能测定过程及产污环节如下：

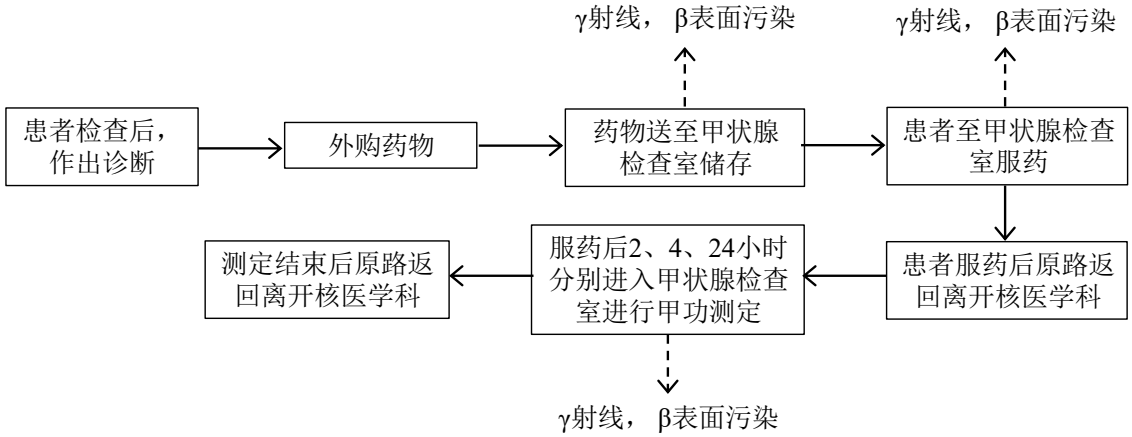

图 9-6　　甲状腺碘代谢功能测定流程及产污环节图

由于医院计划开展的甲状腺功能测定使用的 ^{131}I 为成品胶囊式，患者单次用量为 $1.85\times10^{5}Bq$。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 A，^{131}I 豁免活度为 $1.0\times10^{6}Bq$，满足其豁免管理要求，本次不再对甲状腺功能测定过程产生的辐射影响进行评价。

② 甲亢治疗

a. 需进行甲亢治疗的患者提前预约登记，进行治疗前准备。需停用含碘药物两周以上，禁止食用含碘丰富的食物；

b. 门诊接诊后，进行相关体检，医师制定出测定方案；

c. 根据制定方案预定药物，供药单位将 ^{131}I 药物送至医院核医学科分装给药室的自动分碘仪；

d. 患者通过患者通道至分装给药室的窗口进行服药；

e. 患者空腹口服 ^{131}I 药物，服药后至甲亢留观室留观，留观结束后经患者走廊

离开核医学科。

综上，甲亢治疗过程的污染因子主要是：γ 射线、β 表面污染、放射性废气、放射性废液及放射性固废。甲亢治疗过程及产污环节如下：

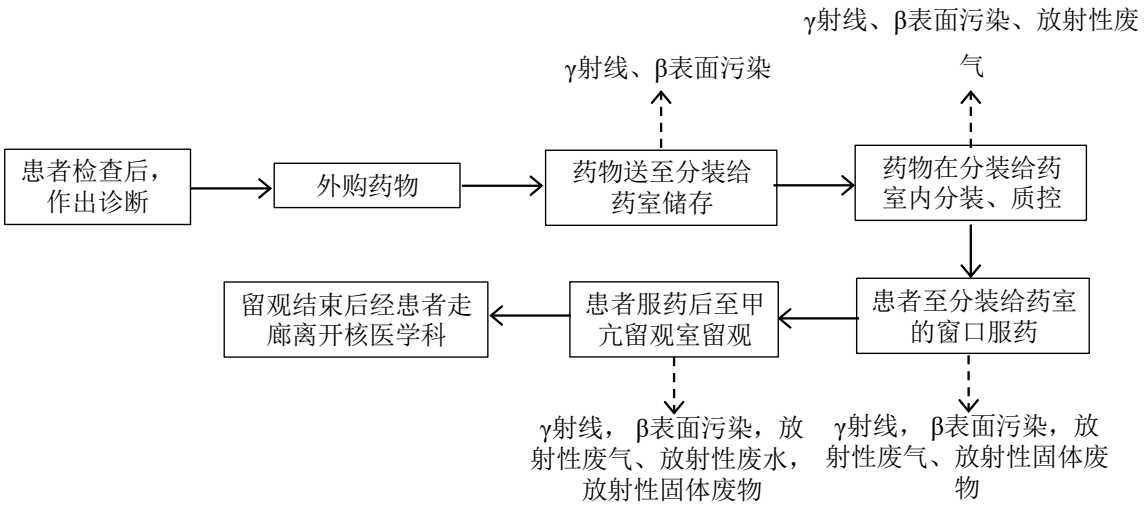

图 9-7　　甲亢治疗流程及产污环节图

⑶ 用药量情况

项目使用 ^{131}I 药物相关情况见表 9-5。

表 9-5　　项目使用 ^{131}I 药物相关情况一览表

核素名称	状态	半衰期	衰变方式	患者每人次核素用量/Bq	日最大操作活度/Bq/d	周围剂量当量率常数 μSv·m²/(h·MBq)		用途
						裸源	患者或受检者体内	
^{131}I	固体	8.02h	β⁻衰变	1.85×10^5（0.005mCi）	2.22×10^6	0.0595	0.0583	甲功测定
	液体			3.7×10^8（10mCi）	1.67×10^9			甲亢治疗

4、^{89}Sr 或 ^{223}Ra 放射性核素治疗

⑴ 工作原理

转移性骨肿瘤治疗是通过静脉注射入趋骨性放射性药物，在骨转移部位出现较高的浓集。

本项目使用的放射性核素 ^{89}Sr 发射纯 β 射线，是一种亲骨性核素。静脉注射后定向聚集于骨转移病灶，借助其发射 β 射线产生的电离辐射效应，抑制和杀灭肿瘤细胞，达到治疗目的。

^{223}Ra 是一种发射纯 α 粒子的放射性元素，能量强大但是组织穿透力弱，射程仅不到 100μm，其在靶向杀伤肿瘤细胞的同时对周围健康组织的损伤很小。α 核素 ^{223}Ra 在体内的摄取机制类似于钙的吸收，可以在骨骼中形成高浓度的聚集，骨转移

病灶由于骨代谢活跃会聚集更多的 ^{223}Ra，同时释放 α 射线的 ^{223}Ra 具有很强的杀伤力，高浓度聚集于骨转移病灶，从而有效地抑制肿瘤生长。

⑵ 工作流程及产污环节

① 工作流程

a 转移性骨肿瘤治疗使用 ^{89}Sr 或 ^{223}Ra，^{89}Sr 或 ^{223}Ra 每次使用剂量分别为 $1.48\times10^{8}Bq$/人（4mCi）、$1.11\times10^{7}Bq$/人（0.3mCi），根据需求量提前一天向供药单位订购所需放射性药物，订购的 ^{89}Sr 或 ^{223}Ra 均为针剂。

b 供药单位按照订购要求在约定时间内将 ^{89}Sr 或 ^{223}Ra 运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将 ^{89}Sr 或 ^{223}Ra 暂存于储源室。

c 护士站的工作人员根据工作安排，呼叫轮到诊断的患者名字。在确认患者身份后，该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所活性区，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前进行注射，注射完成后直接离开。本次使用注射 ^{99m}Tc 的窗口，注射时间为每周五早上 8:00～9:00。

放射工作人员隔着注射窗口（^{99m}Tc 注射窗口）对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用放射性废物桶。

d 放射工作人员根据视频监控图像，观察无不良反应后，通过语音提示，指导药物注射后的患者离开核医学科。

项目转移性骨肿瘤治疗工作流程如图 9-8。

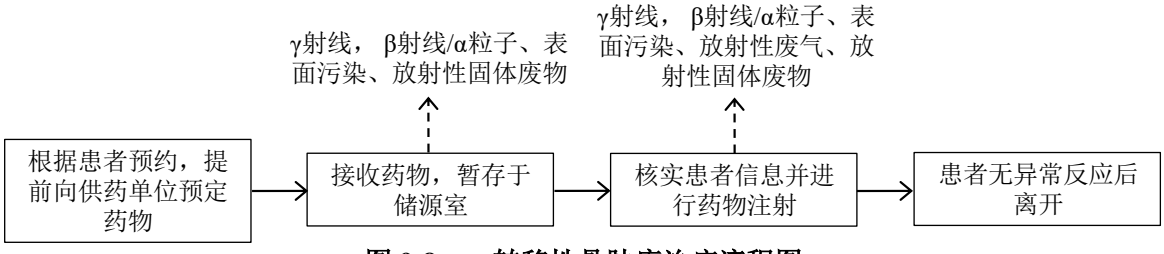

图 9-8　　转移性骨肿瘤治疗流程图

综上，^{89}Sr 核素治疗过程会产生 β 射线、γ 射线、放射性废气、放射性固体废物和表面污染；^{223}Ra 核素治疗过程会产生 α 粒子、γ 射线、放射性固体废物和表面污染。固体废物主要为注射过程中使用的注射器、消毒用棉签和工作人员进行操作过程中使用的一次性手套等固体放射性废物。

二、污染源项描述

1、正常工况

⑴γ射线：^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr在衰变过程中释放γ射线，^{223}Ra核素在体内释出α粒子，α粒子会对射程范围内的核素产生电离，放出γ射线，γ射线穿透能力很强。放射性药物 ^{18}F 在分装质控注射间的手套箱内储存、分装及质控，放射性药物 ^{99m}Tc、、^{89}Sr 在储源室内储存，^{131}I（甲功测定）在甲状腺检查室内储存，^{131}I（甲亢）分装给药室的自动分碘仪内储存、分装及质控；在分装质控注射间的注射窗口注射 ^{18}F、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra，以及甲功测定和甲亢治疗给药过程中，对其周围环境和工作人员会产生一定辐射影响。经注射或口服进入患者体内后，患者本身短时间内成为“辐射体”，在衰变过程产生的 γ 射线造成患者周围辐射水平升高；患者在候诊、显像诊断、留观过程中，短期内对近距离接触的人员造成影响，部分 γ 射线穿透候诊室等实体屏蔽对屏蔽体外活动人员产生一定辐射影响，污染途径为 γ 射线外照射。

⑵X射线：PET-CT和SPECT-CT在开机CT扫描过程中会产生X射线，该X射线随着CT设备的开关而产生和消失。

⑶ α、β表面污染：由于放射性药物 ^{18}F、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra、^{131}I（甲亢）为液体药物，在转移、存放或注射过程中撒漏，造成工作场所的α、β表面污染；患者注射放射性药物 ^{18}F、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra 或口服 ^{131}I 药物后，其分泌汗液、排泄物等可能造成候诊、诊断工作场所的β表面污染。

⑷ β射线和韧致辐射

项目 ^{18}F、^{89}Sr、^{99m}Tc、^{131}I 核素在衰变过程中释放出β射线，β射线在空气及人体组织中射程均较短，较容易防护，基本不会对环境产生辐射污染。

虽然β射线穿透能力弱，在空气及人体组织中射程较短，但核素盛放容器受到β射线照射时会产生韧致辐射，韧致辐射对周围环境产生辐射污染。

⑸ α粒子辐射

项目 ^{223}Ra 核素在体内释出α粒子对周围组织或器官造成照射，而其短射程对正常组织影响较小（α 粒子的射程仅 43μm），穿透距离短，不会伤害附近的健康组织和关键的骨髓。但是α粒子会对射程范围内的核素产生电离，放出γ射线，对工作人员和周围公众造成轻微的外照射影响。

⑹ 放射性废气：

为患者进行注射或服药前，放射性药物 ^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra 进行注射，^{18}F、^{131}I 进行分装、注射或给药过程中，可能会产生微量的放射性废气；药物在针筒内且直接注射至患者体内，正常情况下不产生放射性废气。

⑺ 非放射性废气：PET-CT、SPECT-CT 在使用过程中，机房内射线的电离空气产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

⑻ 放射性废水：主要来源是诊断过程中患者注射 ^{18}F、注射 ^{99m}Tc 后、甲亢患者服药后所产生的排泄物冲洗废水及废水，工作人员操作 ^{18}F、^{99m}Tc 药物过程中产生的洗手、清洗工作台面及地面清洁废水等。另外，项目进行甲功测定（^{131}I）及转移性骨肿瘤诊疗（^{89}Sr、^{223}Ra）的患者在服药后可直接离开核医学科；^{131}I（甲亢）药物分装采用自动分碘仪，无需工作人员的参与，故上述过程均无放射性废水产生。

① 项目 PET-CT 显像诊断每天接诊患者约 6 人（注射 ^{18}F），根据核医学科平面布局，患者仅可使用 PET-CT 注药候诊室或留观室内的卫生间。根据陕西省地方标准《行业用水定额》（DB61/T 943-2020）中的表 B.12，门诊部患者平均用水量为 11L/人·次，则患者用水量为 0.066m^3/d。另外，开展时间为每周一至周五。

② 项目 SPECT-CT 显像诊断每天接诊患者约 20 人（注射 ^{99m}Tc），根据核医学科平面布局，患者仅可使用 SPECT-CT 注药候诊室内的卫生间。根据陕西省地方标准《行业用水定额》（DB61/T 943-2020）中的表 B.12，门诊部患者平均用水量为 11L/人·次，则患者用水量为 0.22m^3/d。另外，开展时间为每周一至周五。

③ 项目甲亢治疗每天接诊患者约 3 人（口服 ^{131}I），根据核医学科平面布局，患者仅可使用甲亢留观室内的卫生间。根据陕西省地方标准《行业用水定额》（DB61/T 943-2020）中的表 B.12，门诊部患者平均用水量为 11L/人·次，则患者用水量为 0.033m^3/d。另外，开展时间为每周一至周五。

④ 分装、注射工作人员（共计 2 名）工作结束后洗手，核医学科每天预计接待需进行药物注射的患者 26 人，每天按洗手 13 次计算，洗手用水按每次约 1L 计，项目平均每天注射工作人员洗手用水量约为 0.013m^3。

⑤ 核医学科场所清洁也会产生一定量的放射性废水，其中含长半衰期核素（^{131}I）的工作场所（甲亢留观室和分装给药室）每天预计清洁用水量为 0.02m^3/d；其余含短半衰期（^{18}F 或 ^{99m}Tc）的工作场所每天预计清洁用水量为 0.1m^3/d

综上，结合各核素使用的时间，项目长半衰期（^{131}I）每天用水量约为0.053m^3/d，则产生含放射性废水量（^{131}I）约为0.053m^3/d；短半衰期（^{18}F或^{99m}Tc）每天用水量约为0.399m^3/d，则产生含放射性废水量（^{18}F或^{99m}Tc）约为0.399m^3/d。

⑼ 放射性固体废物：

医疗废物主要为剩余放射性药物、注射器、针头、手套、药棉、纱布、擦拭污染地面的物品、患者呕吐物、废活性炭等，以及废气处理产生的废活性炭。另外，本次开展的甲状腺功能测定使用的^{131}I为成品胶囊式，不产生放射性固体废物。

根据医院提供的资料，本次变更部分的具体废物产生情况见表9-5。

表9-5　　项目核医学科放射性固体废物产生情况统计表

类别	变更后每天预计接待患者人数/人	变更后接诊天数/天	变更后日产生量/kg	变更后年产生量/kg
PET-CT（^{18}F）	6	250	0.3	75
SPECT-CT（^{99m}Tc）	20	250	1.0	250
^{131}I甲亢治疗	3	250	0.15	37.5
^{89}Sr或^{223}Ra	13	48	0.65	162.5
合计			2.1	525

由上表可知，本次核医学科放射性固体废物的产生量约为2.1kg/d。

2、非正常工况

⑴ 给患者注射时操作不当，将药物滴洒在台面、地面或其他地方，将造成β表面污染；

⑵ 对放射性药物管理不善，造成放射性药物丢失或被盗；

⑶ 对注射放射性药物的患者管理不善，患者体内放射性药物或排泄物、呕吐物等发出射线产生外照射对周围人员会产生一定的辐射影响；

⑷ 对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；

⑸ 核医学科PET-CT或SPECT-CT机房防护门控制失灵或安全联锁装置故障，人员误入核医学科辐射工作场所或正在运行的机房内而造成超剂量照射；

⑹ 管理不善，无关人员在射线装置开机时进入机房或开机时未离开机房，从而受到不必要的较大剂量辐射照射。

表 10 辐射安全与防护

一、项目安全设施

1、场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的分区原则：“4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域”。

本项目对门诊楼核医学科工作场所进行分区管理，划分为控制区、监督区，详见表 10-1。本项目核医学科工作场所分区图见图 10-1～图 10-2。

表 10-1　　工作场所分区表

控制区	监督区
地下一层：检测登记室、开包室、通过间、废物间、储源室、分装质控注射间、分装给药室、甲亢留观室、患者走廊、污物间、洁具间、SPECT-CT 注药候诊室、PET-CT 注药候诊室、留观室、运动负荷检测室、抢救室 地下二层：衰变池（短半衰期、长半衰期）、沉淀池	地下一层：缓冲 1、一更、二更、浴厕、医护走廊、控制室、缓冲 2 等 地下二层：衰变间内除衰变池及沉淀池的其他区域

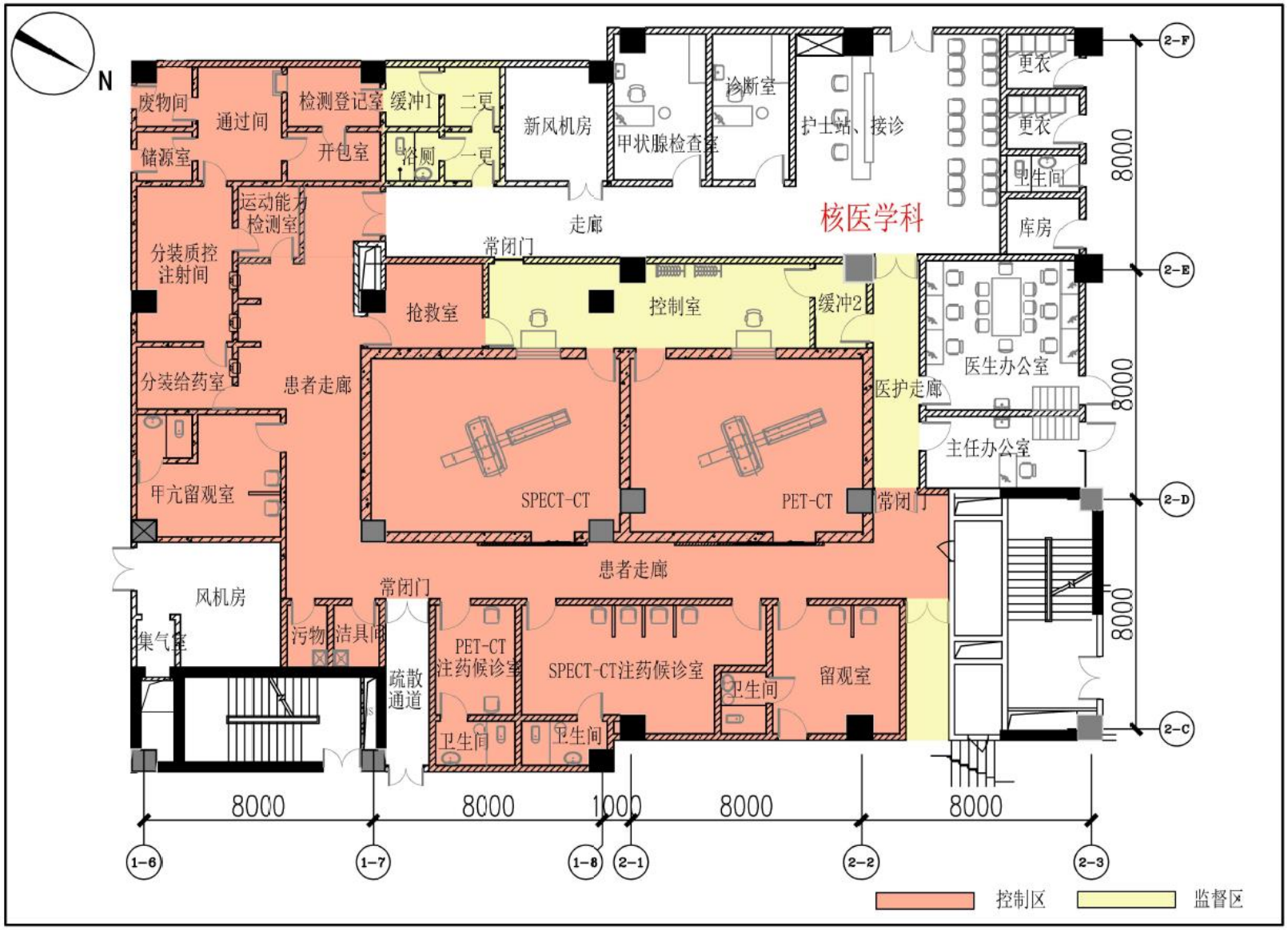

图 10-1　　门诊楼地下一层核医学科工作场所分区图

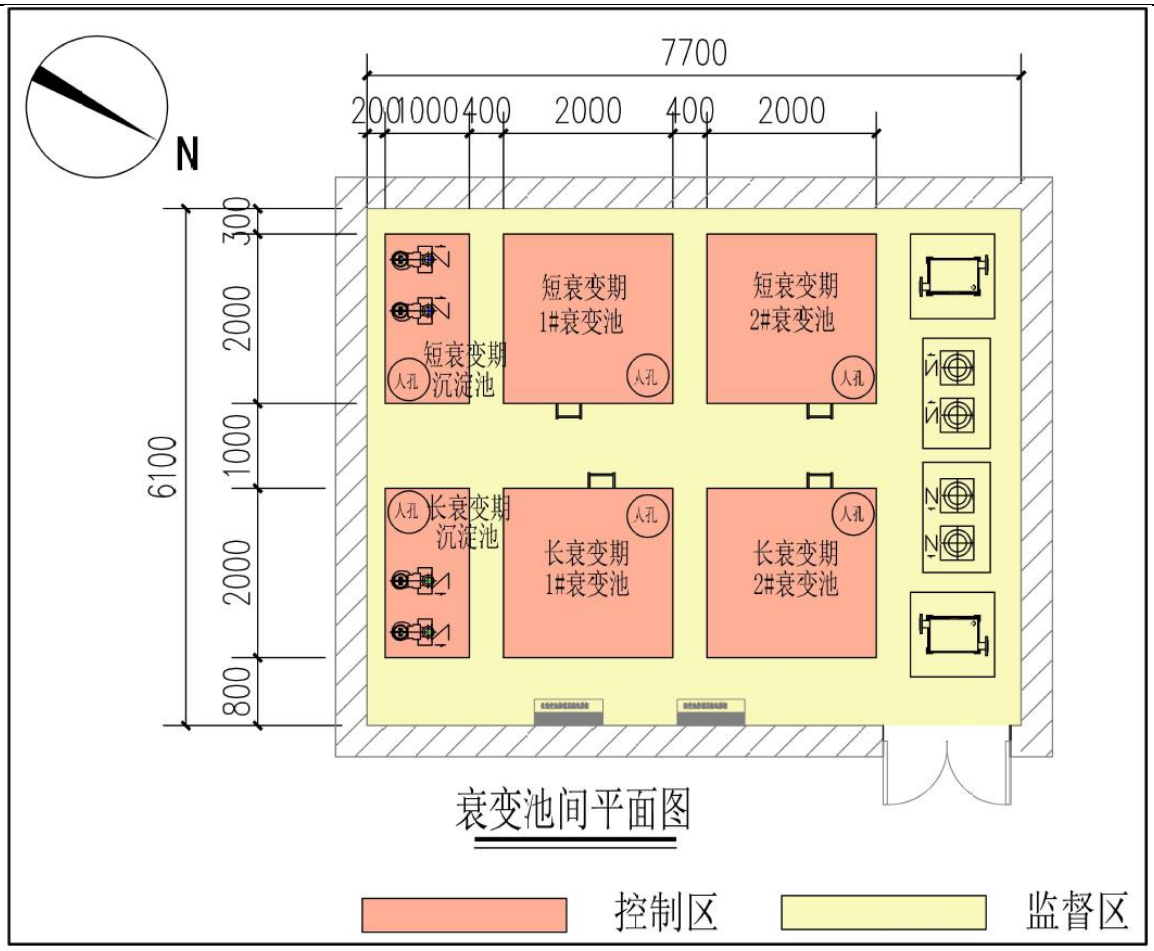

图 10-2　　衰变间工作场所分区图

2、辐射屏蔽及防护措施

根据现场调查，目前核医学科主体工程已随门诊大楼建成，并完成了各场所的屏蔽防护施工。工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-2。

表 10-2　　核医学科工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所	位置	具体设计参数
SPECT-CT 机房	检查室内部尺寸参数	长 8.68m×宽 6.03m，面积 52.34m^2
	四侧墙体	370mm 实心砖+32mm$BaSO_4$防护砂浆
	机房电动推拉门	4.0mmPb
	操作室手动单开防护门	4.0mmPb
	观察窗	4.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mm$BaSO_4$防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mm$BaSO_4$防护砂浆
SPECT-CT 注药候诊室	SPECT-CT 注药候诊室内部尺寸参数	不规则图形，面积 36.67m^2（含卫生间）
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mm$BaSO_4$防护砂浆
	手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mm$BaSO_4$防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mm$BaSO_4$防护砂浆

留观室	留观室内部尺寸参数	不规则图形，面积 23.48m²（含卫生间）
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
抢救室	抢救室内部尺寸参数	长 4.05m×宽 2.98m，面积 12.07m²
	西、北、南墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	东墙体	370mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	手动单开防护门	6.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
PET-CT 机房	PET-CT 机房内部尺寸参数	长 8.06m×宽 6.03m，面积 48.61m²
	四侧墙体	370mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	机房电动推拉门	7.0mmPb
	操作室手动单开防护门	10.0mmPb
	观察窗	10.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
甲亢留观室	甲亢留观室内部尺寸参数	长 5.05m×宽 4.25m，面积 21.5m²（含卫生间）
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
PET-CT 注药候诊室	PET-CT 注药候诊室内部尺寸参数	长 2.80m×宽 5.65m，面积 15.82m²（含卫生间）
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
检测登记室	检测登记室内部尺寸参数	长 3.25m×宽 2.1m，面积 6.8m²
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	人员进出门	12.0mmPb
	传药窗口	3.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
开包室	开包室内部尺寸参数	长 3.25m×宽 1.7m，面积 5.5m²
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO₄防护砂浆
	人员进出门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO₄防护砂浆

分装给药室	分装给药室内部尺寸参数	长 3.35m×宽 2.15m，面积 7.20m^2
	四侧墙体	240mm 实心砖+46mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	西侧手动单开防护门	12.0mmPb
	北侧手动单开防护门	6mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+46mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+46mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	自动分碘仪（^{131}I）	30.0mmPb
分装质控注射间	分装质控注射间内部尺寸参数	长 3.35m×宽 5.4m，面积 18.09m^2
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	手套箱（^{18}F）	正面：50mmPb，顶和侧面：40mmPb
	一体化注射防护台（^{18}F）	正面观察窗 10.0mmPb
	一体化注射防护台（^{99m}Tc）	正面观察窗 7.0mmPb
	东侧手动单开防护门	12.0mmPb
	西侧手动单开防护门	12.0mmPb
	北侧手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
运动能力检测室	运动能力检测室内部尺寸参数	长 2.45m×宽 2.1m，面积 5.15m^2
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	东侧手动单开防护门	6.0mmPb
	南侧手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
储源室	储源室内部尺寸参数	长 3.31m×宽 1.7m，面积 5.63m^2
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
废物间	废物间内部尺寸参数	长 1.95m×宽 2.1m，面积 4.10m^2
	四侧墙体	240mm 实心砖+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	250mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	地面	800mm 混凝土+32mmBaSO$_4$ 防护砂浆
衰变间	衰变间内部尺寸参数	长 7.70m×宽 6.10m，面积 46.97m^2
	四侧墙体	370mm 实心砖+100mmBaSO$_4$ 防护砂浆
	手动单开防护门	12.0mmPb
	顶棚	370mm 实心砖+120mmBaSO$_4$ 防护砂浆
患者入口门	带门禁防护门	6.0mmPb

患者出口门	带门禁防护门	6.0mmPb

3、核医学科人流、物流设计合理性分析

⑴ PET-CT 显像检查医护人员及患者流向

① 医护人员流向

工作人员沿走廊至一更、二更、缓冲 1 更换衣服，经检测登记室（药物登记）、开包室（药物开包）至分装质控注射间进行药物分装，分装好的药物运送至北侧注射窗口为患者进行注射，完成药物运送或注射等操作后原路返回至缓冲 1 进行表面污染检测，若有沾污，及时进行清洁去污。

操作 PET-CT 的医护人员从医生走廊经缓冲 2 至控制室，待患者进入 PET-CT 机房后，由 PET-CT 机房西侧防护门进入到机房内为患者进行摆位，摆位完成后，原路返回至控制室，进行显像扫描操作。

② 患者流向

预约检查的患者在西侧的护士站进行办理相关手续后，等待叫号，被叫号后的患者经走廊向南，从北侧患者通道入口（拟设置单向限行门禁）进入核医学科，行至注射区进行放射性药物的注射，注射后根据检查需要进入到 PET-CT 注药候诊室进行候诊，候诊一定时间后，在医护指导下进入到 PET-CT 机房进行扫描，扫描结束后，患者进入到留观室留观片刻后，根据相关标识由患者走廊至核医学科患者电梯离开核医学科。

⑵ SPECT-CT 显像检查医护人员及患者流向

① 医护人员流向

工作人员沿走廊至一更、二更、缓冲 1 更换衣服，经检测登记室（药物登记）、开包室（药物开包）至储源室，将药物转移至分装质控注射间北侧的注射窗口为患者进行注射，完成药物运送或注射等操作后原路返回至缓冲 1 进行表面污染检测，若有沾污，及时进行清洁去污。

操作 SPECT-CT 的医护人员从医生走廊经缓冲 2 至控制室，待患者进入 SPECT-CT 机房后，由 SPECT-CT 机房西侧防护门进入到机房内为患者进行摆位，摆位完成后，原路返回至控制室，进行显像扫描操作。

② 患者流向

预约检查的患者在西侧的护士站进行办理相关手续后，等待叫号，被叫号后的患者经走廊向南，从北侧患者通道入口（拟设置单向限行门禁）进入核医学科，行

至注射区进行放射性药物的注射（若为心脏治疗的患者，需进入运动能力检测进行运动，运动完成后至注射窗口进行放射性药物的注射），注射后根据检查需要进入到SPECT-CT 注药候诊室进行候诊，候诊一定时间后，在医护指导下进入到 SPECT-CT 机房进行扫描，扫描结束后，根据相关标识沿患者走廊离开核医学科。

⑶ 甲亢治疗医护人员及患者流向

① 医护人员流向

对于甲亢治疗的患者，医护人员将药物运送至分装给药室的自动分碘仪内，患者至分装给药室自行服药，无需医护人员给药。

② 患者流向

预约进行甲亢治疗的患者，在护士站办理相关手续后，等待叫号，被叫号后的患者经走廊向南，从北侧患者通道入口（拟设置单向限行门禁）进入核医学科，行至分装给药室，患者使用一次性纸杯自助服用 ^{131}I放射性药物，服药后至甲亢留观室进行留观，留观一定时间后根据相关标识沿患者走廊离开核医学科。

⑷ ^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗

① 医护人员流向

工作人员沿走廊至一更、二更、缓冲 1 更换衣服，经检测登记室（药物登记）、开包室（药物开包）至储源室，将药物转移至分装质控注射间北侧的注射窗口（^{99m}Tc 注射窗口）为患者进行注射，完成药物运送或注射等操作后原路返回至缓冲 1 进行表面污染检测，若有沾污，及时进行清洁去污。

② 患者流向

预约检查的患者在西侧的护士站进行办理相关手续后，等待叫号，被叫号后的患者经走廊向南，从北侧患者通道入口（拟设置单向限行门禁）进入核医学科，行至注射区（^{99m}Tc 注射窗口）进行放射性药物的注射，注射后根据相关标识沿患者走廊离开核医学科。

⑸ 药物流向

本项目核医学科使用的放射性药物拟向专业制药厂商采购，制药厂商采用专用运输铅罐配送放射性药物。拟在一天工作开始之前，在医护人员带领下，从储源室的南侧防护门进入，将放射性药物转存至储源室（^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra）、分装质控注射间的手套箱（^{18}F）和分装给药室的自动分碘仪（^{131}I，甲亢）中。

⑹ 放射性固体废物流向

针对核医学科各场所的放射性固体废物，先放置至各相关工作场所的铅防护废物桶内，一天工作结束后，将铅防护废物桶内的固体废弃物转送到废物间的铅防护废物桶内，对注射器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。所有放射性固体废物均经检测合格后，将废物间的固体废物作为医疗废物进行处置。

综合分析认为，核医学科工作人员、患者、放射性药物和放射性废物均设有相对独立的路径，医院通过错时安排及加强管理，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“5.2 布局”的相应要求。核医学科工作场所医护人员、患者、药物及放射性废物路径见图 10-3。

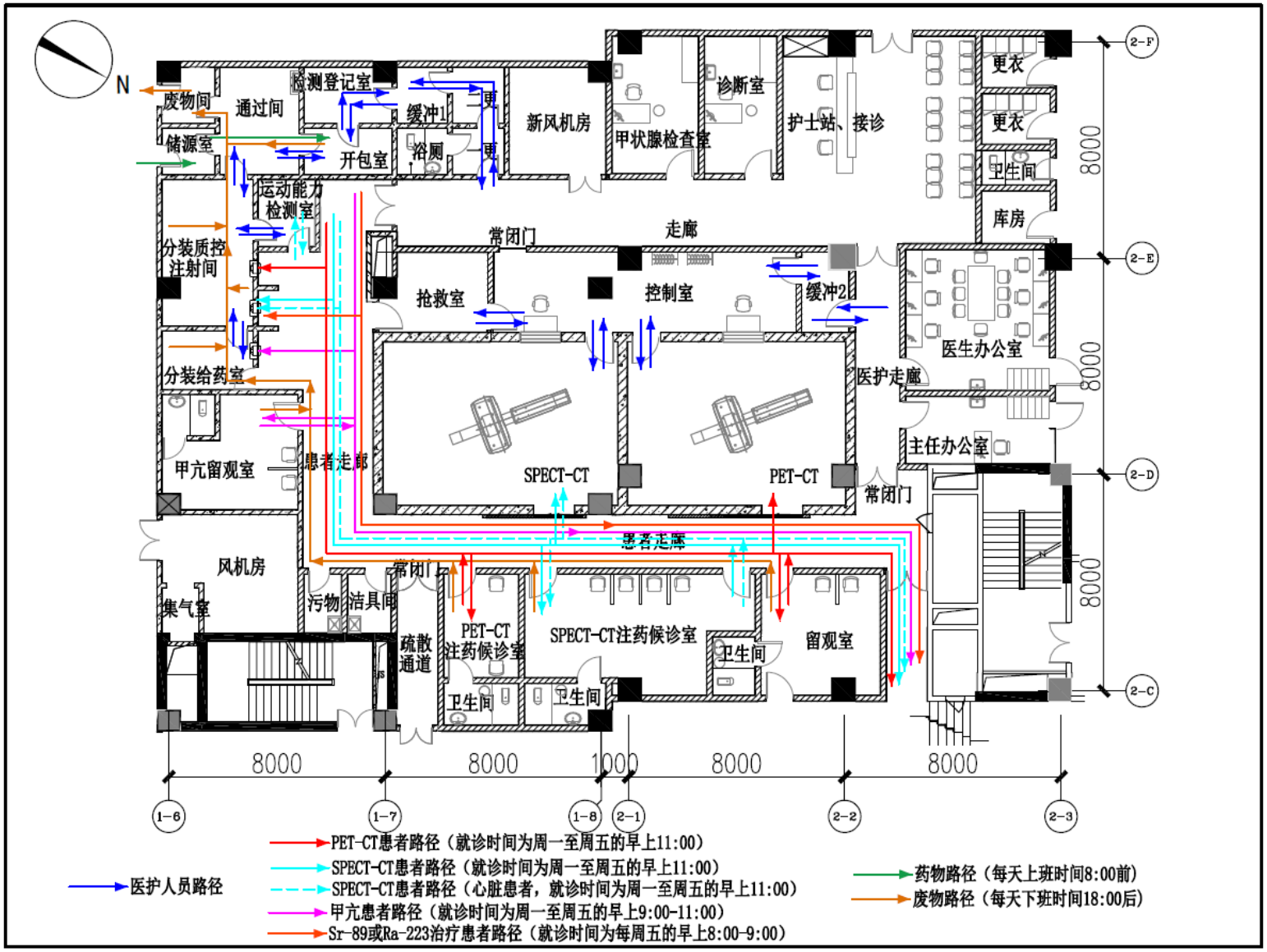

图 10-3　　核医学科工作场所医护人员、患者、药物及废物路径示意图

4、辐射安全与防护措施

⑴ 辐射安全措施

本项目核医学科辐射安全措施如下表。

表10-3　　核医学科拟采取的防护安全设施情况

拟采取的安全措施	拟设置情况	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）	是否满足要求
场所布局	本次核医学科仅进行门诊诊断，未设置住院治疗场所。控制区相对集中，分装质控注射间集中在核医学科的南侧，防止交叉污染；放射性药物存放在储源室（^{99m}Tc）、分装质控注射间的手套箱（^{18}F）和分装给药室的自动分碘仪（^{131}I）内，范围较小；放射性废物存放至废物间内；给药后患者经患者走廊至注射窗口、甲亢留观室、PET-CT注药候诊室、SPECT-CT注药候诊室、SPECT-CT机房、PET-CT机房、留观室等，行动路线较短，活动空间较小	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置：同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	满足
专门操作放射性药物的场所	设置有分装质控注射间及分装给药室对放射性药物进行贮存、分装和给药		满足
路径独立	核医学科设立有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，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相对短捷。详见图10-3	5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。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应尽可能短捷。	满足
门禁系统	核医学科在患者进出口门防护门设计单向门禁系统；储源室门、废物间门、医护通道出入口门等设门禁，授权工作人员才可进出；各个场所及地面均设置有相应标识等。采取以上措施后，控制了无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免了工作人员和公众受到不必要的照射	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入目应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	满足
缓冲区	在进出检测登记室、SPECT-CT机房、PET-CT机房均设		满足

	置有缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备		
专用卫生间	给药后患者使用的甲亢留观室、PET-CT注药候诊室、SPECT-CT注药候诊室、留观室均设置有患者专用卫生间		满足
配备必要的防护设施	本项目核医学科工作场所为乙级，拟配备手套箱及自动分碘仪；为从事放射性药物操作的工作人员拟配备必要的防护用品；放射性药物拟配备药物转运防护罐及转运防护盒进行屏蔽；注射器配备有注射器屏蔽套；甲亢留观室、PET-CT注药候诊室、SPECT-CT注药候诊室及留观室内拟设置铅屏风等屏蔽体	6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	满足
	配备有便携式表面污染监测设备，用于工作人员在离开辐射工作场所前，进行皮肤、手部等体表部位污染测定	6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	满足
	^{99m}Tc暂存于储源室的防护提盒中、^{18}F暂存于分装质控注射间的手套箱内相应的防护提盒中，^{131}I（甲亢）暂存于分装给药室的自动分碘仪内，定期进行辐射水平监测，建立台账	6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立合账，及时登记，确保账物相符	满足
警告标志	核医学科控制区出入口、放射性药物和放射性废物储存容器外，均拟张贴电离辐射警告标志，并张贴相关文字说明	6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	满足
对放射性药物进行恰当屏蔽	使用专门的放射性药物的贮存容器，对装有放射性药物的注射器采取屏蔽措施		满足
工作指示灯	SPECT-CT机房及PET-CT机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱设“射线有害、灯亮误入”警示语句	6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	满足
监控装置和语音对讲系统	甲亢留观室、PET-CT注药候诊室、SPECT-CT注药候诊室、留观室、SPECT-CT机房、PET-CT机房、控制室拟设置语音对讲装置。在储源室、检测登记室、通过间、分装质控注射间、分装给药室、甲亢留观室、PET-CT注药候诊室、SPECT-CT注药候诊室、运动能力检测室、抢救室、患者走廊拟安装监控装置	/	/

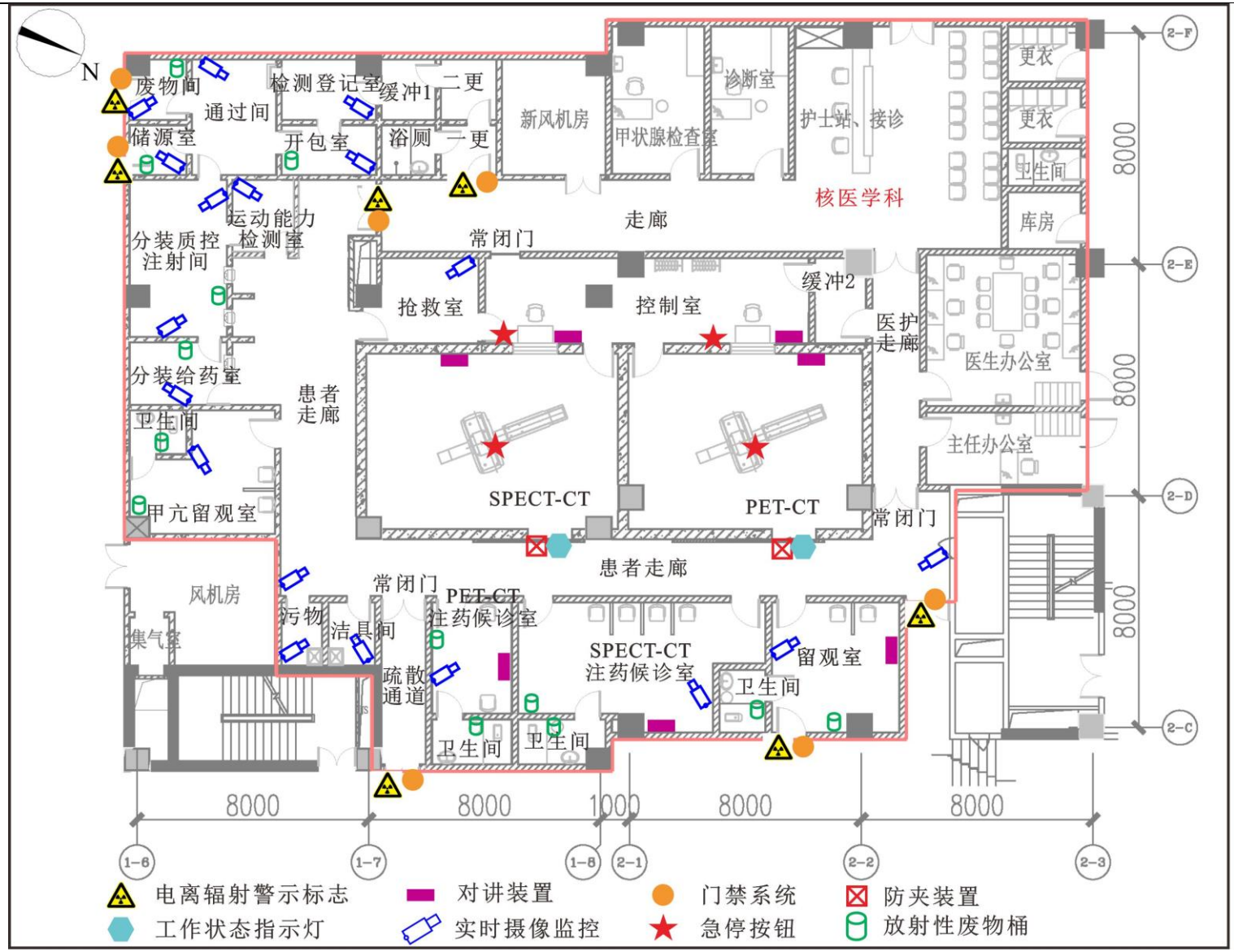

图 10-4　　核医学科防护安全设施布置图

⑵ 工作人员的防护措施

放射工作人员进入辐射工作场所前应穿戴放射性污染工作服或铅防护衣、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。离开辐射工作场所，需进行皮肤、手部等体表部位污染测定，确认未受放射污染，方可离开。如果发现污染，工作服需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可使用；皮肤、手部等体表部位污染，工作人员需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

⑶ 注射后病人防护措施

患者根据预约按时到候诊区，在语音提示下到分装质控注射间根据具体情况注射 ^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Sr 或 ^{223}Ra，经语音提示到相应的候诊室进行候诊，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕，扫描完毕患者经患者通道出口防护门离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，拟在患者进出口门防护门设计单向门禁系统，实现“入口处患者只入不出、出口处患者只出不入”，保证控制区内患者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

⑷ 放射性药品管理

医院核医学科应设置专职放射性药品管理人员，具体负责放射性药品交接手续的办理。当送药单位将放射性药品运至医院核医学科内，核医学科放射性药品管理人员在检测登记室核对预定的放射性药品数量、活度，进行入库登记。

医院应建立放射性药品台账管理制度，明确购置、到货、暂存、使用等环节放射性药物量。定期进行盘点，做到账物相符；日常由值班人员巡视检查；出入口安装摄像头装置，并入科室监控系统。

⑸ 防护用品配备

项目拟配置的个人防护用品和工作场所防护用品见表 10-7。

表 10-7　　核医学科工作场所防护用品

序号	种类	用途	拟设置场所	屏蔽参数	数量
1	便携式表面污染监测仪	用于表面污染水平的检测	核医学科工作场所	/	2 个
2	固定式表面污染监测仪	用于表面污染水平的检测	缓冲 1	/	1 个
3	手套箱	药物分装（^{18}F）	分装质控注射间	正面：50mmPb，顶和侧面：40mmPb	1 套

4	自动分碘仪	药物分装（^{131}I）	分装给药室	30.0mmPb	1 套
5	一体化注射防护台（^{18}F）	药物注射	分装质控注射间	正面观察窗 10.0mmPb	1 套
6	一体化注射防护台（^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra）	药物注射	分装质控注射间	正面观察窗 7.0mmPb	1 套
7	铅眼镜、铅衣、铅帽、铅围脖四件为一套	工作人员防护	检测登记室、分装质控注射间、分装给药室	0.5mmPb	若干
8	防护提盒（^{18}F）	药物转运	分装质控注射间	20mmPb	2 套
9	防护提盒（^{99m}Tc）	药物转运	储源室、分装质控注射间	20mmPb	2 套
10	屏蔽铅罐（^{131}I）	药物储存、转运	储源室、分装给药室	10mmPb	1 个
11	^{18}F 注射器屏蔽套	注射器防护	分装质控注射间	屏蔽厚度为 20mmPb	4 个
12	^{99m}Tc 注射器屏蔽套	注射器防护	分装质控注射间	屏蔽厚度为 10mmPb	4 个
13	放射性废物桶	储存放射性固体废物	开包室、废物间、储源室、分装质控注射间、分装给药室、甲亢留观室（2 个）、PET-CT 注药候诊室（2 个）、SPECT-CT 注药候诊室（2 个）、留观室（2 个）	屏蔽厚度为 10mmPb	17 个
14	移动铅屏风	用于患者之间的防护	甲亢留观室、PET-CT 注药候诊室、SPECT-CT 注药候诊室、留观室	屏蔽厚度为 10mmPb	5 个

由上表可知，本项目拟配备的工作场所防护用品符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求。

二、三废的治理

1、放射性固体废物处置措施

本项目核医学科放射性固体废物主要来源于核医学放射性药物操作过程中污染的一次性水杯、注射器、手套、药棉、纱布、吸水纸等；废气处理产生的废活性炭。

⑴ 放射性固体废物

针对核医学科各场所的放射性固体废物，先放置至各相关工作场所的铅防护废物桶内，铅防护废物桶贴上电离辐射警告标志，放置专用塑料袋收纳废物，装满后密封每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天收集时间。一天工作结束后，将铅防护废物桶内的固体废弃物转送到废物间的铅防护废物桶内，对注射

器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

涉及^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra的放射性固体废物需分开存放，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过30天”；“所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍”；“含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天”，^{99m}Tc 的半衰期为 6.02h，^{18}F 的半衰期为 109.8min，^{89}Sr 的半衰期为 50.53d，^{223}Ra 的半衰期为11.44d，故涉及^{99m}Tc和^{18}F的放射性固体废物需暂存超过30天，涉及^{89}Sr、^{223}Ra 的放射性固体废物需暂存超过核素最长半衰期的 10 倍，涉及 ^{131}I 的放射性固体废物需暂存超过 180 天，所有放射性固体废物均经检测合格（即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2）后作为医疗废物进行处置。

⑵ 废活性炭

本次环评要求活性炭过滤装置应加强维护，建议采用蜂窝状活性炭，活性炭过滤装置的活性炭预计每年更换一次，每次填装量约为100kg，则废活性炭产生量约为100kg/a。将更换下来的废活性炭（含放射性核素）采用专用废物袋密封，并在显著位置标注废物种类、核素种类、活度水平和存放日期等说明。塑料袋密封后转移至废物间，经暂存相应天数后，废物经检测合格（即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2）后作为一般固体废物由厂家回收处置。

本项目拟在核医学工作场所控制区各个房间至少配备 1 个放射性废物桶，废物间内至少配备 5 个放射性废物桶（^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra）循环使用。按《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的规定，每袋废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg，^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra 废物进行分类收集和分别处理。

2、放射性废气处置措施

本项目核医学科废气主要为放射性药物^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra产生的气溶胶以及机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物。本项目通风系统拟采用机械通风，将场所内有害气体排出，其中手套箱废气经活性炭过滤器处理后经排风管道排放。

本项目采用机械通风，由多台排风机和相应通风管道组成（放射性废气排风管道平面图详见图 10-5），通风系统具体设置如下：

① 检测登记室、开包室、废物间、储源室、分装质控注射间、分装给药室、运动能力检测室共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科北侧的排风井通往门诊楼主楼楼顶。各区域均设置有止回阀，以保持各区域的负压和各区域之间的压差；

② 淋浴、一更、二更、缓冲 2、抢救室、甲亢留观室及卫生间、污物间、洁具间、PET-CT 注药候诊室及卫生间、SPECT-CT 注药候诊室及卫生间、留观室及卫生间共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科东侧的竖向排风管至门诊楼五层楼顶。各区域均设置有止回阀，以保持各区域的负压和各区域之间的压差，且淋浴、一更、二更、缓冲 2 均为该管路气流的上游；

③ SPECT-CT 机房、PET-CT 机房共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科东侧的竖向排风管至门诊楼五层楼顶；

④ 分装质控注射间内的手套箱、分装给药室内的自动分碘仪单独设置一套排风系统，在立管上安装电动风阀与手套箱联动，管道经患者走廊，至核医学科北侧的排风井通往门诊楼主楼楼顶，手套箱、自动分碘仪的排气口均设有活性炭过滤器。

综上，核医学科的通风设置满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

3、放射性废水处置措施

⑴ 放射性废水处置措施

本项目核医学科拟在门诊楼地下二层北侧设置衰变间，衰变间内共有 2 套放射性废水处理设施，其中 1 套为长半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成；1 套为短半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成。本项目放射性废水（^{131}I）产生量约 0.053m^3/d，放射性废水（^{18}F 或 ^{99m}Tc）产生量约 0.399m^3/d，收集后分别排入衰变池（长半衰期）和衰变池（短半衰期），暂存、衰变。

⑵ 衰变池设计

每个衰变池内均安装液位计，设置溢水口，以防止废液溢出；检测池内安装取水阀；核医学科水龙头拟设置为感应式或脚踏式，甲亢留观室和分装给药室的放射性废水经专用排水管道收集后由核医学科缓冲 2 南侧的竖向管道排至地下二层南侧的衰变池（长半衰期），管道至地下二层经过的区域为手术室（预留、战时用）、诊

疗室（预留、战时用）及空地；其余各工作场所的放射性废水经专用排水管道收集后由核医学科留观室南侧的竖向管道排至地下二层北侧的衰变池（短半衰期）。管道至地下二层经过的区域为污物间（预留、战时用）、卫生间（预留、战时用）及空地。排水管道均布设在地下，布设情况见图 10-6、图 10-7。

本次对专用排水管道拟采用机制铸铁（含铅）管道，外包 3mm 厚铅皮防护；水平横管应敷设在垫层内或专用防辐射吊顶内，立管安装在壁厚不小于 150mm 的混凝土管道井内。衰变间的四周墙体均采用 300mm 混凝土+100mm$BaSO_4$ 防护砂浆进行防护，顶层采用 300mm 混凝土+120mm$BaSO_4$ 防护砂浆进行防护，北侧采用铅防护门（12mmPb）进行防护。衰变间的平面图、剖面图见图 10-8。

衰变池运行过程：①放射性废水经污水提升器排至衰变池间内的沉淀池进行沉淀，沉淀池水位到达高液位时，开启 1#衰变池中的电动进水阀，废水通过自流方式进入 1#衰变池，液面降低时自流停止，直至 1#衰变池槽体注满后，1#衰变池中的传感器发出信号，该池中的电动进水阀自动关闭，1#衰变池槽体停止进水。②同时开启 2#衰变池的电动进水阀，当沉淀池水位再次到达高水位时，2#衰变池进水，当 2#衰变池注满后，1#衰变池取样监测结果满足相应标准要求后，电脑指令打开 1#衰变池的排水阀并同时打开排污泵启动排水。

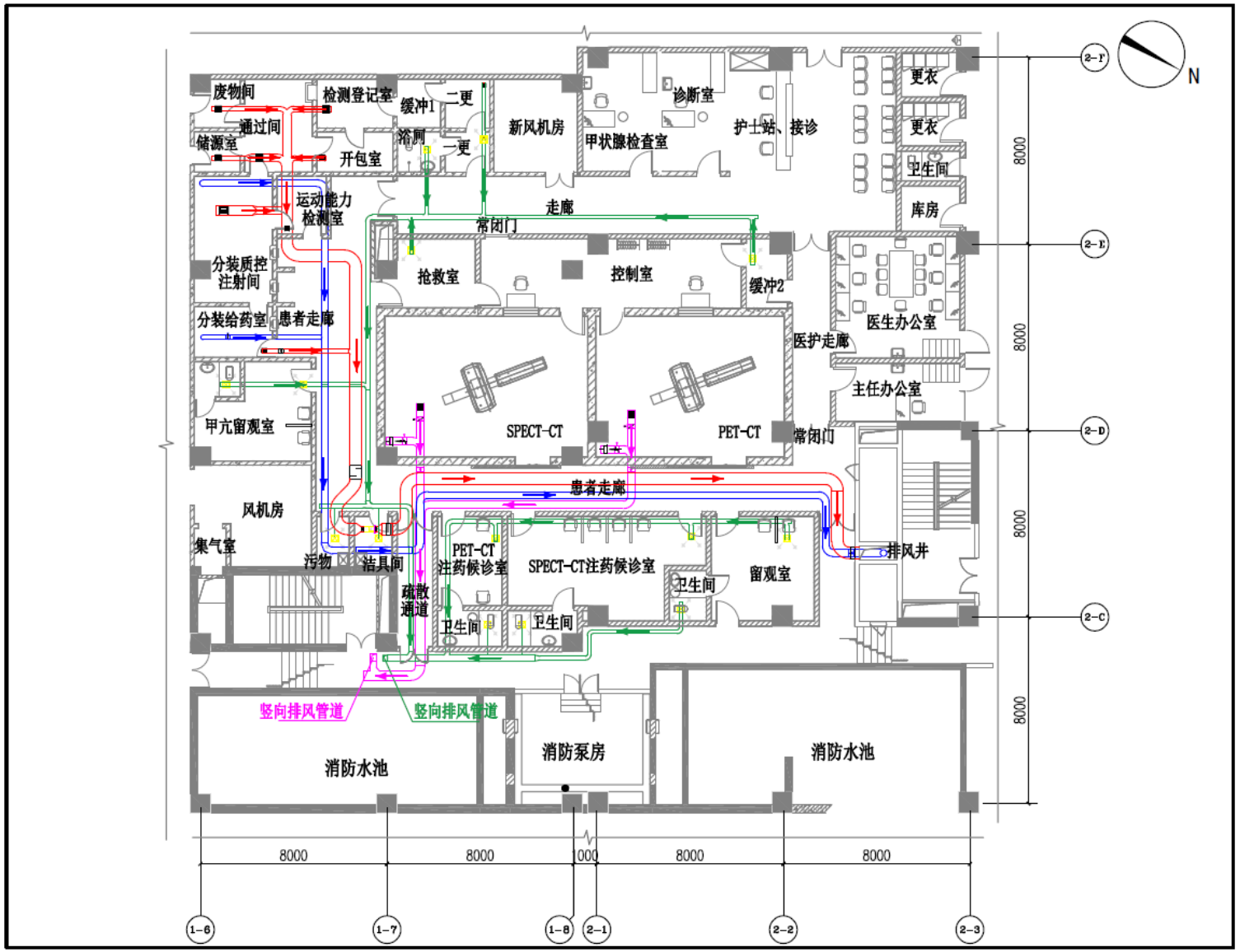

图 10-5　　核医学科排风管道布局图

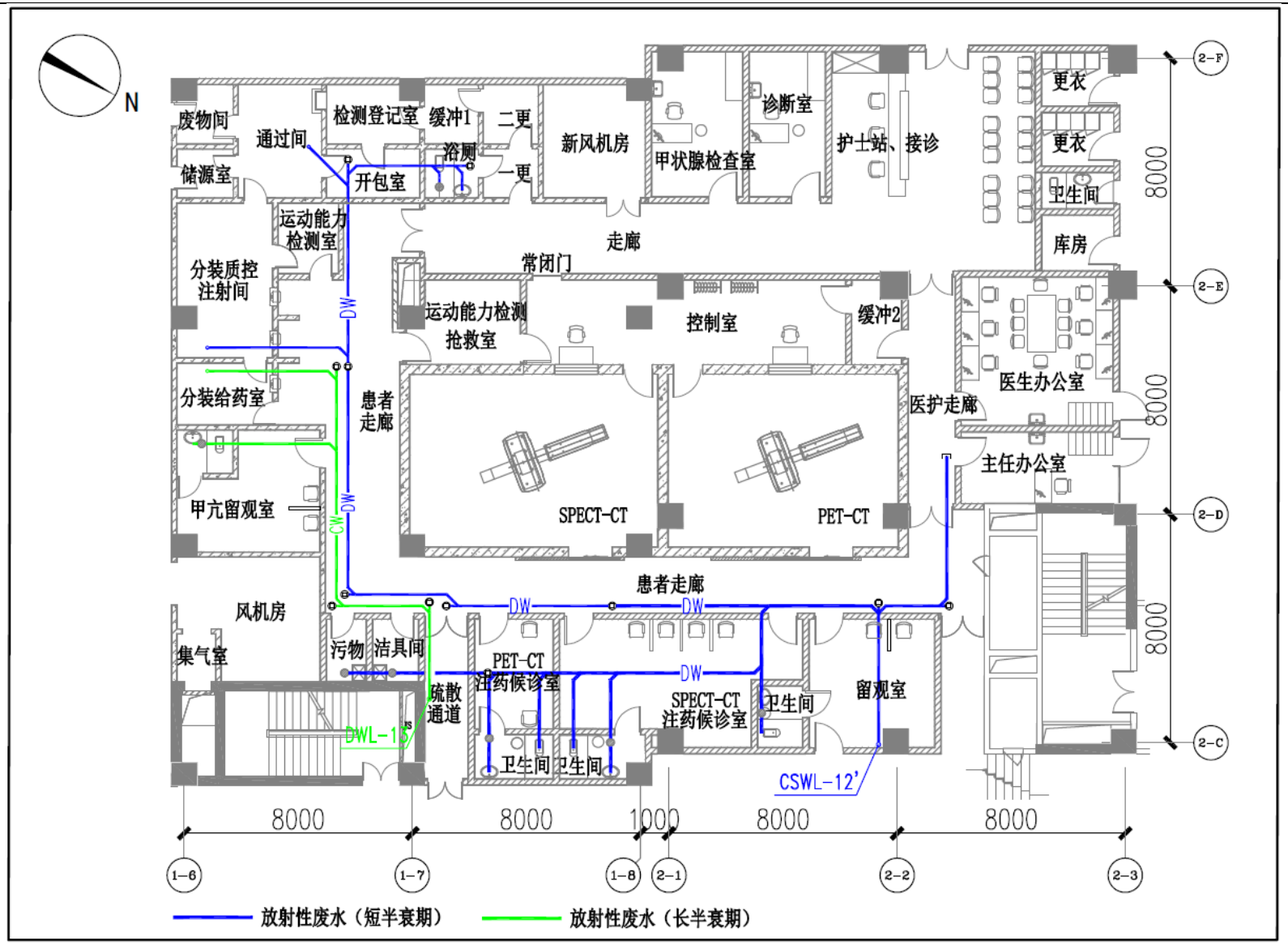

图 10-6　　核医学科放射性废水排水管道布局图（地下一层）

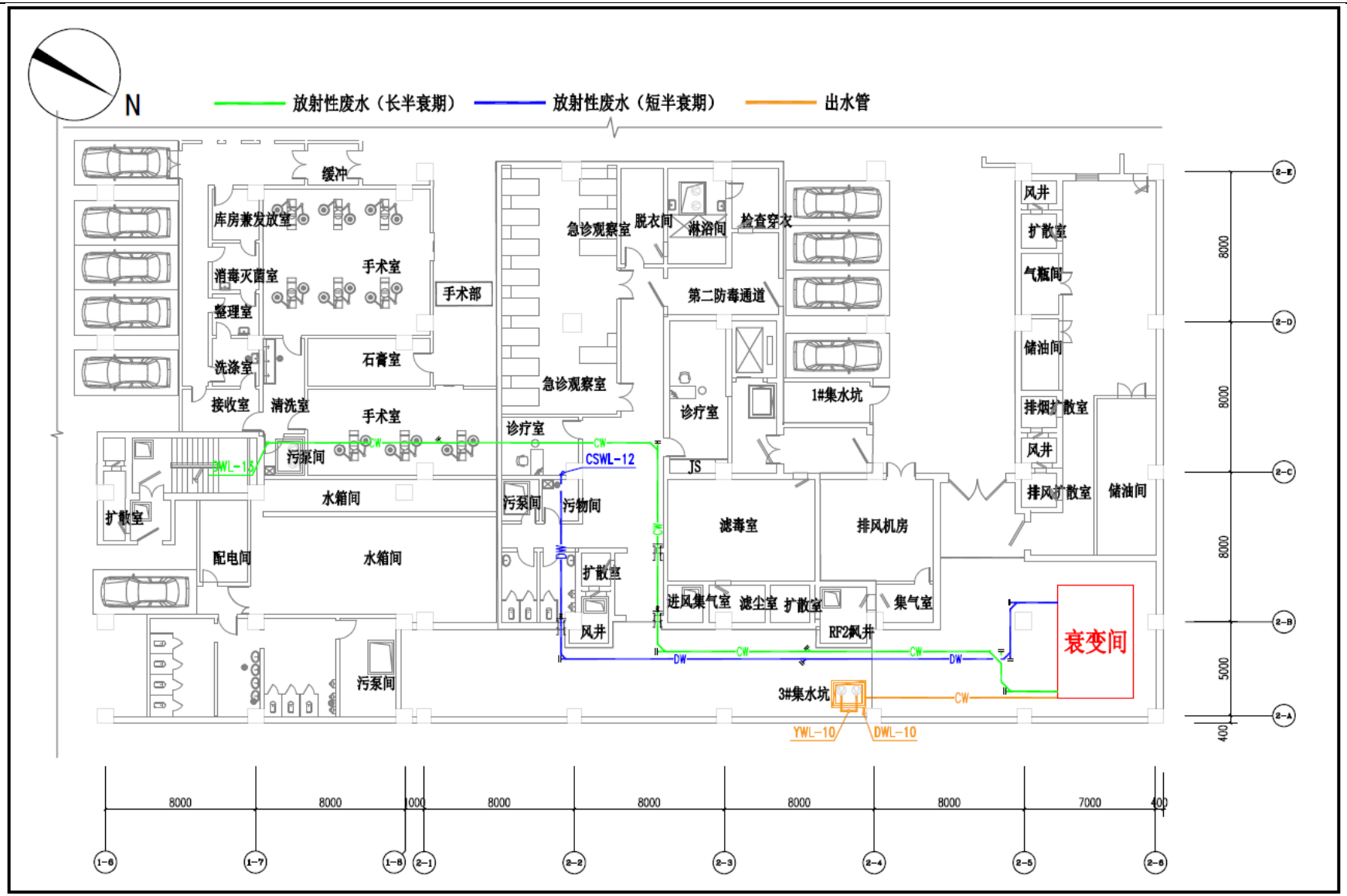

图 10-7　　核医学科放射性废水排水管道布局图（地下二层）

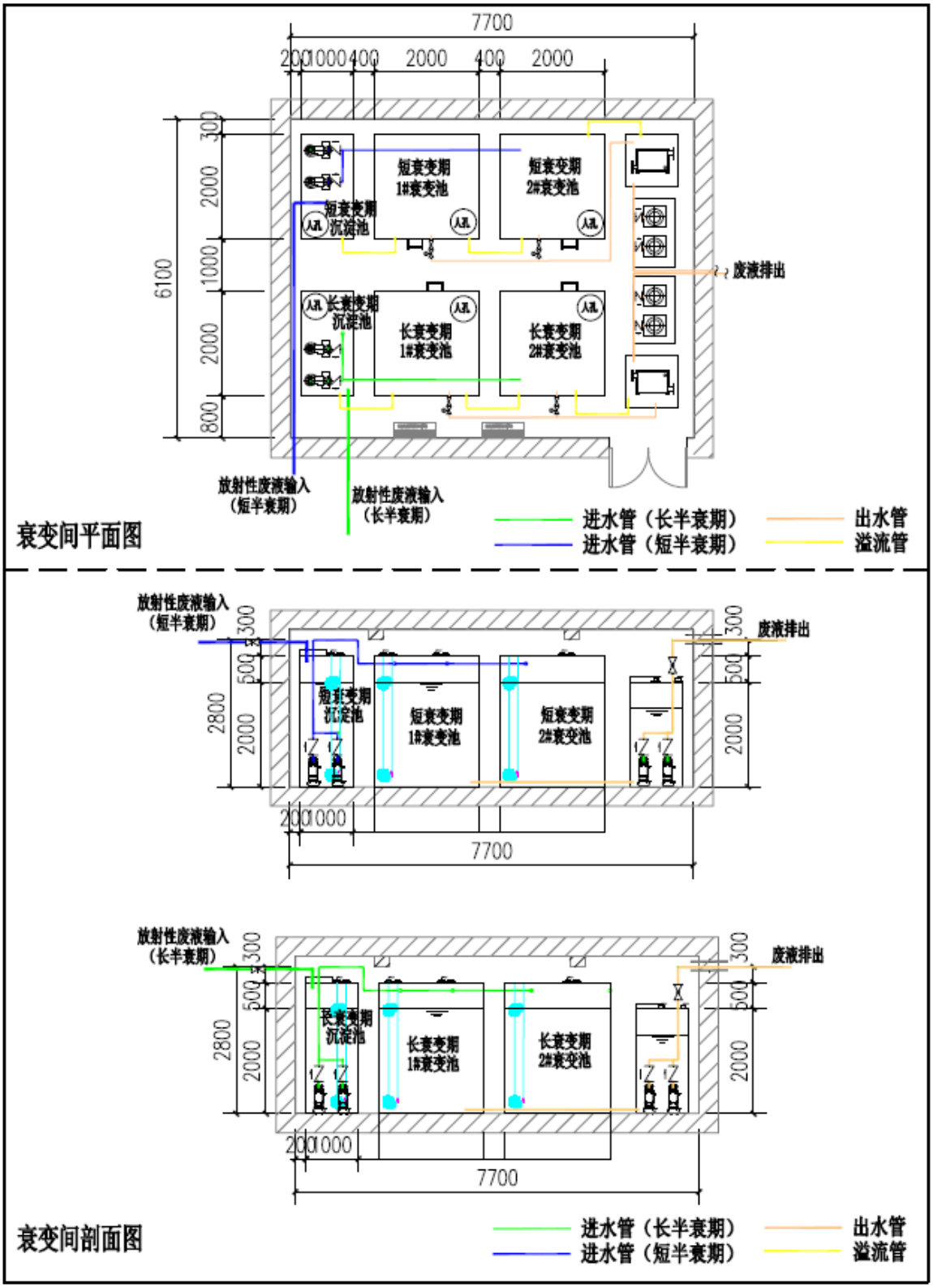

图 10-8　　放射性废水处理设施平面图及剖面图（衰变间）

表 11 环境影响分析

一、建设阶段对环境的影响

本项目主要在门诊楼的地下一层及地下二层进行建设，目前门诊楼已建成，目前正在进行防护建设及装修。

1、土建施工阶段

本项目土建施工阶段的环境影响评价已经纳入《安康市中心医院综合能力提升项目环境影响报告书》（批复文号为：安环函〔2019〕78号，见附件），本次评价不再分析项目土建施工阶段的环境影响，仅简要分析项目各科室工作场所后期装修阶段可能引起的环境影响。

项目装修阶段的污染因子主要为装修涂料产生的有机废气、物料扬尘、废水、施工噪声、建筑垃圾等。

⑴ 施工期装修使用环保型涂料，料堆采取防尘措施，清扫过程做到先洒水再清扫，固体废物及时清运，运输物料车采取覆盖等防止散落的措施。

⑵ 施工现场的固定噪声和移动噪声诸如电钻、切割机等应相对集中，尽量缩小噪声干扰范围，合理安排作业时间，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。如需要夜间施工，须向当地生态环境主管部门申请夜间施工，许可方可进行。

⑶ 施工期间的生活污水依托医院的施工营地的生活污水处理设施。

⑷ 施工期间的建筑垃圾应在指定的地点堆放，并及时清运；废包装材料和生活垃圾产生量少，分类收集于垃圾桶，由环卫部门统一清运。

⑸ 施工期间的生活垃圾依托医院的施工营地的垃圾桶，分类收集，由环卫部门统一清运。

项目施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场管理等手段，施工期对周围环境影响较小，且施工期影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

二、运行阶段对环境的影响

根据工程分析可知，项目运行阶段环境影响主要为 SPECT-CT 和 PET-CT 中 CT 部分在出束时产生的 X 射线、放射性核素（^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra）在使用过程中产生的γ射线、β射线、α粒子、α、β表面污染、放射性“三废”等。

另外，本次使用 ^{131}I 进行甲状腺功能测定时，日最大操作量较小（1.48×10^{6}Bq（0.04mCi）），患者服用后可直接离开核医学科，对周边的辐射影响较小，故本次不

再进行估算。

1、计算参数

为了论证核医学科各场所墙体、防护门屏蔽能力，从保守角度，不考虑核素随时间衰变影响，采用如下公式进行计算：

$$\dot{H}=\frac{A\times\Gamma}{R^2}\times10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} \quad (11\text{-}1)$$

式中：$\dot{H}$—关注点剂量当量率控制水平，μSv/h；

A—非密封放射性物质活度，MBq；

R—非密封放射性物质距关注点距离，m；

Γ—周围剂量当量率常数，μSv·m^2/MBq·h。根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020），药物注射前按照附录H中“^{99m}Tc的周围剂量当量率常数（裸源）为0.0303μSv·m^2/MBq·h，^{18}F的周围剂量当量率常数（裸源）为0.143μSv·m^2/MBq·h，^{131}I的周围剂量当量率常数（裸源）为0.0595μSv·m^2/MBq·h”进行计算；药物注射后（患者体内）按照附录L中：“^{99m}Tc在患者或受检者体内单位活度所致体外1m处的周围剂量当量率为0.0207μSv·m^2/MBq·h，^{18}F在患者或受检者体内单位活度所致体外1m处的周围剂量当量率为0.092μSv·m^2/MBq·h，^{131}I在患者或受检者体内单位活度所致体外1m处的周围剂量当量率为0.0583μSv·m^2/MBq·h”进行计算；

X—屏蔽体厚度，mm；

TVL—γ射线什值层厚度，mm。

本项目使用核素 ^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I，放射性核素在衰变过程中会产生不同能量的射线。核医学科工作场所拟采用砖墙、混凝土墙、铅玻璃、铅防护门为主要屏蔽材料进行防护。

本项目核医学科使用的核素用量、核素半衰期、核素对应不同屏蔽材料什值层厚度相关计算参数见表 11-1。

表 11-1　　放射性核素屏蔽计算参数取值

核素	单人核素用量 MBq	半衰期	γ射线能量 keV	周围剂量当量率常数μSv·m^2/(h·MBq)		什值层 TVL		
				裸源	患者或受检者体内	混凝土 mm	铅mm	砖mm
^{99m}Tc	925	6.02h	141	0.0303	0.0207	110	1	160
^{18}F	370	109.8min	511	0.143	0.092	176	16.6	263
^{131}I（甲	370	8.02d	284,365,637	0.0595	0.0583	170	11	240

亢）								

备注：根据建设单位提供的资料，本项目使用的硫酸钡砂浆密度为 2.7g/cm³，对于 γ 射线，由于硫酸钡砂浆的质量衰减系数不小于混凝土，混凝土密度为 2.35g/cm³，为保守起见，将硫酸钡砂浆按混凝土考虑。

2、辐射环境影响分析

⑴ 显像检查辐射环境影响分析（^{18}F、^{99m}Tc）

① 分装质控注射间

分装质控注射间主要包括 ^{18}F 的储存、分装、质控及注射、^{99m}Tc 的储存及注射，主要环境影响是放射性核素 ^{18}F、^{99m}Tc 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。

a. 手套箱屏蔽能力估算

本项目拟使用的放射性核素 ^{18}F 在手套箱中的防护提盒（20mmPb）内暂存。工作人员根据患者需求将 ^{18}F 药物分装质控，均在手套箱内进行。工作人员距离放射性药物 0.5m。^{99m}Tc 采用成品针剂，不进行分装质控。根据公式 11-1，可以计算出手套箱表面、工作人员操作位置处剂量率，计算结果见表 11-2。

表 11-2　　^{18}F 药物分装操作位以及手套箱表面剂量率估算结果

序号	关注点	A（MBq）	距源 1m 处的周围剂量当量率常数（μSv·m²/（h·MBq））	R（m）	X（mmPb）	剂量率（μSv/h）		剂量率控制水平（μSv/h）
1	手套箱（^{18}F）非正对人员操作位外表面 30cm 处（储存）①	3040	0.143	0.5	50+20	0.11		25
2	手套箱（^{18}F）正对人员操作位外表面 30cm 处（储存）①	3040	0.143	0.5	50+20	0.11		2.5
1	手套箱（^{18}F）非正对人员操作位外表面 30cm 处（分装）①	370	0.143	0.5	50	0.21	0.30	25
		2670	0.143	0.5	50+20	0.09		
2	手套箱（^{18}F）正对人员操作位外表面 30cm 处（分装）①	370	0.143	0.5	50	0.21	0.30	2.5
		2670	0.143	0.5	50+20	0.09		

备注：① 分装过程考虑“1 人份药剂（370MBq）”和“其余药剂（2350MBq）处于防护提盒内”两方面。

由上表可知，^{18}F 药物分装过程中，手套箱外表面 30cm 处周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准要求。理论估算结果表明，^{18}F 药物分装配备的手套箱仍具备较好的辐射屏蔽能力。

b. 各关注点剂量率估算

项目药物分装时的辐射影响包括分装量和剩余量。将分装好的药物使用相应的钨合金注射器防护套运送至注射窗口，为患者进行放射性药物 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的注射工作，剩余药物则在原先的 20mmPb 防护提盒内，并暂存在手套箱中。根据公式（11-1），项目在分装质控注射间内进行分装及质控、在注射窗口处进行注射时，各关注点位置见图 11-1，各关注点的周围剂量当量率计算结果见表 11-3。

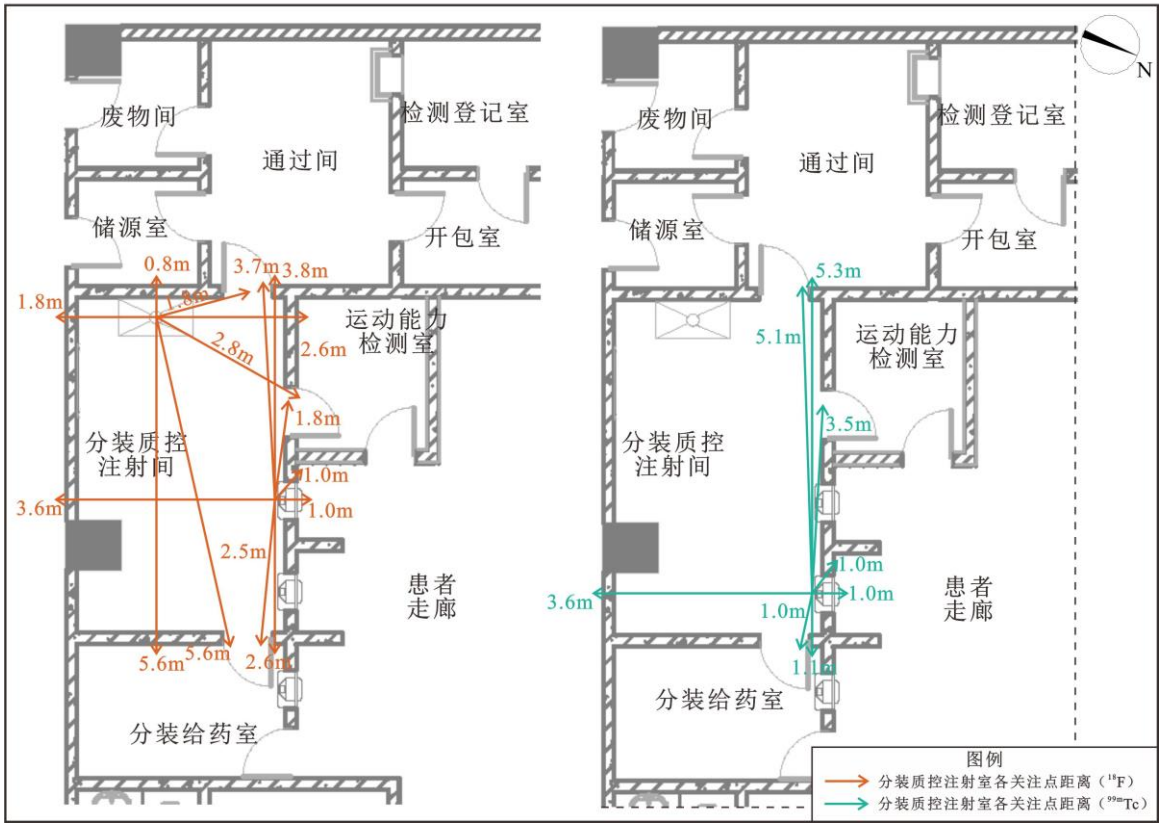

图 11-1　　分装质控注射间关注点位置示意图

表 11-3　　分装质控注射间关注点的周围剂量当量率估算结果

核素	关注点	核素活度/MBq	距离/m	屏蔽材料	剂量率/μSv/h		剂量率控制水平/μSv/h
^{18}F（分装）①	北墙外 30cm 处	370	2.6	40mmPb 手套箱+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	2.45×10^{-3}	3.56×10^{-3}	2.5
		2670		40mmPb 手套箱+20mmPb 防护提盒+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	1.10×10^{-3}		
	东墙外 30cm 处	370	5.6	40mmPb 手套箱+32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	3.48×10^{-4}	5.04×10^{-4}	2.5
		2670		40mmPb 手套箱+20mmPb 防护提盒	1.57×10^{-4}		

				+32mmBaSO$_4$防护砂浆 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +240mm 实心砖			
	南墙外 30cm 处	370	1.8	40mmPb 手套箱 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +240mm 实心砖	5.12×10^{-3}	7.42×10^{-3}	2.5
		2670		40mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +240mm 实心砖	2.30×10^{-3}		
	西墙外 30cm 处（储源室）	370	0.8	40mmPb 手套箱 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +240mm 实心砖	1.70×10^{-2}	2.47×10^{-2}	2.5
		2670		40mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +240mm 实心砖	7.67×10^{-3}		
	东侧防护门外 30cm 处	370	5.6	50mmPb 手套箱 +12.0mmPb 铅门	3.11×10^{-4}	4.50×10^{-4}	2.5
		2670		50mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒 +12.0mmPb 铅门	1.40×10^{-4}		
	北侧防护门外 30cm 处	370	2.8	40mmPb 手套箱 +12.0mmPb 铅门	4.97×10^{-3}	7.21×10^{-3}	10②
		2670		40mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒 +12.0mmPb 铅门	2.24×10^{-3}		
	西侧防护门外 30cm 处	370	1.8	40mmPb 手套箱 +12.0mmPb 铅门	1.20×10^{-2}	1.75×10^{-2}	2.5
		2670		40mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒 +12.0mmPb 铅门	5.42×10^{-3}		
	楼上距地面 0.3m 处	370	6.0	40mmPb 手套箱 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +250mm 混凝土	1.43×10^{-4}	2.07×10^{-4}	2.5
		2670		40mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +250mm 混凝土	6.44×10^{-5}		
	楼下距地面 1.7m 处	370	4.4	40mmPb 手套箱 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +800mm 混凝土	1.99×10^{-7}	2.89×10^{-7}	2.5
		2670		40mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒 +32mmBaSO$_4$防护砂浆 +800mm 混凝土	8.98×10^{-8}		

^{18}F（注射）	北墙外 30cm 处（患者走廊）	370	1.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	2.74	10②
	东墙外 30cm 处	370	2.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.28	2.5
	南墙外 30cm 处	370	3.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.21	2.5
	西墙外 30cm 处（通过间）	370	3.8	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.13	2.5
	东侧防护门外 30cm 处	370	2.5	12mmPb 铅门	1.03	2.5
	北侧防护门外 30cm 处	370	1.8	12mmPb 铅门	1.99	2.5
	西侧防护门外 30cm 处	370	3.7	12mmPb 铅门	0.47	2.5
	北侧注射窗口外 30cm 处	370	1.0	10mmPb 注射窗口	8.50	10②
	楼上距地面 0.3m 处	370	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	2.36×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	370	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm 混凝土	3.29×10^{-5}	2.5
^{99m}Tc（注射）	北墙外 30cm 处（患者走廊）	925	1.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.31	10②
	东墙外 30cm 处	925	1.1	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.13	2.5
	南墙外 30cm 处	925	3.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	2.39×10^{-2}	2.5
	西墙外 30cm 处	925	5.3	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	5.65×10^{-3}	2.5
	东侧防护门外 30cm 处	925	1.0	12mmPb 铅门	1.91×10^{-11}	2.5
	北侧防护门外 30cm 处	925	3.5	12mmPb 铅门	1.56×10^{-12}	2.5
	西侧防护门外 30cm 处	925	5.1	12mmPb 铅门	7.36×10^{-13}	2.5
	北侧注射窗口外 30cm 处	925	1.0	7mmPb 注射窗口	1.91×10^{-6}	2.5
	楼上距地面 0.3m 处	925	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	1.45×10^{-3}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	925	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm 混凝土	2.70×10^{-8}	2.5

备注：① ^{18}F 分装过程考虑“1 人份药剂（370MBq）”和“其余药剂（2350MBq）处于防护提盒内”两方面；^{99m}Tc 分装过程考虑“1 人份药剂（925MBq）”和“其余药剂（4625MBq）处于防护提盒内”两方面；
② 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），分装质控注射间的北墙、北侧防护门外为患者走廊，为控制区内工作人员较少停留区域，周围剂量当量率小于 10μSv/h

由上表可知，经屏蔽墙体衰减后，分装质控注射间各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

② 抢救室

抢救室主要为患者注射放射性药物 ^{99m}Tc、^{18}F 后如有不适情况进行抢救的区域，最多仅 1 人使用，主要环境影响为放射性核 ^{99m}Tc、^{18}F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-2，项目抢救室的周围剂量当量率估算结果见表 11-4。

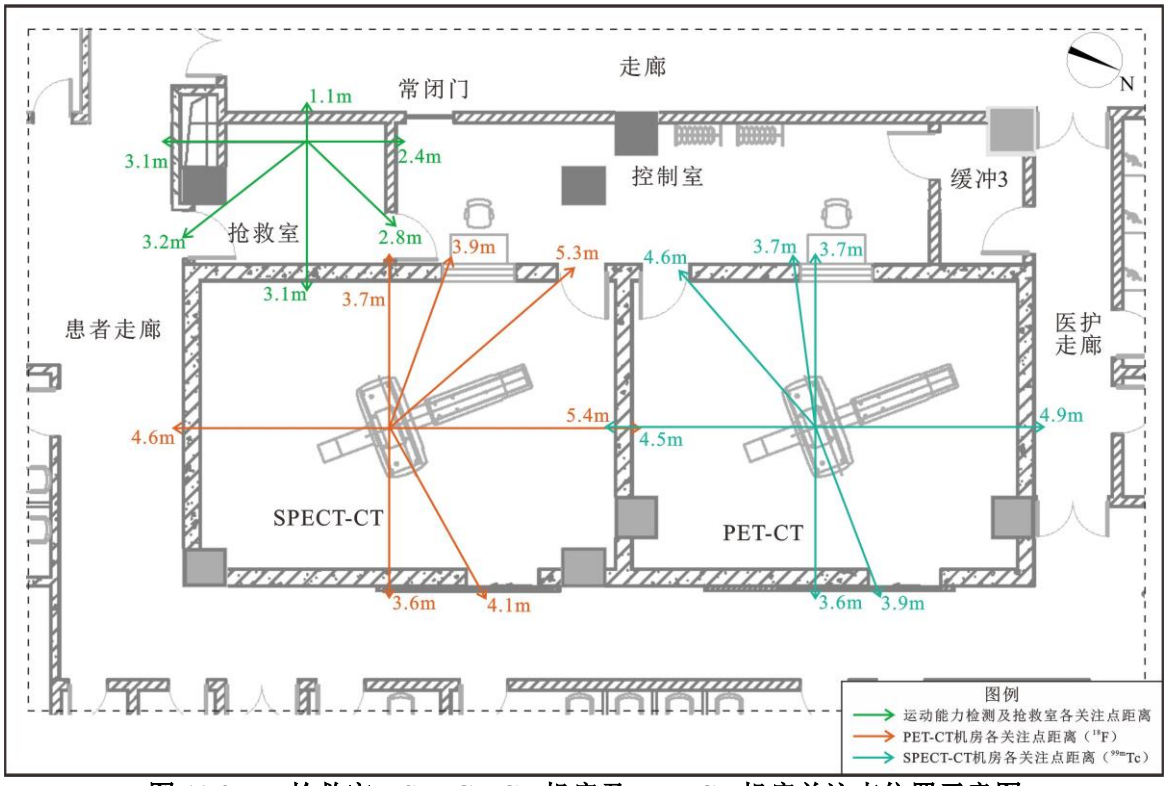

图 11-2　　抢救室、SPECT-CT 机房及 PET-CT 机房关注点位置示意图

表 11-4　　抢救室关注点的周围剂量当量率估算结果

核素	关注点	核素活度/MBq	距离/m	屏蔽材料	剂量率/μSv/h	剂量率控制水平/μSv/h
^{18}F	北墙外 30cm 处	370	2.4	32mm$BaSO_4$ 防护砂浆+240mm 实心砖	0.48	2.5
	东墙外 30cm 处	370	3.1	32mm$BaSO_4$ 防护砂浆+370mm 实心砖	9.13×10^{-2}	2.5
	南墙外 30cm 处（患者走廊）	370	3.1	32mm$BaSO_4$ 防护砂浆+240mm 实心砖	0.41	10①

	西墙外 30cm 处（走廊）	370	1.1	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	2.26	2.5
	南侧防护门外 30cm 处（患者走廊）	370	3.2	6mmPb 铅门	1.45	10①
	北侧防护门外 30cm 处	370	2.8	6mmPb 铅门	1.89	2.5
	楼上距地面 0.3m 处	370	6.0	32mmBaSO$_4$防护砂浆+250mm 混凝土	2.36×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	370	4.4	32mmBaSO$_4$防护砂浆+800mm 混凝土	3.29×10^{-5}	2.5
^{99m}Tc	北墙外 30cm 处	925	2.4	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	5.38×10^{-2}	2.5
	东墙外 30cm 处	925	3.1	32mmBaSO$_4$防护砂浆+370mm 实心砖	4.97×10^{-3}	2.5
	南墙外 30cm 处（患者走廊）	925	3.1	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	3.22×10^{-2}	10①
	西墙外 30cm 处（走廊）	925	1.1	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.26	2.5
	南侧防护门外 30cm 处（患者走廊）	925	3.2	6mmPb 铅门	1.87×10^{-6}	10①
	北侧防护门外 30cm 处	925	2.8	6mmPb 铅门	2.44×10^{-6}	2.5
	楼上距地面 0.3m 处	925	6.0	32mmBaSO$_4$防护砂浆+250mm 混凝土	1.45×10^{-3}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	925	4.4	32mmBaSO$_4$防护砂浆+800mm 混凝土	2.70×10^{-8}	2.5

备注：① 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），抢救室的南墙外和南侧防护门外为患者走廊，均为控制区内工作人员较少停留区域，周围剂量当量率小于 10μSv/h

由上表可知，患者在抢救室内时，各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

③ SPECT-CT 注药候诊室和 PET-CT 注药候诊室

SPECT-CT 注药候诊室和 PET-CT 注药候诊室主要分别为患者注射放射性药物 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 后进行候诊的区域。根据一天的就诊人数分批次进行注射，^{18}F 为每人注射间隔时间约 45min，每人注射后候诊时间约 45～60min，则 PET-CT 候诊同一时间内最多有 2 人同时使用，内设有独立专卫；^{99m}Tc 进行分批注射，注射间隔时间约 30min，根据 SPECT-CT 注药候诊室内座位设计，SPECT-CT 注药候诊室同一时间内最多有 4 人同时使用，内设有独立专卫。各关注点位置见图 11-3，项目注药候诊室的周围剂量当量率估算结果见表 11-5。

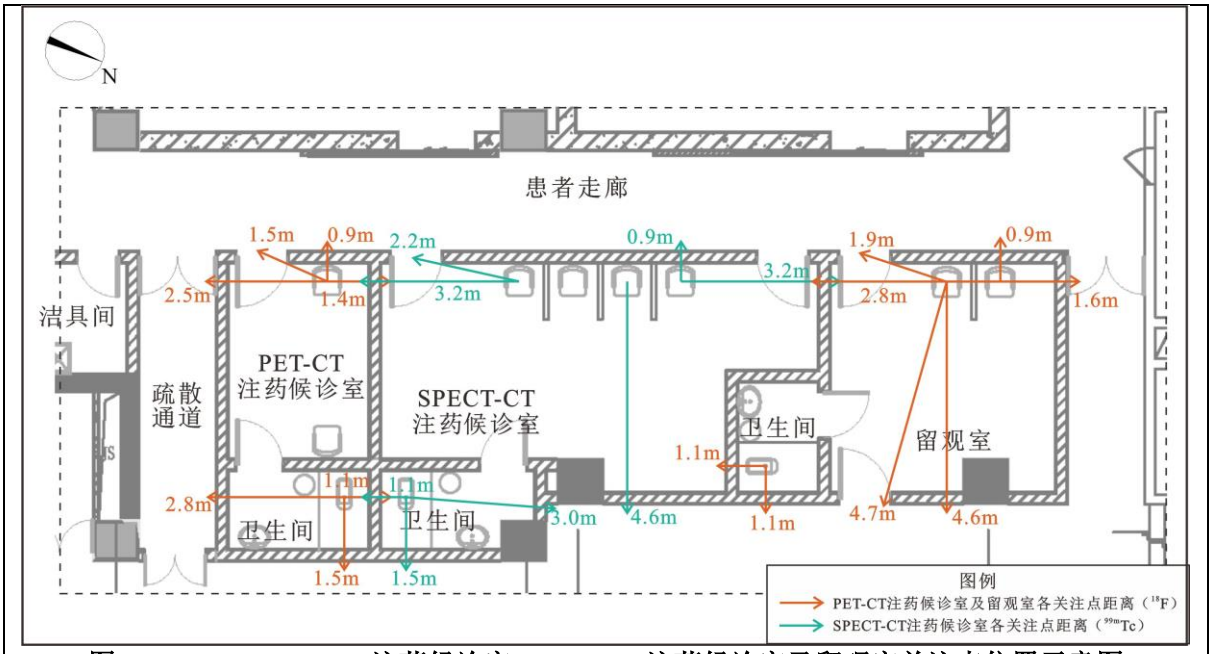

图 11-3　　SPECT-CT 注药候诊室、PET-CT 注药候诊室及留观室关注点位置示意图

表 11-5　　SPECT-CT 注药候诊室和 PET-CT 注药候诊室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	核素活度/MBq ①	距离/m	屏蔽材料	剂量率/μSv/h	剂量率控制水平/μSv/h
PET-CT 注药候诊室	北墙外 30cm 处	740	1.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	1.84	2.5
	南墙外 30cm 处（疏散通道）	740	2.5	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.58	2.5
	西墙外 30cm 处（患者走廊）	740	0.9	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	6.76	10②
	西侧防护门外 30cm 处（患者走廊）	740	1.5	12mmPb 铅门	5.73	10②
	楼上距地面 0.3m 处	740	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	4.73×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	740	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm 混凝土	6.59×10^{-5}	2.5
PET-CT 注药候诊室卫生间	北墙外 30cm 处	370	1.1	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	1.49	2.5
	东墙外 30cm 处	370	1.5	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	1.22	2.5
	南墙外 30cm 处（疏散通道）	370	2.8	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.23	2.5
	楼上距地面 0.3m 处	370	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	2.36×10^{-2}	2.5

	楼下距地面1.7m处	370	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm混凝土	3.29×10^{-5}	2.5
SPECT-CT注药候诊室	北墙外30cm处	3700	3.2	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	6.20×10^{-2}	2.5
	东墙外30cm处	3700	4.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	1.17×10^{-2}	2.5
	南墙外30cm处	3700	3.2	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	6.20×10^{-2}	2.5
	西墙外30cm处（患者走廊）	3700	0.9	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	1.53	10②
	西侧防护门外30cm处（患者走廊）	3700	2.2	12mmPb铅门	1.58×10^{-11}	10②
	楼上距地面0.3m处	3700	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm混凝土	5.81×10^{-3}	2.5
	楼下距地面1.7m处	3700	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm混凝土	1.08×10^{-7}	2.5
SPECT-CT注药候诊室卫生间	北墙外30cm处	925	3.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	0.13	2.5
	东墙外30cm处	925	1.5	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	0.53	2.5
	南墙外30cm处	925	1.1	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	0.51	2.5
	楼上距地面0.3m处	925	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm混凝土	1.45×10^{-3}	2.5
	楼下距地面1.7m处	925	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm混凝土	2.70×10^{-8}	2.5

备注：①本次保守考虑，进入SPECT-CT注药候诊室的4名患者处于同一位置，进入PET-CT注药候诊室的2名患者处于同一位置；

② 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），SPECT-CT注药候诊室和PET-CT注药候诊室西墙及西侧防护门均为患者走廊，为控制区内工作人员较少停留区域，周围剂量当量率小于10μSv/h；

③经与建设单位核实，疏散通道内部墙体采用240mm实心砖+32mm$BaSO_4$防护砂浆进行防护

由上表可知，SPECT-CT注药候诊室和PET-CT注药候诊室各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

④ PET-CT机房和SPECT-CT机房

SPECT-CT机房主要为患者注射放射性药物^{99m}Tc后进行扫描显像检查的区域；PET-CT机房主要为患者注射放射性药物^{18}F后进行扫描显像检查的区域，主要环境影响为放射性核素^{99m}Tc和^{18}F衰变产生的γ射线、CT部分运行期间产生的X射线。

a. 机房防护屏蔽设计符合性

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），项目PET-CT、SPECT-CT机房X射线防护屏蔽措施符合性分析见表11-6。

表 11-6　　机房 X 射线防护屏蔽措施符合性分析一览表

机房名称	屏蔽部位	屏蔽材料及规格	等效屏蔽	标准要求	是否符合
SPECT-CT 机房（按 CT 部分评价）	四侧墙体	370mm 黏土实心砖 +32mmBaSO$_4$ 防护砂浆	6.07mmPb	≥2.5mmPb	符合
	机房电动推拉门	4.0mmPb 电动防护平开门	4.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	操作室手动单开防护门	4.0mmPb 防护单开门	4.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	观察窗	4.0mmPb 玻璃观察窗	4.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	顶棚	250mm 混凝土 +32mmBaSO$_4$ 防护砂浆	5.6mmPb	≥2.5mmPb	符合
	地面	800mm 混凝土 +32mmBaSO$_4$ 防护砂浆	32.2mmPb	≥2.5mmPb	符合
PET-CT 机房（按 CT 部分评价）	四侧墙体	370mm 黏土实心砖 +32mmBaSO$_4$ 防护砂浆	6.07mmPb	≥2.5mmPb	符合
	机房电动推拉门	7.0mmPb 电动防护平开门	7.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	操作室手动单开防护门	10.0mmPb 防护单开门	10.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	观察窗	10.0mmPb 玻璃观察窗	10.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	顶棚	250mm 混凝土 +32mmBaSO$_4$ 防护砂浆	5.6mmPb	≥2.5mmPb	符合
	地面	800mm 混凝土 +32mmBaSO$_4$ 防护砂浆	32.2mmPb	≥2.5mmPb	符合

备注：① SPECT-CT 中 CT 部分最大管电压 150kV、最大管电流 800mA；PET-CT 中 CT 部分最大管电压 150kV、最大管电流 800mA；
② 根据《X 射线和 γ 射线防护手册》P76，300mm 黏土实心砖 150kV 时铅当量厚度为 2.6mm，400mm 黏土实心砖 150kV 时铅当量厚度为 3.7mm，采用内插法算得 370mm 黏土实心砖 150kV 时铅当量厚度为 3.37mm，即本次 370mm 黏土实心砖 150kV 时铅当量厚度取 3.37mm；
③ 根据《X 射线和 γ 射线防护手册》P74，25mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 2.3mm，38mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 3.1mm，采用内插法算得 32mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 2.7mm，即本次 32mmBaSO$_4$ 防护砂浆 150kV 时铅当量厚度取 2.7mm；
④ 根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.7 查表得，150kV 时 255mm 混凝土铅当量厚度取 3mm，采用外推法，150kV 时 800mm 混凝土铅当量厚度取 29.5mm；150kV 时 250mm 混凝土铅当量厚度取 2.9mm。

根据表 11-6 可知，项目 PET-CT、SPECT-CT 机房 X 射线的防护屏蔽措施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关要求。

b. SPECT-CT 机房和 PET-CT 机房（CT 部分）辐射剂量率估算

本次 SPECT 设备中的 CT 部分最大管电压为 140kV，最大管电流为 200mA；PET 设备中的 CT 部分最大管电压为 150kV，最大管电流为 800mA。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 E.2，75%位数下，焦点处的剂量率最大为 60mGy（扫描时间 2s），本次评价保守按照 CT 扫描时，焦点处的最大剂量率为 1800mGy/min 考虑。关注点位置见图 11-2。

I 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护导论》P115 公式 3.61。对于给定的屏

蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算，具体公式见公式（11-2）、公式（11-3）。

$$H_L=\frac{H_0\times B}{R^2} \quad (11\text{-}2)$$

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11\text{-}3)$$

式中：H_L—关注点漏射剂量率，μGy/h；

H_0—泄漏辐射距焦点 1m 处的平均空气比释动能率；

R—计算点距源点的距离，m；

B—透射因子；

X—铅厚度，mm；

公式中 H_0 按照泄漏率为 0.1%进行估算，故本次取 1.08×10^5μGy/h。

α、β、γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-7。

表 11-7　　X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.990	0.3420
注：① α、β、γ 取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C ② PET 设备中的 CT 部分最大管电压为 150kV，本次保守按照 140kV（CT）取值				

在仅考虑 CT 部分产生 X 射线影响时，SPECT-CT 及 PET-CT 机房各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果如下：

表 11-8　　SPECT-CT 和 PET-CT 机房各关注点泄漏辐射剂量率估算（CT 部分 X 射线影响）

工作场所	关注点位置描述	H_0	R	X	α	β	γ	透射因子 B	泄漏辐射剂量率
	单位	μGy/h	m	mm	/	/	/	/	μGy/h
SPECT-CT 机房	北墙	1.08×10^5	5.4	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	7.88×10^{-4}
	东墙	1.08×10^5	3.6	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	1.77×10^{-3}
	南墙	1.08×10^5	4.6	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	1.09×10^{-3}
	西墙	1.08×10^5	3.7	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	1.68×10^{-3}
	机房电动推拉门	1.08×10^5	4.1	4	2.009	3.990	0.3420	1.50×10^{-5}	9.64×10^{-2}
	操作室手动单开防护门	1.08×10^5	5.3	4	2.009	3.990	0.3420	1.50×10^{-5}	5.77×10^{-2}
	观察窗	1.08×10^5	3.9	4	2.009	3.990	0.3420	1.50×10^{-5}	0.11
	顶棚	1.08×10^5	6	5.6	2.009	3.990	0.3420	5.53×10^{-7}	1.66×10^{-3}
	地面	1.08×10^5	4.4	32.2	2.009	3.990	0.3420	3.28×10^{-30}	1.83×10^{-26}
PET-CT 机房	北墙	1.08×10^5	4.9	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	9.57×10^{-4}
	东墙	1.08×10^5	3.6	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	1.77×10^{-3}

	南墙	1.08×10^{5}	4.5	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	1.13×10^{-3}
	西墙	1.08×10^{5}	3.7	6.07	2.009	3.990	0.3420	2.13×10^{-7}	1.68×10^{-3}
	机房电动推拉门	1.08×10^{5}	3.9	7	2.009	3.990	0.3420	3.24×10^{-8}	2.30×10^{-4}
	操作室手动单开防护门	1.08×10^{5}	4.6	10	2.009	3.990	0.3420	7.70×10^{-11}	3.93×10^{-7}
	观察窗	1.08×10^{5}	3.7	10	2.009	3.990	0.3420	7.70×10^{-11}	6.08×10^{-7}
	顶棚	1.08×10^{5}	6	5.6	2.009	3.990	0.3420	5.53×10^{-7}	1.66×10^{-3}
	地面	1.08×10^{5}	4.4	32.2	2.009	3.990	0.3420	3.28×10^{-30}	1.83×10^{-26}

II 散射辐射剂量估算

关注点散射剂量率计算公式参考《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）P437。

$$H_S=\frac{H_0\times\alpha\times B\times(S/400)}{(d_0\times d_s)^2} \qquad (11\text{-}4)$$

式中：H_S—关注点处的患者散射剂量率，μGy/h；

H_0/d_0^2—焦点处的最大剂量率，μGy/h；

α—患者对 X 射线的散射比，取 0.0015（90°散射，相对于 400cm² 散射面积），取自《辐射防护手册第一分册》P437 表 10.1；

S—散射面积，取典型值 400cm²；

d_S—患者与关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子，按式 11-3 计算。

在仅考虑 CT 部分产生 X 射线影响时，SPECT-CT 及 PET-CT 机房各关注点的散射辐射剂量率估算结果如下：

表 11-9　SPECT-CT 及 PET-CT 机房各关注点散射辐射剂量率估算（CT 部分 X 射线影响）

工作场所	关注点位置描述	H_0	α	透射因子 B	S	d_S	散射辐射剂量率
	单位	μGy/h	/	/	cm²	m	μGy/h
SPECT-CT 机房	北墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	5.4	1.18×10^{-3}
	东墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	3.6	2.66×10^{-3}
	南墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	4.6	1.63×10^{-3}
	西墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	3.7	2.52×10^{-3}
	机房电动推拉门	1.08×10^{8}	0.0015	1.50×10^{-5}	400	4.1	0.15
	操作室手动单开防护门	1.08×10^{8}	0.0015	1.50×10^{-5}	400	5.3	8.65×10^{-2}
	观察窗	1.08×10^{8}	0.0015	1.50×10^{-5}	400	3.9	0.16
	顶棚	1.08×10^{8}	0.0015	5.53×10^{-7}	400	6	2.49×10^{-3}
	地面	1.08×10^{8}	0.0015	3.28×10^{-30}	400	4.4	2.75×10^{-26}
PET-CT 机房	北墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	4.9	1.44×10^{-3}
	东墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	3.6	2.66×10^{-3}

	南墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	4.5	1.70×10^{-3}
	西墙	1.08×10^{8}	0.0015	2.13×10^{-7}	400	3.7	2.52×10^{-3}
	机房电动推拉门	1.08×10^{8}	0.0015	3.24×10^{-8}	400	3.9	3.45×10^{-4}
	操作室手动单开防护门	1.08×10^{8}	0.0015	7.70×10^{-11}	400	4.6	5.90×10^{-7}
	观察窗	1.08×10^{8}	0.0015	7.70×10^{-11}	400	3.7	9.12×10^{-7}
	顶棚	1.08×10^{8}	0.0015	5.53×10^{-7}	400	6	2.49×10^{-3}
	地面	1.08×10^{8}	0.0015	3.28×10^{-30}	400	4.4	2.75×10^{-26}

III 泄漏+散射剂量率估算

在仅考虑 CT 部分产生 X 射线影响时，SPECT-CT 及 PET-CT 机房外各关注点的泄漏辐射与散射辐射剂量率叠加估算结果如下：

表 11-10　SPECT-CT 及 PET-CT 机房外各关注点辐射剂量率计算结果（CT 部分 X 射线影响）

工作场所	关注点位置描述	泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R
	单位	μGy/h	μGy/h	μGy/h
SPECT-CT 机房	北墙	7.88×10^{-4}	1.18×10^{-3}	1.97×10^{-3}
	东墙	1.77×10^{-3}	2.66×10^{-3}	4.43×10^{-3}
	南墙	1.09×10^{-3}	1.63×10^{-3}	2.71×10^{-3}
	西墙	1.68×10^{-3}	2.52×10^{-3}	4.20×10^{-3}
	机房电动推拉门	9.64×10^{-2}	0.15	0.24
	操作室手动单开防护门	5.77×10^{-2}	8.65×10^{-2}	0.14
	观察窗	0.11	0.16	0.27
	顶棚	1.66×10^{-3}	2.49×10^{-3}	4.15×10^{-3}
	地面	1.83×10^{-26}	2.75×10^{-26}	4.58×10^{-26}
PET-CT 机房	北墙	9.57×10^{-4}	1.44×10^{-3}	2.39×10^{-3}
	东墙	1.77×10^{-3}	2.66×10^{-3}	4.43×10^{-3}
	南墙	1.13×10^{-3}	1.70×10^{-3}	2.84×10^{-3}
	西墙	1.68×10^{-3}	2.52×10^{-3}	4.20×10^{-3}
	机房电动推拉门	2.30×10^{-4}	3.45×10^{-4}	5.75×10^{-4}
	操作室手动单开防护门	3.93×10^{-7}	5.90×10^{-7}	9.83×10^{-7}
	观察窗	6.08×10^{-7}	9.12×10^{-7}	1.52×10^{-6}
	顶棚	1.66×10^{-3}	2.49×10^{-3}	4.15×10^{-3}
	地面	1.83×10^{-26}	2.75×10^{-26}	4.58×10^{-26}

由上表可知，在仅考虑 CT 部分产生 X 射线影响时，变更后的 SPECT-CT 及 PET-CT 机房外各关注点的辐射剂量率均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

b. 仅考虑放射性核素影响时，SPECT-CT 机房（^{99m}Tc）和 PET-CT（^{18}F）机房外关注点辐射剂量率估算

SPECT-CT 机房和 PET-CT 机房各关注点位置见图 11-2。在仅考虑放射性核素影响时，变更后 SPECT-CT 机房（^{99m}Tc）和 PET-CT（^{18}F）机房外关注点辐射剂量率

估算结果见表 11-11。

表 11-11　　SPECT-CT 和 PET-CT 机房关注点的辐射剂量率估算（放射性核素影响部分）

工作场所	关注点	核素活度/MBq	距离/m	屏蔽材料	剂量率/μSv/h
SPECT-CT 机房	北墙	370	5.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	8.38×10^{-4}
	东墙	370	3.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	3.68×10^{-3}
	南墙	370	4.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	2.26×10^{-3}
	西墙	370	3.7	32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	4.87×10^{-3}
	机房电动推拉门	370	4.1	7.0mmPb	1.14×10^{-4}
	操作室手动单开防护门	370	5.3	10.0mmPb	6.82×10^{-5}
	观察窗	370	3.9	10.0mmPb	1.26×10^{-4}
	顶棚	370	6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	1.45×10^{-3}
	地面	370	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm 混凝土	2.70×10^{-8}
PET-CT 机房	北墙	925	4.9	32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	3.66×10^{-2}
	东墙	925	3.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	6.77×10^{-2}
	南墙	925	4.5	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	2.85×10^{-2}
	西墙	925	3.7	32mm$BaSO_4$防护砂浆+370mm 黏土实心砖	6.41×10^{-2}
	机房电动推拉门	925	3.9	4.0mmPb	0.85
	操作室手动单开防护门	925	4.6	4.0mmPb	0.40
	观察窗	925	3.7	4.0mmPb	0.62
	顶棚	925	6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	2.36×10^{-2}
	地面	925	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm 混凝土	3.29×10^{-5}

d. SPECT-CT 机房和 PET-CT 机房外关注点辐射剂量率的叠加影响分析

患者在注射了放射性药物后，在 SPECT-CT 和 PET-CT 机房扫描时应同时考虑放射性核素以及 CT 部分产生 X 射线共同产生的影响。变更后 SPECT-CT 机房和 PET-CT 机房外关注点辐射剂量的叠加影响估算结果见表 11-12。

表 11-12　　SPECT-CT 和 PET-CT 机房外关注点辐射剂量估算结果
（CT 部分 X 射线影响+放射性核素影响部分）

工作场所	关注点	剂量率/μSv/h	X 射线辐射剂量率/μGy/h③	总的辐射剂量当量率/μSv/h	剂量率控制值/μSv/h	是否符合
SPECT-CT 机房	北墙	8.38×10^{-4}	1.97×10^{-3}	2.81×10^{-3}	2.5	是
	东墙	3.68×10^{-3}	4.43×10^{-3}	8.11×10^{-3}	2.5①	是
	南墙	2.26×10^{-3}	2.71×10^{-3}	4.97×10^{-3}	2.5①	是
	西墙	4.87×10^{-3}	4.20×10^{-3}	9.07×10^{-3}	2.5	是
	机房电动推拉门	1.14×10^{-4}	0.24	0.24	2.5①	是
	操作室手动单开防护门	6.82×10^{-5}	0.14	0.14	2.5	是
	观察窗	1.26×10^{-4}	0.27	0.27	2.5	是
	顶棚	1.45×10^{-3}	4.15×10^{-3}	5.60×10^{-3}	2.5	是
	地面	2.70×10^{-8}	4.58×10^{-26}	2.70×10^{-8}	2.5	是
PET-CT 机房	北墙	3.66×10^{-2}	2.39×10^{-3}	3.89×10^{-2}	2.5①	是
	东墙	6.77×10^{-2}	4.43×10^{-3}	7.22×10^{-2}	2.5①	是
	南墙	2.85×10^{-2}	2.84×10^{-3}	3.14×10^{-2}	2.5	是
	西墙	6.41×10^{-2}	4.20×10^{-3}	6.83×10^{-2}	2.5	是
	机房电动推拉门	0.85	5.75×10^{-4}	0.85	2.5①	是
	操作室手动单开防护门	0.40	9.83×10^{-7}	0.40	2.5	是
	观察窗	0.62	1.52×10^{-6}	0.62	2.5	是
	顶棚	2.36×10^{-2}	4.15×10^{-3}	2.78×10^{-2}	2.5	是
	地面	3.29×10^{-5}	4.58×10^{-26}	3.29×10^{-5}	2.5	是

备注：① 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），SPECT-CT 机房的南墙、东墙、机房电动推拉门及 PET-CT 机房东墙、机房电动推拉门外为核医学科患者通道，PET-CT 机房北墙外为人员较少停留区域（医生通道），周围剂量当量率小于 10μSv/h。但 SPECT-CT 机房和 PET-CT 机房还应同时满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关要求，故本次从严按周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 执行。
② 检查时，SPECT、PET 开机；③ X 射线辐射剂量率采用表 3.1-13 中估算的数值

由上表可知，PET-CT 机房及 SPECT-CT 机房各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

⑤ 留观室

留观室主要用于观察注射了放射性药物 ^{18}F 且扫描完毕后的患者是否有其它异常反应。若每批注射间隔时间约 45min，每位患者扫描时间最长为 21min，每位患者留

观时间最长为 1h，因此留观室内同时最多有 2 名患者。各关注点位置见图 11-3，留观室各关注点的周围辐射剂量率估算结果见表 11-13。

表 11-13　　留观室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	核素活度/MBq①	距离/m	屏蔽材料	剂量率/μSv/h	剂量率控制水平/μSv/h
留观室	北墙外 30cm 处	740	1.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	2.14	2.5
	东墙外 30cm 处	740	4.6	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.26	2.5
	南墙外 30cm 处	740	2.8	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.46	2.5
	西墙外 30cm 处（患者走廊）	740	0.9	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	6.76	10②
	东侧防护门外 30cm 处	740	4.7	12mmPb 铅门	0.58	2.5
	西侧防护门外 30cm 处	740	1.9	12mmPb 铅门	3.57	10②
	楼上距地面 0.3m 处	740	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	4.73×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	740	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm 混凝土	6.59×10^{-5}	2.5
留观室卫生间	东墙外 30cm 处	370	1.1	32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	2.26	2.5
	南墙外 30cm 处	370	1.1	32mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm 实心砖	1.49	2.5
	楼上距地面 0.3m 处	370	6.0	32mm$BaSO_4$防护砂浆+250mm 混凝土	2.36×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	370	4.4	32mm$BaSO_4$防护砂浆+800mm 混凝土	3.29×10^{-5}	2.5

备注：① 本次保守考虑，进入留观室的 2 名患者处于同一位置；
② 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），留观室西墙、西侧防护门及北墙均为患者走廊，均为控制区内工作人员较少停留区域，周围剂量当量率小于 10μSv/h

由上表可知，留观室各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

⑵ 甲亢治疗辐射环境影响分析（^{131}I）

① 分装给药室

分装给药室主要包括 ^{131}I的储存、分装、质控及给药，主要环境影响是放射性核 ^{131}I 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。

a. 自动分碘仪屏蔽能力估算

本项目拟使用的放射性核^{131}I暂存于自动分碘仪（具备30mm铅当量防护能力）中，根据公式11-1，可以计算出手套箱表面、工作人员操作位置处剂量率，计算结果见表11-14。

表 11-14　　^{131}I 药物分装操作位以及自动分碘仪表面剂量率估算结果

序号	关注点	A（MBq）	距源 1m 处的周围剂量当量率常数（μSv·m^2/（h·MBq））	R（m）	X（mmPb）	剂量率（μSv/h）	剂量率控制水平（μSv/h）
1	自动分碘仪（^{131}I）非正对人员操作位外表面 30cm 处（储存、分装）	1110	0.0595	0.5	30	0.50	25
2	自动分碘仪（^{131}I）正对人员操作位外表面 30cm 处（储存、分装）	1110	0.0595	0.5	30	0.50	2.5

由上表可知，^{131}I 药物储存及分装过程中，自动分碘仪外表面 30cm 处周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准要求。理论估算结果表明，^{131}I 药物储存及分装配备的自动分碘仪具备较好的辐射屏蔽能力。

b. 各关注点剂量率估算

本项目拟使用的放射性核 ^{131}I 暂存于自动分碘仪（具备 30mm 铅当量防护能力）中，而患者服药过程通过语音指示自行利用一次性纸杯进行服药，^{131}I 处于裸源状态，此时分装给药室内的辐射影响最大，故分装给药室分装及储存过程本次不进行估算。甲亢患者服用的最大药量约为 370MBq，故当甲亢患者经窗口服药时，关注点的周围剂量当量率若能满足相应标准，则其他服药过程均能满足。各关注点位置见图 11-4，各关注点的周围剂量当量率计算结果见表 11-15。

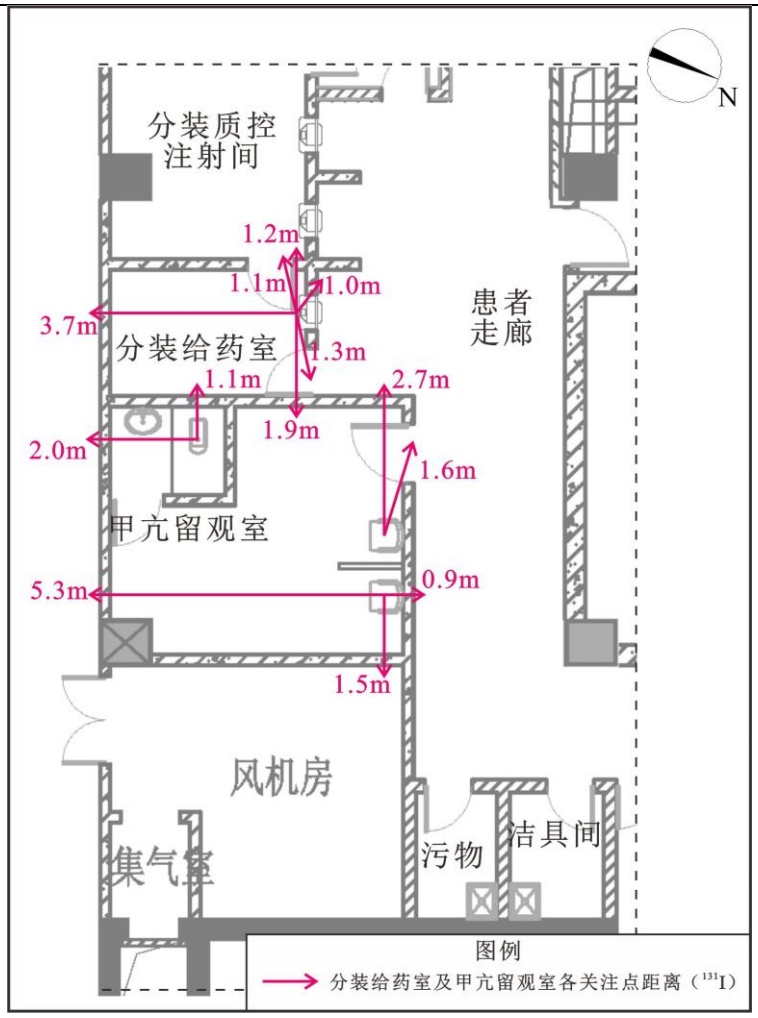

图 11-4　　分装给药室及甲亢留观室关注点位置示意图

表 11-15　　分装给药室关注点的周围剂量当量率估算结果

核素	关注点	核素活度/MBq	距离/m	屏蔽材料	剂量率/μSv/h	剂量率控制水平/μSv/h
^{131}I（给药）	北墙外30cm处（患者走廊）	370	1.0	46mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	1.73	10②
	东墙外30cm处	370	1.9	46mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	0.31	2.5
	南墙外30cm处	370	3.7	46mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	0.13	2.5
	西墙外30cm处	370	1.2	46mm$BaSO_4$防护砂浆+32mm$BaSO_4$防护砂浆+240mm实心砖	0.78	2.5
	西侧防护门外30cm处	370	1.1	12.0mmPb铅门	1.48	2.5
	北侧防护门外30cm	370	1.3	6.0mmPb铅门	3.71	10②

	处（患者走廊）					
	楼上距地面 0.3m 处	370	6.0	46mmBaSO$_4$防护砂浆+250mm 混凝土	1.11×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	370	4.4	46mmBaSO$_4$防护砂浆+800mm 混凝土	1.20×10^{-5}	2.5
备注：① 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），分装给药室的北墙外为患者走廊，为控制区内工作人员较少停留区域，周围剂量当量率小于 10μSv/h						

由上表可知，分装给药室各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

② 甲亢留观室

甲亢留观室主要用于观察患者服药后是否有其他异常反应，且同时最多有 2 名患者。各关注点位置见图 11-4，甲亢留观室各关注点的周围辐射剂量率估算结果见表 11-16。

表 11-16　　甲亢留观室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	核素活度/MBq①	距离/m	屏蔽材料	剂量率/μSv/h	剂量率控制水平/μSv/h
甲亢留观室	北墙外 30cm 处（患者走廊）	740	0.9	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	3.45	10②
	东墙外 30cm 处（风机房）	740	1.5	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	1.24	2.5
	南墙外 30cm 处	740	5.3	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	9.96×10^{-2}	2.5
	西墙外 30cm 处	740	2.7	32mmBaSO$_4$防护砂浆+32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.25	2.5
	北侧防护门外 30cm 处（患者走廊）	740	1.6	12mmPb 铅门	1.37	10②
	楼上距地面 0.3m 处	740	6.0	32mmBaSO$_4$防护砂浆+250mm 混凝土	2.63×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	740	4.4	32mmBaSO$_4$防护砂浆+800mm 混凝土	2.84×10^{-5}	2.5
甲亢留观室卫生间	南墙外 30cm 处	370	1.1	32mmBaSO$_4$防护砂浆+32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	0.75	2.5
	西墙外 30cm 处	370	2.0	32mmBaSO$_4$防护砂浆+240mm 实心砖	1.16	2.5
	楼上距地面 0.3m 处	370	6.0	32mmBaSO$_4$防护砂浆+250mm 混凝土	1.31×10^{-2}	2.5
	楼下距地面 1.7m 处	370	4.4	32mmBaSO$_4$防护砂浆+800mm 混凝土	1.42×10^{-5}	2.5
备注：① 本次保守考虑，进入甲亢留观室的 2 名患者处于同一位置；						

② 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），甲亢留观室北墙、北侧防护门均为患者走廊，为控制区内工作人员较少停留区域，周围剂量当量率小于 10μSv/h

由上表可知，甲亢留观室各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

⑶ ^{89}Sr 核素治疗区域辐射环境影响分析

根据《辐射防护导论》P133 页中韧致辐射计算公式：

$$D=4.58\times10^{-14}AZ(\mu_{en}/\rho)(\bar{E}_{\beta}/R) \quad (11\text{-}6)$$

式中：D——β 射线被第一层屏蔽层吸收后产生的韧致辐射，在离源 R（cm）处的空气中产生的吸收剂量率为（Gy/h）；

A——β 源活度（Bq），本项目 ^{89}Sr 为 1.48×10^{8}Bq；

Z——第一屏蔽层材料的原子序数，Z 值取普通玻璃的有效原子序数为 10.6；

$\bar{E}_{\beta}$——β 射线的平均能量（MeV），$\bar{E}_{\beta}\approx E_{\beta max}/3$，$^{89}Sr$ 为 0.19MeV；

μ_{en}/ρ——能量等于 $\bar{E}_{\beta}$ 的 γ 光子在空气中的质能吸收系数（cm^2/g），本项目对于 ^{89}Sr 为 0.00268cm^2/g。

根据《放射卫生学》（张仲候编）中 β 射线在空气中的射程可按式（11-7）计算：

$$D=\frac{1}{2\rho}E_{max} \quad (11\text{-}7)$$

式中：

D——射线射程，cm；

E_{max}——β 射线最大能量，MeV；

ρ——屏蔽材料密度，普通玻璃为 2.5g/cm^3。

该项目使用 ^{89}Sr 为直接购买已分装针剂（1.48×10^{8}Bq），由于该项目使用 ^{89}Sr 为液体，与 ^{89}Sr 直接接触物质为水、塑料、玻璃容器等低原子序数物质，低原子序数物质可以大大降低产生的韧致辐射，因此本项目 ^{89}Sr 盛放在玻璃容器使用过程中，0.5m 处吸收剂量率为 3.66×10^{-2}μGy/h。

^{89}Sr 衰变产生 γ 射线分支比较低，仅为 0.0095%，因此本次评价不考虑 γ 射线影响，^{89}Sr 主要污染因子为其衰变产生 β 射线。

根据式（11-7），^{89}Sr 产生 β 射线在塑料中的射程为 3.11mm。由于 β 射线较易屏蔽防护，^{89}Sr针剂外有专用防护套，注射时工作人员穿防护服，因此本次评价认为

^{89}Sr 产生 β 射线对周围环境和人员的辐射影响甚微。

⑷ ^{223}Ra 核素治疗区域辐射环境影响分析

^{223}Ra 属于均纯 α 射线，α 粒子的平均能量分别为 5.8713MeV，在内照射时具有极强的细胞毒性，对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用，而其短射程对正常组织影响较小（α 粒子在 43μm 的射程内将能量损失掉），穿透范围极短，不会伤害附近的健康组织和关键的骨髓，对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微。

3、年附加有效剂量估算

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测本项目投入运行后对职业人员和公众的辐射影响。γ 射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量计算公式如下：

$$H_\gamma=D_\gamma\times t\times 10^{-3}\times T\times U \qquad (11\text{-}6)$$

式中：H_γ—γ 射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量当量，mSv；

D_γ—人员停留位置处剂量率，μSv/h；

t—年工作时间，h；

T—居留因子；

U—使用因子。

⑴ 周围剂量当量率估算

根据上述分析，本次职业人员主要考虑 ^{18}F 药物分装、^{18}F、^{99m}Tc 药物注射及 SPECT-CT、PET-CT 操作人员。另外，^{131}I 使用自动分碘仪进行分装，患者自行至分装给药室服药，^{89}Sr 和 ^{223}Ra 药物对周围辐射环境影响小，故不考虑其对医护人员的辐射影响。职业人员的周围剂量当量率估算结果如表 11-17。

表 11-17　　职业人员周围剂量当量率估算结果

受影响人群分类		关注点	核素活度（MBq）	屏蔽措施	R（m）	估算结果（μSv/h）	
职业人员	药物 ^{18}F 的分装	分装质控注射间内手套箱（^{18}F）正对人员操作位外表面	370	50mmPb 手套箱	0.5	1.25	1.75
			2350	50mmPb 手套箱 +20mmPb 防护提盒	0.5	0.50	
	药物 ^{99m}Tc 注射	药物 ^{99m}Tc 由储源室内转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）	925	10mmPb ^{99m}Tc 注射器屏蔽套	0.3	3.11×10^{-8}	
		北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处	925	7mmPb 铅玻璃	0.5	1.12×10^{-5}	
	药物 ^{18}F 注射	药物 ^{18}F 由分装质控注射间内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）	370	20mmPb ^{18}F 注射器屏蔽套	0.3	36.7	

		北侧注射窗口（注射台）外30cm处	370	10mmPb铅玻璃	0.5	52.9
	SPECT-CT操作人员	操作人员摆位	925	0.5mmPb铅衣	0.5	24.2
		观察窗外30cm处	925	4mmPb铅玻璃	3.9	1.26×10^{-4}
	PET-CT操作人员	操作人员摆位	370	0.5mmPb铅衣	0.5	127
		观察窗外30cm处	370	10mmPb铅玻璃	3.7	0.62

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测本项目核医学科投入运行后对职业人员和公众的辐射影响。根据建设单位提供资料，利用公示（11-6），估算各关注点的年附加有效剂量，估算结果见表11-18。

表 11-18　本项目核医学科放射工作人员及公众年有效剂量估算结果

受影响人群分类		关注点		受照射剂量率（μGy/h）	居留因子	年工作时间（h）	年有效剂量（mSv）	
职业人员	药物 ^{18}F 的分装	高活室内手套箱（^{18}F）正对人员操作位外表面		1.75	1	每人每次分装、质控用时约 1min，每天约 6 人，全年共 25h	4.38×10^{-2}	0.57
	药物 ^{18}F 注射	药物 ^{18}F 由高活室内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）		36.7	1	每人每次用时约 20s，每天约 6 人，全年共 8.3h	0.30	
		北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处		52.9	1	每人每次用时约 10s，每天约 6 人，全年共 4.2h	0.22	
	药物 ^{99m}Tc 注射	药物 ^{99m}Tc 由高活室内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）		3.11×10^{-8}	1	每人每次用时约 20s，每天约 6 人，全年共 8.3h	2.58×10^{-10}	4.73×10^{-8}
		北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处		1.12×10^{-5}	1	每人每次用时约 10s，每天约 6 人，全年共 4.2h	4.71×10^{-8}	
	SPECT-CT 操作人员	操作人员摆位		24.2	1	每人每次摆位时间约 1min，每天约 6 人，全年共 25h	0.61	0.61
		观察窗外 30cm 处		1.26×10^{-4}	1	每人每次约 20min，每天约 6 人，全年共 500h	6.29×10^{-5}	
	PET-CT 操作人员	操作人员摆位		127	1	每人每次摆位时间约 1min，每天约 6 人，全年共 25h	3.18	3.49
		观察窗外 30cm 处		0.62	1	每人每次约 20min，每天约 6 人，全年共 500h	0.31	
公众	流动人群	核医学科楼下	分装质控注射间楼下距地面 1.7m 处（^{18}F，注射）	3.29×10^{-5}	1/40	每人每次用时约 10s，每天约 6 人，全年共 4.17h	3.43×10^{-9}	
			分装质控注射间楼下距地面 1.7m 处（^{99m}Tc，注射）	2.70×10^{-8}	1/40	每人每次用时约 10s，每天约 20 人，全年共 13.9h	9.39×10^{-12}	
			抢救室楼下距地面 1.7m 处（^{99m}Tc）	2.70×10^{-8}	1/20	进入抢救室内进行抢救用时最长约 1.5h，每天最多约 1 人，全年共 375h	5.06×10^{-10}	
			抢救室楼下距地面 1.7m 处（^{18}F）	3.29×10^{-5}	1/20	进入抢救室内进行抢救用时最长约 1.5h，每天最多约 1 人，全年共 375h	6.18×10^{-7}	
			SPECT-CT 注药候诊室楼下距地面 1.7m 处	1.08×10^{-7}	1/2	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 20 人，全年共 1750h	9.45×10^{-8}	

			SPECT-CT 注药候诊室卫生间楼下距地面 1.7m 处	2.70×10^{-8}	1/2	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 20 人，全年共 833.3h	1.13×10^{-8}
			PET-CT 注药候诊室楼下距地面 1.7m 处	6.59×10^{-5}	1/2	进入候诊用时最长约 45min，每天最多约 6 人，全年共 1125h	3.71×10^{-5}
			PET-CT 注药候诊室卫生间楼下距地面 1.7m 处	3.29×10^{-5}	1/2	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 6 人，全年共 250h	4.12×10^{-6}
			SPECT-CT 机房楼下距地面 1.7m 处	2.70×10^{-8}	1/2	进入 SPECT-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 20 人，全年共 1750h	2.36×10^{-8}
			PET-CT 机房楼下距地面 1.7m 处	3.29×10^{-5}	1/2	进入 PET-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 6 人，全年共 525h	8.65×10^{-6}
			留观室楼下距地面 1.7m 处（^{18}F）	6.59×10^{-5}	1/2	进入留观室内留观用时最长约 1h，每天最多约 6 人，全年共 1500h	4.94×10^{-5}
			留观室卫生间楼下距地面 1.7m 处（^{18}F）	3.29×10^{-5}	1/2	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 6 人，全年共 250h	4.12×10^{-6}
			分装给药室楼下距地面 1.7m 处（^{131}I，甲亢给药）	1.20×10^{-5}	1/40	每人每次用时约 10s，每天约 3 人，全年共 2.08h	6.24×10^{-10}
			甲亢留观室楼下距地面 1.7m 处（^{131}I）	2.84×10^{-5}	1/40	进入甲亢留观室内留观用时最长约 1h，每天最多约 3 人，全年共 750h	5.33×10^{-7}
			甲亢留观室卫生间楼下距地面 1.7m 处（^{131}I）	1.42×10^{-5}	1/40	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 1 人，全年共 41.7h	1.48×10^{-8}
		核医学科楼上	分装质控注射间楼上距地面 0.3m 处（^{18}F，注射）	2.36×10^{-2}	1/20	每人每次用时约 10s，每天约 6 人，全年共 4.17h	4.93×10^{-6}
			分装质控注射间楼上距地面 0.3m 处（^{99m}Tc，注射）	1.45×10^{-3}	1/20	每人每次用时约 10s，每天约 20 人，全年共 13.9h	1.01×10^{-6}
			抢救室楼上距地面 0.3m 处（^{99m}Tc）	1.45×10^{-3}	1/20	进入抢救室内进行抢救用时最长约 1.5h，每天最多约 1 人，全年共 375h	2.72×10^{-5}
			抢救室楼上距地面 0.3m 处（^{18}F）	2.36×10^{-2}	1/20	进入抢救室内进行抢救用时最长约 1.5h，每天最多约 1 人，全年共 375h	4.43×10^{-4}
			SPECT-CT 注药候诊室楼上距地面 0.3m 处	5.81×10^{-3}	1/2	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 20 人，全年共 1750h	5.08×10^{-3}
			SPECT-CT 注药候诊室卫生间楼上距地面 0.3m 处	1.45×10^{-3}	1/2	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 20 人，全年共 833.3h	6.05×10^{-4}

			PET-CT 注药候诊室楼上距地面 0.3m 处	4.73×10^{-2}	1/2	进入候诊用时最长约 45min，每天最多约 6 人，全年共 1125h	2.66×10^{-2}
			PET-CT 注药候诊室卫生间楼上距地面 0.3m 处	2.36×10^{-2}	1/2	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 6 人，全年共 250h	2.95×10^{-3}
			SPECT-CT 机房楼上距地面 0.3m 处	5.60×10^{-3}	1/2	进入 SPECT-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 20 人，全年共 1750h	4.90×10^{-3}
			PET-CT 机房楼上距地面 0.3m 处	2.78×10^{-2}	1/2	进入 PET-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 6 人，全年共 525h	7.29×10^{-3}
			留观室楼上距地面 0.3m 处（^{18}F）	4.73×10^{-2}	1/2	进入留观室内留观用时最长约 1h，每天最多约 6 人，全年共 1500h	3.54×10^{-2}
			留观室卫生间楼上距地面 0.3m 处（^{18}F）	2.36×10^{-2}	1/2	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 6 人，全年共 250h	2.95×10^{-3}
			分装给药室楼上距地面 0.3m 处（^{131}I，甲亢给药）	1.11×10^{-2}	1/2	每人每次用时约 10s，每天约 3 人，全年共 2.08h	1.15×10^{-5}
			甲亢留观室楼上距地面 0.3m 处（^{131}I）	2.63×10^{-2}	1/2	进入甲亢留观室内留观用时最长约 1h，每天最多约 3 人，全年共 750h	9.86×10^{-3}
			甲亢留观室卫生间楼上距地面 0.3m 处（^{131}I）	1.31×10^{-2}	1/2	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 1 人，全年共 41.7h	2.74×10^{-4}

根据表 11-18 可知，本项目正常运行期间，对工作人员所致年有效剂量最大为3.49mSv，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。由于放射性药物半衰期较短，药物活度不断降低，其产生辐射剂量率也不断降低，工作人员也可轮换作业，实际工作人员年有效剂量低于估算结果。

公众年附加有效剂量最大为 3.54×10^{-2}mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4、核医学科 β 表面污染影响分析

核医学科拟配备便携式表面污染监测设备，用于工作人员在离开辐射工作场所前，进行皮肤、手部等体表部位污染测定，确认未受放射污染，方可离开；操作台铺衬吸水纸，避免液态药物造成的污染。另外，辐射工作区的地面采用易清洗、不易渗透的 PVC 胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；加强对注射药物患者的管理，告知其可能产生的危害，从而避免对候诊等场所的污染。在采取以上措施后，工作场所表面污染水平可以控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表面污染控制水平之内。

5、核医学科废气影响分析

本项目核医学科拟采用机械通风，共设置 4 套排风系统。其中：

⑴ 检测登记室、开包室、废物间、储源室、分装质控注射间、分装给药室、运动能力检测室共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科北侧的排风井通往门诊楼主楼楼顶。各区域均设置有止回阀，以保持各区域的负压和各区域之间的压差；

⑵ 淋浴、一更、二更、缓冲 2、抢救室、甲亢留观室及卫生间、污物间、洁具间、PET-CT 注药候诊室及卫生间、SPECT-CT 注药候诊室及卫生间、留观室及卫生间共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科东侧的竖向排风管至门诊楼五层楼顶。各区域均设置有止回阀，以保持各区域的负压和各区域之间的压差，且淋浴、一更、二更、缓冲 2 均为该管路气流的上游；

⑶ SPECT-CT 机房、PET-CT 机房共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从核医学科东侧的排风井通往门诊楼楼顶；

⑷ 分装质控注射间内的手套箱、分装给药室内的自动分碘仪单独设置一套排风系统，在立管上安装电动风阀与手套箱联动，管道经患者走廊，至核医学科北侧的排风井通往门诊楼楼顶，手套箱、自动分碘仪的排气口均设有活性炭过滤器。

综上，本项目核医学科各工作场所放射性废气处理均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求，对周围人群和环境影响较小。

6、核医学科放射性废水影响分析

本项目核医学科放射性废水主要来源于诊断过程中患者注射 ^{18}F、注射 ^{99m}Tc 后、甲亢患者服药后所产生的排泄物冲洗废水及废水，工作人员操作 ^{18}F、^{99m}Tc 药物过程中产生的洗手、清洗工作台面及地面清洁废水等。另外，项目进行甲功测定（^{131}I）及转移性骨肿瘤诊疗（^{89}Sr、^{223}Ra）的患者在服药后可直接离开核医学科；^{131}I（甲亢）药物分装采用自动分碘仪，无需工作人员的参与，故上述过程均无放射性废水产生。

本次拟在门诊楼地下二层北侧设置衰变间，衰变间内共有 2 套放射性废水处理设施，其中 1 套为长半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成；1 套为短半衰期放射性废水处理设施，由 1 个 5m^3 沉淀池、2 个 10m^3 的衰变池组成。

根据前文分析，本次放射性废水（^{131}I）产生量约 0.053m^3/d，放射性废水（^{18}F 或 ^{99m}Tc）产生量约 0.399m^3/d。

⑴ 长半衰期放射性废水（^{131}I）

本次患者服药期间，放射性废水均集中在每周一至周五排放，周六日不产生放射性废水，则衰变池（长半衰期）的 1#、2#衰变池注满均需要约 264 天。由此计算，当 2#衰变池注满时，1#衰变池最后一天的污水已暂存 264 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“槽式衰变池含碘-131 核素的废水应暂存超过 180 天”的要求及处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的预处理标准（即总 β 放射性＜10Bq/L）后，经管道至地下二层东侧的集水坑收集后再排放至医院污水处理站，不会对周边环境造成影响。

⑵ 短半衰期放射性废水（^{18}F 或 ^{99m}Tc）

本次患者药物注射及诊断期间，放射性废水均集中在每周一至周五排放，周六日不产生放射性废水，则衰变池（短半衰期）的 1#、2#衰变池注满均需要约 35 天。

由此计算，当2#衰变池注满时，1#衰变池最后一天的污水已暂存35天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求及处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的预处理标准（即总β放射性＜10Bq/L）后，经管道收集至地下二层东侧的集水坑收集后再排放至医院污水处理站，不会对周边环境造成影响。

⑶ 根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）相关规定，本评价要求：

① 衰变池排放口应设置排放口标志，并预留采样口；

② 衰变池排放口设置自动采样监测设备，在衰变池槽体排水前应核实是否满足排放要求；

③ 沉淀池内安装铰刀泵，当含有固态物质的放射性废水进入沉淀池后，经铰刀泵处理，可有效将固态物质打碎，避免出现沉积物，无需进行人工清掏；

④ 排水管采用大功率无堵塞排污泵，一备一用；

⑤ 设备、池体检修前需要开启排风设施。

7、核医学科放射性固体废物影响分析

⑴ 放射性固体废物

涉及 ^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra 的放射性固体废物需分开存放，其中涉及 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的放射性固体废物需暂存超过30天，涉及 ^{89}Sr、^{223}Ra 的放射性固体废物需暂存超过核素最长半衰期的10倍，涉及 ^{131}I 的放射性固体废物需暂存超过180天，所有放射性固体废物均经检测合格后（即经监测辐射剂量率满足所处地区环境本底水平，β表面污染小于 $0.8Bq/cm^2$），作为医疗废物进行处置。

⑵ 废活性炭

本项目活性炭过滤装置更换下来的废活性炭（含放射性核素）采用专用废物袋密封后转移至废物间，经相应的暂存天数后，废物管理人员经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求，经检测合格（即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 $0.8Bq/cm^2$）后作为一般固体废物处置。

综上所述，项目产生的放射性固体废物均能得到妥善处置，不会对环境造成放

射性污染。

三、事故影响分析

1、放射性药物造成的事故分析

⑴ 可能发生的事故类型

本项目使用的非密封放射性物质为 ^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{223}Ra，患者在核医学科的驻留时间段，在正常营运情况下对公众和周围环境是安全的。但是如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

① 放射性药物的意外泄漏

给患者注射时操作不当，将药物滴洒在台面、地面或其他地方，将造成 β 表面污染。

② 对放射性药物管理不善，造成放射性药物丢失或被盗；

③ 对注射放射性药物的患者管理不善，患者任意走动、离开注射后候诊区等情况，患者体内放射性药物或排泄物、呕吐物等发出射线产生外照射对周围人员会产生一定的辐射影响；

④ 对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；

⑤ 人员误入核医学科工作场所。

⑵ 应急情况类型

① 放射性同位素或放射性药品丢失；

② 少量放射性同位素溢出；

③ 溢出大量的放射性同位素。

⑶ 辐射事故环境影响分析

① 放射性药品丢失、被盗事故

本次选用核医学科使用量较大，且射线能量较大的 ^{18}F 药物进行理论估算，分析药品丢失情况下对人员所造成的辐射影响程度。假定已存放有药物的铅罐丢失，^{18}F 药物活度为 3040MBq（厂家运送的最大药量），依据 γ 放射源点源裸源计算公式，可计算一定持续时间、距离处个人照射剂量，理论估算结果见表 11-19。

表 11-19　^{18}F 药物丢失情况一定时间、距离处个人有效剂量

距源的距离（m）	事故持续时间药物产生的γ射线所致人员外照射剂量（mSv）		
	20min	30min	120min
0.3	1.61	2.42	9.66
0.5	0.58	0.87	3.48
1	0.15	0.22	0.87
备注：本次估算保守不考虑 ^{18}F 的衰变情况			

由表 11-19 计算结果可知，事故持续时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。

本项目拟购 ^{18}F 贮存在核医学科分装质控注射间的手套箱内，^{99m}Tc、^{89}Sr、^{223}Ra 贮存在核医学科储源室，^{131}I（甲亢）贮存在核医学科分装给药室的自动分碘仪内。为了防止放射性药品贮存期间发生丢失、被盗事故，医院拟采取如下防范措施：

a. 放射性药品贮存场所均位于核医学科控制区内，在核医学科患者通道入口、出口处设计单向门禁系统，限制无关人员进入此区域；

b. 在分装质控注射间、分装给药室以及主要通道处设计安装视频监控系统，由医院保卫部门进行全天监控；

c. 对放射性药品贮存场所设置门锁，采用双人双锁进行管理；

d. 建立放射性药品台账制度，实现专人管理，明确放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录；

e. 建立台账、使用登记制度，对每次使用的放射性药品进行登记、定期进行盘点。应急措施：当发生放射性药品被盗事故，事故发现者应立即上报医院辐射事故应急领导机构。接到报告后，医院应立即启动辐射事故应急预案。同时，保护事故现场，防止无关人员进入现场，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，并向当地生态环境主管部门和公安部门报告，协助公安对被盗的放射性药品进行侦察和追缴。

② 放射性药品洒漏事故

工作人员在分装、注射过程中，由于工作人员未按操作规程要求或操作失误，可能导致盛装放射性药物的试剂瓶被打翻或者破碎，进而导致放射性药物撒漏在工作台面以及地上。对于本项目发生放射性药品洒漏事故时辐射影响，以放射性核素 ^{18}F 为例进行理论估算，注射过程中放射性药物活度最大为 $3.70\times10^{8}Bq$，放射性药物

全部洒漏在工作台面上，则根据 γ 放射源裸源计算公式，则工作人员所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-20 所示。

表 11-20　　^{18}F 药物洒漏情况一定时间、距离处个人有效剂量

距源的距离（m）	事故持续时间药物产生的γ射线所致人员外照射剂量（mSv）				
	1s	2s	3s	5s	10s
0.3	1.63×10^{-4}	3.27×10^{-4}	4.90×10^{-4}	8.17×10^{-4}	1.63×10^{-3}
0.5	5.88×10^{-5}	1.18×10^{-4}	1.76×10^{-4}	2.94×10^{-4}	5.88×10^{-4}
1	1.47×10^{-5}	2.94×10^{-5}	4.41×10^{-5}	7.35×10^{-5}	1.47×10^{-4}
2	3.67×10^{-6}	7.35×10^{-6}	1.10×10^{-5}	1.84×10^{-5}	3.67×10^{-5}
5	5.88×10^{-7}	1.18×10^{-6}	1.76×10^{-6}	2.94×10^{-6}	5.88×10^{-6}

根据表 11-20 中可以看出，假如 ^{18}F 药物发生洒漏事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。对事故洒漏场地进行清污的人员，应加强个人防护措施，减少接触时间和尽量增加操作距离，以减少辐射影响。

防范措施：核医学科分装、注射或给药工作人员应严格按照操作规程操作，穿戴个人防护用品（铅衣、铅手套等），增强操作熟练程度，减少操作时间，以减少辐射影响。

应急措施：若发生非密封放射性物质洒漏事故，应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用酒精药棉或纸巾进行擦抹，以防止污染扩散。吸附、擦拭物质作为放射性固体废物，放入带有屏蔽功能的放射性废物桶内。并对污染区域进行表面污染监测，β 表面污染大于 0.8Bq/cm^2，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，直到污染区表面污染小于 0.8Bq/cm^2。

⑷ 射线装置造成的事故分析

① 事故风险分析

本项目使用 SPECT-CT 和 PET-CT，属于III类射线装置，发生辐射事故的概率较小，但仍应进行考虑。主要辐射事故体现在以下方面：

a. 在射线装置工作状态下，安全联锁失效，人员误入机房产生误照射；

b. 在射线装置工作状态下，安全联锁失效，防护门未完全关闭，对经过或停留的人员产生误照射。

② 事故情况下剂量分析

由于使用 PET-CT 时，患者体内已注射 ^{18}F 药物，^{18}F 的射线能量较大，故本次评价假设 PET-CT 发生安全联锁失效，公众误入机房，在无任何屏蔽措施的情况时，受

到的辐射影响。

本次估算主要考虑 PET-CT 中 CT 部分的 X 射线照射及患者注射 ^{18}F 药物后产生的 γ 射线的叠加影响。根据估算，公众所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-21 所示。

表 11-21　　PET-CT 设备事故情况一定时间、距离处个人有效剂量

距 PET-CT 设备的距离（m）	CT 产生的 X 射线所致人员外照射剂量（mSv）				
	1s	2s	**3s**	5s	10s
0.5	0.721	1.442	2.163	3.605	7.210
1	**0.180**	0.361	0.541	0.901	1.803
2	0.045	0.090	**0.135**	0.225	0.451

根据表 11-21 中可以看出，本项目 PET-CT 使用时，假如发生公众误入机房的事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。事故持续时间 1s 时，距离 PET-CT 设备 1m 处辐射剂量为 0.180mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv。因此，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用手术室。

③ 风险防范措施与事故应急处理措施

对于射线装置可能发生的意外照射事故，关键在于预防，主要采取以下防范措施：

a. 机房防护门处设置规范的电离辐射警告标志及中文说明，安装工作状态指示灯；

b. 定期巡查机房防护门工作状态指示灯及安全联锁有效性；

c. 规范医院诊断工作秩序，严格执行放射诊断操作规程和辐射安全管理制度；

d. 定期检查安全制度落实情况，发现问题及时处理，消除隐患前不得继续使用；

e. 定期组织开展辐射事故应急演练，当发生辐射事故时及时响应，将辐射事故影响降到最小。为避免辐射事故的发生，要求工作人员每次上班时首先要检查个人防护设施、监控系统和报警系统是否正常。如果发生故障失灵，应立即修理，严格按照各设备操作程序进行操作作业，按照相关规定要求，完善和加强管理，使放射性同位素和射线装置始终处于监控状态。

表 12 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全与环境保护管理机构

根据《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日）第十六条“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（一）使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”等有关法律法规及国家标准的要求，为了加强放射性同位素和射线装置的安全和防护的监督管理，促进放射性同位素和射线装置的安全应用，正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产，该单位应成立相应的辐射安全与环境保护管理机构。

安康市中心医院已成立辐射安全与放射卫生管理委员会。近期进行了人员调整，并下发有相应的通知，即《安康市中心医院关于调整辐射安全与放射卫生管理委员会的通知》（安医发〔2024〕81 号，见附件）。管理委员会下设应急处理组、技术专家组、放射防护组及培训考核组。委员会办公室负责委员会日常工作。办公室设在医务科，办公室主任由医务科科长兼任，副主任由设备科科长兼任。医务科、设备科均有专人负责此项工作。本项目依托现有辐射安全与环境保护管理机构。

主要职责如下：

⑴ 领导全院贯彻落实相关法律、法规、规范、标准，确保医院射线装置运行安全稳定，放射源、放射性废物得到安全贮存处置，辐射环境质量控制在国家标准内，相关人员依法依规开展工作，规范防护保障职业健康。

⑵ 审定医院辐射安全与放射卫生管理规章制度、管理办法、应急预案、工作流程、考核标准、奖惩措施等，并监督执行。

⑶ 审定医院辐射安全与放射卫生管理中长期规划、年度工作计划、总结。

⑷ 监督相关责任科室针对环境保护部门、卫生部门或其他有关部门开展检查以

及院内自查发现问题的整改落实。

⑸ 指导辐射安全事件应急事件处置。

⑹ 医院医疗质量与安全管理委员会交办的其它工作。

本项目建成后依托现有辐射安全与环境保护管理机构，并适时完善，将本项目纳入现有辐射安全与环境保护管理机构。

2、人员配备与职能

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，“从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核”。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的职业人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗”。

本项目核医学科拟配置工作人员7人，其中2名为新增辐射工作人员，其余5名为现有辐射工作人员调配，参与本项目的辐射工作人员不参与其他设备使用。本次调配的现有辐射工作人员分别为杨勇、曾上、唐国强、刘志伟、刘莉，均已取得辐射安全培训合格证书，具体情况见表12-1。

表 12-1　拟调配辐射工作人员培训及体检情况统计表

序号	姓名	培训管理号	签发日期	最近一次体检日期	体检结果
1	杨勇	2025057193	2025.04.07	2024 年 12 月	无疑似放射病与职业禁忌症
2	曾上	2025056916	2025.04.08	2024 年 12 月	无疑似放射病与职业禁忌症
3	唐国强	2025057257	2025.05.09	2024 年 12 月	无疑似放射病与职业禁忌症
4	刘志伟	2025057214	2025.05.08	2024 年 12 月	无疑似放射病与职业禁忌症
5	刘莉	2025057281	2025.04.11	2024 年 12 月	无疑似放射病与职业禁忌症

对于新增的辐射工作人员，医院应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部 公告2019年第57号，2019年12月23日），本项目辐射工作人员需经培训并取得培训合格证书方可上岗；对于现有辐射工作人员，培训合格证书若过期，应及时进行人员再培训。

二、辐射安全管理规章制度

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全防护条例》、《陕西省放射性污染防治条例》、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》，安康市中心医院已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，辐射安全管理内容实际建设情况详见表 12-2。

表 12-2　　辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无	现有制度
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作	有	已成立辐射安全与放射卫生管理委员会
		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容	有	/
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责	有	《放射卫生暨辐射安全管理员岗位职责》
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障	有	/
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	有	《放射人员培训制度》
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告	有	/
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	有	《放射卫生暨辐射安全管理员岗位职责》《放射防护管理制度》《放射性同位素与射线装置放射防护管理制度》
		建立辐射环境安全管理档案	有	《职业健康检查档案管理规章制度》《放射工作人员个人剂量检测制度》
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录	有	《核医学科安全管理巡查制度》《放射工作场所监测计划与管理制度》
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常	有	《放射工作人员职业健康监护制度》《职业健康检查工作程序》《职业健康检查结果的告知程序及报告程序》《职业健康检查质量保证管理制度》
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	有	《放射人员培训制度》

		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	有	《放射卫生暨辐射安全管理员岗位职责》
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理	有	《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》
机构建设		设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人	有	《安康市中心医院关于调整辐射安全与放射卫生管理委员会的通知》（安医发〔2024〕81号）
制度建立与执行		建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	有	《全国核技术利用辐射安全中报系统运行管理制度》
		建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	有	《放射防护管理制度》《放射性同位素与射线装置放射防护管理制度》《放射性药品订购、领取、保管、使用制度》《放射性药品管理制度》
		建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	有	《放射卫生暨辐射安全管理员岗位职责》《核医学科高活性室操作规程》等
		建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案	有	《放射人员培训制度》
		建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性	有	《放射工作人员个人剂量检测制度》
		建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性	有	《职业健康检查档案管理规章制度》《放射工作人员职业健康监护制度》《职业健康检查工作程序》《职业健康检查结果的告知程序及报告程序》《职业健康检查质量保证管理制度》
		建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	有	《放射诊疗设备维护检修制度》
		建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	有	《放射工作场所监测计划与管理制度》

	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	有	《监测仪表使用与校准制度》
应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	有	《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》
	应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	有	

综上，将本项目建设内容纳入现有辐射安全管理规章制度，但建设单位需要结合本项目实际情况对现有辐射安全管理规章制度予以完善，具体如下：

⑴ 完善《放射工作场所监测计划与管理制度》《放射工作人员个人剂量检测制度》《放射卫生暨辐射安全管理员岗位职责》，将本项目新增场所及人员纳入管理，并补充本次新增人员岗位职责；

⑵ 完善《放射诊疗工作场所辐射安全防护巡查和维护制度》《放射诊疗设备维护检修制度》《放射防护管理制度》《放射性同位素与射线装置放射防护管理制度》《放射性药品订购、领取、保管、使用制度》《放射性药品管理制度》《核医学科放射性废物处理》《核医学科安全管理巡查制度》《核医学科高活性室操作规程》等；

⑶ 完善《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》，将本项目涉及的放射性核素及射线装置的辐射安全事故及应急响应措施等进行补充；

⑷ 将本项目新增的辐射工作人员个人剂量管理、职业健康管理、培训管理，新增射线装置的维护、维修管理，新增监测仪器的使用、检定管理等纳入管理制度中。

三、辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量、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。”

本次依托现有 X、γ 剂量率测量仪 1 台，新增 1 台固定式表面污染监测仪、2 台便携式表面污染监测仪；现有辐射工作人员均已配备个人剂量计和个人剂量报警仪，为新增的 2 名辐射工作人员配备个人剂量计及个人剂量报警仪。

2、监测方案

⑴ 监测内容：X-γ辐射剂量率、β表面沾污及衰变池废水总β放射性；

⑵ 监测布点及数据管理：监测布点应参照环评监测布点、验收监测布点，监测数据应记录完善，建立好监测数据台账以便核查。

本项目监测计划见表 12-3。

表 12-3　　监测计划一览表

监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
防护性能检测	检测登记室，开包室，通过间，储源室，分装质控注射间，分装给药室，运动能力检测室，抢救室，甲亢留观室，患者走廊，PET-CT 注药候诊室，SPECT-CT 注药候诊室，留观室，放射性废物桶表面	X、γ辐射剂量率、表面污染	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
	控制室操作位置，防护门及观察窗表面，四周屏蔽墙体表面及核医学科控制区楼下距地面 1.7m，楼上距地面 1m，控制区墙体外 30cm 处	X、γ辐射剂量率	
	机房躺床表面，注射工作台及地面，手套箱表面，自动分碘仪表面，甲亢留观室座椅、地面及卫生间，PET-CT 注药候诊室座椅、地面及卫生间，SPECT-CT 注药候诊室座椅、地面及卫生间，留观室座椅、地面及卫生间等	表面污染	
放射性固体废物	放射性废物袋表面	X、γ辐射剂量率、表面污染	每次解控前需监测一次
放射性废水	衰变间（短半衰期、长半衰期）	总α、总β	每年自测 1～2 次，委托有资质单位每年一次

四、环境保护投资与环保验收要求

1、环境保护投资

本项目总计投资 3000 万元，其中环保投资 115 万元，占总投资的 3.83%，具体见环保投资一览表 12-4。

表 12-4　　环保投资一览表

实施阶段	类别	污染源或污染物	污染防治措施或设施	费用（万元）
运营期	废气	放射性废气	排风系统，设活性炭过滤器	20.0
	废水	清洗废水、患者排泄物等	建设衰变间 1 间，其中长半衰期和短半衰期的废水分开贮存	30.0
	固体废物	废注射器、废手套、废活性炭等	建设有废物间，放射性废物解控后按医疗废物处理，废活性炭作为一般固体废物处置	20.0
	防护用品、监测仪器、警告标		/	20.0

	志、电离辐射标识、警示装置等		
	人员培训、制度上墙	/	5.0
环境监测	/		20.0
总环保投资（万元）			115.0

2、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），本项目竣工后，建设单位应按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，及时对本项目配套建设的环境保护设施进行自主验收。

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-5。

表 12-5　项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	项目	内容	验收效果和环境预期目标	备注
1	辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构	安康市中心医院已成立专门的辐射防护管理小组，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确辐射防护管理小组的主要职责。	依托现有辐射防护管理小组，并将核医学相关人员和内容纳入
2	辐射安全防护措施	安全措施	各工作场所设置分区标识，地面设置行走路径标识。各工作场所出入口设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；SPECT-CT 机房及 PET-CT 机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱设“射线有害、灯亮误入”警示语句；防护门拟设置自动闭门装置	新增
3	人员配备	辐射防护与安全培训	辐射工作人员应参加辐射安全与防护培训，取得培训合格证书	拟配备的工作人员其中有 2 名为新增，5 名为现有工作人员
		个人剂量检测	辐射工作人员个人剂量计定期委托有资质单位进行监测，并建立个人剂量档案	将本次新增的 2 名辐射工作人员纳入管理
		职业健康管理	辐射工作人员定期进行体检，并建立职业健康档案	将本次新增的 2 名辐射工作人员纳入管理
4	防护用品、监测仪器	个人剂量计	有与工作人员数量匹配的个人剂量计	将本次新增的 2 名辐射工作人员纳入管理
		个人防护用品	为本项目工作人员配备铅防护服、铅帽、铅围脖等	新增
		放射性废气	放射工作场所安装通风装置，核医学科有独立排风系统，排风口设置在所在建筑物顶部；分装质控注射间内的手套箱、分装给药室内的自动分碘仪有独立排风系统并配置过滤装置，排风口设置在所在建筑物顶部，具体详见章节表 10 中的“二、三废的治理”	新建
		放射性废水	配套建设衰变间，设置有取水口	新建
		放射性固体废物	在开包室、废物间、储源室、分装质控注射间、分装给药室、甲亢留观室、PET-CT 注药候诊室、SPECT-CT 注药候诊室、留观室等内配置带铅防护垃圾桶，垃圾桶外张贴电离辐射标识。注射及口服药物患者设置专用卫生间。放射性固体废物分类收集存放于废物间，废物包	新建

			装体外注明核素、收集时间、处理时间等相关信息。解控后的废活性炭作为一般固体废物处理，建立放射性废物管理台账	
		铅屏风	甲亢留观室、PET-CT 注药候诊室、SPECT-CT 注药候诊室、留观室拟设置铅屏风	新增
		辐射环境监测仪器	依托现有 X、γ 剂量率测量仪 1 台，新增 1 台表面污染监测仪，并定期检定，建立监测数据档案	依托、新增
5	监测限值要求	个人剂量监测	工作人员年有效剂量低于年剂量管理限值 5mSv，公众年有效剂量低于年管理限值 0.1mSv	/
		工作场所剂量率控制水平、表面污染控制水平	工作场所的剂量率控制水平及放射性表面污染控制水平监测点位布置见表 12-2，且各监测点位的监测结果满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中的工作场所的防护水平要求	/
6	辐射环境管理	健全辐射环境管理制度，并认真贯彻执行	根据环评报告要求，按照项目的实际情况，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对本次使用的放射性核素和射线装置使用过程可能存在的风险，完善应急预案，落实必要的应急物资，定期进行辐射事故应急演练。	完善《放射工作场所监测计划与管理制度》《放射工作人员个人剂量检测制度》和《放射卫生暨辐射安全管理员岗位职责》《放射诊疗工作场所辐射安全防护巡查和维护制度》《放射诊疗设备维护检修制度》《放射防护管理制度》《放射性同位素与射线装置放射防护管理制度》《放射性药品订购、领取、保管、使用制度》《放射性药品管理制度》《核医学科放射性废物处理》《核医学科安全管理巡查制度》《核医学科高活性室操作规程》《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》等，其余制度依托现有
7	辐射安全管理标准化	辐射工作场所按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》进行标准化建设		

五、辐射事故应急

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强放射性同位素和射线装置安全管理工作，保障辐射相关工作人员和公众人员的健康安全，使环境受到辐射污染程度控制在标准允许范围之内。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）及其其它相关法律、法规的规定和管理部门要求，该单位已编制《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》。

应急预案主要包括下列内容：

⑴ 可能发生的辐射事故及危害程度分析；

⑵ 应急组织指挥体系和职责分工；

⑶ 应急人员培训和应急物资准备；

⑷ 辐射事故应急响应措施；

⑸ 辐射事故报告和处理程序。

安康市中心医院已制定了《安康市中心医院突发辐射环境事件应急预案》，建设单位应将本项目建设内容纳入现有管理体系中，完善应急预案。

综上，医院现行应急预案符合相关法律、法规的规定和管理部门要求。对突发辐射事故，该单位需坚持以预防为主，常备不懈的方针，建立和加强相应的监测、应急制度，做到及时发现、及时报告、快速反应、及时控制。同时应具备应急反应机制和应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。应从经费、物资、人员和技术人员方面做好准备工作，定期进行培训以备应急时之需要。在辐射事故应急预案的实施中，根据新的相关法律法规内容，结合检查工作的实际情况对应急预案进行修订，使之更能符合辐射实际需要。

目前安康市中心医院未曾发生过辐射事故，为预防辐射事故的发生，医院会定期根据应急预案进行演练。

表 13 结论与建议

一、结论

1、项目概况

安康市中心医院拟在门诊楼地下一层设置核医学科，建设过程中由于核医学科就诊人次上限下调、建设场地限制等原因，对核医学科的建设内容进行了调整，具体如下：

① 取消 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器的使用，^{99m}Tc 药物采用厂家购买成品针剂的方式，不再进行 ^{99m}Tc 的淋洗制备；对于甲状腺功能测定的患者使用成品 ^{131}I（胶囊式）；

② 将拟使用 PET-CT 显像的患者人数按照安康地区近年预计的患者人数进行了核减，减少了放射性核素的使用量及放射性废物的产生量；

③ 调整了核医学科部分布局，将核医学科 PET-CT 机房及 SPECT-CT 机房交换位置，将原 PET-CT 注药候诊室 1 变更为甲亢留观室，甲亢患者在服药后至甲亢留观室进行留观；在原控制室增设缓冲区，医护人员进出时使用；原分装质控室变更为通过间，原锝淋洗室变更为检测登记室，原注射室变更为分装质控注射间，原卫生通过间变更为运动能力检测室，原运动能力检测及抢救室变更为抢救室；

④ 对衰变池数量、位置及容积进行了重新设计，放射性废水收集管道路径随之变动。

安康市中心医院为此编制了《安康市中心医院门诊楼核医学科和后装机及射线装置核技术利用项目变动分析报告》，经评估后，陕西省生态环境厅出具了《陕西省生态环境厅关于安康市中心医院核技术利用项目变动认定的复函》（见附件），判定本次变动为重大变动，需重新进行环境影响评价。本次仅对变动部分进行评价。

项目建成后可提高医院对疾病的诊断能力，更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的体检需要，项目在采取相应的防护屏蔽措施、管理措施后，对周边环境辐射影响较小，项目建设所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

项目建设地点与周边建筑相互独立，门诊楼距离临近道路较近，但核医学科位于地下一层，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素，选址和平面布置基本合理。

项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

2、辐射环境影响分析

经估算分析可知：

⑴ 核医学科正常运行期间，各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求；

⑵ 在采取了本评价所提屏蔽措施的前提下，采取操作台面铺衬吸水纸、加强人员培训和患者的管理，可以有效避免对工作场所的表面污染。项目开展后，工作场所表面污染水平可以控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表面污染控制水平之内；

⑶ 本项目正常运行期间，对工作人员所致年有效剂量最大为 3.49mSv，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。由于放射性药物半衰期较短，药物活度不断降低，其产生辐射剂量率也不断降低，工作人员也可轮换作业，实际工作人员年有效剂量低于估算结果。

⑷ 公众年附加有效剂量最大为 3.54×10^{-2}mSv/a，均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

3、辐射安全管理

本项目依托医院现有的辐射安全防护管理机构，并已明确相关成员职责；将本项目建设内容纳入现有管理体系中，完善应急预案，用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作，医院应根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射安全和防护制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，使其具有更强的针对性和可操作。

4、项目可行性分析结论

项目在落实本报告提出的各项污染防治措施、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运行期对周围环境的辐射影响可达到合理且尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致放射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限制要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

二、建议和要求

1、项目竣工后建设单位应按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，医院应及时申领辐射安全许可证，并及时开展竣工环境保护验收工作。

2、项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年对放射性同位素和射线装置应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证颁发部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

3、定期对放射工作人员进行个人剂量检测和健康体检，对个人剂量检测报告、体检报告中出现问题、异常数据及时查明原因，采取有效措施妥善处理，并留档备查。

4、严格按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表》要求落实相关内容，不断完善辐射事故应急预案，加强日常演练，做到有备无患。

表 14 审批

预审意见：   经办人：　　单位公章 年　月　日
下一级环境保护行政主管部门审查意见：   经办人：　　单位公章 年　月　日