

表 1 项目基本情况

建设项目名称		榆林市星元医院核医学科及后装机核技术利用项目			
建设单位		榆林市星元医院			
法人代表	王建睿	联系人	██████	联系电话	██████
注册地址		榆林市榆阳区西人民路 33 号			
项目建设地点		榆林市星元医院主院区医技综合楼 A 区地下 1 层， 常乐院区综合楼地下 2 层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		3293	项目环保投资（万元）	436	投资比例（环保投资/总投资） 13.2%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他		占地面积（m ² ）	1265
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☒ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			
	1.1 项目概述 1.1.1 项目背景 1.1.1.1 医院简介 榆林市星元医院（榆林市第四医院）（以下简称医院）是由已故榆林籍爱国港商胡星元先生捐资和政府投资修建，并由陕西省人民政府以胡星元先生命名的一所三级公立综合医院，1997 年批准成立，1999 年 6 月开诊运行。2009 年被市委市政府批准命名为榆林市第四医院，2010 年经省卫生厅批准晋级为三级乙等医院。医院占地 53 亩，现有职工 1503 名，中高级卫技人员 638 人，开放床位 980 张，建成消化				

内科 1 个省级重点专科，肛肠科、乳腺科、消化内科、心血管内科 4 个市级重点专科。医院主院区位于榆林市榆阳区西人民路 33 号，在建常乐院区位于榆林市榆阳区常乐路 2 号。

榆林市星元医院已于 2024 年 4 月 3 日与榆林友芳医院（曾用名榆林市康复医院，于 2019 年 3 月更名为榆林友芳医院）签订整体转让协议，并购了榆林友芳医院并设置为常乐院区。

1.1.1.2 目的和任务的由来

为提高榆林市人民诊疗需求和医院自身发展需要，医院拟开展核医学科及后装机放射诊疗工作。

医院拟在主院区医技综合楼（地上 15 层，地下 2 层）A 区地下 1 层设置核医学科，属于乙级非密封放射性物质工作场所（日等效最大操作活度为 $2.28 \times 10^8 \text{Bq}$ ），主要建设内容包括 1 间 PET-CT 和 1 间 SPECT-CT 机房、甲亢治疗服药室、甲吸室及相关辅助功能用房和配套区域。计划安装使用 1 台 PET-CT 开展 ^{18}F 显像诊断、安装使用 1 台 SPECT-CT 开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像诊断、使用 ^{131}I 开展甲功测定和甲亢治疗、使用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

医院拟在常乐院区综合楼（地上 16 层，地下 2 层）地下 2 层放疗科配置 1 台含 1 枚 ^{192}Ir 放射源（放射性活度： $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，属于 III 类密封放射源）的后装治疗机（型号待定，以下简称后装机），并建设 1 间后装机房及其他辅助功能用房，开展后装治疗工作。

1.1.1.3 工作过程概述

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 C 非密封源工作场所的分级，项目核医学科诊断区域日等效最大操作量为 $2.28 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所； ^{192}Ir （活度： $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）为 III 类放射源。根据环境保护部和国家卫生和计划生育委员会《关于发布<射线装置分类>的公告》（原国家环境保护总局公告 2017 年第 66 号）相关规定，核医学 PET-CT、SPECT-CT 属于医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置，为 III 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（以下简称名录）中“五十五、核与辐射 172、核技术利用建设项目”中“使用 II 类、III 类放射源的……；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）……”应编制环境影

响报告表；“……生产、销售、使用Ⅲ类射线装置的”，应填报环境影响登记表。按照建设内容涉及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要求，本项目应编制环境影响报告表。

2014年10月27日，榆林市星元医院取得原榆林市环境保护局《关于榆林市星元医院扩建项目环境影响报告书的批复》（榆政环发〔2014〕250号），审批内容包括：医技住院楼（地上15层、地下2层，包括医技综合楼A区、医技综合楼B区及病房综合楼）、辅助工程等。本项目核医学科位于主院区医技综合楼A区地下1层。

2013年4月7日，榆林市星元医院常乐院区（原榆林友芳医院，曾用名榆林市康复医院）取得原榆林市环境保护局《关于榆林市康复医院扩建医院综合楼项目环境影响报告书的批复》（榆政环发〔2013〕80号），审批内容包括：新建1栋（地上16层，地下2层）门诊综合楼及相关附属设施。本项目后装机所在放疗科位于常乐院区门诊综合楼地下2层。该院区建成后尚未投入使用。

医院委托西安旭奥环境科技有限公司（环评单位）承担本项目的环评工作。接受委托后，环评单位组织技术人员进行现场勘察调查，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据建设项目的应用类型及所在地周围区域的环境特征，在现场勘察、资料收集、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》（HJ10.1-2016）的基本要求，编制了《榆林市星元医院核医学科及后装机核技术利用项目环境影响报告表》。

1.1.2 实践正当性分析

核医学科使用PET-CT和SPECT-CT对受检者进行核素显像诊断，功能检查与形态学检查能有机地结合，使显像具有更高的灵敏度和更清晰的分辨率，可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构，对提高诊断的准确性具有重要作用。使用 ^{131}I 核素进行甲功测定，定量评估甲状腺功能状态，辐射暴露风险低，且患者无需侵入性操作，对优化甲状腺疾病诊疗路径、减少误诊漏诊具有显著价值。使用 ^{131}I 核素进行甲亢治疗，具有疗程短、治愈率高的优势，可有效避免药物副作用及手术并发症，改善患者生活质量。

后装机使用 ^{192}Ir 密封放射源对肿瘤靶区实施高精度近距离放射治疗，相较于传

统外照射放疗，后装治疗具有显著的剂量学优势——靶区剂量分布更集中、适形性更优，可有效提升肿瘤控制率，并降低邻近器官的放射性损伤风险。

综上，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”要求。

1.1.3 相关政策符合性

该项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年第 7 号令修改）鼓励类中“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……”，故本项目符合国家产业政策。

1.1.4 建设规模

1.1.4.1 核医学科

医院拟在主院区医技综合楼 A 区地下 1 层设置核医学科（乙级非密封放射性物质工作场所），总建筑面积约 1020m²，主要建设内容包括：1 间 PET-CT 机房、1 间 SPECT-CT 机房、控制室、放药分装室、固废室、储源室、注射间/运动负荷室、淋洗室、PET 注射后等候室、SPECT 注射后等候室、抢救/PET 留观室、SPECT 留观室、清洁间、缓冲间、卫生更衣通过、甲吸室及其他辅助用房，核医学科楼上为检验中心，楼下为土层。核医学科所在医技综合楼 A 区地上部分楼高 6.3m，地下一层核医学科区域层高 4.95m，最近的居民楼（五矿小区、水利家园、榆林市就业培训中心家属院等）最高约 21m。

医院拟在 PET-CT 机房内安装使用 1 台 GE Discovery MI 型 PET-CT（属于Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质 ¹⁸F 开展 PET-CT 显像诊断；拟在 SPECT-CT 机房内安装使用 1 台 GE NM/CT 860 型 SPECT-CT（属于Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc 开展 SPECT-CT 显像诊断；拟使用非密封放射性物质 ¹³¹I 开展甲功测定、甲亢治疗工作；使用 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器制备 ^{99m}Tc。

本项目拟安装的 PET-CT 型号不含校准源，本次评价不包含校准源。

本项目拟使用的非密封放射性核素 ¹⁸F、¹³¹I 及 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器均根据患者情况提前预约登记，向厂家进行定量订购，厂家根据需求将放射性药物送至医院核医学科储源室。在向 PET-CT 诊断患者体内注射 ¹⁸F 药物前，医院需根据患者所需药物活度在手套箱内进行药物分装；^{99m}Tc 药物由医院采购 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器进行淋洗制备，分装及质控；甲功测定所用 ¹³¹I 为外购成品胶囊，不再进行分装；甲亢治疗患者

服用 ^{131}I 药物前医院使用 ^{131}I 自动分装机进行药物分装。

1.1.4.1.1 ^{18}F 用药量情况

根据医院计划，PET-CT每天最多检查10人次，每人每次最大药物注射量10mCi。 ^{18}F 半衰期为109.8min。医院根据PET-CT治疗计划订购所需 ^{18}F 药物，计划每天上午7:30送至核医学科储源室（最多10人药量），每天上午8:00开始分5批注射，每批次注射2人（依次注射），每批注射间隔时间约45分钟。考虑到放射性药物自身的衰变，为保证每时段最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量。 ^{18}F 日实际用量根据半衰期衰减公式（1-1）和医院注射计划计算，至少为233mCi，即 $8.61\times 10^9\text{Bq}$ 。

$$A = A_0 e^{-(0.693t/T_{1/2})} \tag{1-1}$$

式中：A—衰变后放射性核素活度，10mCi；

A_0 —初始时刻（ $t=0$ ）放射性核素活度；

e —自然对数的底数，约等于2.71828；

t —衰变时间；

$T_{1/2}$ —半衰期。

PET-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 1-1。

表 1-1 PET-CT 拟使用放射性核素相关情况一览表

核素	形态	半衰期	主要射线和能量	单人核素最大用量（Bq）	日最大接诊人数	日最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类	来源
^{18}F	液体	109.8min	γ 射线 511keV	3.7×10^8 (10mCi)	10 人	8.61×10^9	2.15×10^{12}	使用	外购

注：年工作时间 250 天。

1.1.4.1.2 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用药量情况

根据医院计划，SPECT-CT每天最多检查10人次，每人每次最大药物注射量25mCi。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半衰期为6.02h，医院根据SPECT-CT治疗计划订购所需 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器，计划上午7:30送至核医学科储源室（单个发生器活度 $1.85\times 10^{10}\text{Bq}$ ，每周最多送2次，每次1个），在淋洗间内进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的制备及分装，每天上午8:00开始分5批注射，每批次注射2人（依次注射），每批注射间隔时间约45分钟。考虑到放射性药物自身的衰变，为保证每时段最后一位患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物量为25mCi，拟采取增加放射性药物制备活度的方式确保活度满足使用要求。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 每日须保留一部分的样品做质控测试（约

10mCi)。SPECT-CT诊断^{99m}Tc日实际用量根据半衰期衰减公式(1-1)和医院注射计划计算,至少为327mCi,即 1.21×10^{10} Bq。

项目 SPECT-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 1-2。

表 1-2 SPECT-CT 拟使用放射性核素相关情况一览表

核素	半衰期	主要射线和能量	形态	用途	单人核素最大用量(Bq)	日最大接诊人数	日最大操作量(Bq/d)	年最大用量(Bq)	活动种类	来源
^{99m} Mo	66h	β射线	液体	淋洗制备 ^{99m} Tc	/	/	1.85×10^{10}	9.25×10^{11}	使用	外购
^{99m} Tc	6.02h	γ射线 140keV	液体	SPECT-CT 显像	9.25×10^8 (25mCi)	10 人	1.21×10^{10}	3.03×10^{12}	使用	外购 钼铯发生器淋洗

注: 年工作时间 250 天。

核医学科拟使用射线装置情况见表 1-3。

表 1-3 核医学科拟使用射线装置相关参数一览表

名称	型号	数量	类别	CT 部分主要技术参数		工作场所
				最大管电压	最大管电流	
PET-CT	GE Discovery MI	1 台	III类	140kV	600mA	主院区医技综合楼 A 区 地下 1 层核医学科 PET-CT 机房
SPECT-CT	GE NM/CT 860	1 台	III类	140kV	200mA	主院区医技综合楼 A 区 地下 1 层核医学科 SPECT-CT 机房

1.1.4.1.3 ¹³¹I 用药量情况

根据医院计划, 甲亢治疗每天最多接诊5人次, 甲功测定每天最多接诊20人次, 甲亢治疗每人每次最大药物用量10mCi, 甲功测定每人每次最大药物用量5μCi。医院根据甲亢治疗及甲功测定治疗计划订购所需¹³¹I药物, 计划每天上午7:30将甲亢治疗药物送至核医学科储源室(最多5人药量); 每天上午7:30将甲功测定药物胶囊送至核医学科甲吸室(最多20人药量)。¹³¹I甲亢治疗日实际用量为50mCi, 即 1.85×10^9 Bq; ¹³¹I甲功测定日实际用量为0.1mCi, 即 3.7×10^6 Bq。

项目甲亢治疗、甲功测定拟使用放射性核素相关情况见表1-4。

表 1-4 甲亢治疗、甲功测定拟使用放射性核素相关情况一览表

核素	半衰期	主要射线和能量	形态	用途	单人核素最大用量 (Bq)	日最大接诊人数	日最大操作量 (Bq/d)	年最大用量 (Bq)	活动种类	来源
^{131}I	8.02d	γ 射线 364keV	液体	甲亢治疗	3.7×10^8 (10mCi)	5 人	1.85×10^9	4.63×10^{11}	使用	外购
			固体	甲功测定	1.85×10^5 (0.005mCi)	20 人	3.7×10^6	9.25×10^8	使用	外购

注：年工作时间 250 天。甲亢治疗所用液体 ^{131}I 由自动分装机进行分装，甲功测定所用 ^{131}I 为外购成品胶囊，不再进行分装。

1.1.4.2 后装机

医院拟在常乐院区综合楼地下2层放疗科开展后装机治疗项目，总建筑面积约 215m²，主要建设内容包括：1间后装机房、控制室、无菌诊室、更衣室、冲洗间、治疗计划室及其他辅助功能用房。后装机房屋顶上方为影像科走廊及空房间，下方为土层。其中，后装机房南北长9.75m，东西宽4.65m，有效使用面积（不含迷道）约为45.3m²。

后装治疗拟配置的设备、放射源相关参数见表1-6。

表 1-6 后装机拟配置的设备及放射源相关参数一览表

设备名称	数量	型号	类别	具体参数	用途	工作场所
后装治疗机	1	待定	含III类放射源	含1枚 ^{192}Ir 放射源，源活度不大于 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)	放射治疗	常乐院区综合楼 地下2层放疗科后装机房

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

根据医院提供的资料，本项目核医学科拟配备辐射工作人员共 8 名（包括核医学医师 3 人，技师 2 人， ^{18}F 分装及 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射护士 1 人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗及分装护士 1 人， ^{131}I 转移及指导服药护士 1 人），均由医院现有辐射工作人员调配，且项目运行后不再从事原影像科、介入科辐射工作。

根据医院提供的资料，本项目后装机拟配备辐射工作人员共 4 名（包括放射医师 1 人、技师 1 人、护士 1 人、物理师 1 人），均由医院现有辐射工作人员调配，且项目运行后不再从事原影像科、介入科辐射工作。本项目后装机放射医师和物理师还将兼职放疗科医用电子直线加速器放射治疗工作，后装机技师和护士不兼职操作其他放射性设备。

1.1.5.2 工作负荷

核医学科:

PET-CT: 预计每年工作时间约 250d, 每天最多接待患者 10 人, 年累计接待患者人数为 2500 人次。每名患者 ^{18}F 最大注射量为 10mCi ($3.7\times 10^8\text{Bq}$)。

SPECT-CT: 预计每年工作时间约 250d, 每天最多接待患者 10 人, 年累计接待患者人数为 2500 人次。每名患者 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 最大注射量为 25mCi ($9.25\times 10^8\text{Bq}$)。

甲功测定及甲亢治疗: 预计每年工作时间约 250d, 甲功测定每天最多接待患者 20 人, 年累计接待患者人数 5000 人次; 甲亢治疗每天最多接待患者 5 人, 年累计接待患者人数 1250 人次。 ^{131}I 甲功测定每名患者最大使用量为 $5\mu\text{Ci}$ ($1.85\times 10^5\text{Bq}$)、甲亢治疗每名患者最大使用量为 10mCi ($3.7\times 10^8\text{Bq}$)。

核素药物制备及分装: 根据医院提供的资料, 本项目使用的放射性药物 ^{18}F , 每名患者注射前需进行手动分装, 预计工作人员每次分装时间 1min, 则全年为 41.7h; 本项目使用的放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 院方拟进行淋洗制备, 预计工作人员每次淋洗时间约为 15min, 每天淋洗 1 次, 则全年为 62.5h, 每次最大制备量为 10 人用量; 本项目使用的放射性药物 ^{131}I 用于甲亢治疗时使用自动分装机进行分装, 用于甲功测定时为外购成品胶囊, 均不需进行手动分装。

后装机:

预计每年工作时间 250d, 周工作时间 5d, 日治疗人数最多 10 人, 年治疗人数最多为 2500 人次。当放射源活度最大时, 每位患者的治疗时间最多为 6min, 其中医生摆位时间最大为 2min, 年治疗时间为 250h, 摆位年累计受照时间 83.3h。

1.1.6 项目选址及周边关系

1.1.6.1 医院地理位置及四邻关系

医院主院区位于陕西省榆林市榆阳区西人民路 33 号, 地理坐标为经度: $109.744334^\circ \text{E}$, 纬度: 38.294639°N 。医院常乐院区位于陕西省榆林市榆阳区常乐路 2 号, 地理坐标为经度: $109.740210^\circ \text{E}$, 纬度: 38.279911°N , 医院两院区地理位置见图 1-1。

医院主院区北侧由近至远分别为榆林市就业培训中心家属院、水利家园、榆阳区文物管理委员会、五矿小区、中行家属院、市公安局家属院及在建小区预留用地; 东侧为长安路, 隔路为中行 2 号院家属院; 南侧为人民中路, 隔路为榆林榆溪大酒店; 西侧为滨河北路, 隔路为河畔步道。医院主院区四邻关系见图 1-2。

医院常乐院区北侧为亮乐园小区；东侧为春光巷一排（自建房）、榆阳区环境监测站及家属院；南侧为榆阳西路，隔路为二毛家属院；西侧为常乐路，隔路为建行家属院。医院常乐院区四邻关系见图 1-4。

1.1.6.2 医院总平面布置

医院主院区建筑主要包括门诊楼、病房楼、病房综合楼、医技综合楼、教学科研楼及配套设施。医院常乐院区建筑主要为综合楼及星元医院醒酒中心。主院区和常乐院区总平面布局示意图 1-3，图 1-5。

1.1.6.3 项目所在区域的总平面布置

根据医院提供的图纸，本项目核医学科位于主院区医技综合楼A区地下1层，核医学科患者通道以东自南向北依次为淋洗间、 ^{18}F 注射间、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/运动负荷室、SPECT-CT注射后等候室、PET-CT注射后等候室、固废间和清洁间；患者通道以西自南向北依次为预留诊室、会议示教室、SPECT-CT机房、PET-CT机房；患者走廊以北由西向东依次为抢救/PET-CT留观室、SPECT-CT留观室。核医学科正上方为检验中心，正下方为土层。

核医学科平面布局示意图1-6，核医学科上方平面布局示意图1-7。

本项目后装机位于常乐院区综合楼地下2层放疗科，放疗科北侧为土层，东侧为电梯厅，南侧、西侧为地下停车场，为一般人员不易到达的区域。后装机房位于放疗科南部。后装机房正上方为影像科走廊和空房间，正下方为土层；后装机房北侧为直线加速器机房，西侧为治疗计划室，南侧为地下2层停车场，东侧为后装机控制室及走廊。

后装机所在放疗科平面布局示意图 1-8，后装机房上方平面布局示意图 1-9。

1.1.6.4 项目选址合理性

(1) 核医学科

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关选址要求，核医学科选址具体情况分析见表 1-7。

表 1-7 核医学科选址合理性分析

法规标准	相关要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》	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	核医学科位于医院主院区医技综合楼 A 区地下一层，核医学科楼上为检验中心，地下为土层。核医学科诊断区与其他科室分层布置，并配套建设相	符合要求

(HJ1188-2021)	物理隔离和单独的人员、物流通道。	应的功能用房，核医学科诊断区自成一区，通过设计合适的时间、空间和交通模式来控制辐射源的活动，可实现工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径相对独立。	
	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。	核医学科正上方为检验中心，正下方为土层，50m 范围内主要为教学科研楼、医技综合楼 B 区、道路与停车场。核医学科与非放射性工作场所有明确的分界墙隔离，工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。	符合要求
	5.1.3 核医学工作场所排风口的的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学科放射性废气通过独立的排风管道引至医技综合楼楼顶南侧屋面向上方排放，废气排放前经活性炭吸附处理，排风口高于屋面 3m。	符合要求
《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)	5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	核医学工作场所功能用房相对集中，不邻接产科、儿科、食堂等部门；核医学科设计有单独的出入口和独立的候诊区，出口未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	符合要求

本项目核医学科选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）选址相关要求。

(2) 后装机

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关选址要求，本项目后装机选址合理性分析见表1-8。

表 1-8 放疗科选址合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	后装机所在放疗科位于常乐院区综合楼地下2层，用地类型为医疗卫生用地，不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求
	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物	后装机所在放疗科位于常乐院区综合楼地下2层，其北侧为土层，东侧为电梯厅，南侧、西侧为地下	符合要求

	的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	停车场，正上方为影像科走廊及空房间，正下方为土层。放疗科周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，也无人员流动性大的商业活动区域。	
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	项目后装机房设置于常乐院区综合楼地下2层，正下方为土层；后装机房与控制室、治疗计划室、更衣室等同时设计建造，布置合理。	符合要求

本项目后装机房选址满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中选址相关要求。



图 1-1 医院主院区、常乐院区地理位置图

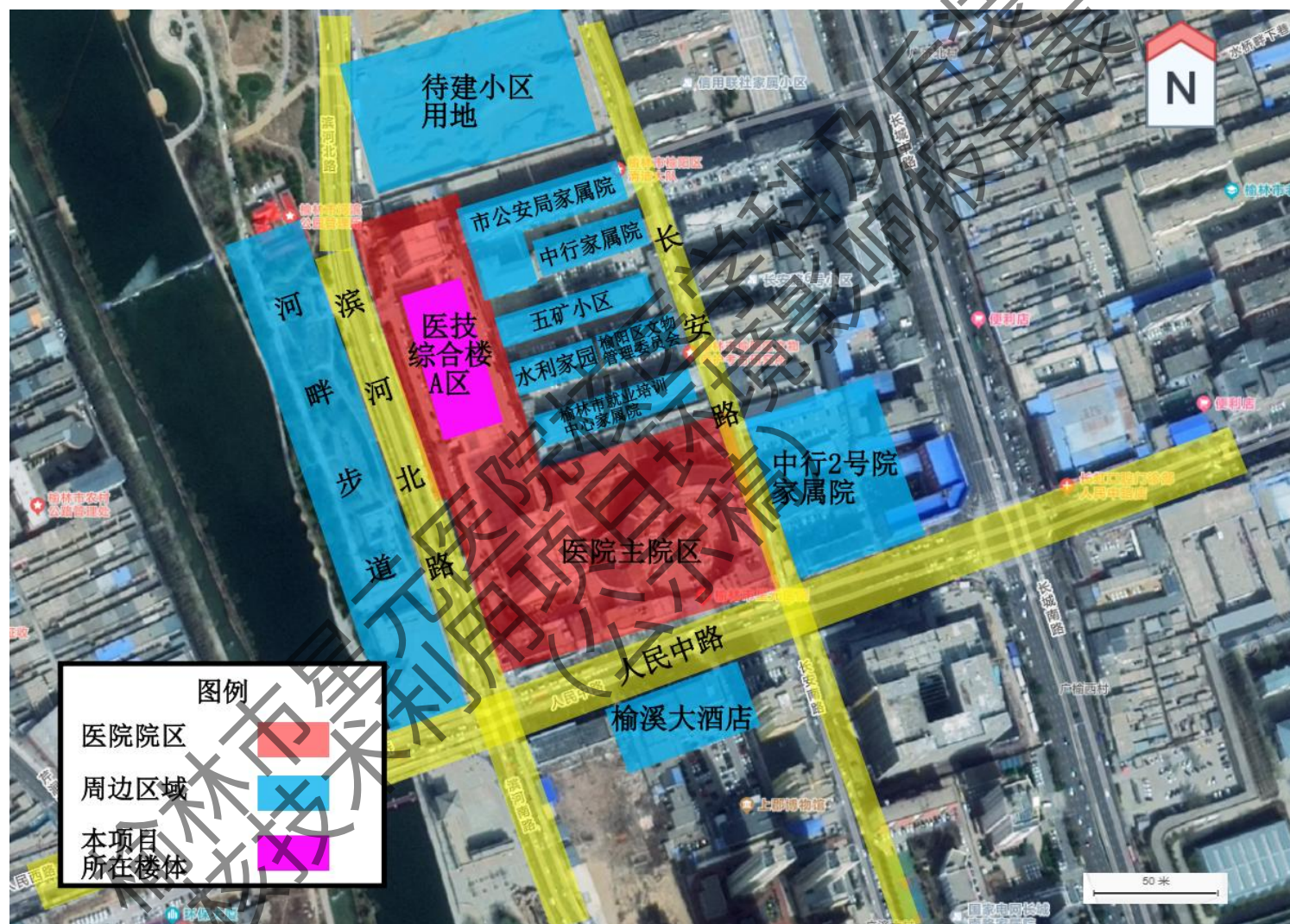






图 1-4 医院常乐院区四邻关系示意图

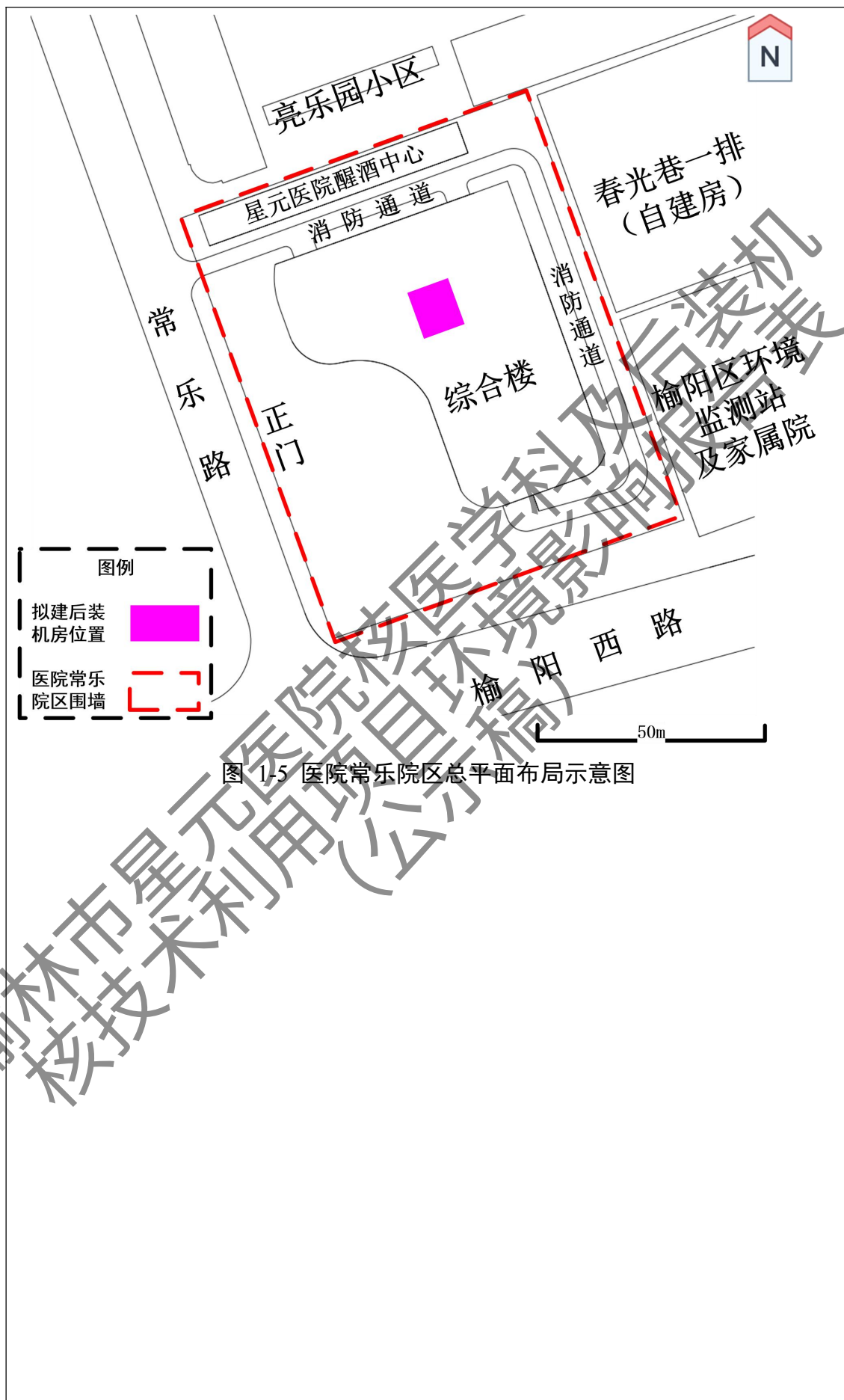


图 1-5 医院常乐院区总平面布局示意图

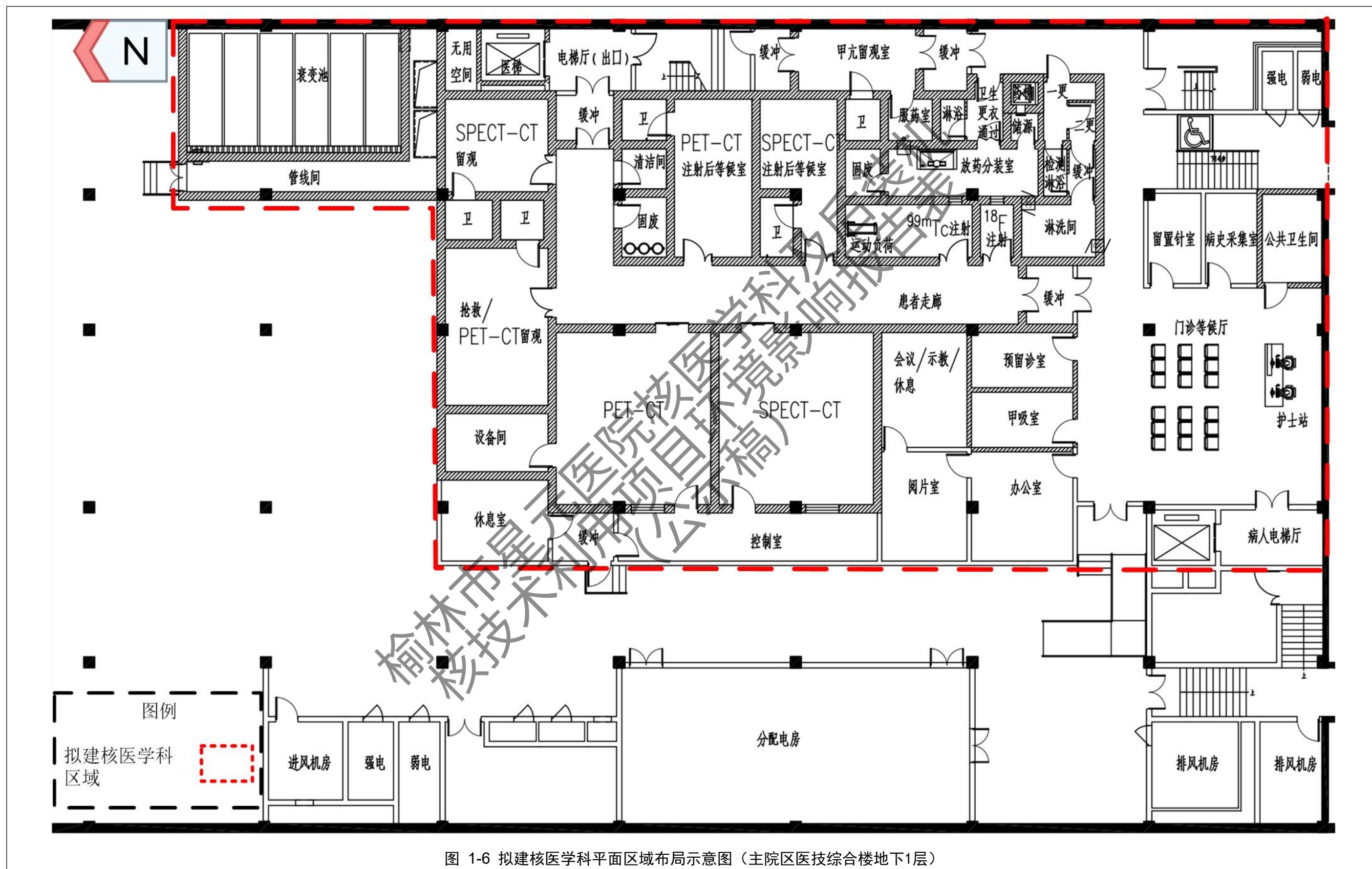


图 1-6 拟建核医学科平面区域布局示意图 (主院区医技综合楼地下1层)

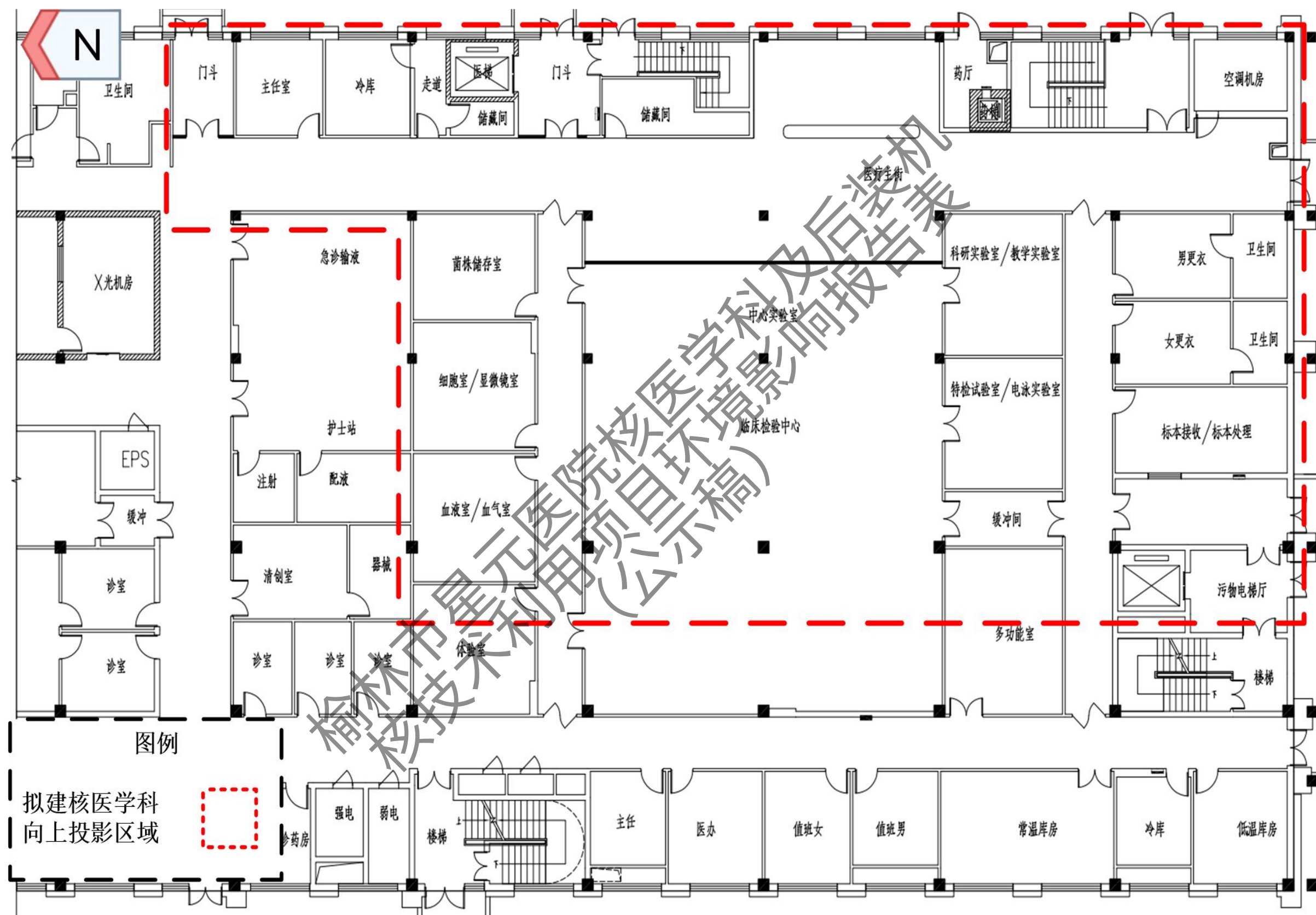


图 1-7 拟建核医学科上方区域平面布局示意图（主院区医技综合楼1层）

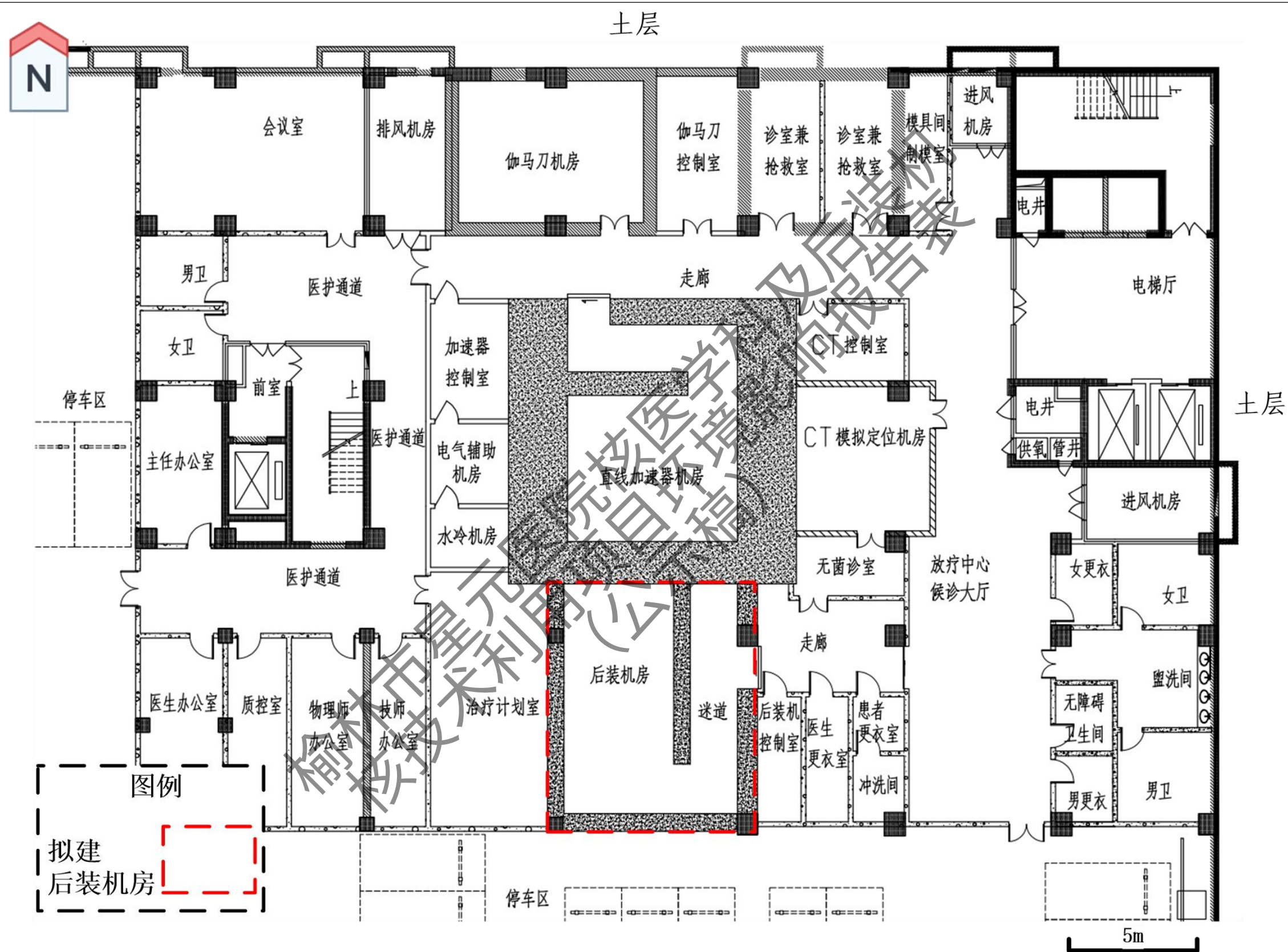


图 1-8 拟建后装机所在放疗科区域平面布局示意图（常乐院区综合楼地下2层）

1.2 原有核技术利用项目许可情况

1.2.1 环保手续履行情况

(1) 现有辐射安全许可证

医院现持有 2023 年 7 月 19 日由榆林市行政审批服务局核发的辐射安全许可证，证书编号：陕环辐证[60210]，有效期至 2026 年 4 月 8 日。许可种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置。辐射安全许可证核准的种类和范围见表 1-9。

表 1-9 陕环辐证[60210]号核准的种类和范围

序号	装置名称	型号	类别	数量	辐射活动场所名称	活动种类
1	DSA	Optima CL 323i	II类	1	医技综合楼 B 区 负 1 层 DSA 介入手术室 (2)	使用
2	CT	SomaTom Definition AS	III类	1	旧院区*负一层 6 号	使用
3	X 线光机	Digital Diagnost	III类	1	旧院区*负一层 5 号	使用
4	X 线光机	Multix Fusion Max	III类	1	医技综合楼 B 区 负 1 层 3 号	使用
5	乳腺 X 线摄影系统	Selenia Dimensions	III类	1	医技综合楼 B 区 负 1 层 4 号	使用
6	X 线透视系统	Luminos dRF Max	III类	1	医技综合楼 B 区 负 1 层 5 号	使用
7	DSA	Azurion 7 M20	II类	1	医技综合楼 B 区 负 1 层 DSA 介入手术室 (1)	使用
8	双源 CT	SOMATOM Drive	III类	1	外科大楼负一层	使用
9	箱式 X 射线机	AKHX-20	III类	1	移动体检车	使用
10	移动式 C 型臂 X 射线机	Fluorostar Compact D	III类	1	麻醉与围术期医学科二楼 1 号	使用
11	移动式 C 型臂 X 射线机	EverView7500	III类	1	麻醉与围术期医学科二楼 2 号	使用

*注：旧院区指医院主院区门诊楼、综合楼。常乐院区现未开放，无核技术利用项目。

(2) 现有核技术利用项目环保手续履行情况

对医院现有环保手续进行收集整理，医院现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-10。

表 1-10 医院现有核技术利用项目环保手续履行情况

项目名称	环保手续			验收手续		备注
	批复文号	批复时间	评价内容	验收时间	验收内容	
榆林市星元医院 DSA 医用射线装置核技术利用项目	榆政审批生态发(2022) 12 号	2022 年 1 月 27 日	安装 2 台医用血管造影 X 射线机	2022 年 4 月, 已进行自主验收	2 台医用血管造影 X 射线机	环评、验收一致
榆林市星元医院核技术应用项目环境影响登记表	1 台 Digital Diagnost 型 DR、1 台 BrightSpeed Elite Select 型 16 排 CT (已报废)			原榆林市环境保护局2014年9月9日 (榆政环发〔2014〕192号)		
CT、X 射线装置建设项目核技术应用项目环境影响登记表	1 台 SOMATOM Definition AS+128GT 机、1 台 NSX-RF2900 型数字肠胃机 (已报废)、1 台 TX-III 型光机 (已报废)			原榆林市环境保护局2015年6月24日 (榆政环发〔2015〕188号)		
榆林市星元医院扩建医用射线装置应用项目	①1 台 X 线光机、②1 台乳腺 X 线摄影系统、③1 台 X 线透视系统、④1 台双源 CT			2023年4月5日进行了备案登记 (备案编号: 202361080200000066)。		
榆林市星元医院扩建医用射线装置应用项目	2 台移动小 C、1 台箱式 X 射线机			2023年7月10日进行了备案登记 (备案编号: 2023610802000000351)。		

1.2.2 辐射安全管理现状

(1) 辐射防护管理机构设置情况

为加强辐射安全和防护管理工作，医院成立了放射防护委员会，明确了委员会人员组成及工作职责，办公室设在医技部。放射防护委员会及办公室专职负责全院辐射安全与防护管理工作。

(2) 规章制度建设及落实情况

医院已制定辐射安全管理规章制度，包括：《放射工作人员放射防护培训制度》《放射工作人员个人剂量监测管理制度》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《放射工作人员职业健康检查制度》《放射诊疗设备防护安全操作规程》《放射防护制度》《DSA 设备操作规程》《放射科防护安全管理制度》《放射科受检者防护制度》《辐射工作岗位职责》《放射科工作场所监测计划》《榆林市星元医院辐射事故应急预案》等，用于医院的辐射安全与防护管理，并在工作中予以贯彻落实。

(3) 工作人员培训情况

根据医院提供的资料，医院现有 42 名辐射工作人员，其中 18 名辐射工作人员已通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核并取得了合格成绩单，剩余 24 人为仅从事Ⅲ类射线装置使用活动的辐射工作人员，均已通过医院自行组织的符合国家核技术利用辐射安全与防护培训平台要求的自主考核。

(4) 职业健康检查情况

医院 42 名辐射工作人员已于 2023 年 8 月至 2025 年 4 月在宝鸡永康亚健康医院和兵器工业五二一医院分批进行了职业健康检查，建立了职业健康检查档案并存档。根据医院提供的体检报告单及复查报告单，辐射工作人员的体检结果显示“可从事放射工作”，“可继续原放射工作”。

(5) 个人剂量检测情况

医院为辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位开展个人剂量检测，建立了个人剂量档案并存档。根据 2024 年 4 月~2025 年 3 月的个人剂量检测报告，医院所有辐射工作人员中连续四个季度的累积剂量最大值为 0.74mSv，满足不大于 5mSv/a 的剂量管理目标值。

(6) 辐射工作场所及辐射环境监测情况

2024 年 12 月，医院委托有资质单位对现有 11 台射线装置工作场所进行了辐射环境检测（报告编号：FHJC-SXGK-062024050），检测结果汇总见表 1-11。

表 1-11 辐射工作场所关注点最大 X-γ辐射剂量率

序号	设备名称	规格型号	检测条件	关注点最大 X-γ 辐射剂量率（μSv/h）	标准限值 （μSv/h）
1	DSA 机①	Azurion 7 M20	82kV, 13.5mA, 10s	0.75	2.5
2	DSA 机②	Optima CL323i	86kV, 25mA, 10s	0.31	2.5
3	CT 机①	SOMATOM Drive	120kV, 320mAs, 10mm	0.83	2.5
4	CT 机②	SOMATOM Definition As	120kV, 420mAs, 10mm	0.153	2.5
5	DR 机①	Digital Diagnost	125kV, 100mA, 11.3mAs	0.63	25
6	DR 机②	Multix Fusion Max	121kV, 40.6mAs	0.151	25
7	车载 DR	AKHX-50/200D -RAD	120kV, 100mA, 200ms	0.197	25
8	数字胃肠机	Luminos dRF Max	透视状态: 85kV, 63mA, 10s	0.151	2.5
			点片状态: 120kV, 9.42mAs	0.152	25
9	移动式 C 型臂机①	GE OEC Fluorostar Compact D	110kV, 3.0mA, 10s	0.75	2.5
10	移动式 C 型臂机②	EverView 7500C	108kV, 4.0mA, 10s	0.42	2.5
11	乳腺机	Selenia Dimensions	28kV, 50mAs	0.148	2.5

据检测报告可知，医院现有 11 台射线装置工作场所的辐射环境检测结果均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。

(7) 辐射环境自主监测设备

医院现配备有 1 台 X-γ 辐射剂量率仪，已于 2025 年 4 月 18 日进行校准（证书编号：C 校字第[2025]-L195，中国辐射防护研究院）。

(8) 其他

医院严格按照相关法律法规及陕西省生态环境厅的各项要求，认真履行各项规章制度。每年接受省、市生态环境主管部门的监督检查和辐射环境监测，并按时提交年度评估报告。

综上所述，医院现有核技术利用项目运行正常，对周围环境影响在相关标准要求的范围内。

表 2 放射源

序号	核素名称	放射性活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动类别	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1 \text{枚}$	III类	使用	放射治疗	常乐院区放疗科后 装机房	装载于后装治疗机内	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	⁹⁹ Mo 母体	液体, 半衰期 66h, 中毒	使用	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	9.25×10 ¹¹	制备 ^{99m} Tc	源的贮存	主院区 核医学科	自带铅屏蔽、淋洗室手套箱
2	¹⁸ F	液体, 半衰期 109.8min, 低毒	使用	8.61×10 ⁹	8.61×10 ⁶	2.15×10 ¹²	PET-CT 显像检查	很简单的操作		铅罐暂存、放药分装室
3	^{99m} Tc	液体, 半衰期 6.02h, 低毒	使用	1.21×10 ¹⁰	1.21×10 ⁷	3.03×10 ¹²	SPECT-CT 显像检查	很简单的操作		铅罐暂存、淋洗室手套箱
4	¹³¹ I	固体, 半衰期 8.02d, 中毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁴	9.25×10 ⁸	甲功测定	简单操作		铅罐暂存、储源室
5	¹³¹ I	液体, 半衰期 8.02d, 中毒	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	4.63×10 ¹¹	甲亢治疗	简单操作		
注: 考虑到 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 的衰变以及存在的其他不可控因素, 日最大操作量需留有余量, 因此 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 的实际日最大操作量大于实际用量。										

表 4 射线装置

(一) 加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机

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类	1台	GE Discovery MI	140	600	显像诊断	核医学科PET-CT机房	新增
2	SPECT-CT	III类	1台	GE NM/CT 860	140	200	显像诊断	核医学科SPECT-CT机房	新增

表 5 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
废 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器柱	固体	^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	约 100 个	/	固废间暂存	由生产厂家负责回收处理
后装治疗机废放射源	固体	^{192}Ir	/	/	每年最多更换放射源 3 个	/	/	由放射源供源单位负责更换并回收废源
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	96.25m ³	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	专用衰变池暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求（超过 30 天），由院内污水处理站处理后经市政污水管网排至榆林市污水处理厂
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液体	^{131}I	/	/	61.25m ³ /a	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	专用衰变池暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求（超过 180 天），由院内污水处理站处理后经市政污水管网排至榆林市污水处理厂
放射性固体废物（空药瓶、废注射器、吸水纸、棉棒、一次性卫生防护用品、废活性炭、清洁时用过的抹布及拖布等）	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	/	622.5kg	/	放射性固废间暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求，经监测辐射剂量率为本底水平，总 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，按医疗废物处理，最终交由有资质单位处置
手套箱及核医学科辐射工作场所活性区内含微量放射性核素的挥发性气体	气体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	可忽略	可忽略	微量	/	经专用活性炭吸附过滤后接专用排风管道，最终引至医技综合楼屋顶排放
非放射性废气（臭氧、氮氧化物等）	气体	臭氧、氮氧化物等	/	可忽略	可忽略	微量	/	由专用排风管道送至外环境排放

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法（修订）》中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法（修订）》第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议，2018 年 12 月 29 日起施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》中华人民共和国主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号修改，2017 年 10 月 1 日发布施行； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令 449 号公布，2019 年 3 月 2 日第二次修订； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日； (8) 《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 日起施行； (9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（修订）》生态环境部令第 20 号，第四次修改，2021 年 1 月 4 日； (10) 《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》国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； (11) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日施行； (12) 《放射源分类办法》国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号； (13) 《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； (14) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； (15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》环办辐射函
------	--

	(2016) 430 号, 2016 年 3 月 7 日; (16) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号), 自 2020 年 1 月 1 日起施行; (17) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告 2021 年第 9 号), 自 2021 年 3 月 15 日起施行; (18) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》生态环境部辐射函〔2023〕20 号, 2023 年 9 月 11 日; (19) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》中华人民共和国卫生部令第 55 号, 2007 年 11 月 1 日起施行; (20) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规环评〔2017〕4 号 (21) 陕西省环境保护厅关于印发新修订《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知(陕环办发〔2018〕29 号), 2018 年 6 月 6 日起施行; (22) 《陕西省放射性污染防治条例(2019 年修正)》陕西省人大, 2019 年 7 月 31 日起施行。
技 术 标 准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); (2) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ2.1-2016); (3) 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016); (4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021); (5) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021); (6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021); (7) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021); (8) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008); (9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007); (10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014); (11) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);

	(12) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)； (13) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (14) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (15) 《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2019)； (16) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)； (17) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (18) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)； (19) 《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019)； (20) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)
其他	(1) 环境影响评价委托书； (2) 医院提供的现有核技术利用项目环保手续、监测资料等； (3) 《辐射防护手册 第三分册：辐射安全》，原子能出版社，1990 年； (4) 《中国环境天然放射性水平》，中国原子能出版社，2015 年。

表 7 环境保护与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中相关规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

根据上述要求并结合项目所涉及的工作场所布局 and 边界，给出本项目环境影响评价范围示意图，如图 7-1-图 7-4 所示。

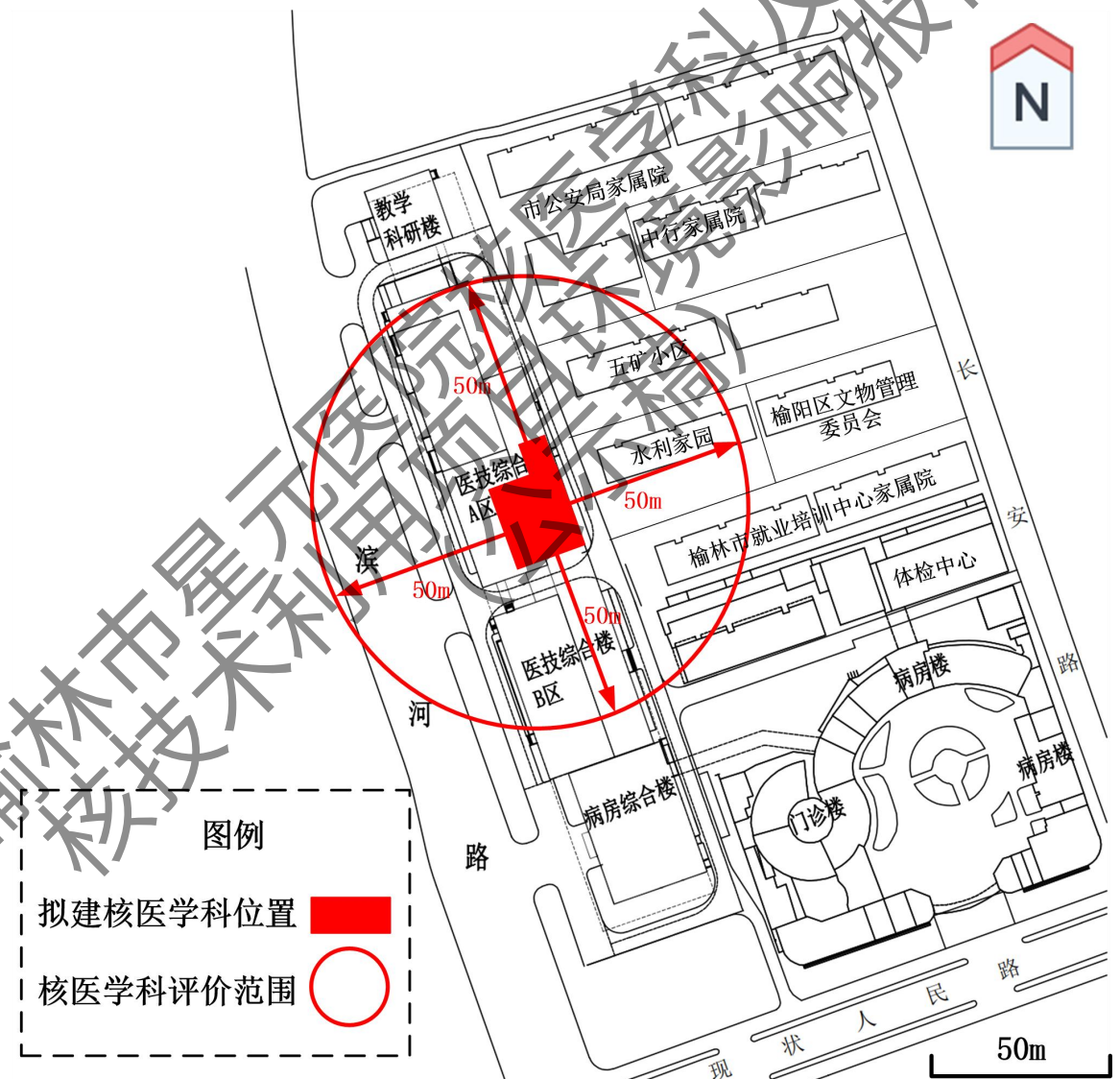


图 7-1 本项目主院区核医学科评价范围图

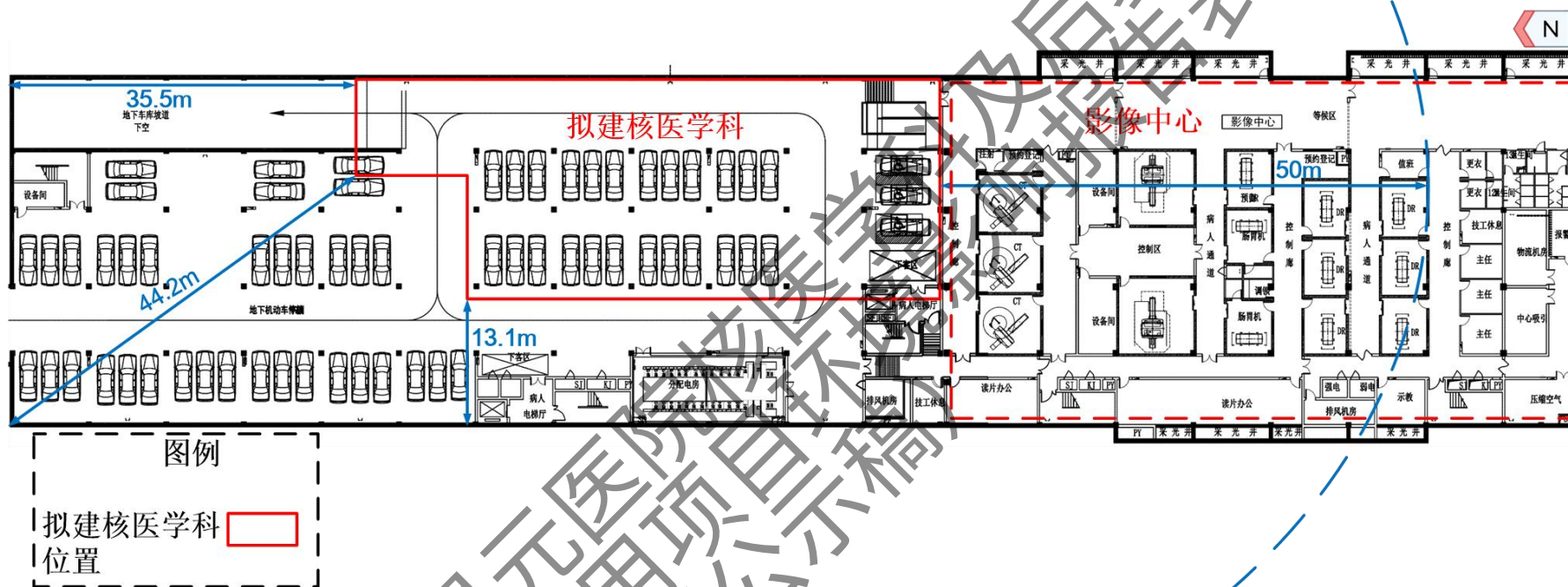


图 7-2 本项目主院区核医学科所在楼层（医技综合楼-1F）评价范围图

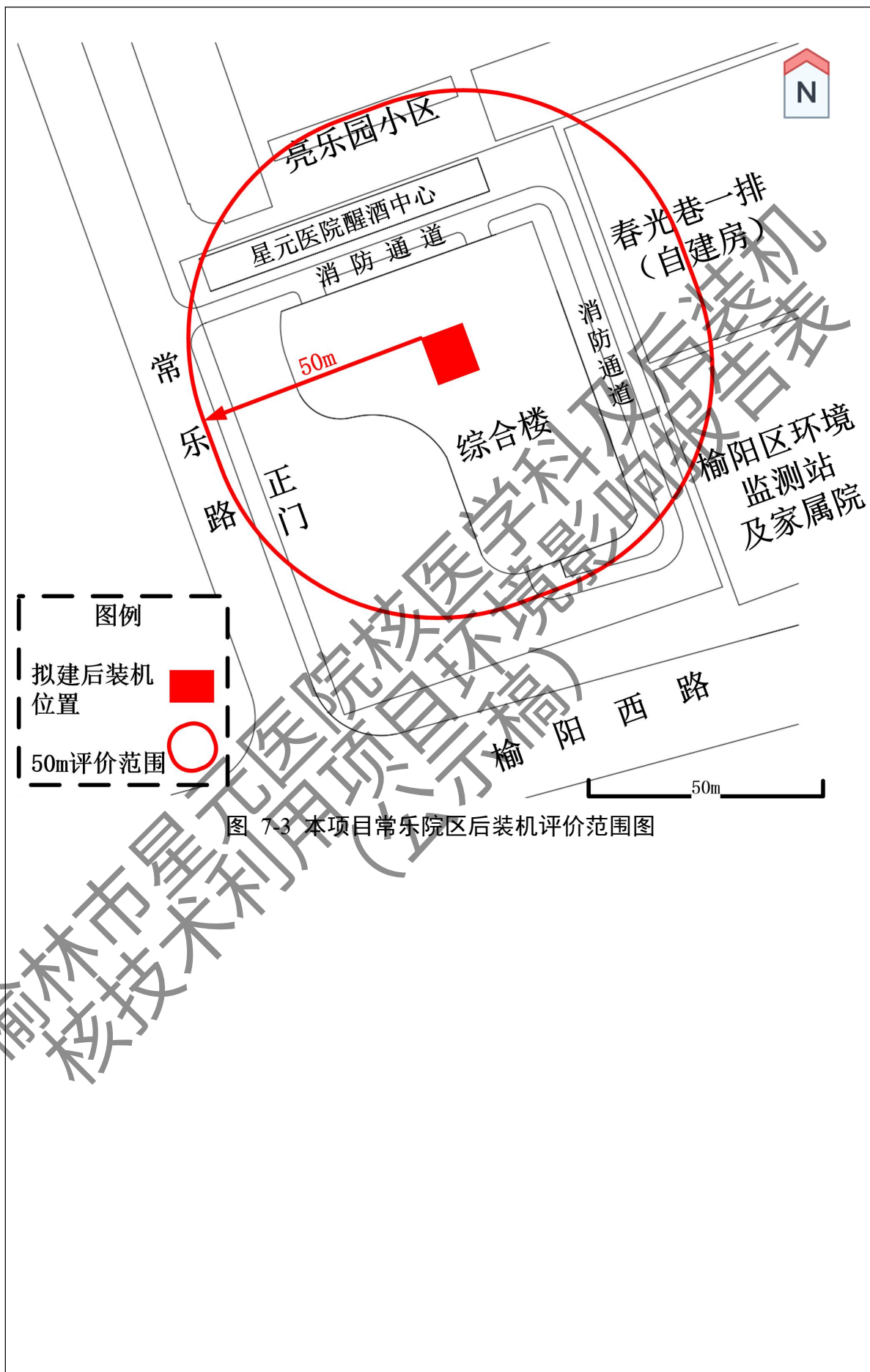
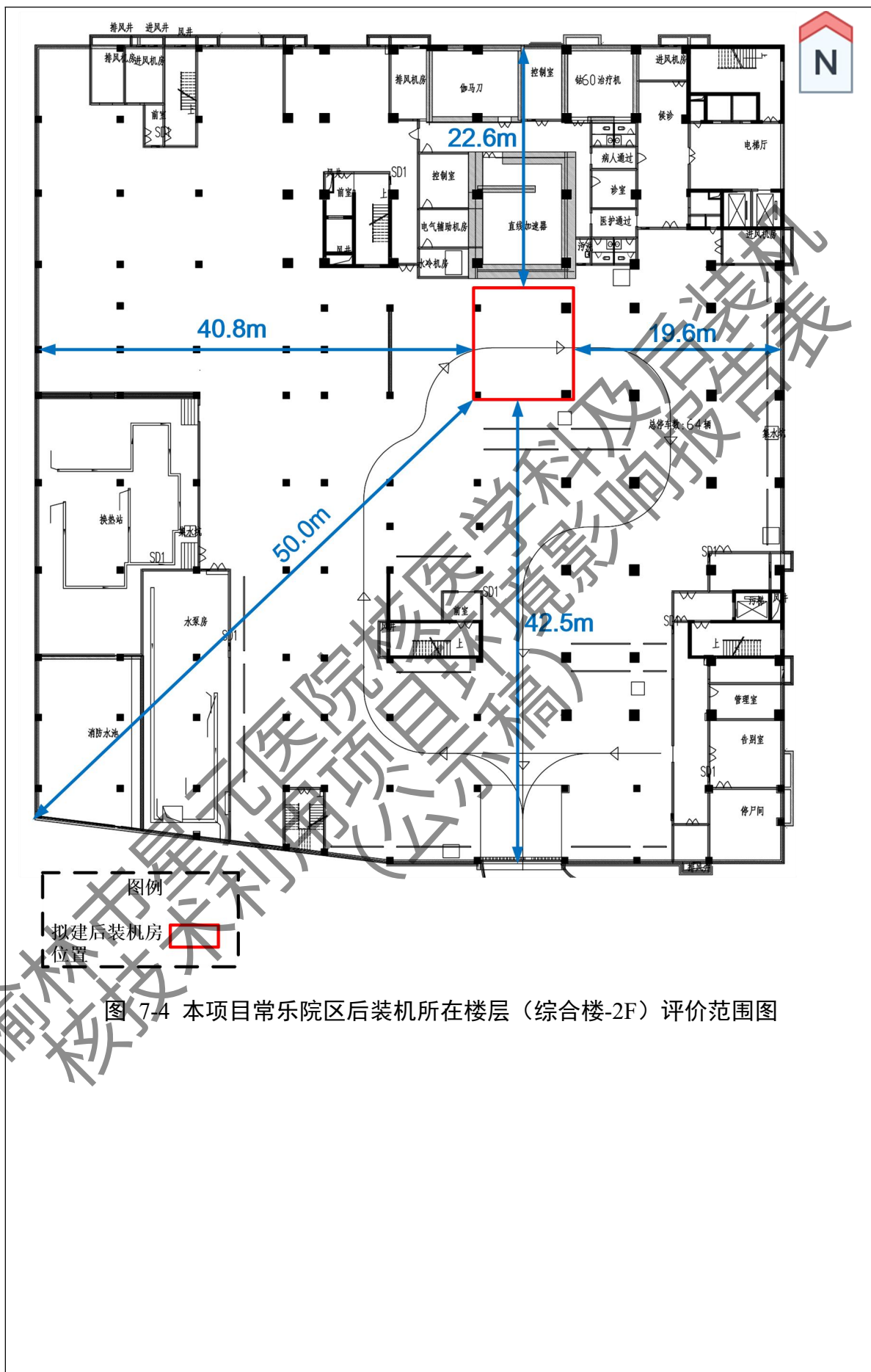


图 7-3 本项目常乐院区后装机评价范围图



7.2 环境保护目标

项目环境保护目标为评价范围内的辐射工作人员与公众。见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

序号	保护目标位置		方位	距屏蔽体外表面距离（m）	人口数量	剂量约束值	
主院区拟建核医学科							
1	核医学科（主院区医技综合楼A区地下1层）	PET-CT机房、SPECT-CT机房	内部	/	4人	5mSv/a（职业工作人员）	
2		机房控制室	2间 机房西侧	0.3	（本项目核医学科辐射工作人员）		
3		放药分装室、抢救室、卫生通过、淋洗间	内部	/	3人 （本项目核医学科辐射工作人员）		
4		甲吸室	内部	1.0	1人 （本项目核医学科辐射工作人员）		
5		核医学科向上投影至地平面	电梯厅、护士站、门诊等候大厅、病史采集室、留置针室、卫生间、楼梯	南	0.3~24.7	其他医务人员约10人，流动人员等	0.1mSv/a（公众人员）
6			会议示教室、办公室、阅片室、配电室、机房	西	0.3~13.8	其他医务人员约10人、流动人员等	
7			设备间、休息室、停车场	北	0.3~50	其他医务人员约3人、流动人员等	
8			电梯厅、楼梯、核医学科出口	东	0.3	流动人员	
9	医技综合楼B区地下1层		南	25~50	其他医务人员，患者约10人、流动人员等		
10	核医学科向上投影至地平面	检验中心各房间（各实验室、办公室、库房、走廊、电梯厅、更衣室、卫生间等）	内部	0.3	其他医务人员约30人、流动人员等		
11		医技综合楼B区北侧、体检中心西侧	南	25~50	其他医务人员，患者约80人、流动人员等		
12		主院区院内道路	/	9~50	流动人员		

13		市公安局家属院、五矿小区、水利家园、榆林市就业培训中心家属院住宅楼及内部道路	东	13~50	住户约150人、流动人员等	0.1mSv/a (公众人员)
14		滨河北路	西	25~50	流动人员	
常乐院区拟建后装机房						
15	后装机房(常乐院区综合楼地下2层)	后装机控制室	东	0.3	2人 (本项目后装机辐射工作人员)	5mSv/a (职业工作人员)
16		走廊、更衣室、冲洗间、无菌诊室	东	0.3~6.2	1人 (本项目后装机辐射工作人员)	
17		治疗计划室	西	0.3	1人 (本项目后装机辐射工作人员)	
18		直线加速器机房及控制室、CT模拟定位机房及控制室	北	7.4~15	3人 (其他辐射工作人员)	
26		电气机房、水冷机房、放疗科走廊及其他预留房间	北	2.5~23	流动人员	0.1mSv/a (公众人员)
27		放疗科候诊大厅、电梯厅、卫生间	东、东北	6.5~29	流动人员	
28		地下2层停车场	南	0.3~50	流动人员	
29		技师及物理师办公室、质控室、医生办公室、会议室走廊、卫生间	西	5.1~19	10人 (其他医务人员)	
30		地下1层影像科走廊及空房间	上	0.3	流动人员	
31		常乐院区院内道路、消防通道、停车场	/	0.3~50	流动人员	
32		星元医院醒酒中心	北	24~50	约20人(其他医务人员、公众)	
33		亮乐园小区居民楼南侧及其内部道路	北	41~50	住户约50人、流动人员	
34		春光巷一排、榆阳区环境监测站及家属院及其内部道路	东	32~50	住户约80人、流动人员等	
35		常乐路	西	46~50	流动人员	

7.3 评价标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等标准，本项目的剂量要求、屏蔽体表面剂量率控制值、场所分区、通风要求、放射性废物管理要求、辐射安全防护措施和设施等要求见表 7-2 所示。

表 7-2 本项目评价标准一览表

剂量要求				
要求\执行对象	辐射工作人员		公众	执行标准
剂量限值 (mSv/a)	20		5	GB18871-2002
剂量约束值 (mSv/a)	≤5		≤0.1	HJ1198-2021
	≤5		≤0.1	HJ1188-2021
屏蔽体表面剂量率控制值			执行标准	
核医学科工作场所			《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）	
			GBZ120-2020	
后装机房			GBZ121-2020	
表面污染控制水平				执行标准
表面类型		β放射性物质（Bq/cm ² ）		GB18871-2002 GBZ120-2020
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4×10		
	监督区	4		
工作服、手套、 工作鞋	控制区、监督区		4	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹		
非密封放射性物质工作场所分级				执行标准
级别	日等效最大操作量/Bq			GB18871-2002
甲	>4×10 ⁹			
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹			
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷			
场所分区管理				执行标准
控制区	把需要或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。			GB18871-2002 HJ1188-2021
监督区	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，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。			GBZ120-2020

选址和布局			执行标准
核医学科	选址	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。 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解隔离。 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。	HJ1188-2021 GBZ120-2020
	布局	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。 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。 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。	
后装机所在放疗科	选址	1.放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。 2.放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。 3.放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	HJ1198-2021 GBZ121-2020

	布局	1.治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。 2.应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。 3.X 射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。 4.放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。		
机房使用面积、单边长度控制				执行标准
设备名称	机房内最小有效使用面积 (m^2)	机房内最小单边长度 (m)		GBZ130-2020
PET-CT机房 SPECT-CT机房	30	4.5		
核医学科工作场所通风要求				执行标准
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、手套箱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、手套箱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 手套箱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 治疗病房以及设有手套箱、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。				HJ1188-2021
核医学工作场所通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。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。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。				GBZ120-2020
放疗机房通风要求				执行标准
后装机房	放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设置在放射治疗机房上部，排风口应设置在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。			GBZ121-2020
	放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。			HJ1198-2021
辐射监测				执行标准

工作场所	监测内容	监测点位	监测频次		
核医学科 工作场所	辐射水平（X-γ辐射剂量率）	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月	HJ1188-2021	
	表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		
后装机房	辐射水平（X-γ辐射剂量率）	四周屏蔽墙外30cm处、机房楼上30cm处、控制室、防护门外30cm处、电缆沟	开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。委托有资质单位每年监测不少于一次	HJ1198-2021	
放射性废物管理				执行标准	
废放射源	废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。			HJ1198-2021	
防护用品				执行标准	
场所	辐射工作人员		患者或受检者		
	必配	选配	必配	选配	
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽子、铅玻璃眼镜	—	—	GBZ120-2020
正电子放射性药物和 ¹³¹ I 的场所	放射性污染防护服	—	—	—	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置及场所位置

8.1.1 医院地理位置

医院各院区地理位置见图 1-1，医院各院区总平面布置见图 1-3，1-5。

8.1.2 项目场所位置

项目核医学科位于榆林市星元医院主院区医技综合楼 A 区地下 1 层；后装机所在放疗科位于常乐院区综合楼地下 2 层。

8.2 辐射环境质量现状评价

8.2.1 监测方法

为了解项目拟建场地及周边环境 γ 辐射本底水平，本次评价引用陕西新高科辐射技术有限公司于2025年7月2日对场地及周边环境进行本底检测中相关数据，检测结果见附件6《拟建核医学科、后装机房周围区域环境 γ 辐射剂量率检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-062025037）。监测方案见表8-1。

表 8-1 辐射环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测频次
γ 剂量率	主院区医技综合楼 A 区-1F 拟建核医学科及周围区域 1#~10#；常乐院区综合楼-2F 拟建后装机房及周围区域 11#~25#	每个点位连续监测10次
监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。		

8.2.2 监测点位

环境 γ 辐射剂量率监测点位布设情况详见图8-1~图8-5。

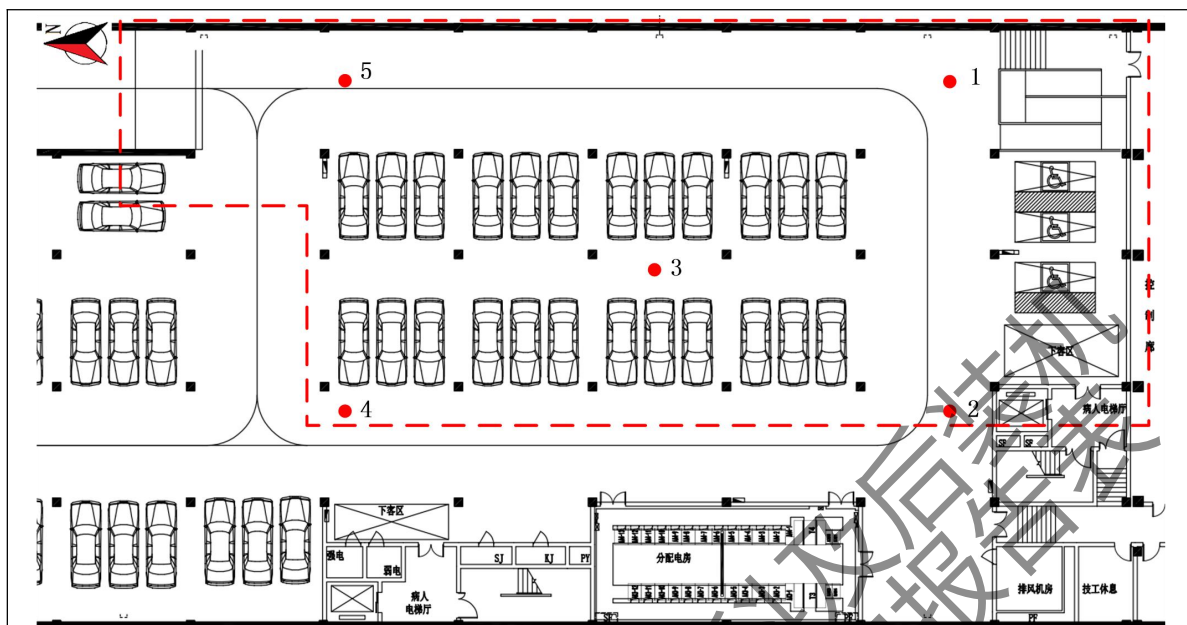


图 8-1 主院区拟建核医学科及周围区域检测点位图（-1F）

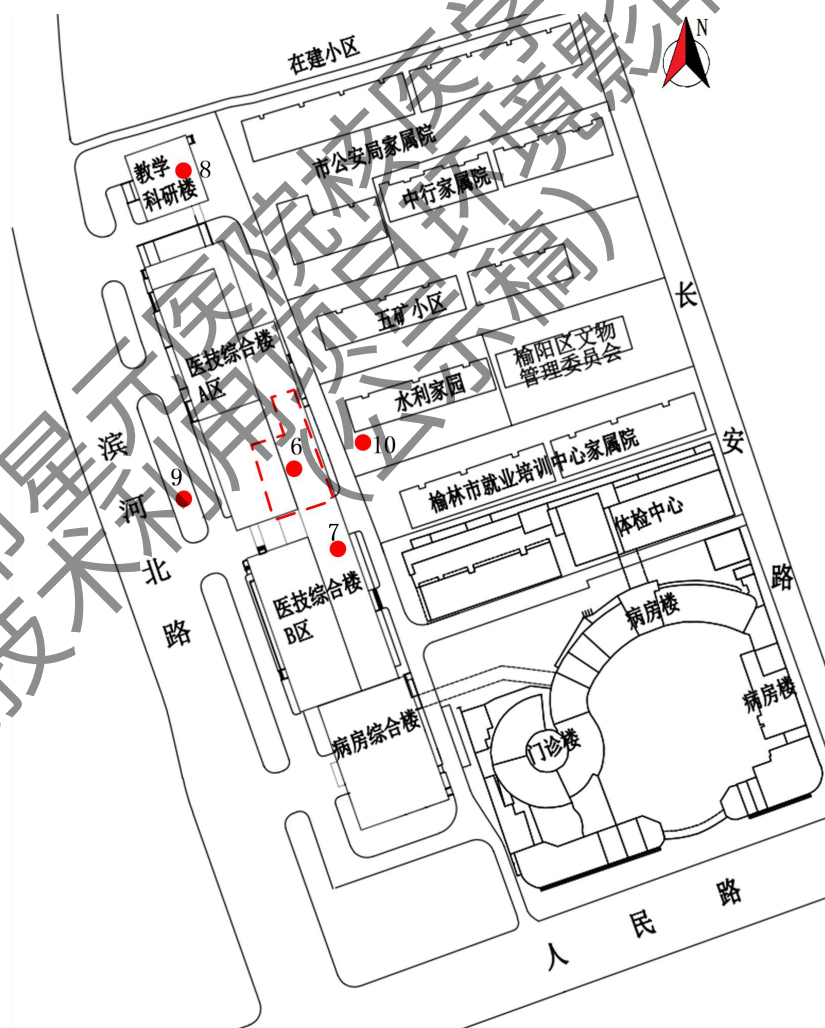


图 8-2 主院区拟建核医学科及周围区域检测点位图（地上）

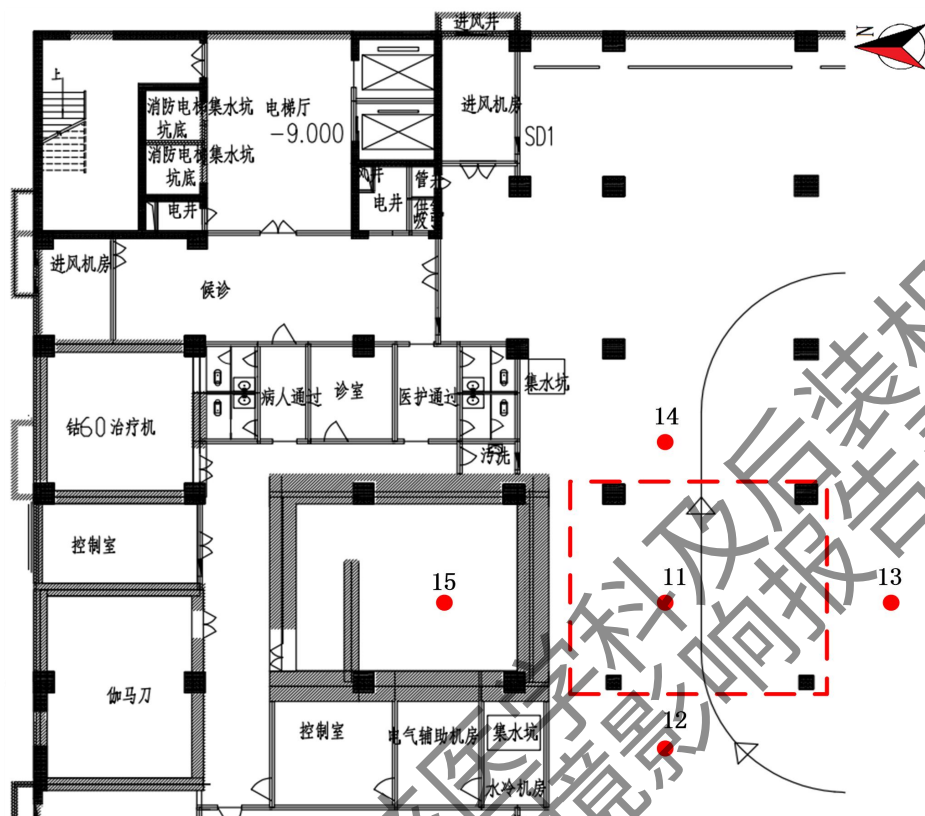


图 8-3 常乐院区拟建后装机房及周围区域检测点位图（-2F）

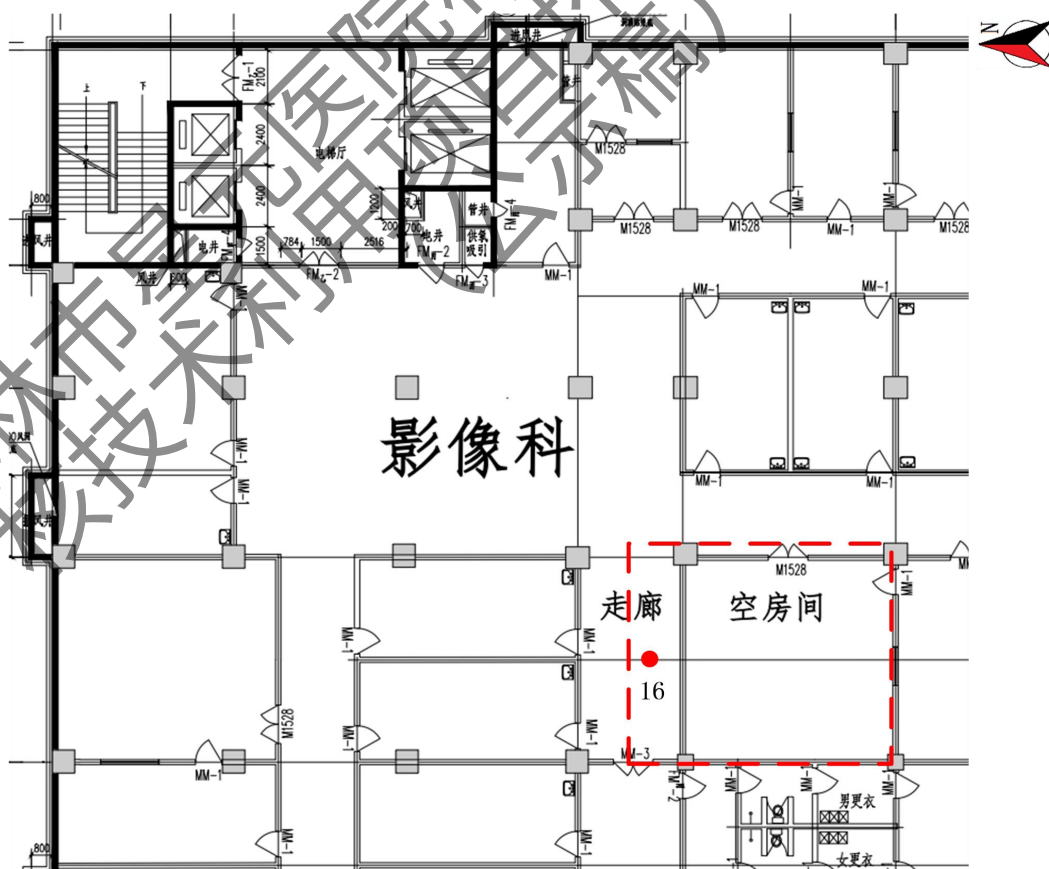


图 8-4 常乐院区拟建后装机房及周围区域检测点位图（-1F）



图 8-5 常乐院区拟建后装机房及周围区域检测点位图（地上）

8.2.3 监测使用仪器

监测仪器相关情况见表8-2。

表 8-2 监测仪器相关信息一览表

检测仪器 名称、型号、编号	测量范围	能量响应范围	检定单位	证书编号	证书有效期
环境监测用 X、γ 辐射空气 比释动能率仪 FD-3013H-6882	0.01~200 μGy/h	36keV~3MeV	中国辐射防护 研究院放射性 计量站	检字第 [2024]-L0593	2024.8.9~ 2025.8.8

8.2.4 质量保证：

- ①结合现场实际情况及检测点位的可到达性，在项目拟建场地周边环境布设检测点位，充分考虑检测点位的公正性和客观性，以保证检测结果的科学性和可比性；
- ②严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）进行检测；
- ③检测仪器每年经有资质的计量部门检定/校准，合格后方可使用；
- ④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- ⑤检测人员持证上岗；

⑥检测结果经三级审核，保证检测数据的准确。

8.2.5 监测结果及评价

项目拟建核医学科、放疗科周边环境 γ 辐射剂量率检测结果见表 8-3。

表 8-3 环境 γ 辐射剂量率监测结果

点位 编号	区域	点位描述		检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	
				平均值	标准差
1	主院区 (核医 学科)	拟建核医学科 (-1F)	检测点①	0.09	0.006
2			检测点②	0.08	0.006
3			检测点③	0.08	0.007
4			检测点④	0.08	0.007
5			检测点⑤	0.08	0.007
6		医技综合楼 A 区大厅 (拟建核医学科上方)		0.08	0.006
7		医技综合楼 B 区大厅		0.08	0.004
8		教学科研楼大厅		0.08	0.007
9		滨河北路		0.06	0.007
10		水利家园内部道路		0.06	0.005
11	常乐院 区(后 装机 房)	拟建后装机房 (-2F)	检测点①	0.08	0.009
12			检测点②	0.08	0.004
13			检测点③	0.08	0.006
14			检测点④	0.08	0.007
15			检测点⑤	0.08	0.008
16		常乐院区综合楼影像科走廊 (-1F)		0.07	0.008
17		常乐院区综合楼大厅 (1F)		0.08	0.005
18		常乐院区内部道路		0.06	0.007
19		常乐院区消防通道(东)		0.07	0.007
20		常乐院区消防通道(北)		0.06	0.01
21		星元医院醒酒中心大厅(1F)		0.07	0.009
22		常乐路		0.07	0.010
23		亮乐园小区内部道路		0.06	0.007
24		春光巷一排内部道路		0.06	0.007

点位 编号	区域	点位描述	检测结果 (μGy/h)	
			平均值	标准差
25		榆阳区环境监测站及家属院 内部道路	0.06	0.01
注：表中数据已扣除宇宙射线响应值，此处宇宙射线响应值为 0.013μGy/h，检测点位 1~8、11~17 对宇宙射线的屏蔽因子按楼房取 0.8；检测点位 21 对宇宙射线的屏蔽因子按平房取 0.9；检测点位 9~10、18~20、22~25 对宇宙射线的屏蔽因子按原野/道路取 1.0。				

由表 8-3 可知，项目拟建核医学科、后装机房周围区域室内 γ 辐射剂量率为 70~90nGy/h，室外 γ 辐射剂量率为 60~70nGy/h（已扣除宇宙射线响应值）。与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“榆林市 γ 辐射剂量率调查结果（室内：56~129nGy/h，道路：33~82nGy/h）”相当，属天然辐射本底水平，辐射环境质量现状无异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 核医学科设备和工艺分析

9.1.1.1 PET-CT 显像诊断

(1) 设备组成及工作原理

PET-CT 是把核医学显像和现代医学影像学成像结合在一起，达到取长补短的目的。PET 显像是反映组织或脏器代谢或功能变化的功能显像，可以通过图像观察分子水平的代谢和功能变化，这些变化早于形态和结构的变化，可用于肿瘤的早期诊断、寻找原发灶及转移灶、判断心肌存活等，但图像的空间分辨和质量较差。CT 等现代医学影像学成像具有空间分辨率高、解剖结构和脏器轮廓清楚、图像质量好，但反映功能和代谢变化差，确定占位性病变的性质比较困难。利用图像融合技术，把核医学显像和现代医学影像学成像相重叠，所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置图像，一次检查可快速了解全身的整体状况，便于病灶的准确定性和精确定位。

本项目 PET-CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断， ^{18}F 半衰期 109.8min。

典型 PET-CT 见图 9-1。



图 9-1 典型 PET-CT 实物图

(2) 工艺分析

PET-CT 显像诊断工作流程：

- a、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。
- b、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，核医学科安排值班人员接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放在储源室。

c、每名患者注射前，工作人员穿戴好个人防护用品在放药分装室手套箱内对外购的放射性药物 ^{18}F 进行分装。

d、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，让该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所控制区，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。

辐射工作人员将钨合金注射器防护套套在注射器上，通过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废物桶。

e、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注射后候诊室或 PET-CT 机房内候诊。

f、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，控制室的辐射工作人员进入机房对患者辅助摆位，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。

g、扫描完成后，患者在留观室留观。

PET-CT 显像诊断过程的污染因子主要是：放射性药物产生的 γ 射线和 β 射线，CT 扫描时产生的 X 射线，放射性废水、放射性废气、放射性固废等。

PET-CT 显像诊断工作流程及产污环节见图 9-2。

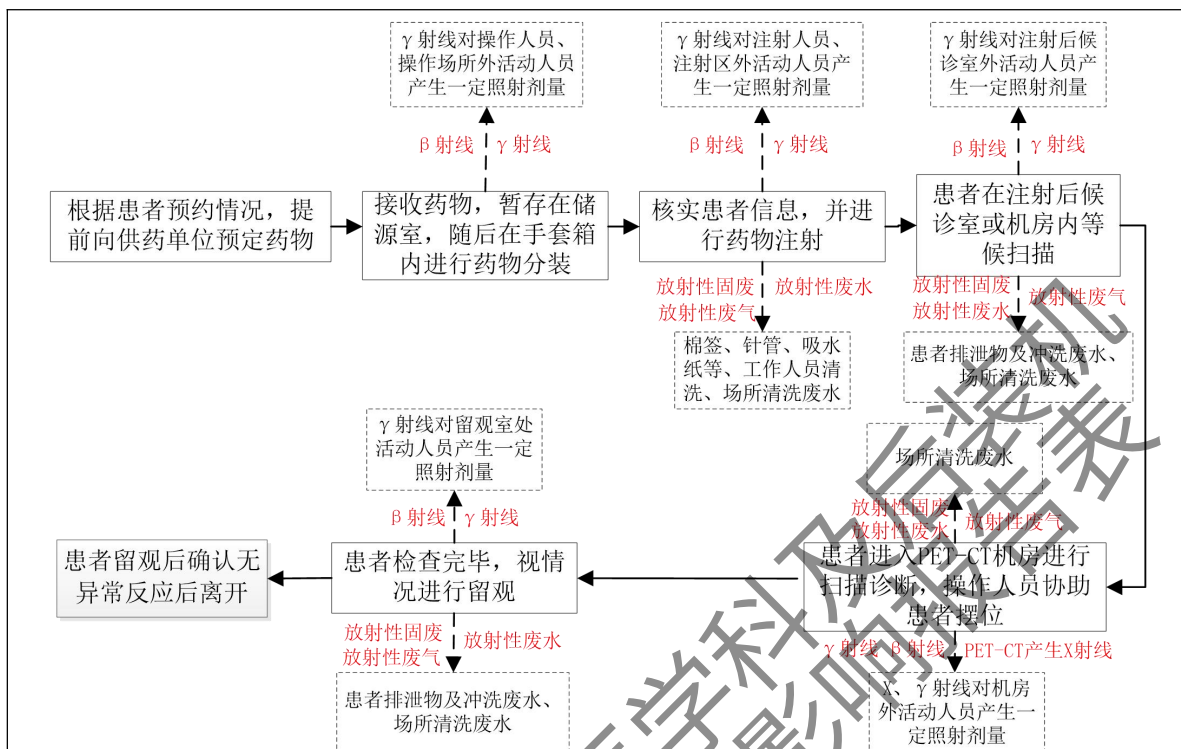


图 9-2 项目 PET-CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图

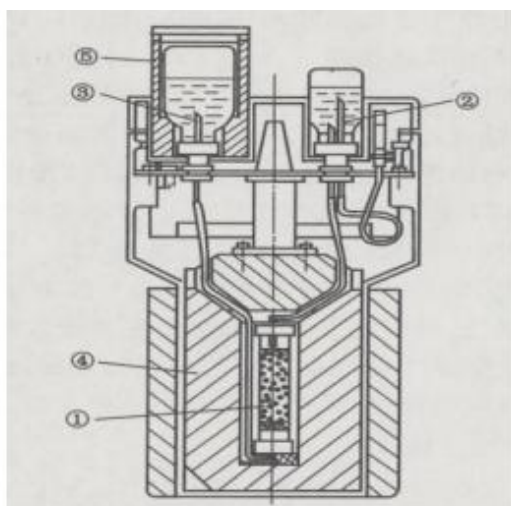
9.1.1.2 SPECT-CT 显像诊断

(1) ^{99m}Tc 放射性核素制备

① ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器工作原理

^{99}Mo - ^{99m}Tc 核素发生器是一种从半衰期较长的母体核素 ^{99}Mo 中分离出半衰期较短的放射性子体核素 ^{99m}Tc 的装置。 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 核素发生器属于色谱柱型发生器，其采用 Al_2O_3 作吸附剂。 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 核素发生器中的 Al_2O_3 对母体核素 ^{99}Mo 有很强的亲和力，子体核素 ^{99m}Tc 几乎不被吸附。当用淋洗液淋洗放射性核素发生器的吸附柱时， ^{99m}Tc 以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式洗脱出来，而母体核素仍留在放射性核素发生器内，整个过程称为“挤奶”。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

典型放射性核素发生器内部结构示意图见图 9-3。



1. 色谱柱；
2. 双针插座（插盐水瓶）；
3. 单针插座（插真空瓶）；
4. 铅屏蔽体；
5. 铅防护容器。

图 9-3 放射性核素发生器内部结构示意图

②工艺分析及产污环节图

放射性核素发生器的操作流程为：

a.医院根据患者的人数、诊疗内容和药物注射量向有资质的厂家订购 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器， ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器厂家运至医院后，由医院核医学科值班人员与送货人员办理“点对点”交接手续，并对发生器数量、活度进行核对后进行登记，将钼锝发生器送至医院淋洗间。

b.在每日接诊时间（8:00）前，开展淋洗工作。将放射性核素发生器置于通风柜中，通过通风柜内手套孔打开放射性核素发生器顶部的铅屏蔽盖。

c.先将盛有淋洗液的小瓶插入发生器的双针，然后将置入铅罐的负压瓶插入发生器的单针。启动放射性核素发生器，借助负压瓶的负压，使淋洗溶液淋洗发生器的吸附柱，这时由母体衰变而得到的子体放射性核素即被洗脱入负压瓶中，获得含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的洗脱液。取走铅罐后，用另一负压瓶插至单针上，吸干吸附柱。

d.手套箱内配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。而后根据患者检查的需求，将真空负压瓶中的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物在通风橱内进行分装。

e.最后将分装好的药物通过传递窗送至放药分装室暂存，待注射使用。

放射性核素发生器的操作流程及产污环节见图 9-4。

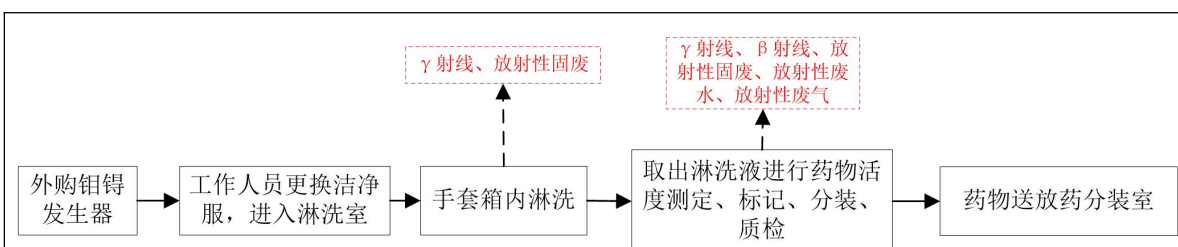


图 9-4 放射性核素发生器操作流程示意图

^{99m}Tc 制备过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、放射性“三废”等。

③ ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器用量

^{99}Mo 、 ^{99m}Tc 半衰期短，故裂变钼 99-钼 99m 色层发生器有效期短，一般不超过 1 周。医院根据患者的人数、诊疗内容和药物注射量向有资质的厂家每周订购 2 个 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器，（每个发生器活度为 500mCi），全年使用的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器数量约为 100 个，每次淋洗时间约 15min。

（2）SPECT-CT 显像诊断

① 设备组成及工作原理

SPECT-CT 即单光子发射计算机断层扫描（Single-Photon Emission Computed Tomography），医疗人员向受检者体内注射一定活度的放射性核素，通过 γ 探测器来探测病人体内组织发出的 γ 射线强度，并对探测到的 γ 光子进行计算处理，从而形成人体内部器官组织图像。本项目使用发射单光子的核素药物是 ^{99m}Tc 。

SPECT-CT 基本结构包括：旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。

SPECT-CT 由 SPECT 和诊断 CT 融合而成，SPECT-CT 机主要用于探测人体内放射性核素发射出的 γ 射线并成像；CT 机主要起定位和辅助分析作用。

② 工艺分析及产污环节图

SPECT-CT 诊断项目采用的放射性核素 ^{99m}Tc 为自制，医院自行购置钼铯发生器进行淋洗制备、分装，分装好的药物送往放药分装室暂存，在 ^{99m}Tc 注射窗口给患者进行静脉注射。

医生开具 SPECT-CT 诊断单，并告知患者诊断过程存在辐射危害，病人通过注射将放射性药物摄入，患者摄入药品后被安排至专用的注射后候诊室或 SPECT-CT 机房内等候，待放射性药物代谢一定水平后进入 SPECT-CT 机房进行扫描诊断，患者扫描结束后在留观室留观。

SPECT-CT 放射诊断过程的污染因子主要是：放射性药物产生的 γ 射线和 β 射线，CT 扫描时产生的 X 射线，放射性废水、放射性固废、放射性废气等。

SPECT-CT 显像诊断工作流程及产污环节见图 9-5。

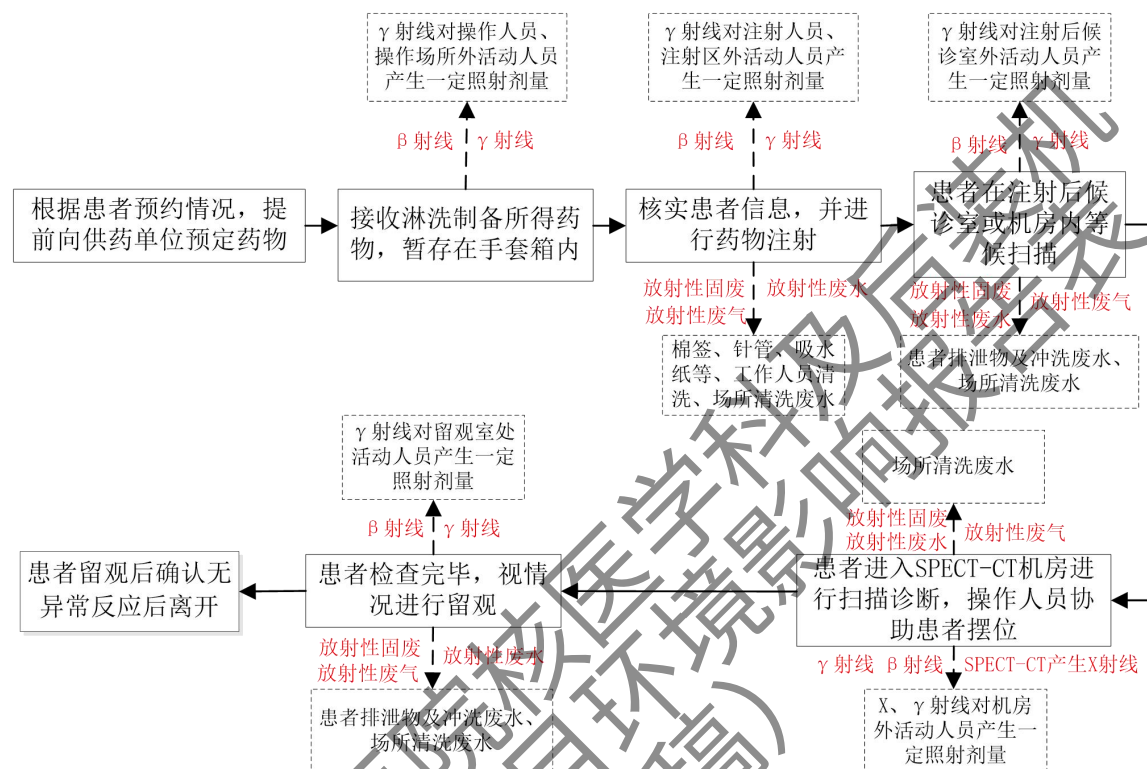


图 9-5 项目 SPECT-CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

9.1.1.4 甲功测定、甲亢治疗

(1) 工作原理

①甲功测定：主要利用甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的特点，其摄取碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，取决于甲状腺的功能状态。由于 ^{131}I 与稳定性的碘具有相同的生化性质和生物学特性，因此，给检查者口服 ^{131}I 后可在甲状腺内聚集。利用等量的 ^{131}I 药物作为标准源，分别利用甲状腺功能仪 γ 探测器测量甲状腺部位、标准源 ^{131}I 发射的 γ 射线计数率以及本底计数率，获得不同时间（给药后2h、24h）甲状腺部位放射性计数率，根据甲状腺摄取 ^{131}I 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。利用不同时间段患者摄碘率的变化曲线来判断患者甲状腺功能是否正常，为甲状腺疾病的诊断和放射性碘治疗提供可靠的数据。 ^{131}I 半衰期8.02d，主要通过 ^{131}I 衰变发射出的0.364MeV的 γ 射线测定甲状腺摄碘率。甲状腺功能测定一般患者需要服用 $5\mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I ，服用药量非常小，服药后患者体外0.5m处辐射剂量率水平约为

0.05 μ Sv/h，与表8中项目区域本底水平相当，因此甲功测定室无需进行专门的辐射防护屏蔽设计，进行甲状腺功能检查的患者也无需进行辐射安全管控，服药完成后直接离开核医学科，于2h、24h后返回测量甲状腺放射性计数。

本项目甲功测定患者体外50cm处剂量率已与环境本底水平相当，故不对甲功测定患者做辐射安全管控，也无需对其活动场所进行防护屏蔽设计。

②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，甲亢患者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 射线射程平均约1mm，几乎全部为甲状腺组织吸收；使用适当剂量的 ^{131}I ，其电离辐射生物效应使功能亢进的甲状腺细胞受破坏，甲状腺缩小、甲状腺激素的合成减少，从而达到治疗目的。

(2) 工作流程及产污环节

①甲功测定工作流程

1) 甲功测定

甲功测定是甲亢治疗流程中治疗前阶段的步骤，甲状腺功能测定是在甲吸室内利用甲状腺功能测定仪来测定患者甲状腺吸碘率。其具体治疗流程为：

a、患者准备。根据医生指导意见，需要接受甲状腺功能测定的患者提前登记预约，进行治疗前准备，需停止食用含碘丰富的食物 2-4 周，停止服用含碘药物 2 周以上。检查当日患者应空腹。

b、供药单位按照订购要求在约定时间内将成品药物胶囊运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排值班人员接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放在储源室。

c、在每日接诊时间（8:00）前，工作人员使用专用的转运容器将 ^{131}I 药物转移至甲吸室。

d、甲功测定患者于每日接诊时间（8:00后）在大厅等候，根据语音叫号系统进入甲吸室，空腹口服5 μ Ci的 ^{131}I 药物胶囊。

e、患者口服 ^{131}I 药物胶囊后离开，2h、24h 后返回甲功室进行检查。

f、开机预热，使甲状腺功能仪处于正常工作状态，测量甲功测定室本底计数及标准源计数，并计算甲状腺吸碘率。

甲状腺吸碘功能测定的操作流程及产污环节见图9-6。

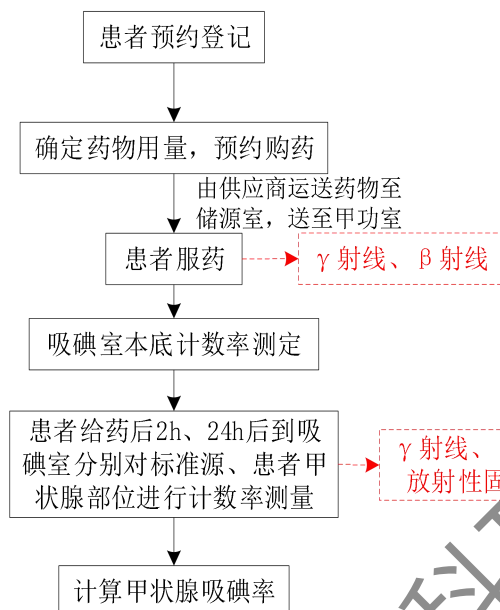


图 9-6 甲功测定操作流程及产污环节示意图

项目甲功测定过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、放射性固废等。

②甲亢治疗流程

a、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。

b、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，核医学科安排值班人员接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放在储源室。

c、在每日接诊时间（8:00）前，工作人员使用专用的转运容器将外购的放射性药物 ^{131}I 运至放药分装室内的 ^{131}I 自动分装机内进行分装。

d、甲亢治疗患者于每日接诊时间（8:00 后）在大厅等候，根据语音叫号系统进入服药室，在工作人员指导下通过自动服药装置接取 10mCi 的 ^{131}I 药物并口服。

e、甲亢患者服药量小于 400MBq，患者服药留观后可直接由患者出口离开核医学科。

甲亢治疗流程图及产物环节见图9-7。

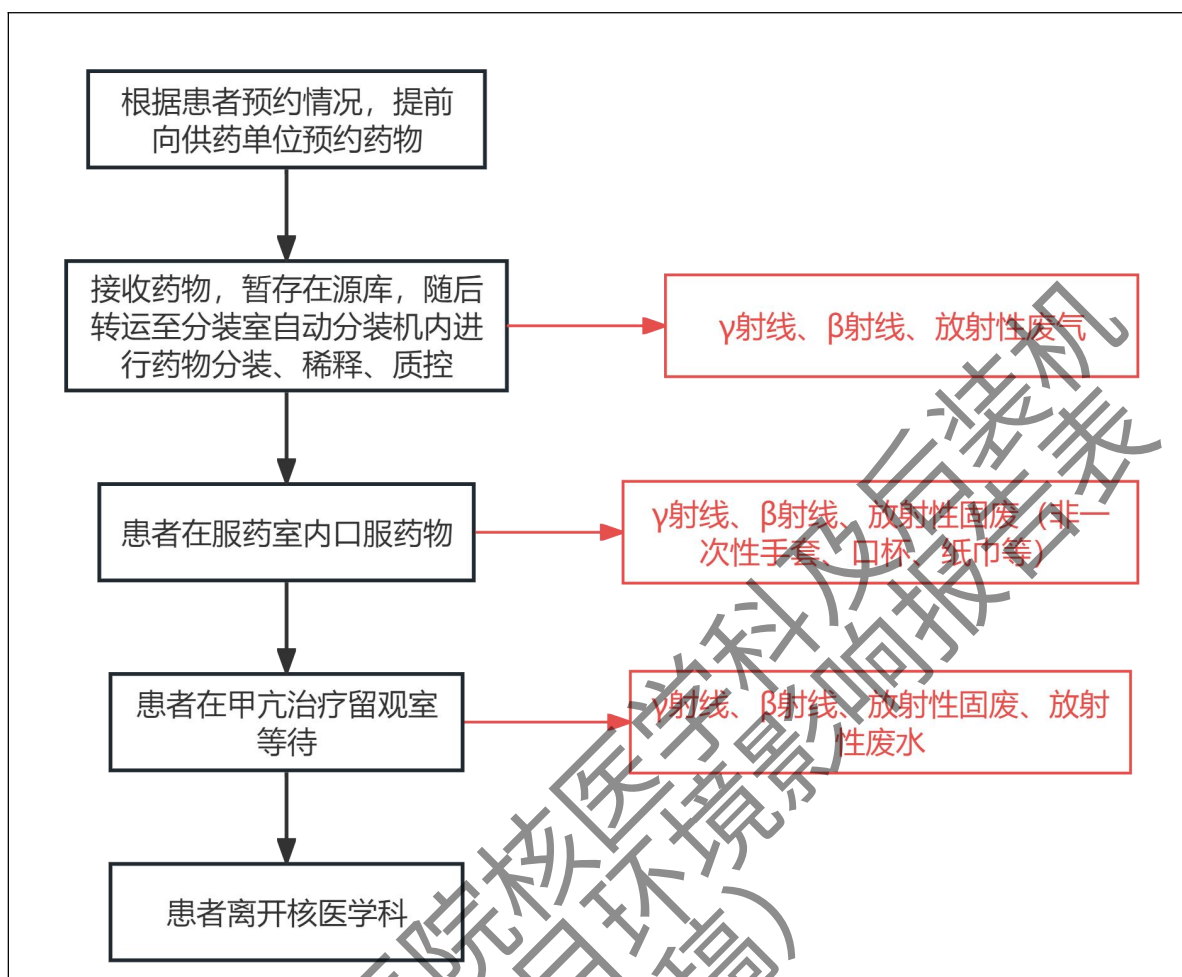


图 9-7 甲亢治疗流程及产污环节示意图

项目甲亢治疗过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、放射性废水、放射性废气、放射性固废等。

9.1.2 后装治疗机设备和工艺分析

(1) 设备组成及工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在病人需要治疗的部位正确地放置施源器，然后通过遥控操作，将储源器内放射源输入施源器内，实施治疗的技术。后装治疗机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统三部分组成，其中治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件等，治疗系统包括专用控制微机系统、步进电机、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道等。

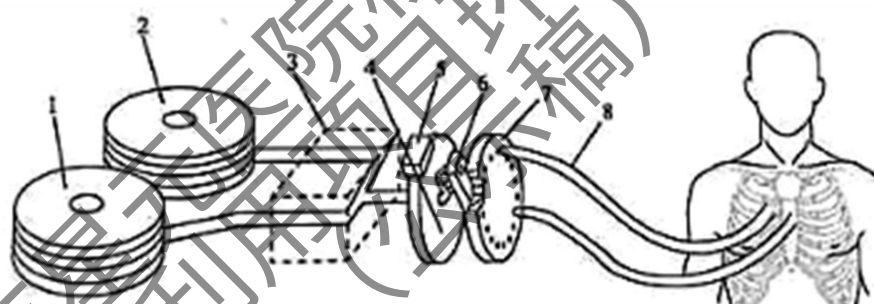
后装治疗具有治疗距离短，源周局部剂量高，周围剂量迅速跌落的特点，因而在提高肿瘤局部照射剂量的同时，可有效保护周边正常组织和重要器官，后装治疗技术的应用使医护人员摆脱了以往近距离治疗时手持放射源直接受照的危害，明显

降低了医务人员的受照剂量，提高了摆位和固定的精度，也缩短了照射时间，减轻了患者的痛苦。

典型后装治疗机见图9-8，典型后装治疗机内部结构见图9-9。



图 9-8 典型后装治疗机



说明：1. 模拟源轮 2. 真源轮 3. 安全区 4. 换路器 5. 编码 6. 换路导管 7. 接盘器 8. 施源器

图 9-9 典型后装治疗机内部结构

(2) 工作流程及产污环节

后装治疗机治疗流程如下：

①进行定位：先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，确定肿瘤具体位置和形状，确定治疗中心。

②制定治疗计划：确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小，确定照射剂量和照射时间。

③工作人员在准备间对患者病变部位插管。进入机房调整接管并检查设备状况，

患者进入机房，固定体位。

④工作人员将患者推进后装机房，检查设备状况，将施源管和施源器送达腔道的病灶，将预置管与后装治疗机施源管相连接。工作人员一般距后装治疗机 1m。

⑤确认除患者外无其他人员滞留，工作人员离开机房，并关闭防护门。

⑥在控制室控制台通过计算机系统，先用假源轮进行试运行，验证无误后，再用真源轮将放射源从后装机机体通过施源管送达病灶进行治疗。

⑦治疗结束，源回到屏蔽体内。打开防护门，拆除施源管等设备，患者离开治疗机房。

后装治疗机一般治疗流程及产污环节见图 9-10。

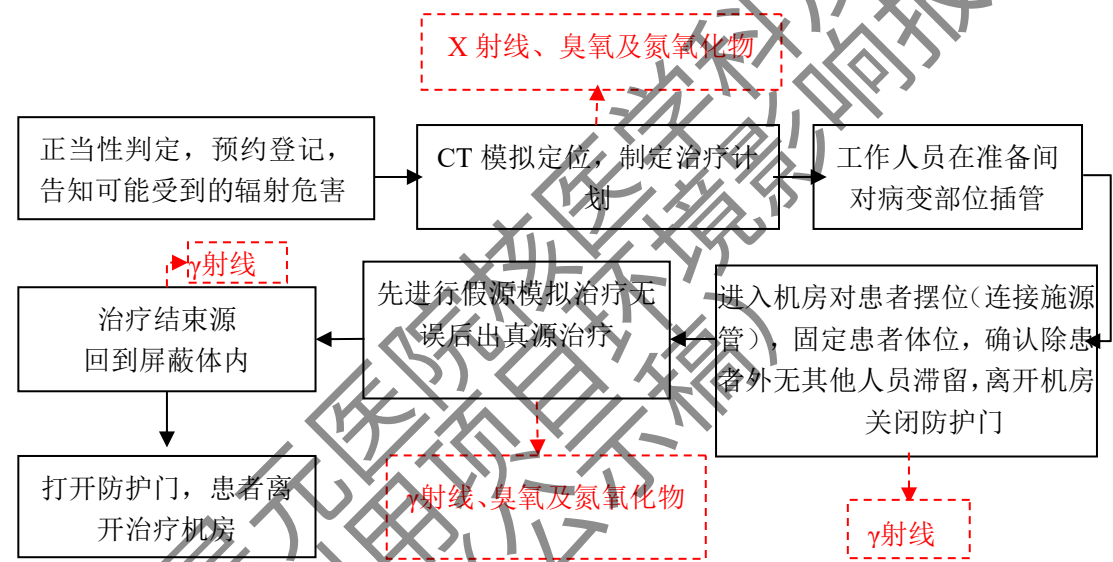


图 9-10 后装治疗机近距离治疗流程及产污环节简图

后装治疗机治疗使用的¹⁹²Ir放射源为点状米粒大小的微型单颗源，外有不锈钢包壳，β射线被完全屏蔽，源活性物质不会泄漏，属于密封放射源。正常使用情况下，¹⁹²Ir放射源衰变产生γ射线，治疗过程中污染因子主要为：γ射线、臭氧和氮氧化物等。¹⁹²Ir放射源使用一段时间后，其活度不能满足治疗要求，会产生废旧放射源。放射源的运输、装源、更换均由供源单位负责。

9.2 污染源项描述

9.2.1 核医学科的污染源项描述

（1）正常工况

PET-CT 使用的放射性药物为 ¹⁸F，¹⁸F 衰变模式为 EC 和β⁺，其中β⁺粒子在体内经湮灭产生两个方向相反的γ光子，同时放射性药物 ¹⁸F 在使用过程会产生β射线，CT

扫描时会产生 X 射线；SPECT-CT 使用的放射性药物为 ^{99m}Tc ， ^{99m}Tc 衰变产生 γ 射线和内转换电子，CT 扫描时会产生的 X 射线。甲功测定、甲亢治疗使用的放射性核素为 ^{131}I ， ^{131}I 衰变方式为 β^- ，在衰变过程中释放 β 射线和 γ 射线。正常工况下核医学科各项目的放射性污染源项见表 9-1。

表 9-1 核医学科各核素放射性污染源项表

项目	核素	半衰期	衰变方式	核素射线和能量	射线装置和射线类型
PET-CT 显像诊断	^{18}F	109.8min	β^+ 衰变	γ 射线（511keV）	CT X 射线
SPECT-CT 显像诊断	^{99}Mo	66h	β^- 衰变	β 射线（1.214MeV）	/
	^{99m}Tc	6.02h	IT衰变	γ 射线（140keV）	CT X 射线
甲功测定 甲亢治疗	^{131}I	8.02d	β^- 衰变	β 射线（0.606MeV） γ 射线（0.364MeV）（主要）	/

此外，项目正常运行期间还会产生一定量的放射性废水、放射性废气、放射性固废及臭氧、氮氧化物等。

污染源项如下：

① γ 射线

由于 γ 射线具有较强的穿透性，放射性药物在给药室注射过程中，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；注射后患者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、诊断机房、留观室的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，因此 γ 射线是核医学科项目的主要污染因子。

② X 射线

PET-CT 或者 SPECT-CT 开机扫描时 CT 会产生的 X 射线。X 射线穿透机房的实体屏蔽造成机房周围环境辐射水平升高，人员在此区域活动时受到一定的照射剂量影响，污染途径为 X 射线外照射，因此，X 射线是核医学科项目的主要污染因子。

③ β 射线

由于放射性药物 ^{18}F 、 ^{131}I 会产生 β 射线，在使用活动过程中不可避免地会在工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾染，污染途径为 β 射线表面污

染。因此 β 射线是核医学科项目的主要污染因子。

④放射性废水

项目核医学科 PET-CT、SPECT-CT、甲亢治疗辐射工作场所产生的放射性废水主要为工作场所清洁时可能带有微量放射性的废水和患者的排泄物等,主要含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 。

使用 ^{131}I 进行甲功测定的患者,在检查后可直接离开核医学科,无如厕人员,且甲功测定服用药量非常小,因此不考虑甲功测定患者产生放射性废水,发生洒漏事故时,为防止污染进一步扩散,一般采用擦拭的方法去污,不产生放射性废水。

1) PET-CT 显像诊断每天接诊患者最多 10 人, SPECT-CT 显像诊断每天接诊患者最多 10 人, 甲亢治疗每天接诊患者最多 5 人。参考《行业用水定额》(DB61/T 943-2020) 表 B.12, 门诊患者平均用水量为 11L/人·次, 本次保守按全部排放计算。

2) 核医学科参与放射性药物的操作人员 3 人(放药分装室分装、注射护士 1 人, 操作短半衰期核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和长半衰期核素 ^{131}I ; ^{131}I 转移及指导服药护士 1 人, 操作长半衰期核素 ^{131}I ; 淋洗间制备、分装 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 人员 1 人, 操作短半衰期核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$), 参考《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019) 表 3.2.2, 以上工作人员用水量按 60L/人·d 计。本项目放药分装室分装、注射护士和 ^{131}I 转移及指导服药护士产生的含放射性污水全部通过放药分装室及卫生通过间内排水管道排入含 ^{131}I 核素衰变池; 淋洗间制备、分装 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 人员产生的含放射性污水通过淋洗间及卫生通过内排水管道排入 ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素衰变池。

3) 核医学科显像诊断场所预计每天清洁产生废水量 0.1m^3 ; 核医学科甲亢治疗场所及放药分装室总面积较小, 预计每天清洁产生废水量 0.07m^3 。

则核医学科的放射性废水产生量见下表。

表 9-2 核医学科放射性废水排放情况表

用水类别		用水定额	用水规模 (日)	废水总量		去向
				m^3/d	m^3/a	
^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废水	辐射工作人员 (淋洗间)	60L/人·d	1 人	0.06	15	1-2 号 ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素衰变池
	显像检查患者	11L/人·次	20 人	0.22	55	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗废水	5L/d	/	0.005	1.25	
	清洁用水	$0.1\text{m}^3/\text{d}$	/	0.1	25	
合计				0.385	96.25	

用水类别		用水定额	用水规模 (日)	废水总量		去向
				m ³ /d	m ³ /a	
含 ¹³¹ I 废水	辐射工作人员 (放药分装室)	60L/人·d	2 人	0.12	30	3-6 号 含 ¹³¹ I 核素 衰变池
	甲亢治疗患者	11L/人·次	5 人	0.055	13.75	
	清洁用水	0.07m ³ /d	/	0.07	17.5	
合计				0.245	61.25	

综上,项目运营期间产生含 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 短半衰期核素放射性废水总量 0.385m³/d (96.25m³/a) 排入 1-2 号 ¹⁸F 及 ^{99m}Tc 核素衰变池存放;产生含 ¹³¹I 长半衰期核素放射性废水总量 0.245m³/d (61.25m³/a) 排入 3-6 号含 ¹³¹I 核素衰变池存放,满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)标准要求后,再排入医院总污水处理站进一步处理。

⑤废气

核医学科使用放射性核素过程中,会产生含微量 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I 的废气。

⑥固体废物

核医学科诊断活动过程中,将产生一定量的放射性固废、医疗垃圾、生活垃圾等。

1) 放射性固废

项目放射性固废来源有:⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器淋洗、分装过程中产生的废钼铈发生器柱、废淋洗真空瓶、核素分装、药物注射过程中产生的废注射器、消毒棉签、注射台上的吸水纸、口罩、乳胶手套、擦拭纸巾及 ¹³¹I 吸碘测定自动分装、口服过程中产生的放射性固体废物如口杯、擦拭纸巾、手套等;工作场所清洁时用过的抹布及拖布;吸附放射性废气产生的废活性炭等滤材。

根据医院提供的资料,核医学科产生的废 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器柱交由生产厂家或有资质厂家回收处理。

项目核医学科日接诊人数最多 45 人,放射性废物按人均每天 0.05kg 计,则放射性废物每天产生量约为 2.25kg,全年产生量约为 562.5kg;清洁时用过的抹布及拖布产生量约为 10kg/a。放射性废物分类收集在内置专用塑料袋的污物桶(污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志)内,塑料袋装满后密封并及时运送至核医学科固废间内专用容器中。排风系统的活性炭预计每年更换一次,每次填装量为 50kg,则

废活性炭产生量为 50kg/a。放射性废物年产生量约 622.5kg。

2) 一般医疗废物

核医学科产生的非放射性医疗废物运至医院的医疗废物暂存间暂存，定期交由有资质的单位处理，生活垃圾交由环卫部门处理。

(2) 事故工况

①对放射性药物管理不善，造成放射性药物丢失或被盗；

②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；

③放射性药物分装及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，将造成放射性表面污染；

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核医学科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活性区或正在运行的机房内而造成辐射损伤；

⑥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。

9.2.2 后装治疗机

(1) 正常工况下放射性污染源

项目后装治疗机使用的放射源为微型单颗 ^{192}Ir ，源活度不大于 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)，空气比释动能率常数 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，为密封源，外有不锈钢包壳， β 射线被完全屏蔽，源活性物质不会泄漏。因此，在正常使用情况下，后装治疗机主要环境污染因子是放射源发射的 γ 射线。

后装治疗机正常运行状态下的污染途径如下：

① γ 射线

后装机正常运行时的主要环境污染因子为能量流形式的 γ 射线。在正常治疗条件下，后装机 ^{192}Ir 放射源发出的 γ 射线经过屏蔽体屏蔽后对周围工作人员和公众产生外照射影响。

在治疗前、治疗后连接或拆卸输源导管时， ^{192}Ir 放射源处于贮源状态，贮源器表面产生的 γ 射线杂散辐射会对工作人员产生 γ 射线外照射。

②废源

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，放射源 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天。根据

医院诊疗计划，项目放射源使用达到 2 个半衰期以后将无法继续满足放射治疗要求需要更换新的放射源。即 148 天更换一次，每年更换 2~3 次，最多产生 3 枚废放射源。

(2) 正常工况下非放射性污染源

①废气：后装治疗机在正常工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响很小。

后装机正常工况下臭氧（O₃）产额为 0.0811mg/h，机房内臭氧浓度为 $3.88 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ ，氮氧化物（NO_x）浓度为 $1.94 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ （计算过程详见 11.2.2（五）后装机废气影响分析）。

②废水：本项目运行过程中工作人员会产生生活污水。

③固体废物：本项目运行过程中工作人员会产生生活垃圾。

(3) 事故工况下污染途径

①门机（源）联锁装置发生故障，人员误入正在运行的后装治疗机房导致误照射；

②安全联锁系统故障或失效，机房防护门未关好即开始治疗，导致射线泄漏，造成防护门外活动人员受到意外照射；

③放射源源位置异常、卡源等，造成工作人员或公众的外照射；

④放射源丢失或被盜，对周围环境或公众造成外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学科项目安全设施

10.1.1.1 工作场所布局及合理性分析

项目核医学科工作场所位于主院区医技综合楼 A 区地下 1 层，核医学科显像诊断患者通道以东自南向北依次为淋洗间、 ^{18}F 注射室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/运动负荷室、SPECT-CT 注射后等候室、PET-CT 注射后等候室、固废间及清洁间；显像诊断患者通道以西自南向北依次为预留诊室、会议示教室、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房；显像诊断患者通道以北由西向东依次为抢救/PET-CT 留观室、SPECT-CT 留观室；甲亢治疗患者通道以西自南向北依次为淋洗间更衣室、药梯及储源室、放药分装室及其卫生通过间、甲亢治疗服药/留观室；甲亢治疗患者通道以东为土层。甲吸室在以上核医学科诊断区域西南侧单独设置。核医学科平面布局图见图 1-6。

核医学科工作场所选址及布局合理性分析见表 10-1。

表 10-1 核医学科工作场所平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	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。	本项目核医学科仅为门诊诊断，不设置住院治疗场所；控制区集中设置在中间区域，储源室、注射室、运动负荷室、注射后候诊室、留观兼抢救室相邻，与机房分开设置，保证工作实施沿着各功能房间单向开展，避免人员交叉辐射。	符合要求
	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。	通过采取时间管控，放射性药物、工作人员、患者、放射性废物路线相对独立；患者通道与工作人员通道分离，注射后患者与注射前患者通道不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。	符合要求
	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适	项目控制区的入口和出口设置门	符合

	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。	锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员免受不必要的照射；本项目控制区入口设置工作人员更衣室与淋浴间；放药分装室及淋洗间的卫生通过间设置表面污染检测仪；项目2间注射后等候室、3间留观室均设置专用卫生间。	要求
《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)	5.1.2c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动。	本项目核医学科控制区的入口和出口设计有门锁权限控制和单向门禁系统等安全措施。	符合要求
	5.1.2d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。	本项目给药室出口设置卫生通过间和淋浴间，可进行表面污染检测。	符合要求
	5.1.3a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房。	^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ¹³¹ I 诊断区域核医学工作场所设计有给药前候诊大厅、注射室、注射后等候室、留观兼抢救室、运动负荷、机房、放废暂存间、清洁间和患者卫生间、储源室等功能用房。	符合要求
	5.1.3c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房。	核医学科诊断区域设计有更衣室、洗手间、诊室、护士站、卫生间等辅助用房。	符合要求
	5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。	核医学工作场所的设计布局有助于开展工作，避免无关人员通过。本项目不涉及治疗工作场所。	符合要求

综上所述，核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

10.1.1.2 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，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》（HJ1188-2021）中4.3.2的要求：“核医学工作场所的控制区主要包括……、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的要求“核医学工作场所的监督区主要包括……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”对核医学科场所进行控制区和监督区的划分。

控制区的出入口应设置电离辐射警告标志，并采取管理措施和实体屏蔽结合的措施限制控制区人员流动。

监督区应划定边界，并设置监督区标识，定期监测并评价是否需要采取措施或更改监督区边界。

项目核医学科工作场所分区管理示意图详见图10-1。

10.1.1.3 人流、物流、固废路径规划

为了加强辐射安全管理，结合项目工作流程及工作场所布局，在核医学科地面或墙壁设置简明易懂的导向标识或导向提示，或通过对讲形式引导患者，限制其流动方向。项目核医学科区域医护人员、患者、放射性药物及放射性固废流动路线如图10-2所示。

项目核医学科工作场所内医护人员、患者、放射性药物和放射性固废的流动路线如下：

（1）医护人员路线

①放药分装室辐射工作人员：早7:30为放射性药品计划送达时间，药品送达后由核医学科值班人员接收，放药分装室辐射工作人员上班时间为8:00~12:00和13:00~18:00，由核医学科东南侧进入（设置门禁系统，防止患者或其他人员误入），经医生通道通过缓冲间进入放药分装室及淋洗室，药物淋洗、分装、质控完成后分别在注射窗口完成对患者 ^{18}F 或 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的静脉注射，指导服药间内患者服用 ^{131}I 药物。工作完成后，工作人员沿原路返回，在卫生通过间进行表面污染检测，检测不合格时需清洁去污，检测合格后方可更衣离开。

②PET-CT和SPECT-CT设备操作人员：由核医学科西侧经缓冲区进入控制室完成PET-CT和SPECT-CT图像采集。工作完成沿原路返回。

③诊室和检查准备室等工作人员由大厅进入相关工作区域，完成相关工作后原路返回。

(2) 患者路线

患者在正常接诊时间8:00~12:00和13:00~18:00，经过医技综合楼A区地下一层核医学科电梯厅进入核医学科，患者首先在护士站进行预约登记，然后根据护士引导进入相应诊断区域。

PET-CT和SPECT-CT显像诊断患者：患者预约和登记后在大厅等候，通过语音叫号，依次由显像诊断患者的单向专用入口（单向门，只进不出）进入核医学科控制区，在注射窗口进行药物静脉注射后，在对应的注射后等候室或机房内候诊；等到通知后进入PET-CT或SPECT-CT机房进行显像诊断，检查完成后根据患者情况判定需要留观的患者进入留观室进行留观，最后从核医学科东北侧患者出口（单向门，只出不进）离开核医学工作场所。

甲亢治疗患者：患者预约和登记后在大厅等候，通过语音叫号，依次由位于核医学科东南侧的甲亢治疗患者单向专用入口（单向门，只进不出）进入核医学科甲亢治疗控制区，在服药间由工作人员指导服药后，进入甲亢治疗留观室进行留观，最后从核医学科东北侧患者出口（单向门，只出不进）离开核医学工作场所。

显像诊断和甲亢治疗患者的出入口均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。注射后等候室、留观室均设有独立的卫生间，患者可在专用卫生间如厕，不随意走动。

甲功测定患者：患者预约和登记后在大厅等候，通过语音叫号，直接进入甲吸室接受相应诊疗，结束后由核医学科西南侧门离开核医学工作场所。

(3) 放射性药物路线

项目采用的 ^{18}F 、 ^{99}Mo 及 ^{131}I 放射性药物为外购，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。供药单位按照订购要求，在约定时间（早7:30）将 ^{18}F 、 ^{99}Mo 及甲亢治疗用 ^{131}I 药物由医技综合楼A区1层东侧送药厅送入，使用专用药梯向下直接运送至储源室内（见图10-2、图10-3）；将甲功测定用 ^{131}I 药物胶囊由医技综合楼A区地下一层核医学科西南侧门送入，直接运送至甲吸室内（见图10-3）。核医学科安排值班人员分别接收，经确认无误完成相关交接手续。

（4）放射性固废路线

核医学科放射性固废在固废间进行暂存，衰变至符合清洁解控水平。在18:30无病人后，放射性固废通过患者通道或分装放药室出口运出。

综上所述，核医学科医护人员通道和患者通道分开设置，注射后患者与工作人员活动路径不交叉；患者通道入口、出口分开，并采用单向门禁系统，防止给药后患者进入非放射性工作区，注射后患者与注射前患者活动路径不交叉；放射性药物和废物的流动通过严格限制运输时间的方式，即每天早 7:30 由核素供应商将订购的药物沿放射性药物路径运至储源室，接诊期间 8:00~12:00 和 13:00~18:00 为患者专用通道，18:30 下班后沿患者通道或分装放药室出口运出放射性固废，并在接诊时间外关闭患者通道入口，以此确保人员与放射性药物通道、放射性废物通道不交叉。通过上述措施最终实现相对独立的工作人员、患者、放射性药物、放射性固废路径，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

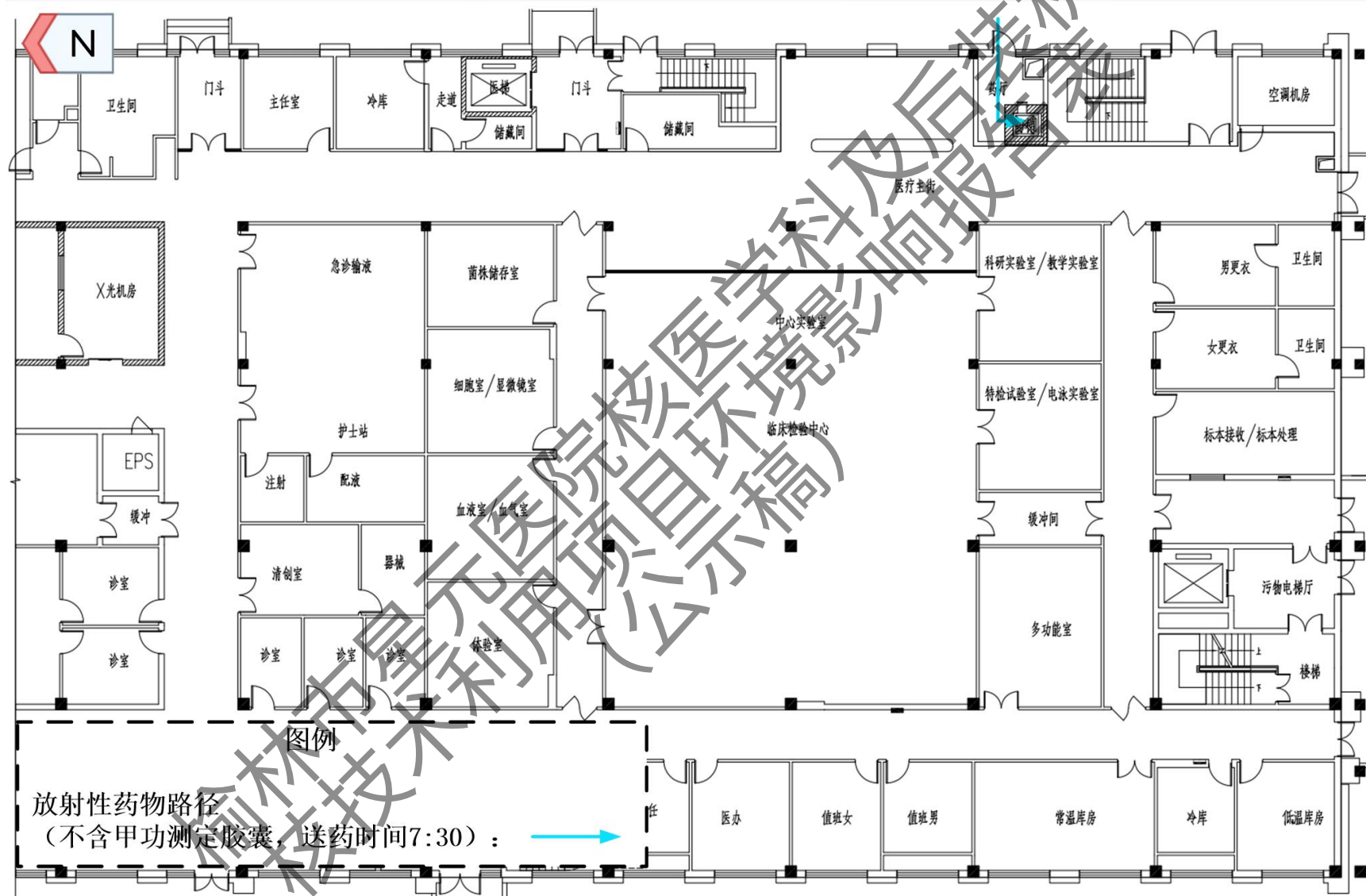


图 10-2 项目核医学科上方放射性药物路径示意图

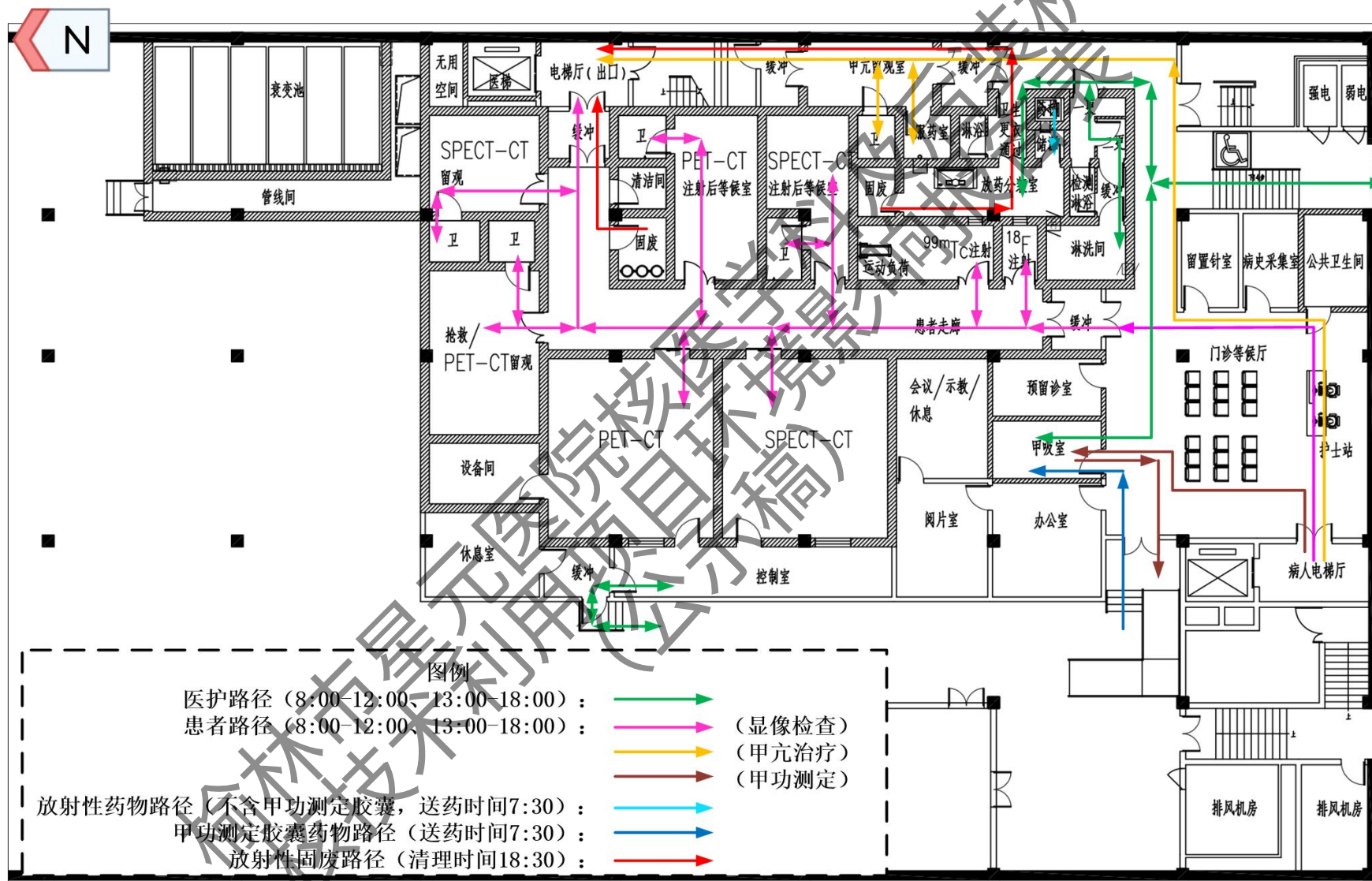


图 10-3 项目核医学科工作场所工作人员、患者、放射性药物、放射性固废路径示意图

10.1.1.4 非密封放射性物质工作场所分级管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C非密封放射性物质工作场所的分级规定以及环办辐射函〔2016〕430号，项目使用的非密封放射性核素日等效最大操作量见表10-3。

表 10-2 非密封放射性物质工作场所的分级

级别	日等效最大操作/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

表 10-3 非密封放射性物质（核素）日等效最大操作量

项目	核素种类	每人核素最大用量 (Bq)	最大诊疗人数/天	毒性分组/毒性组别修正因子	操作方式/操作修正因子	日实际最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)
PET-CT	^{18}F	3.7×10^8	10	低毒/0.01	很简单操作/10	8.61×10^9	8.61×10^6
SPECT-CT	^{99}Mo	/	/	中毒/0.1	源的储存/100	1.85×10^{10}	1.85×10^7
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25×10^8	10	低毒/0.01	很简单操作/10	1.21×10^{10}	1.21×10^7
甲亢治疗	^{131}I	3.7×10^8	5	中毒/0.1	简单操作/1	1.85×10^9	1.85×10^8
甲功测定	^{131}I	1.85×10^5	20	中毒/0.1	简单操作/10	3.7×10^6	3.7×10^4
合计						4.11×10^{10}	2.28×10^8

注：日等效最大操作量=日实际最大操作量 $\times$ 毒性组别修正因子 $\div$ 操作修正因子。考虑到 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的衰变以及存在的其他不可控因素，日最大操作量需留有余量，因此 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的日实际最大操作量需大于实际用量。

根据表 10-3 可知，核医学科诊断区的工作场所日等效最大操作量为 $2.28 \times 10^8 \text{Bq}$ ，在 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 之间，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，本项目核医学科工作场所为**乙级**非密封放射性物质工作场所。

10.1.1.5 屏蔽设计情况

核医学科工作场所屏蔽设计情况见表 10-4。

表 10-4 项目辐射工作场所屏蔽设计一览表

工作场所	屏蔽部位	屏蔽材料及规格
PET-CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖墙
	观察窗	10mmPb 防护玻璃板

工作场所	屏蔽部位	屏蔽材料及规格
	防护门	受检者门：5mmPb，工作人员门：10mmPb
	屋顶	200mm 混凝土楼板+250mm 混凝土屏蔽层
SPECT-CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖墙
	观察窗	5mmPb 防护玻璃板
	防护门	受检者门：5mmPb，工作人员门：5mmPb
	屋顶	200mm 混凝土楼板+180mm 混凝土屏蔽层
放药分装室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	分装手套箱	60mmPb
	¹³¹ I 自动分装机	40mmPb
	注射窗	¹⁸ F：40mmPb 防护玻璃板， ^{99m} Tc：10mmPb 防护玻璃板
	卫生通过 防护门	10mmPb
	屋顶	200mm 混凝土+5mm 铅板
^{99m} Tc 注射/ 运动负荷室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	2mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
¹⁸ F 注射室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	10mmPb
	屋顶	200mm 混凝土+6mm 铅板
PET 等候室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	15mmPb
	屋顶	200mm 混凝土+15mm 铅板
抢救/PET 留观室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	15mmPb
	屋顶	200mm 混凝土+15mm 铅板
SPECT 等候室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	5mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
SPECT 留 观室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	2mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
固废间（患 者走廊）	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	3mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
清洁间	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	5mmPb
	屋顶	200mm 混凝土

工作场所	屏蔽部位	屏蔽材料及规格
储源室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	3mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
固废间（放药分装室）	四周墙体	370mm 实心砖墙
	防护门	3mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
淋洗间	四周墙体	370mm 实心砖墙
	淋洗手套箱	10mmPb
	放药分装室传递窗	5mmPb
	卫生通过防护门	5mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
放药分装室卫生通过、淋浴间	四周墙体	370mm 实心砖墙
	工作人员入口防护门	5mmPb
	屋顶	200mm 混凝土
患者通道	四周墙体	370mm 实心砖墙
	屋顶	200mm 混凝土+6mm 铅板
	入口防护门	15mmPb 带门禁防护门
	出口防护门	15mmPb 带门禁防护门
甲亢治疗服药、留观室	四周墙体	370mm 实心砖墙
	入口防护门	20mmPb 带门禁防护门
	出口防护门	20mmPb 带门禁防护门
	屋顶	200mm 混凝土+5mm 铅板
衰变池	四周墙体	370mm 实心砖
	衰变池槽体	一体式不锈钢槽体（有效容积 20m ³ ×6 个）
	屋顶	370mm 实心砖+15mm 铅板

10.1.1.6 辐射安全与防护措施

（1）工作场所安全防护措施

①在控制区、核医学科放废暂存间入口应设置电离辐射警告标志；在手套箱、铅罐、注射转移屏蔽箱、铅废物桶等表面设置电离辐射警告标志；在 SPECT-CT 机房、PET-CT 机房防护门上方设置工作状态指示灯和灯箱警示语句，且工作状态指示灯和防护门应有效联动。工作场所内手动防护门安装闭门装置，电动防护门安装防夹装置。

②控制室、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、等候室、服药间、留观室、抢救室之间设置视频监控系统 and 双向对讲装置；候诊大厅、放药分装室之间设置叫号系统；在 SPECT-CT 机房、PET-CT 机房与控制走廊之间设置观察窗；在注射窗口、患者通道、注射后候诊室等处设置病人导向标识或导向提示。

③项目控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员免受不必要的照射。严禁药物注射后患者随意走动，严禁串门，严禁在通道内穿行，以避免与其他患者之间的交叉照射；严禁无关人员滞留或误入；患者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

④注射后等候室卫生间、留观/抢救室卫生间、工作人员卫生间配置的洗手台均设置为感应式水龙头，患者专用卫生间的便池设为感应式节水座便马桶。

⑤所有能在屏蔽体内或屏蔽体后进行的操作均设置屏蔽体，项目拟配置注射器屏蔽套、转移注射箱等。

⑥放射性药物（ ^{18}F 、 ^{131}I ）及 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器由供药单位负责运输，供药单位根据医院第二天检查计划配备药物，预估配送时间，确保注射时放射性药物活度符合要求。供药单位对放射性物品运输中的核与辐射安全负责。

⑦妥善处理放射性废物。在放药分装室、注射后等候室及卫生间、留观/抢救室及卫生间等位置放置污物桶，污物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。专用塑料袋装满后应密封，不破漏，及时转送核医学科放废暂存间，放入专用容器中存储。应在存放废物的专用容器的显著位置设置废物类型、核素种类、存放日期等说明。

⑧制定各项规章制度和操作规程，辐射工作人员严格遵守规章制度，严格按操作规程进行操作，禁止辐射工作人员在核医学科控制区内饮食、喝水，以防止内照射。在工作台操作放射性药物时，一旦发生放射性污染，应立即收集污染物，采用擦洗方法处理，并监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。

上述警示和安全控制措施对预防和控制潜在照射，避免放射性污染，保障相关放射工作人员和公众的健康与安全起着积极的作用。

(2) 工作场所表面污染控制与防护措施

①操作放射性药物的工作人员离开控制区前应洗手和进行表面污染检测，确认表面污染检测达标后方可更衣离开。如有污染，应及时去污直至达到国家标准。从控制区取出物品也要进行表面污染检测，防止超过表面污染控制水平的物品被带出控制区。

②放射性物质控、分装应在手套箱内进行，手套箱的操作台面均要求光滑、平整、易于清洗去污，所有涉及放射性药物操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内。

(3) 工作人员的防护措施

辐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橡胶防护衣、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，需到去污间进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

(4) 患者的防护措施

患者根据预约按时到候诊大厅候诊，需进行 PET-CT 或 SPECT-CT 扫描的患者通过语音叫号到注射窗口接受药物注射，后经语音提示到对应的注射后候诊室或机房内候诊，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕，扫描完毕患者经控制区出口防护门离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，应在控制区入口防护门、控制区出口防护门、核素进出防护门处设置带门禁系统的单向门，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。

核医学科工作场所辐射防护设施安装位置示意图见图 10-3。

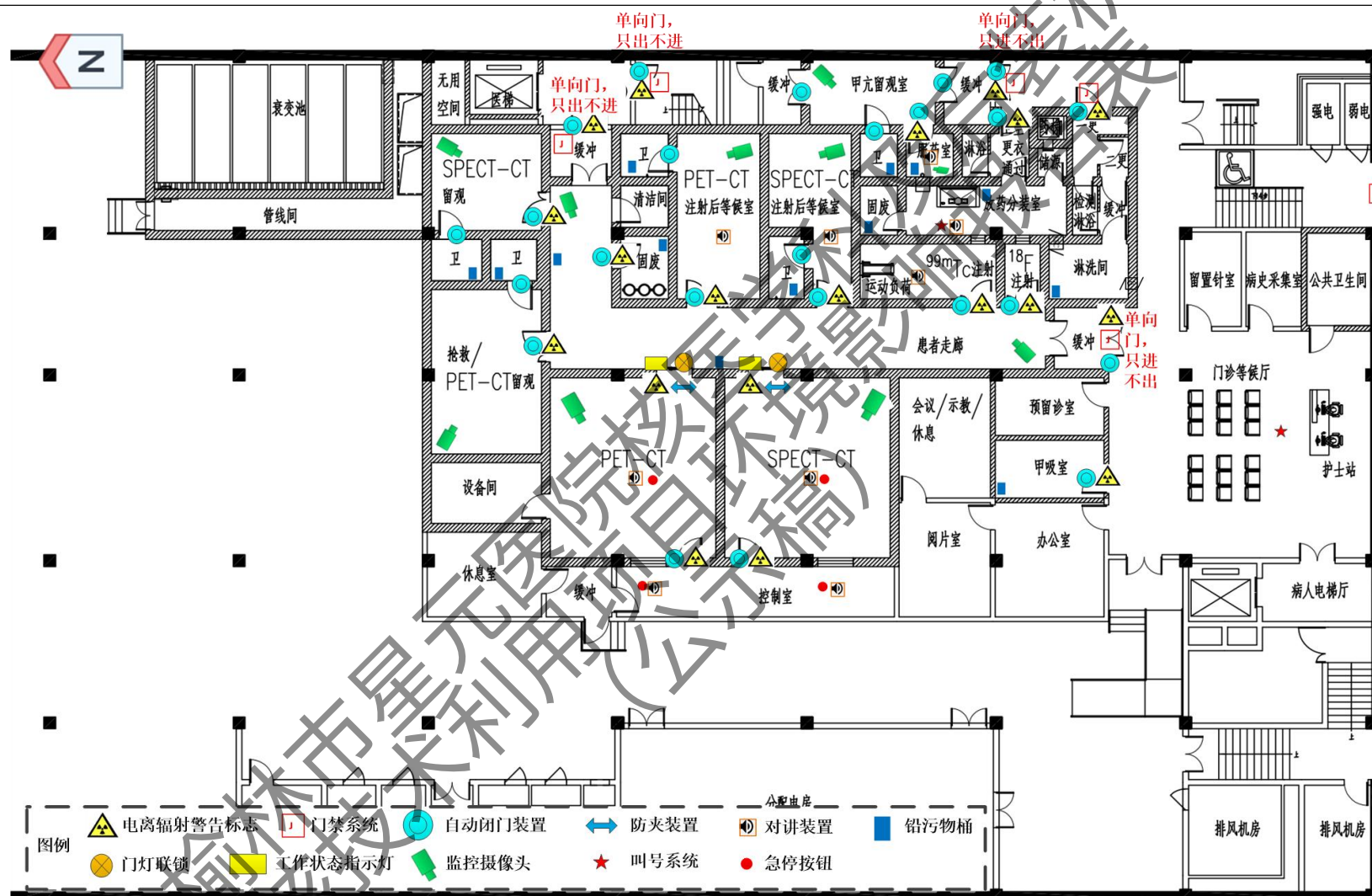


图 10-3 核医学科工作场所辐射防护设施安装位置示意图

(5) 放射性药物管理

医院核医学科应设置专职（或兼职）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核对预定的放射性药品数量、活度，进行入库登记。将 ^{18}F 、甲亢治疗用 ^{131}I 药物及 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器存入储源室中；将甲功测定用 ^{131}I 药物胶囊存入甲吸室指定位置。储源室设置门锁，防止被盗事件发生。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。

(6) 监测仪器

项目核医学科配置 X- γ 剂量率仪，在放药分装室及淋洗间卫生通过设置 β 表面污染监测仪等监测仪器。

(7) 防护设施及个人防护用品

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求，结合项目实际情况，项目拟配置的防护设施及个人防护用品见表 10-5。

表 10-5 核医学科拟配置的防护设施及个人防护用品一览表

防护设施及个人防护用品	配置计划	
PET 注射窗	1 套，40mm 铅当量，两侧设有手套孔	
SPECT 注射窗	1 套，10mm 铅当量，两侧设有手套孔	
手套箱	放药分装室	1 个，60mmPb
	淋洗间	1 个，10mmPb
^{131}I 自动分装机	放药分装室	1 个，整体防护铅当量 40mmPb
铅污物桶	13个，8mmPb，每个卫生间、固废间各1个；放药分装室、淋洗间、甲亢治疗服药间、甲吸室各1个；显像诊断区患者走廊2个	
^{18}F 注射器屏蔽套	1 个，10mmPb	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射器屏蔽套	1 个，5mmPb	
储源铅罐	^{18}F	数量满足实际工作需要，40mmPb，置于储源室，可放 10ml/20ml/30ml 用药
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	数量满足实际工作需要，20mmPb，置于储源室，可放 10ml/20ml/30ml 用药

	^{131}I	数量满足实际工作需要, 30mmPb, 置于储源室, 可放 10ml/20ml/30ml 用药
转运注射箱	^{18}F	1 个, 20mmPb 当量, 存储、转运注射器
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1 个, 5mmPb 当量, 存储、转运注射器
转运铅防护罐	^{131}I	1 个, 30mmPb 铅当量
手提式屏蔽箱	^{18}F	1 个, 10mmPb 当量 (配备钨合金手套), 用于单支剂量转运
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1 个, 5mmPb 当量 (配备钨合金手套), 用于单支剂量转运
	^{131}I	1 个, 5mmPb 当量
高剂量屏蔽罐	放药分装室	3 个, 50mmPb
远距离取物夹	放药分装室	2 个, 方便抓握, 有微调按钮, 便于抓物品, 尖端爪子有橡胶吸头, 保证握力, 一般为 45~90cm,
必配: 铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶围裙 选配: 铅帽, 铅眼镜		≥ 4 套, 0.5mmPb
放射性污染防护服		数量满足实际工作需要, 0.5mmPb
应急及去污用品		一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾 (至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水); 小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔 (水溶性油墨)、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

10.1.2 后装治疗机项目安全设施

10.1.2.1 工作场所布局及合理性分析

本项目后装机房位于常乐院区综合楼地下 2 层放疗科, 与《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中相关要求的符合性分析见表 10-6。

表 10-6 后装机房平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	本项目情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响, 不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	后装机所在放疗科位于常乐院区综合楼地下 2 层, 用地类型为医疗卫生用地, 不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求

	5.1.2放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	后装机所在放疗科位于常乐院区综合楼北侧地下2层，其北侧为土层，东侧为电梯厅，南侧、西侧为地下停车场，正上方为影像科走廊及空房间，正下方为土层。放疗科周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，也无人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020) 要求	6.1.1放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	后装机房设置于常乐院区综合楼地下2层放疗科南侧，位于建筑底层一端；后装机房与控制室、治疗计划室、更衣室等同时设计建造。	符合要求
	6.1.4治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	后装机房与控制室、电气机房、水冷机房等分开设置。	符合要求
	6.1.5应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	后装机房四面及顶部均受到初级辐射照射，经预测满足屏蔽要求。控制室设置在机房东侧。	符合要求
	6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	后装机房已设置迷路。	符合要求
	6.2.1放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	后装机房的有效使用面积（不含迷道）为45.3m ² ，机房面积能够满足使用要求。	符合要求

根据表 10-6，项目后装机房工作场所布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的相关规定，项目拟建后装机工作场所布局合理。

10.1.2.2 工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护》（HJ1198-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要或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。

监督区：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，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）5.2.1放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷道）等场所，如……，含源装置的治疗室、……等。5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区（如治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

根据拟建后装机所在放疗科的平面布局及GB18871-2002、HJ1198-2021相关要求，本项目将后装机房（含迷道）划分为控制区，并在机房防护门的显著位置粘贴符合规定的电离辐射警告标志；将机房周边的控制室、治疗计划室、走廊、停车场部分区域等划分为监督区，经常对其职业照射条件进行监督和评价。将后装机房南侧屏蔽墙体相邻部分停车区地面划出监督区标识线，并张贴监督区字样。

后装机房工作场所分区管理示意图详见图 10-4。

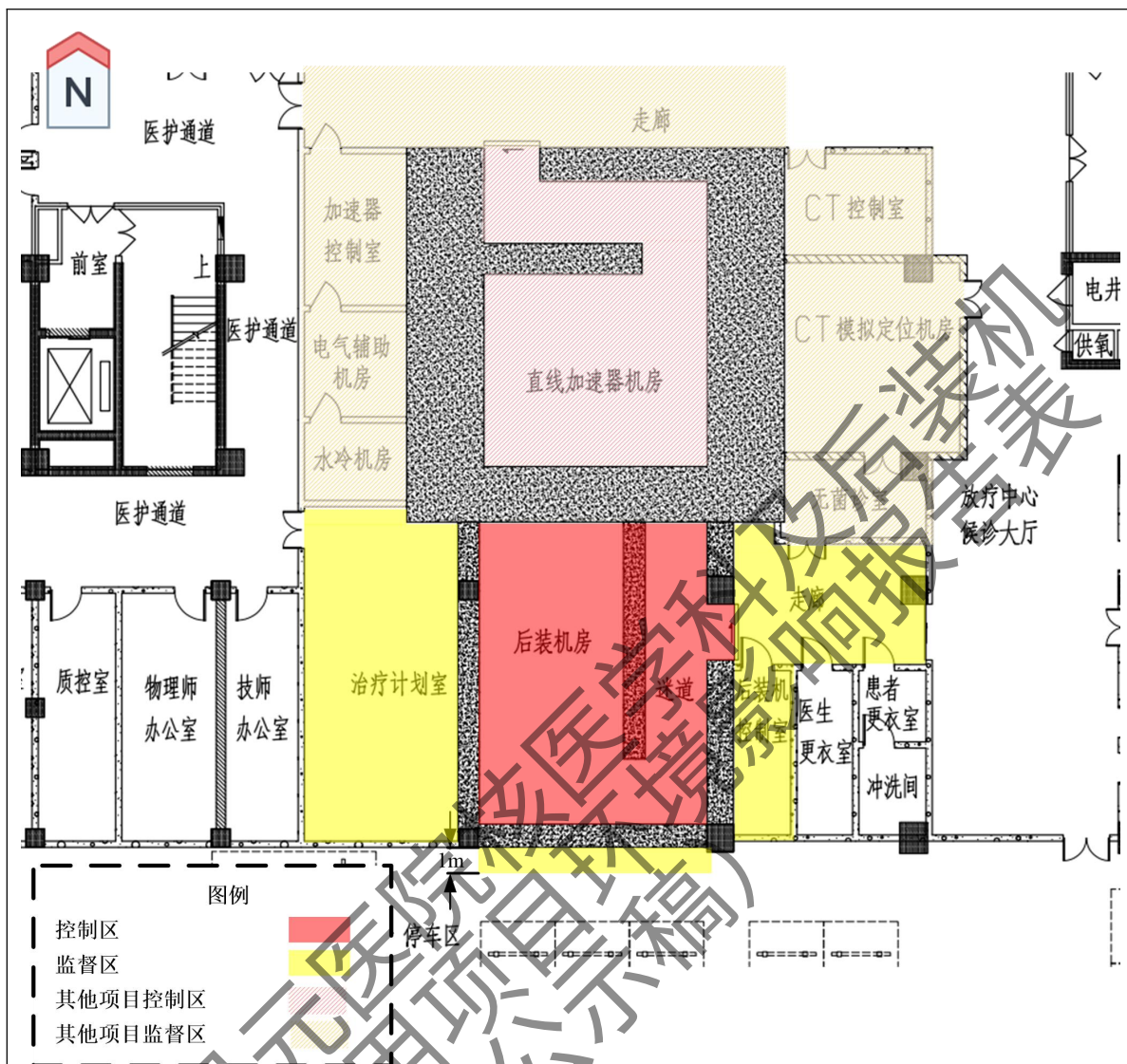


图 10-4 项目后装机工作场所分区管理示意图（地下 2 层）

10.1.2.3 屏蔽设计

根据医院提供的图纸，后装机房屏蔽防护设计参数详见表 10-7，平面及剖面示意图 10-5、图 10-6。

表 10-7 后装机房屏蔽防护设计参数一览表

机房	位置		建设内容与规模
后装机房	机房有效使用面积及净高		有效使用面积约 45.3m ² ，南北长 9.75m，东西宽 4.65m，净高 3.15m
	北侧		1.8m 厚混凝土（与直线加速器机房共用）
	西侧		0.7m 厚混凝土
	南侧		0.75m 厚混凝土
	东侧	迷道内墙	0.7m 厚混凝土

		迷道外墙	0.85m 厚混凝土
	屋顶		0.7m 厚混凝土
	地板		0.95m 厚混凝土
	防护门		10mmPb 防护门

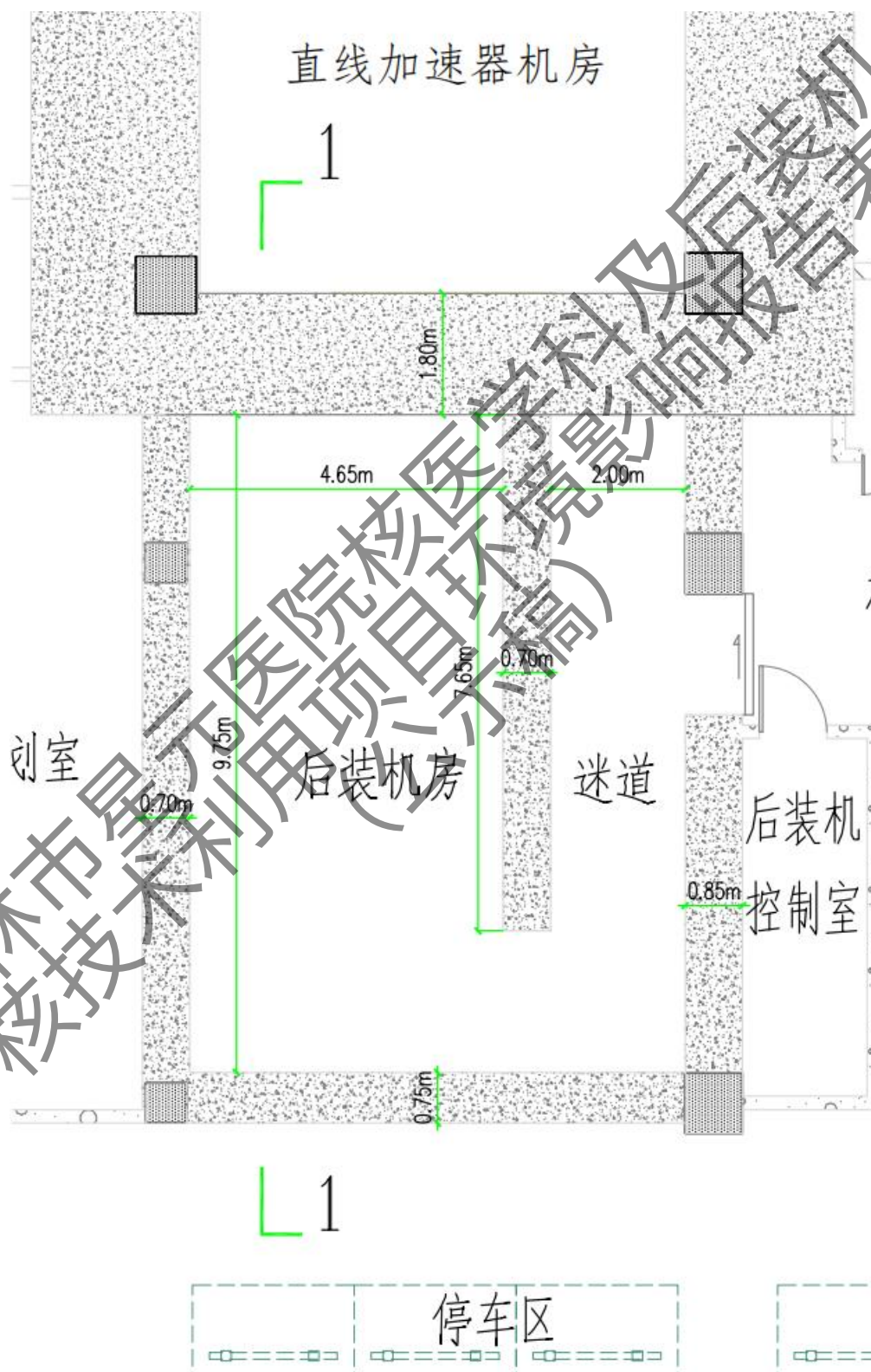


图 10-5 后装机房屏蔽平面示意图

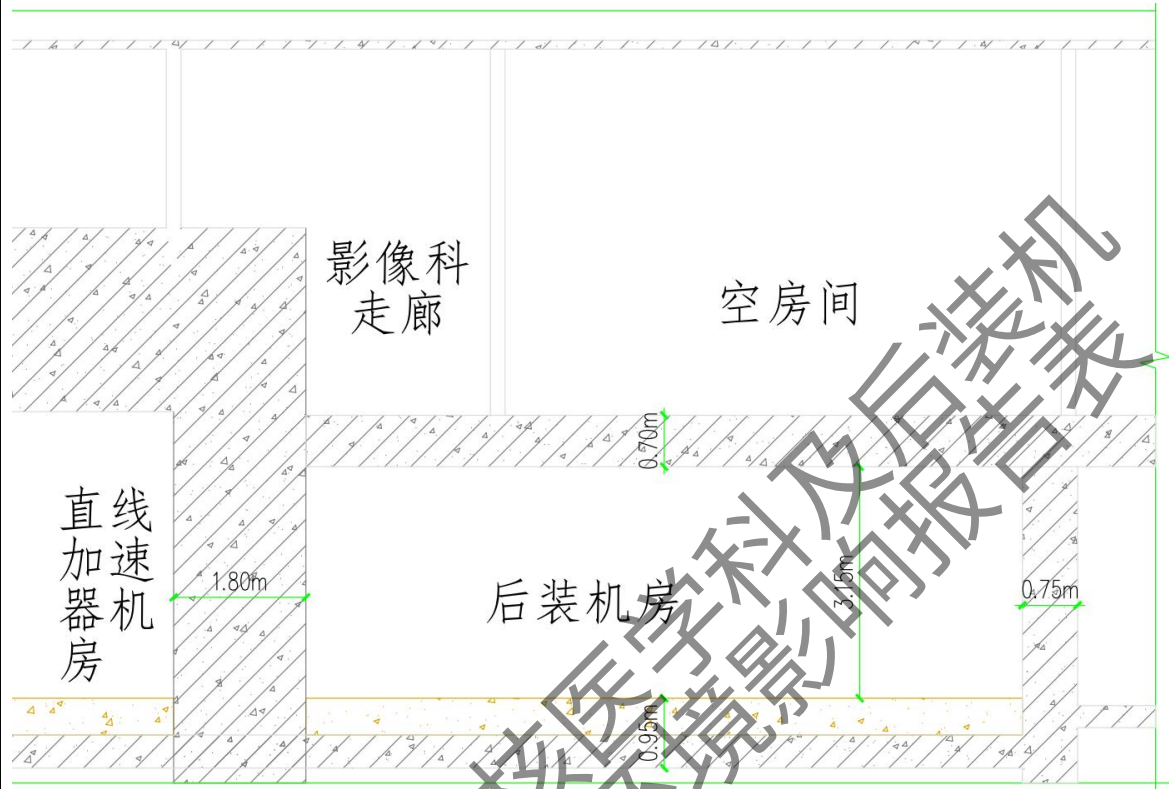


图 10-6 后装机房屏蔽1-1剖面示意图

10.1.2.4 电缆管线穿墙设计

后装机房的全部电缆均通过地下电缆沟走线，从安装设备的地坑出线后沿着屏蔽墙内侧走线，在出口处采用“倒梯形”设计，下沉后穿越屏蔽墙到达机房外。通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图 10-7。

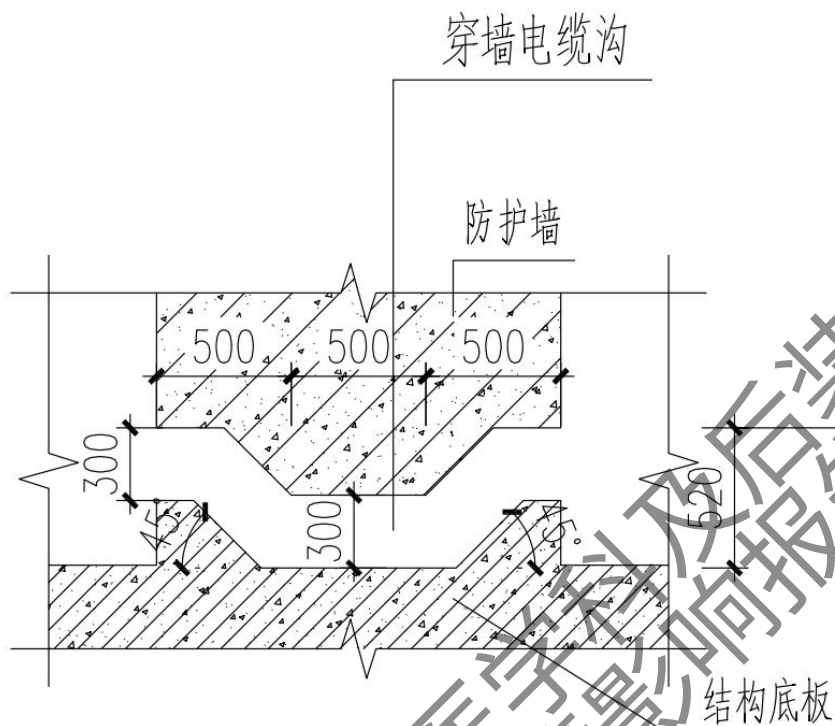


图 10-7 后装机房电缆沟穿屏蔽墙剖面图

10.1.2.5 通风设计

项目后装机运行过程中， γ 射线与空气发生电离作用，产生微量臭氧和氮氧化物等有害气体。

为减小臭氧和氮氧化物的危害，项目后装机房内设置了机械送排风装置，采用“上送下排”的送排风形式。在加速器机房天花板东侧设置送风口（500mm×500mm的散流器）2个，西侧屏蔽墙内侧距地面 0.2m 设置排风口 3 个（900mm×410mm 的单层百叶风口 2 个、500mm×300mm 的单层百叶风口 1 个），送风口和排风口对侧设置。送、排风管道在机房防护门洞口上方呈 45° 穿过屏蔽墙体，通过这种设计，增加管道中的射线的散射次数。后装机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至后装机房西北侧的排风井，由排风管道引至综合楼 1 层北侧排放，排气口高出屋顶 3.5m，排气口周围无门、窗或人流较大的过道。

根据陕西省榆林市建筑设计研究院有限公司出具的《榆林市星元医院放疗科改造项目》暖通施工图，本项目后装机房设计通风换气次数为 12 次/h，因此，项目放疗机房送排风设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的“气

态废物管理要求”及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的规定。后装机房排风管穿墙防护示意图 10-8。

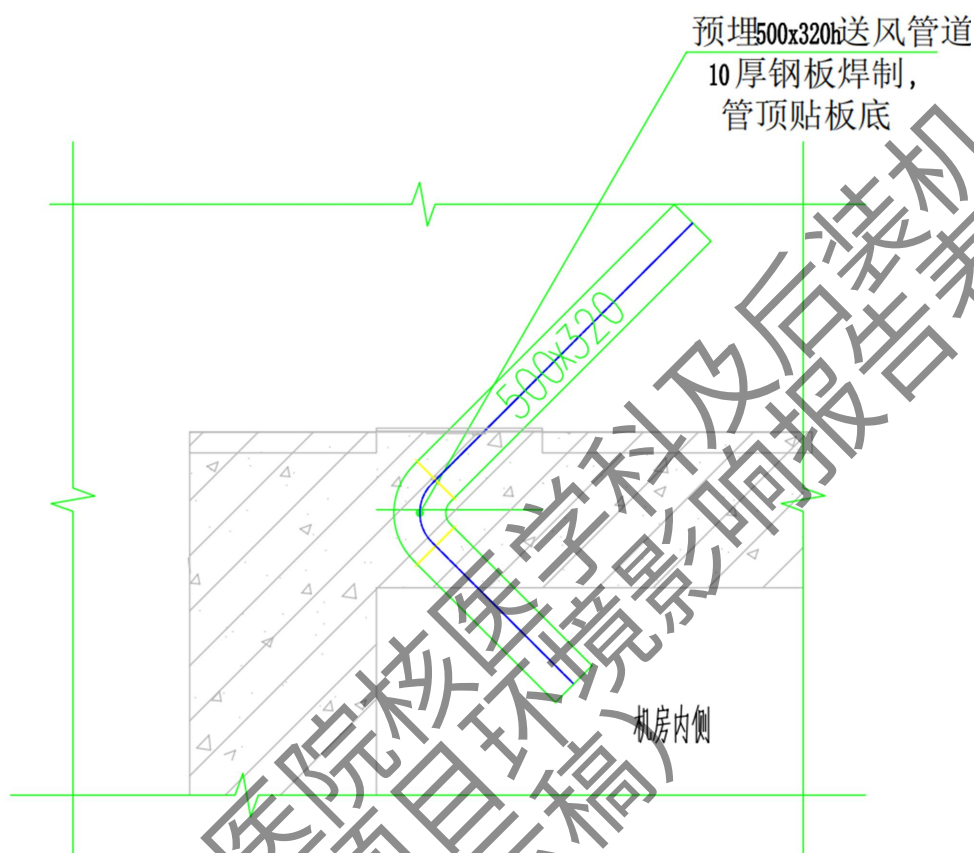


图 10-8 后装机房风管穿屏蔽墙剖面图

10.1.2.6 其他辐射安全与防护措施

本项目后装机房拟采取以下辐射安全防护措施：

①标志和指示灯：在机房防护门上设置醒目且符合 GB18871 规定的电离辐射警告标志、工作状态指示灯，保证后装机运行时，状态指示灯正常工作。在后装机贮源器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明。

②实时摄像监控和对讲系统：拟在后装机房内及迷道转角处设置摄像监视系统，监视系统显示屏设置在控制室内，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内后装机的工作情况，如发生意外情况可及时处理。拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，方便控制室与机房内人员联系，若发生紧急情况，可通过对讲系统及时告知控制室工作人员，避免接受不必要的辐照。

③固定式剂量报警装置：拟在后装机房设固定式剂量报警装置，仪器探头安装在迷道内入口处，仪表指示仪装在控制室内。对监测点进行实时剂量率/累计剂量监测和报警。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

④联锁装置、断电自动回源措施：机房防护门为电动推拉门，防护门与后装治疗机/源联锁，机房门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。后装机治疗过程中一旦防护门意外打开，系统将自动收回放射源至储源位置。

⑤紧急开门装置和防夹装置：拟设置从防护门内外两侧开门的按钮（紧急开门装置），在停电或电动门故障时使用，保障后装机房内工作人员及患者安全。防护门拟设置红外防夹装置。

⑥急停开关：后装机房在机房四周屏蔽墙面、防护门内旁侧、迷道内墙、控制台、后装机设备表面人员易触及位置安装急停开关，并设置明显的标志。一旦人员误入或遇其他紧急情况，按“急停开关”，强迫后装机断电、放射源回到储源器，事故处理完毕后，人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗装置。

⑦应急装备：拟在后装机房内配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

后装机房拟采取的防护安全措施见表 10-8。后装机辐射安全防护设施安装位置示意图见图 10-9。

表 10-8 后装机房拟采取的辐射安全与防护措施一览表

序号	辐射安全与防护措施	位置	数量
1	电离辐射警告标识	机房防护门上	1 个
2	工作状态指示灯	机房防护门上方	1 个
3	实时摄像监控系统	迷道转角处、机房内	2 个
4	对讲装置	控制台、治疗床附近	1 对
5	固定式剂量警报装置	迷道内入口、控制台	1 套
6	应急储源器	后装机房内	1 个
7	长柄镊子	后装机房内	1 个
8	门-机/源联锁装置	后装机房防护门	1 套

9	红外防夹装置	后装机房防护门	1 套
10	紧急开门装置	迷道外入口、防护门外	2 个
11	急停按钮	机房四周屏蔽墙面、迷道内墙、 防护门内旁侧、控制台及治疗床边	8 个
12	便携式辐射剂量监测仪	放疗科	1 台

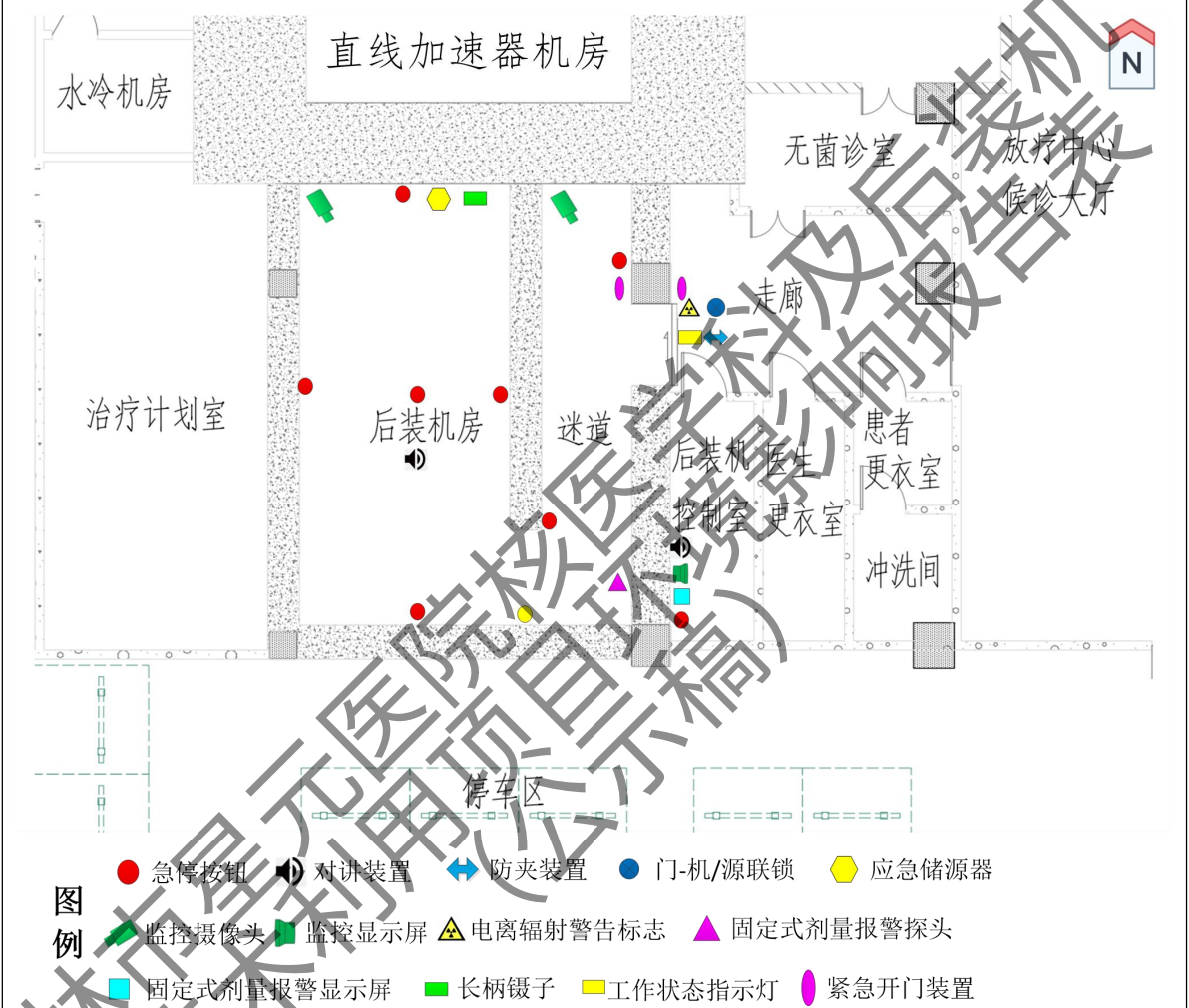


图 10-9 后装机房辐射安全防护设施安装位置示意图

其他防护措施

- ①医院应安排工作人员使用便携式X-γ剂量率监测仪定期对项目工作场所及周围辐射水平进行监测，发现异常立即报告负责人，并采取有效措施妥善处理。建立监测数据档案。
- ②为本项目辐射工作人员配备个人剂量计及个人剂量报警仪（根据辐射工作人员数量配备）。
- ③控制室内张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

10.1.2.7 后装机拟采取的防护和安全措施评价

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），对后装机房拟采取的安全防护设施和措施与标准要求对照详见表 10-9。

表 10-9 后装机房拟采取的安全防护措施和设施符合情况表

序号	安全防护设施和措施	标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）				
1	标志和指示灯	6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等；	a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，……； b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；	符合要求 符合要求
2	视频监控、对讲交流系统	c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	项目拟在后装机房内、迷道转角处及控制室内安装摄像监控系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内设备的工作情况；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	符合要求
3	监测报警装置	6.2.2 ……含放射源的放射治疗室、……（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	拟在后装机房迷道内入口处设置固定式剂量报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于机房的控制室内。	符合要求
4	联锁装置、断电自动回源措施	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和	a) 放射治疗室和……应设置门一机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照	符合要求

		公众受到意外照射的安全联锁措施:	射, 出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。	器。	
	紧急开门装置和防夹装置		b) 放射治疗室和……应设置室内紧急开门装置, 防护门应设置防夹伤功能;	拟在后装机房防护门内外两侧设置紧急开门装置, 机房门拟设置红外防夹装置	符合要求
	急停按钮		c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、……设置急停按钮; 急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	拟在后装机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共 4 个、防护门内旁侧 1 个、迷道内墙 1 个、控制台 1 个及后装机表面人员易触及处 1 个, 急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合要求
5	应急贮源容器、长柄镊子	6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具		为后装机房配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)					
1	检测报警装置	6.4.1 含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置, 应确保其报警功能正常。		拟在后装机房设置固定式剂量报警仪, 剂量报警显示仪表拟设置于控制室内。	符合要求
2	联锁装置	6.4.2 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施, 治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置, 防护门应有防挤压功能。		后装机房防护门与后装机设置联锁, 机房门未关闭状态下不能启动后装机; 后装机房防护门内侧拟设置开门按钮, 防护门拟设置红外防夹装置。	符合要求
3	标志和指示灯	6.4.3 应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志: a) 放射治疗工作场所的入口处, 设有电离辐射警告标志; b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置, 设有电离		拟在后装机房防护门上设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	符合要求

		辐射警告标志和工作状态指示灯		
4	急停按钮	6.4.4 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	拟在后装机房四周屏蔽墙面设置急停按钮共 4 个、防护门内旁侧 1 个、控制台 1 个及后装机表面人员易触及处 1 个、迷道内墙 1 个，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合要求
5	应急储存设施	6.4.5 γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。	为后装治疗室配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。	符合要求
6	视频监控、对讲交流系统	6.4.6 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷道区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	拟在后装机房内、迷道转角处安装摄像监控系统，使控制室的工作人员通过监视系统能够对治疗室及迷道内的状况进行实时监控；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，通过对讲系统可实现与患者双向交流。	符合要求

10.2 “三废”治理

10.2.1 核医学科

(1) 放射性废气

本项目核医学操作过程中会产生放射性废气，拟通过 3 条相对独立的排风管线收集。

①放药分装室及淋洗间手套箱排风管线：手套箱的放射性废气经排风管线接入核医学科外风井的排风立管，手套箱顶部设有高效活性炭过滤防护装置，管道采用专用防辐射排风管。手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s。

②核医学科显像诊断区其他区域排风管线：放药分装室、储源室、放药分装室固废间、卫生通过兼淋浴间、 ^{18}F 注射室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/运动负荷室、PET 注射后等候室及卫生间、SPECT 注射后等候室及卫生间、PET 机房、SPECT 机房、PET 留观室/抢救室及卫生间、SPECT 留观室及卫生间、清洁间、患者通道固废间、患者通道、甲亢服药/留观室及卫生间、甲吸室设置一路排风管道。

③衰变池排风管线：衰变池管线间单独设置一路排风管道。

核医学科各工作场所采用自然通风或空调机送风+排风机排风的通风方式，通过各房间或区域排风量大于送风量的设计以维持区域内负压，控制区与监督区之间通过设计排风量大小保持压差，从而维持负压状态，保证工作场所内气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的设计方向，主管道内保持负压，各支管设止回阀，防止气流从控制区向监督区倒灌，放射性废气最终通过核医学科内部各风井的排风立管引至医疗技术综合楼 A 区楼顶中部经活性炭过滤后排放，排风口位置高出楼顶 3m（医疗技术综合楼 A 区楼高 6.3m），排风口向上设置，顶部设风帽。项目核医学科工作场所通风系统设计参数见表 10-10，核医学科放射性废气排风管道路径见图 10-10。

表 10-10 核医学科工作场所通风系统设计参数

场所名称	通风方式	设计送风量 (m^3/h)	设计排风量 (m^3/h)	是否满足 负压状态
PET-CT 机房	空调机送风+ 排风机排风	800	1000	是
SPECT-CT 机房		800	1000	是
控制室	自然通风+	自然通风	100	是
设备间	排风机排风	自然通风	200	是
放药分装室	空调机送风+ 排风机排风	400	500	是
储源室	自然通风+ 排风机排风	自然通风	150	是
放药分装室卫生通过、淋 浴间		自然通风	150	是
固废间（放药分装室）		自然通风	450	是
淋洗间		自然通风	250	是
淋洗间一更		自然通风	100	是
淋洗间二更		自然通风	100	是
淋洗间检测/沐浴、 缓冲间		自然通风	100	是
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/运动负荷室	空调机送风+ 排风机排风	100	150	是
^{18}F 注射室		100	150	是
PET 等候室及卫生间		400	450+150	是
抢救/PET 留观室及卫生间		400	500+150	是
SPECT 等候室及卫生间		300	350+150	是
SPECT 留观室及卫生间		300	350+150	是
患者通道		450+450	500+500	是
固废间（患者走廊）	自然通风+	自然通风	150	是

场所名称	通风方式	设计送风量 (m ³ /h)	设计排风量 (m ³ /h)	是否满足 负压状态
清洁间	排风机排风	自然通风	150	是
甲亢治疗服药室	空调机送风+	100	150	是
甲亢治疗留观室及卫生间	排风机排风	250	300+150	是
¹³¹ I 自动分装机	自然通风+ 排风机排风	自然通风	200	是
甲吸室	空调机送风+ 排风机排风	150	200	是
楼顶屋面排风机 PF-2 (核医学科)	8950m ³ /h			
放药分装室手套箱	自然通风+ 排风机排风	自然通风	1000	是
楼顶屋面排风机 PF-3 (放药分装室手套箱)	1000m ³ /h			
淋洗间手套箱	自然通风+ 排风机排风	自然通风	500	是
楼顶屋面排风机 PF-5 (淋洗间手套箱)	500m ³ /h			
衰变池管线间	自然通风+ 排风机排风	自然通风	500+500	是
楼顶屋面排风机 PF-4 (衰变池)	1000m ³ /h			

(2) 放射性废水

放射性废水在核医学科收集后排入衰变池统一处理，所有污水管道均埋设于地下，核医学科区域无暴露管道。项目放射性废水排放走向详见图 10-12。

医院拟在医技综合楼 A 区地下 1 层东侧新建一座槽式衰变池，衰变池整体长 9.7m、宽 5.3m、高 5.4m，采用 370mm 厚实心砖建筑，屋顶加设 15mm 防护铅板，衰变池区域地面面低于核医学科区域地面 40cm，四周墙体及地面、顶板进行防渗漏和耐酸碱处理。衰变池进水方式为间歇式，由 6 个不锈钢槽体衰变池（南侧 4 个含 ¹³¹I 核素衰变池+北侧 2 个 ¹⁸F 及 ^{99m}Tc 核素衰变池）并联组成，每个槽体设计有效容积均为 20m³，槽体前端设置容积约为 2.4m³ 的沉淀池（2 个，分别对应 4 个含 ¹³¹I 核素衰变池槽体和 2 个 ¹⁸F 及 ^{99m}Tc 核素衰变池槽体）。

放射性废水根据半衰期长短分别进入沉淀池进行沉淀（¹⁸F 和 ^{99m}Tc 半衰期较短，¹³¹I 半衰期较长）。以含 ¹³¹I 核素池组 1#~4#槽体为例：沉淀池水位到达高液位时，

含 ^{131}I 核素衰变池组 1#槽体开始进水，直到沉淀池水位降至低液位时，1#槽体的进水电动阀关闭，重复上述过程，直至 1#槽体注满放射性废水后进水电动阀关闭，开始衰变计时；随后 2#槽体开始进水，重复上述过程直至 2#槽体注满放射性废水后进水电动阀关闭，开始衰变计时；3#、4#槽体同样按照上述过程注入放射性废水，待 4#槽体到达高液位时，1#槽体内废水已达到衰变排放标准，将其废水全部排入院内污水处理站；待 1#槽体排空后，关闭 1#槽体出水电动阀并开启 1#槽体进水电动阀。含 ^{131}I 核素池组 4 个槽体依次交替循环进水、衰变、排水； ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素池组 2 个槽体交替进水、衰变、排水，达到暂存时间的废水进入医院污水处理站，处理达标后排入市政管网。

衰变池整套系统采用自动化控制，对所有池内液位、储存时间、水泵运行状态、运行时间、阀门启闭状态进行在线实时监控，状态异常报警，池体液位非正常下降报警，池体液位超过警戒液位报警。

本项目短半衰期（ ^{18}F ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）废水由各工作场所输送至衰变池沉淀池的管道长度最长为 32.4m，最短为 4.9m；长半衰期（ ^{131}I ）废水由各工作场所输送至衰变池沉淀池的管道长度最长为 24.1m，最短为 19.1m。各废水管道走向、途径场所详见图 10-11。

参考表 9-1 中数据，本项目 ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素放射性废水排放量为 $0.385\text{m}^3/\text{d}$ ，则每个 ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素衰变池槽体储存满约需要 52 天（ $20\text{m}^3 \div 0.385\text{m}^3/\text{d} \approx 52\text{d}$ ），则排放时放射性废水最短衰变时间为 52 天；本项目含 ^{131}I 核素放射性废水排放量为 $0.245\text{m}^3/\text{d}$ ，则每个含 ^{131}I 核素衰变池槽体储存满需要约 82 天（ $20\text{m}^3 \div 0.245\text{m}^3/\text{d} \approx 82\text{d}$ ），则排放时放射性废水最短衰变时间为 246 天（ $82\text{d} \times 3 = 246\text{d}$ ）。本项目放射废水在衰变池衰变后，其衰变时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.3.3.1 a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。”的要求。

核医学科工作场所给排水走向见图 10-11，衰变池设计见图 10-12~图 10-14。

(3) 放射性固体废物

放射性固废先按时间分类收集在各工作场所配置的内置专用塑料袋的铅污物桶（污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志）内，密封后及时运送至核医学科固废间的废物暂存桶内。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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，且放射性固废活度低于 GB18871 清洁解控水平（ ^{18}F 活度浓度 $\leq 1 \times 10^1 \text{Bq/g}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度浓度 $\leq 1 \times 10^2 \text{Bq/g}$ ， ^{131}I 活度浓度 $\leq 1 \times 10^2 \text{Bq/g}$ ），且暂存时间满足 HJ1188-2021 清洁解控水平（所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天）时，可对废物清洁解控，按医疗废物处置。

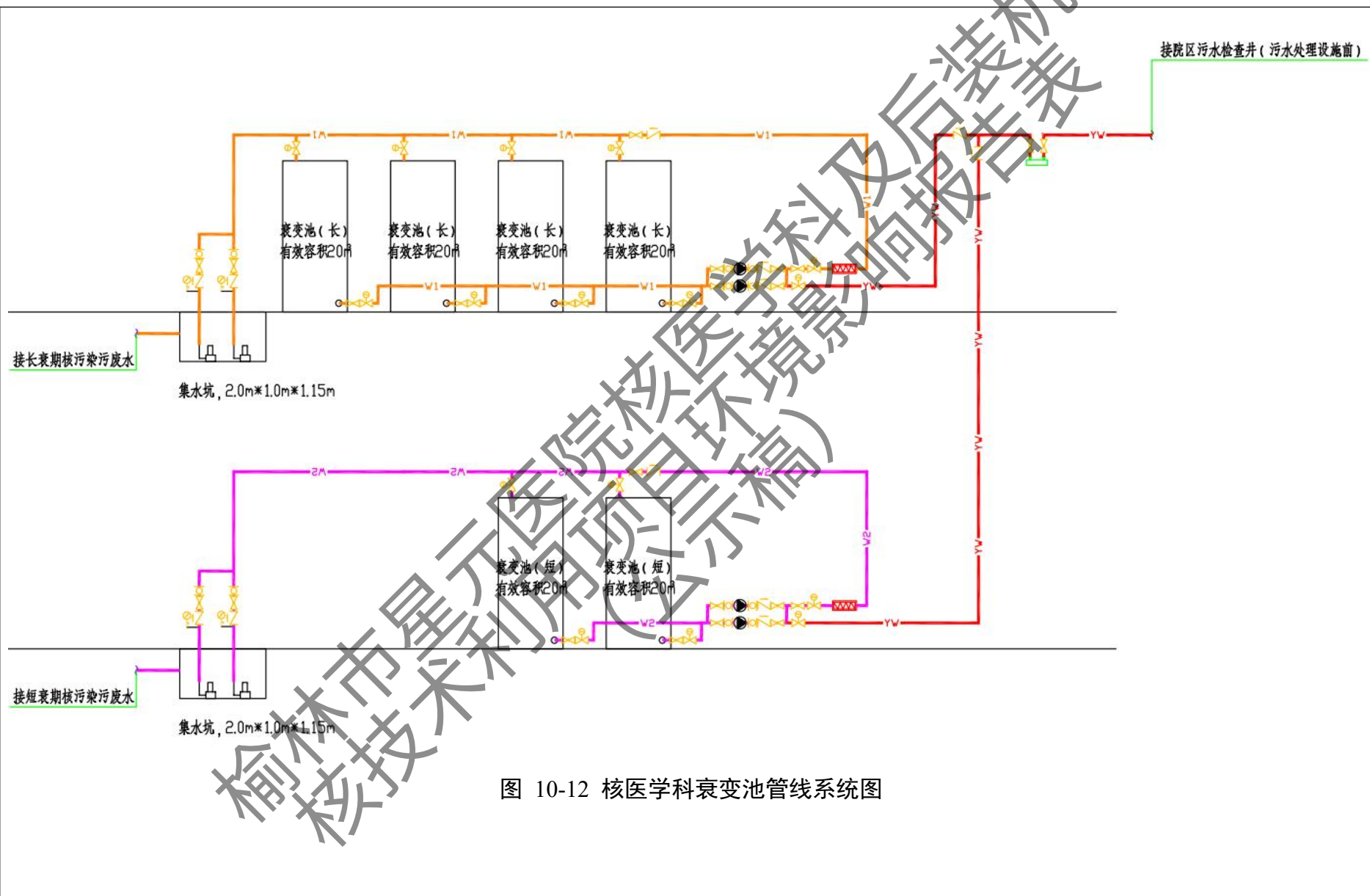


图 10-12 核医学科衰变池管线系统图

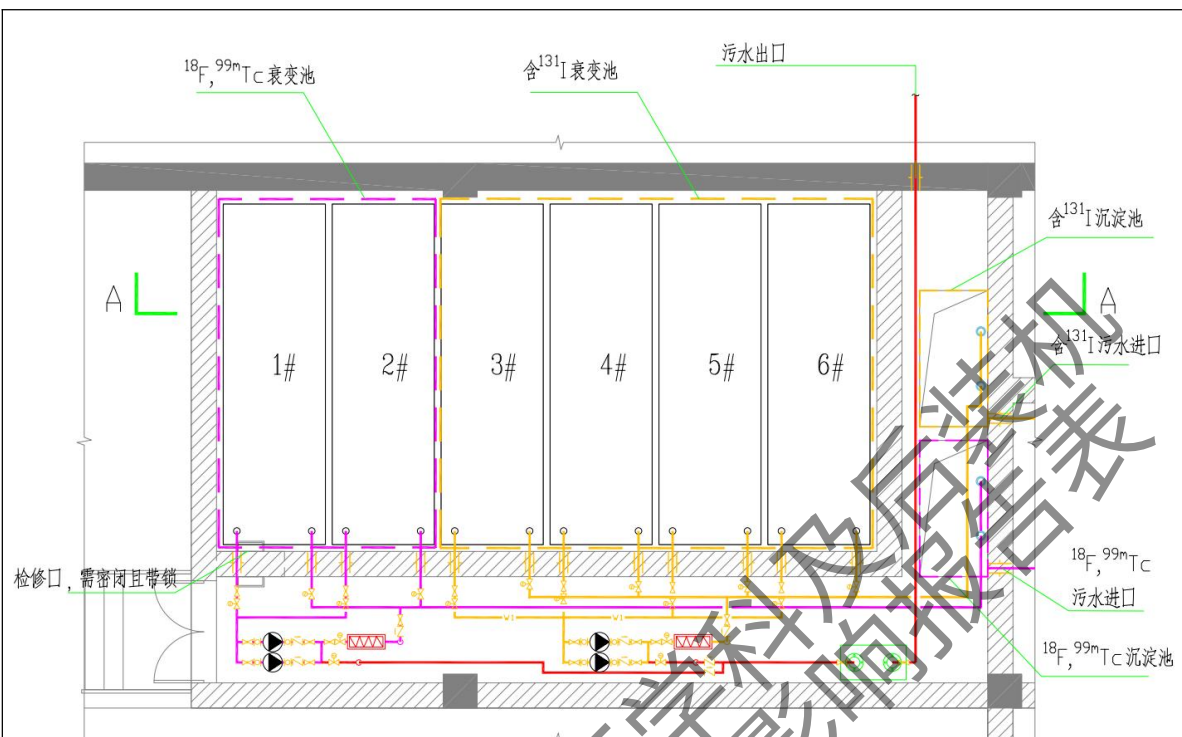


图 10-13 核医学科衰变池平面示意图

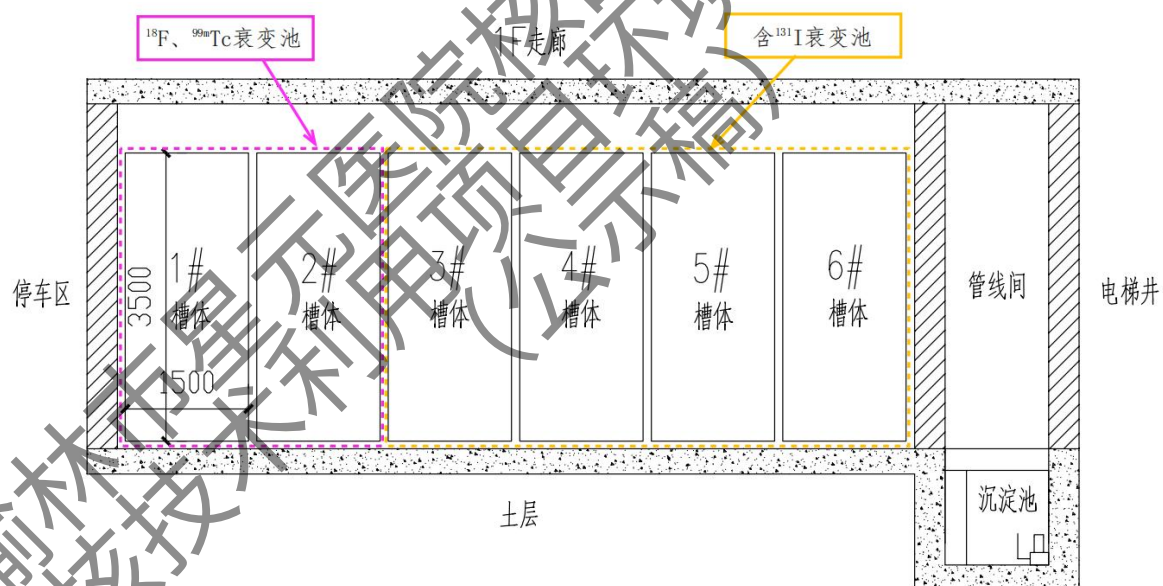


图 10-14 核医学科衰变池 A-A 剖面示意图

10.2.2 后装机

(1) 废气

本项目运行过程中不产生放射性废气。

后装机工作时，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。通过通风换气可有效降低臭氧和氮氧化物的浓度。本项目排风平面图见图10-15。

在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员及环境产生危害。

(2) 废水

本项目运行过程不产生放射性废水，工作人员产生少量的生活污水，依托医院污水处理站统一处理后排入市政管网。

(3) 固废

项目后装机使用1枚放射源 ^{192}Ir ，其半衰期为74天。根据医院诊疗计划，项目放射源使用达到2个半衰期时需更换，即148天更换一次，每年更换2-3次，最多产生3枚废放射源。放射源随时间自然衰变，活度逐渐降低，当活度不能满足治疗需要时，需更换放射源。在确定采购放射源后，医院应与供源单位签订废旧放射源返回协议，废旧放射源由供源单位负责回收。

工作人员产生的少量生活垃圾设分类垃圾桶，依托医院现有垃圾收集系统，最终交由环卫部门统一清运。

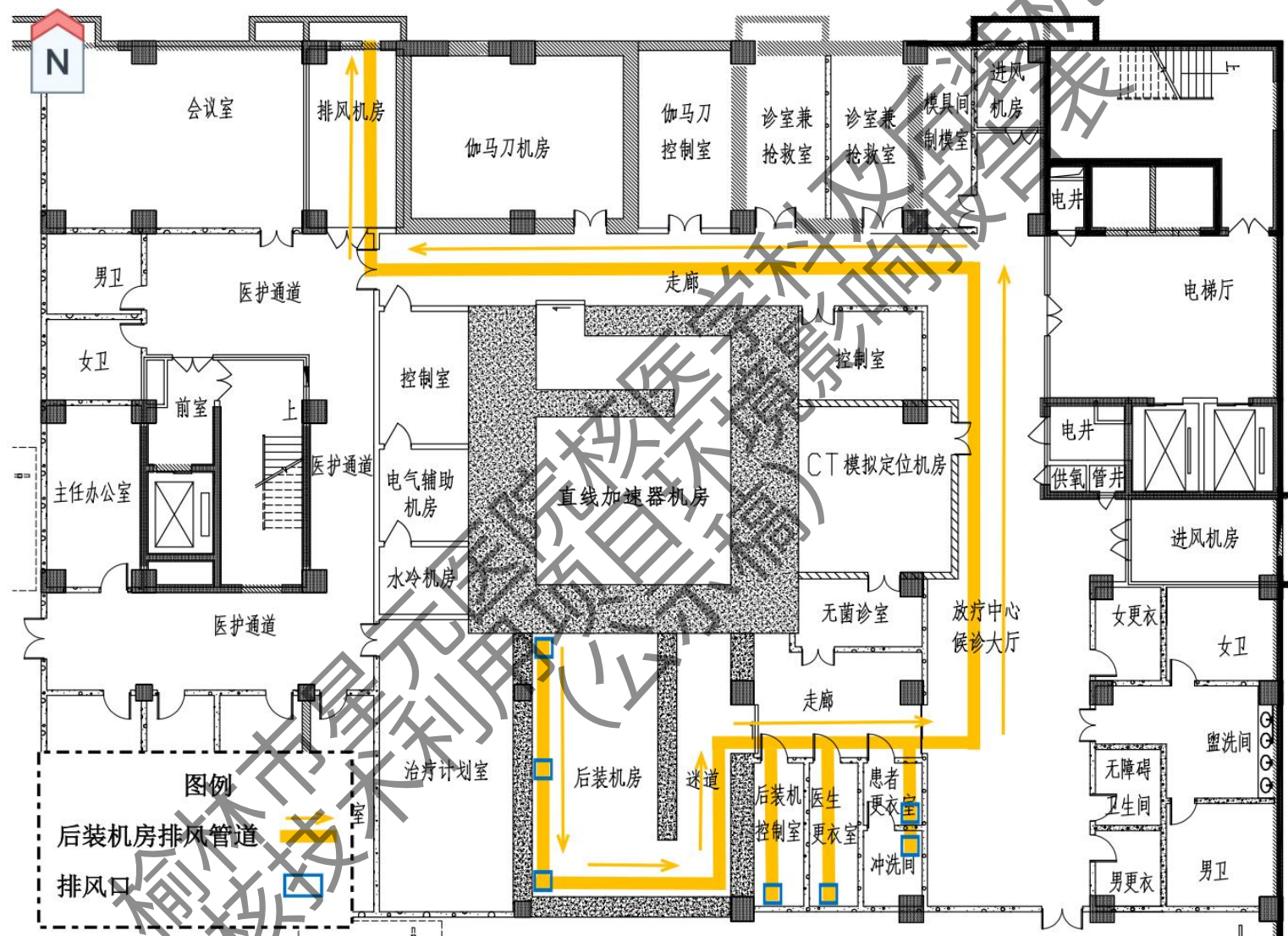


图 10-15 后装机房排风平面图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

(一) 土建阶段

项目拟在主院区医技综合楼 A 区地下 1 层设置核医学科，在常乐院区综合楼地下 2 层放疗科设置后装机。项目所在主院区医技综合楼、常乐院区综合楼已进行环境影响评价并取得批复，针对施工期产生的环境影响已提出了相应的防护措施。项目施工期对环境有影响的因素为施工噪声、施工扬尘、固体废弃物及废水，提出以下措施：

(1) 废气：施工期物料堆场应定点定位，并采取洒水喷淋等防尘抑尘措施，废料堆及时清运。运输物料车避免超高超载，实行封闭运输，避免水泥沙土因颠簸撒漏。

(2) 施工期间产生极少量的施工用具洗刷废水经过沉淀后与生活污水排至医院污水管网，依托医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。

(3) 噪声：施工现场如电钻、切割机等产生的噪声。治理措施为：①噪声专人专管：施工现场提倡文明施工。②选择使用噪声较小的施工设备和工艺，从源头降低噪声污染；优化施工方案，合理安排作业时间，禁止夜间施工，选择对周围人群影响较小的时段施工；设置围挡等必要的噪声控制设施。严格遵守《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求。

(4) 固体废物：施工期间建筑垃圾以及建材包装的废包装材料和施工人员产生的生活垃圾等。治理措施为：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。

由于施工期短，施工范围小，通过对施工时间段的控制以及施工现场管理等手段，施工期对环境产生的影响较小，并且该影响随着施工期的结束而消除。

(二) 设备安装调试阶段

本项目设备的安装、调试由设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在门上粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。由

于设备的安装调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科

11.2.1.1 核医学科辐射环境影响分析

根据工程分析可知，项目核医学科运行阶段辐射环境影响主要为放射性核素（ ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ）在使用过程中产生的 γ 射线、 β 射线以及 PET-CT 和 SPECT-CT 中 CT 部分在出束时产生的 X 射线。

11.2.1.2 核医学科墙体屏蔽防护效能核算

(1) 计算公式

① $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断、 ^{18}F 诊断、 ^{131}I 甲亢治疗等工作场所的屏蔽计算可采用瞬时剂量率计算方法。 γ 射线来自放射性核素，相对于所在场所的尺寸，放射源可看作是点源，符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度 d 计算可由以下公式得出：

$$d = TVL \cdot \lg\left(\frac{A \cdot \Gamma}{H_p \cdot R^2}\right) \quad (11-1)$$

式中： d —符合剂量率目标要求的墙体屏蔽厚度，单位mm；

TVL — γ 射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位mm；

A —放射源活度，单位MBq；

Γ —距源1m处的周围剂量当量率常数，单位 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

R —为参考点与放射源间距离，单位m；

H_p —对参考点处要求的瞬时剂量率控制水平，单位 $\mu\text{Sv/h}$ ；

②经屏蔽后关注点处的剂量率：

$$H_R = A \times \Gamma \times R^{-2} \times 10^{-\frac{X}{TVL}} \quad (11-2)$$

式中： H_R —经屏蔽后关注点的剂量率，单位 $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —为参考点与放射源间距离，单位m；

A —放射源活度，单位MBq；

Γ —距源1m处的周围剂量当量率常数，单位 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

TVL — γ 射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位mm；

X —屏蔽体的屏蔽厚度，mm。

(2) 周围剂量当量率控制目标值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及2023年9月13日生态环境部《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中工作场所屏蔽要求，本评价报告中工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $< 1/2$ ），如给药室防护门外、给药后患者候诊室门外以及核医学科患者走廊等位置，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；放射性药物分装箱体、注射窗外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 相关参数选取

根据本项目核医学科使用的核素特性及使用量，PET-CT扫描使用 ^{18}F ，SPECT-CT扫描使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，甲功测定和甲亢治疗使用 ^{131}I ，故本次评价PET-CT工作场所以 ^{18}F 的相关参数进行核算，SPECT-CT工作场所分别以 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关参数进行核算，甲亢治疗工作场所以 ^{131}I 的相关参数进行核算。

表 11-1 放射性核素相关参数一览表

核素	①对于裸源单位放射性活度所致体外1m处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	②患者体内单位放射性活度所致体外1m处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (mm)		
			混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$)
^{18}F	0.1430	0.0920	176	263	16.6
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	110	160	1
^{131}I	0.0595	0.0583	170	240	11

注：数据来源《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H、I、L。

(4) 计算结果

① 等效厚度核算过程

本项目屏蔽材料等效铅当量折算过程如下：

表 11-2 屏蔽材料等效铅当量折算

核素	屏蔽材料	折算过程 (mm)	等效铅当量
^{18}F	370mm实心砖	$370 \div 263 \times 16.6 = 23.4$	23.4mmPb
	200mm混凝土	$200 \div 176 \times 16.6 = 18.9$	18.9mmPb
	250mm混凝土	$250 \div 176 \times 16.6 = 23.6$	23.6mmPb
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	370mm实心砖	$370 \div 160 \times 1 = 2.3$	2.3mmPb
	200mm混凝土	$200 \div 110 \times 1 = 1.8$	1.8mmPb
	180mm混凝土	$180 \div 110 \times 1 = 1.6$	1.6mmPb
^{131}I	370mm实心砖	$370 \div 240 \times 11 = 17$	17.0mmPb
	200mm混凝土	$200 \div 170 \times 11 = 12.9$	12.9mmPb

②距离取值说明

对于PET-CT工作场所，注射后等候室、留观室的核算距离考虑人体源位于房间中心距四周墙体和防护门的距离近似取值；对PET-CT检查室，以设备摆放位置中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值；对PET-CT抢救情况，考虑人体源位于抢救位时距四周墙体和防护门的距离近似取值。

对于SPECT-CT工作场所，注射后等候室、留观室的核算距离考虑人体源位于房间中心距四周墙体和防护门的距离近似取值；对SPECT-CT检查室，以设备摆放位置中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值。

对于甲亢治疗留观室，核算距离考虑人体源位于留观室中心距四周墙体和防护门的距离近似取值。

③本项目 ^{131}I 甲功测定在甲功室进行，拟采用分装好的 ^{131}I 药物胶囊，每名病人的用药量约为 $5\mu\text{Ci}$ ，药物及服药后患者1m处剂量率为 $1.28 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，已低于表8中本底水平，对辐射工作人员及周围公众的辐射影响很小。

④控制区各工作场所屏蔽效能核算结果见下表。

表 11-3 PET-CT、SPECT-CT 显像检查、甲亢治疗各场所屏蔽估算结果

场所名称	A (MBq)	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ (h·MBq) $^{-1}$)	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	设计值	设计厚度下墙体外瞬时剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否符合
PET工作场所								
PET-CT机房 (考虑1人)	370 (^{18}F)	0.092 (人体源)	南墙 (SPECT-CT 机房)	4.2	2.5	370mm实心砖墙	0.075	符合
			西墙 (控制室)	4.5	2.5	370mm实心砖墙	0.065	符合
			北墙 (抢救 /PET-CT留观室)	4.2	10	370mm实心砖墙	0.075	符合
			东墙 (患者走廊)	4.5	10	370mm实心砖墙	0.065	符合
			楼上 (检验中心)	5.4	2.5	200mm+250mm 混凝土	3.21×10^{-3}	符合
			观察窗	4.6	2.5	10mmPb	0.402	符合
			工作人员防护门	5.1	2.5	10mmPb	0.327	符合
			受检者防护门	5.1	10	5mmPb	0.654	符合
^{18}F 注射室 (考虑一次注射1人)	370 (^{18}F)	0.143 (裸源)	注射窗	0.5	2.5	40mmPb	0.824	符合
放药分装室 (^{18}F 考虑一次注射1人药量)	370 (^{18}F)	0.143 (裸源)	南墙 (卫生通过、 淋浴间)	5.2	2.5	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	1.85×10^{-5}	符合
			西墙 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/ 运动负荷室)	2.1	10	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	1.14×10^{-4}	符合
			北墙 (分装室固废 间)	2.8	10	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	6.38×10^{-5}	符合
			东墙 (甲亢治疗服 药间、分装室淋浴 间)	1.3	10	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	2.96×10^{-4}	符合

			卫生通过防护门	2.9	10	60mmPb手套箱+10mmPb	3.82×10^{-4}	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	60mmPb 手套箱+200mm 混凝土+5mm 铅板	1.60×10^{-5}	符合
放药分装室 （ ^{18}F 考虑手套箱内10人药量）	3700（ ^{18}F ）	0.143 （裸源）	南墙（卫生通过、淋浴间）	5.2	2.5	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	1.85×10^{-4}	符合
			西墙（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/运动负荷室）	2.1	10	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	1.14×10^{-3}	符合
			北墙（分装室固废间）	2.8	10	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	6.38×10^{-4}	符合
			东墙（甲亢治疗服药间、分装室淋浴间）	1.3	10	60mmPb手套箱+370mm实心砖墙	2.96×10^{-3}	符合
			卫生通过防护门	2.9	10	60mmPb手套箱+10mmPb	3.82×10^{-3}	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	60mmPb 手套箱+200mm 混凝土+5mm 铅板	1.60×10^{-4}	符合
			操作位 （手套箱工作面）	0.5	2.5	60mmPb 手套箱	0.514	符合
PET等候室 （考虑1人）	370（ ^{18}F ）	0.092 （人体源）	南墙（SPECT等候室）	2.4	10	370mm实心砖墙	0.230	符合
			西墙（患者走廊）	4.2	10	370mm实心砖墙	0.075	符合
			北墙（清洁间、固废间）	2.4	10	370mm实心砖墙	0.230	符合
			东墙（疏散楼梯间）	4.2	2.5	370mm实心砖墙	0.075	符合
			防护门	4.2	10	15mmPb	0.241	符合
			楼上（体检中心）	5.4	2.5	200mm混凝土+15mm铅板	0.011	符合
PET留观/抢救室（考虑1人留观）	370（ ^{18}F ）	0.092 （人体源）	南墙（患者走廊）	3.0	10	370mm实心砖墙	0.147	符合
			南墙（PET-CT机）	3.0	2.5	370mm实心砖墙	0.147	符合

			房)					
			西墙（设备间）	4.2	2.5	370mm实心砖墙	0.075	符合
			北墙（地下停车场）	3.0	2.5	370mm实心砖墙	0.147	符合
			东墙（SPECT-CT 留观室）	4.2	10	370mm实心砖墙	0.075	符合
			防护门	3.0	10	15mmPb	0.472	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm 混凝土+15mm 铅板	0.011	符合
PET留观/抢救 室（考虑1人抢救）	370（ ¹⁸ F）	0.092 （人体源）	南墙 （PET-CT机房）	1.5	2.5	370mm实心砖墙	0.589	符合
			西墙（设备间）	1.7	2.5	370mm实心砖墙	0.459	符合
			北墙（地下停车场）	4.5	2.5	370mm实心砖墙+20mm铅 防护帘	4.08×10 ⁻³	符合
			东墙（SPECT-CT 留观室）	8.8	10	370mm实心砖墙	0.017	符合
			防护门	4.1	10	15mmPb	0.253	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm 混凝土+15mm 铅板	0.011	符合
SPECT工作场所								
^{99m} Tc注射/运 动负荷室（考 虑1人注射）	925（ ^{99m} Tc）	0.0303 （裸源）	注射窗	0.5	2.5	10mmPb	1.12×10 ⁻⁸	符合
SPECT机房 （考虑1人）	925（ ^{99m} Tc）	0.0207 （人体源）	南墙（会议室、阅 片室）	4.2	2.5	370mm实心砖墙	5.44×10 ⁻³	符合
			西墙（控制室）	4.5	2.5	370mm实心砖墙	4.74×10 ⁻³	符合
			北墙 （PET-CT 机房）	4.2	2.5	370mm实心砖墙	5.44×10 ⁻³	符合

			东墙（患者走廊）	4.5	10	370mm实心砖墙	4.74×10^{-3}	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm+180mm 混凝土	2.61×10^{-4}	符合
			观察窗	4.6	2.5	5mmPb	9.05×10^{-6}	符合
			工作人员防护门	5.1	2.5	5mmPb	7.36×10^{-6}	符合
			受检者防护门	5.1	10	5mmPb	7.36×10^{-6}	符合
SPECT注射后 等候室（考虑1 人）	^{99m}Tc	0.0207 （人体源）	南墙（分装室固废 间、 ^{99m}Tc 注射/运 动负荷室）	2.4	10	370mm实心砖墙	0.017	符合
			西墙（患者走廊）	4.2	10	370mm实心砖墙	5.44×10^{-3}	符合
			北墙（PET-CT 注 射后等候室）	2.4	10	370mm实心砖墙	0.017	符合
			东墙（甲亢治疗留 观室）	4.2	10	370mm实心砖墙	5.44×10^{-3}	符合
			东墙（甲亢治疗出 口缓冲间）	4.2	2.5	370mm实心砖墙	5.44×10^{-3}	符合
			防护门	4.2	10	5mmPb	1.09×10^{-5}	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm 混凝土	0.010	符合
SPECT留观室 （考虑1人）	^{99m}Tc	0.0207 （人体源）	南墙（患者走廊）	2.7	10	370mm实心砖墙	0.013	符合
			南墙（核医学科出 口缓冲间）	2.7	2.5	370mm实心砖墙	0.013	符合
			西墙（抢救 /PET-CT 留观室）	4.9	10	370mm实心砖墙	4.00×10^{-3}	符合
			北墙（衰变池管线 检修间）	2.7	10	370mm实心砖墙	0.013	符合
			东墙（核医学科出 口电梯间）	2.7	2.5	370mm实心砖墙	0.013	符合

			防护门	2.7	10	2mmPb	0.026	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm 混凝土	0.010	符合
^{99m} Tc注射/运动负荷室（考虑1人运动）	925（ ^{99m} Tc）	0.0207（人体源）	南墙（ ¹⁸ F注射室）	5.7	10	370mm实心砖墙	2.95×10 ⁻³	符合
			西墙（患者走廊）	1.9	10	370mm实心砖墙	0.027	符合
			北墙（SPECT-CT注射后等候室）	1.4	10	370mm实心砖墙	0.049	符合
			东墙（分装室固废间）	2.0	10	370mm实心砖墙	0.024	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm 混凝土	0.010	符合
淋洗间（考虑手套箱内10人用量）	9250（ ^{99m} Tc）	0.0303（裸源）	南墙（门诊等候大厅）	3.3	2.5	10mmPb手套箱+370mm实心砖墙	1.29×10 ⁻¹¹	符合
			西墙（核医学科入口缓冲间）	1.1	2.5	10mmPb手套箱+370mm实心砖墙	1.16×10 ⁻¹⁰	符合
			北墙（ ¹⁸ F注射间）	1.4	10	10mmPb手套箱+370mm实心砖墙	7.17×10 ⁻¹¹	符合
			东墙（淋洗缓冲间、检测沐浴间）	2.6	2.5	10mmPb手套箱+370mm实心砖墙	2.08×10 ⁻¹¹	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	10mmPb 手套箱+200mm 混凝土	1.52×10 ⁻¹¹	符合
			淋洗间防护门	1.6	10	10mmPb手套箱+5mmPb	1.09×10 ⁻¹³	符合
			放药分装室传递窗	2.6	10	10mmPb手套箱+5mmPb	4.15×10 ⁻¹⁴	符合
			操作位（手套箱工作面）	0.5	2.5	10mmPb手套箱	1.12×10 ⁻⁷	符合
甲亢治疗工作场所								
¹³¹ I自动分装机内（考虑5人药量）	1850（ ¹³¹ I）	0.0595	指导服药位（放药分装室）	2.0	2.5	40mmPb 自动分装机	6.36×10 ⁻³	符合

甲亢治疗服药室（考虑1人服药）	370（ ¹³¹ I）	0.0583（人体源）	南墙（淋浴间）	1.7	2.5	370mm实心砖墙	0.213	符合
			西墙（放药分装室）	1.6	2.5	370mm实心砖墙	0.240	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm 混凝土+5mm 铅板	0.018	符合
甲亢治疗留观室（考虑1人留观）	370（ ¹³¹ I）	0.0583（人体源）	南墙（甲亢治疗入口缓冲间）	3.3	2.5	370mm实心砖墙	0.056	符合
			西墙（甲亢服药室、SPECT-CT注射后等候间）	2.2	10	370mm实心砖墙	0.127	符合
			北墙（甲亢治疗出口缓冲间）	3.4	2.5	370mm实心砖墙	0.053	符合
			楼上（检验中心）	5.4	2.5	200mm 混凝土+5mm 铅板	0.018	符合
			甲亢治疗入口缓冲间防护门	3.3	10	20mmPb	0.030	符合
			甲亢治疗出口缓冲间防护门	3.4	10	20mmPb	0.028	符合

注：①计算时机房选取四面屏蔽体外表面 30cm 作为关注点；

②从保守角度考虑，计算时不考虑患者体内核素随时间的衰变影响；

③注射窗口按 1 人注射考虑，¹⁸F 分装时在手套箱内进行，按照 1 个时段的治疗人数（10 人）考虑；^{99m}Tc 在手套箱内暂存时对手套箱外剂量率可忽略不计；甲亢治疗用 ¹³¹I 使用自动分装机进行分装，经自动分装机自屏蔽后剂量率可忽略不计；甲功测定用 ¹³¹I 为外购成品胶囊，不分装；

④放药分装室内存在 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I 三种核素，本次选取 ¹⁸F 保守核算屏蔽体厚度；

⑤¹⁸F 对给药室屏蔽体外瞬时剂量率计算考虑 2 种情形，即注射时 1 人药物最大注射量（370MBq）对屏蔽体外产生的瞬时剂量率和手套箱内 10 人药物最大操作量（3700MBq）对屏蔽体外产生的瞬时剂量率，与给药室四周屏蔽体外的距离分别按照注射时药物位于给药室中心位置距离屏蔽体外距离取值和贮存时药物位于手套箱中心位置距四周屏蔽体外距离取值；

⑥¹⁸F 和 ^{99m}Tc 一批注射 2 人，其中 1 人进入对应机房等待扫描，另 1 人在对应的注射后等待室内等待，机房内患者扫描完成后离开机房进入留观室留观，同时等待室内患者进入机房扫描。因此 PET 注射后等待室、SPECT 注射后等待室、PET 留观室、SPECT 留观室内同一时间只有 1 名患者，计算时不考虑各等待室/留观室内卫生间的防护。

CT运行时，患者释放的 γ 射线与CT散射的叠加剂量率见后文表11-6。

根据上表及后文表11-5计算结果可知，核医学科各工作场所的墙体、防护门、观察窗、地板及顶棚屏蔽体外剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ1188-2021）标准限值，满足辐射防护要求。

11.2.1.3 III类射线装置机房屏蔽体屏蔽 X 射线的的能力校核

（1）机房空间符合性分析

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），PET-CT机房（7m×7.64m）和SPECT-CT机房（7m×7.64m）的X射线防护按CT部分评价，使用面积及最小单边长度符合性分析详见表11-4。

表 11-4 机房使用面积及最小单边长度符合性分析一览表

机房名称	参数	设计值	标准要求	评价
PET-CT 机房	使用面积	53.5m ²	≥30m ² （按 CT 评价）	符合
	最小单边长	7.0m	≥4.5m（按 CT 评价）	符合
SPECT-CT 机房	使用面积	53.5m ²	≥30m ² （按 CT 评价）	符合
	最小单边长	7.0m	≥4.5m（按 CT 评价）	符合

注：评价标准依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

根据表 11-4 可知，项目 PET-CT、SPECT-CT 机房使用面积及最小单边长度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房相关要求。

（2）机房防护屏蔽设计符合性

①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C公式C.1和C.2，混凝土的 α 、 β 、 γ 取值自附录C表C.2，计算得出在管电压140kV（CT）下，200mm混凝土等效铅当量约为2.26mmPb，250mm混凝土等效铅当量约为3.01mmPb，180mm混凝土等效铅当量约为1.98mmPb。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未给出砖的拟合参数，根据《放射防护实用手册》P98，“在医用诊断X射线范围内，一砖厚（240mm）实心砖墙约为2mm的铅当量”，本项目370mm实心砖墙按3mmPb估算。

本项目拟配置PET-CT、SPECT-CT项目最大管电压为140kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表3中的要求，机房的X射线防护屏蔽措施符合性分析见表11-5。

表 11-5 PET-CT 和 SPECT-CT 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
PET-CT 机房 (按 CT 部分评价)	四周墙体	370mm 实心砖墙	3mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	观察窗	10mmPb 防护玻璃板	10mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	受检者防护门	5mmPb	5mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	工作人员防护门	10mmPb	10mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	屋顶	200+250mm 混凝土	5.27mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
SPECT-CT 机房 (按 CT 部分评价)	四周墙体	370mm 实心砖墙	3mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	观察窗	5mmPb 防护玻璃板	5mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	受检者防护门	5mmPb	5mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	工作人员防护门	5mmPb	5mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
	屋顶	200+180mm 混凝土	4.24mmPb	$\geq 2.5\text{mmPb}$	符合
注：PET-CT 中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 600mA；SPECT-CT 中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 200mA。					

根据表11-5可知，本项目PET-CT和SPECT-CT机房的屏蔽能力能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，CT部分运行中对外环境影响很小。

11.2.1.4 PET-CT 和 SPECT-CT 附加剂量率分析

PET-CT、SPECT-CT进行CT扫描时，机房周围存在CT散射与患者释放的 γ 射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。

本项目拟安装的PET-CT设备中CT部分最大管电压140kV、最大管电流600mA；SPECT-CT设备中CT部分最大管电压140kV、最大管电流200mA。

参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 E.2 中数据，CT 在 75%位数下，焦点处的剂量率最大为 60mGy（扫描时间 2s），因此 CT 扫描时焦点处的最大剂量率保守取 $1.08 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，考虑机房外关注点处剂量率同时存在漏射线和散射线影响。

11.2.1.4.1 估算公式

泄漏周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）。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。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad (11-3)$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11-4)$$

式中：H—关注点处的泄漏周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy。

f—泄漏射线比率，取 0.1%；

H₀—距靶点 1m 处的最大剂量率，μGy/h；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X—铅厚度，mm。

α、β、γ为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-21。

表 11-21 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.99	0.3420

注：α、β、γ取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C。

散射周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）中给出的公式计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (S/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (11-5)$$

式中：

H —关注点处的患者散射周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取1Sv/Gy；

H₀ —距靶点1m处的最大剂量率，μGy/h；

α —患者对X射线的散射比，参考《辐射防护手册 第一分册》P437表10.1取0.0016（150kV，45° 散射）；

S —散射面积，取20cm²（CT照射野宽1cm，长20cm）；

d₀ —源与患者的距离，一般取0.5m；

d_s 一患者与关注点的距离, m;

B 一屏蔽透射因子。

11.2.1.4.2 估算结果

本项目 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房 CT 出束状态下屏蔽体外各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果见表 11-6。

表 11-6 PET-CT、SPECT-CT 机房各关注点泄漏 X 射线剂量率

机房名称	屏蔽防护体名称	距离 R (m)	等效铅当量 (mmPb)	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	透射因子 B	H ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT 机房	南墙	4.2	3.0	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.781
	西墙	4.5		1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.680
	北墙	4.2		1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.781
	东墙	4.5		1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.680
	屋顶	5.4	5.27	1.08×10^8	1.09×10^{-6}	4.02×10^{-3}
	观察窗	4.6	10	1.08×10^8	7.70×10^{-11}	3.93×10^{-7}
	工作人员防护门	5.1	10	1.08×10^8	7.70×10^{-11}	3.20×10^{-7}
	受检者防护门	5.1	5.0	1.08×10^8	1.89×10^{-6}	7.84×10^{-3}
SPECT-CT 机房	南墙	4.2	3.0	1.08×10^8	8.01×10^{-6}	0.781
	西墙	4.5		1.08×10^8	8.01×10^{-6}	0.680
	北墙	4.2		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	0.781
	东墙	4.5		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	0.680
	屋顶	5.4	4.24	1.08×10^8	9.08×10^{-6}	3.36×10^{-2}
	观察窗	4.6	5.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	9.63×10^{-3}
	工作人员防护门	5.1	5.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	7.84×10^{-3}
	受检者防护门	5.1	5.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	7.84×10^{-3}

本项目 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房 CT 出束状态下屏蔽体外各关注点的散射辐射剂量率估算结果见表 11-7。

表 11-7 PET-CT、SPECT-CT 机房各关注点散射 X 射线剂量率

机房名称	屏蔽防护体名称	距离 d_s (m)	等效铅当量 (mmPb)	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	透射因子 B	H ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT	南墙	4.2	3.0	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.250

机房	西墙	4.5		1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.218
	北墙	4.2		1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.250
	东墙	4.5		1.08×10^8	1.28×10^{-4}	0.218
	屋顶	5.4	5.27	1.08×10^8	1.09×10^{-6}	1.29×10^{-3}
	观察窗	4.6	10	1.08×10^8	7.70×10^{-11}	1.26×10^{-7}
	工作人员防护门	5.1	10	1.08×10^8	7.70×10^{-11}	1.02×10^{-7}
	受检者防护门	5.1	5.0	1.08×10^8	1.89×10^{-6}	2.51×10^{-3}
SPECT-CT 机房	南墙	4.2	3.0	1.08×10^8	8.01×10^{-6}	0.250
	西墙	4.5		1.08×10^8	8.01×10^{-6}	0.218
	北墙	4.2		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	0.250
	东墙	4.5		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	0.218
	屋顶	5.4	4.24	1.08×10^8	9.08×10^{-6}	1.08×10^{-2}
	观察窗	4.6	5.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	3.08×10^{-3}
	工作人员防护门	5.1	5.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	2.51×10^{-3}
	受检者防护门	5.1	5.0	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	2.51×10^{-3}

本项目 CT 出束状态下各关注点的总辐射剂量率估算结果见表 11-8。

表 11-8 PET-CT、SPECT-CT 机房屏蔽体外 CT 运行附加剂量率核算结果

机房名称	屏蔽防护体名称	CT 泄漏剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	CT 散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	CT 总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	患者辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	患者辐射叠加 CT 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT 机房	南墙	0.781	0.250	1.03	0.075	1.11
	西墙	0.680	0.218	0.898	0.065	0.963
	北墙	0.781	0.250	1.03	0.075	1.11
	东墙	0.680	0.218	0.898	0.065	0.963
	屋顶	4.02×10^{-3}	1.29×10^{-3}	5.31×10^{-3}	3.21×10^{-3}	8.52×10^{-3}
	观察窗	3.93×10^{-7}	1.26×10^{-7}	5.19×10^{-7}	0.402	0.402
	工作人员防护门	3.20×10^{-7}	1.02×10^{-7}	4.22×10^{-7}	0.327	0.327
	受检者防护门	7.84×10^{-3}	2.51×10^{-3}	1.03×10^{-2}	0.654	0.664
SPECT-CT 机房	南墙	0.781	0.250	1.03	5.44×10^{-3}	1.04
	西墙	0.680	0.218	0.898	4.74×10^{-3}	0.903
	北墙	0.781	0.250	1.03	5.44×10^{-3}	1.04
	东墙	0.680	0.218	0.898	4.74×10^{-3}	0.903

	屋顶	3.36×10^{-2}	1.08×10^{-2}	4.44×10^{-2}	2.61×10^{-4}	4.47×10^{-2}
	观察窗	9.63×10^{-3}	3.08×10^{-3}	1.27×10^{-2}	9.05×10^{-6}	1.27×10^{-2}
	工作人员防护门	7.84×10^{-3}	2.51×10^{-3}	1.03×10^{-2}	7.36×10^{-6}	1.03×10^{-2}
	受检者防护门	7.84×10^{-3}	2.51×10^{-3}	1.03×10^{-2}	7.36×10^{-6}	1.03×10^{-2}

由表 11-8 可知，本项目 PET-CT、SPECT-CT 机房屏蔽体外同时考虑患者释放的 γ 射线和 CT 扫描散射对周围环境的辐射影响，则 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房各屏蔽体外 30cm 处的瞬时剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

11.2.1.5 剂量估算

人员受到的附加年有效剂量可由下式计算得到：

$$H_E = H_R \times T \times t \times 10^{-3} \quad (11-6)$$

式中： H_E — X- γ 辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

H_R — X- γ 辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t — 年工作时间，h；

T — 居留因子。

11.2.1.5.1 PET-CT显像检查所致工作人员剂量估算

PET显像检查使用放射性核素 ^{18}F ，其显像检查过程大致可分为药物分装、转移、注射、摆位、扫描5个过程，因此可通过这5个过程估算工作人员年有效剂量。根据医院提供的资料，单名患者 ^{18}F 药物用量为370MBq，每天检查10人次，年工作250天，年治疗病人2500人次。

分装：医院核医学科 ^{18}F 药物采用预约方式，由供药单位将药物送至医院储源室。每名患者注射前进行 ^{18}F 药物分装，每次药物分装时间为1min，年工作时间为41.67h，工作人员分装位置处的剂量率保守按 $0.514\mu\text{Sv/h}$ 计（表11-3），则分装过程所致工作人员有效剂量为 $2.14 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ 。

转移：药物注射前，工作人员将分装好的药物从手套箱转移至注射窗处，转移过程中采取30mm铅当量铅罐进行防护。药物转移时间按0.5min/人，则全年 ^{18}F 药物转移时间为20.83h。人员操作位处（与放射源距离按0.5m考虑）的剂量率为 $3.30\mu\text{Sv/h}$ （依据公式11-6进行计算）。则转移 ^{18}F 药物的工作人员有效剂量为 $6.87 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ 。

注射：工作人员为患者进行 ^{18}F 药物注射时，工作人员在一体化注射窗（40mm铅当量）后给患者进行注射，工作人员距离患者约0.5m，工作人员注射操作位剂量率为 $0.824\mu\text{Sv/h}$ （表11-3），每次给患者注射药物时间按30s计，年工作时间按20.83h计，则注射 ^{18}F 药物所致工作人员年有效剂量为 $1.72\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ 。

摆位：患者注射 ^{18}F 后，在候诊室进行候诊后，进入PET-CT显像检查室进行检查。工作人员指导患者进行摆位时与患者距离约1m，患者注射370MBq的 ^{18}F 药物1m处的剂量率约为 $34.04\mu\text{Sv/h}$ ，每个病人摆位按1min计，年工作时间为41.67h，PET-CT摆位过程所致工作人员年有效剂量为 1.42mSv/a 。

扫描：PET-CT分为PET部分扫描和CT部分扫描。每人次PET扫描时间约15min，全年累积扫描时间625h，工作人员操作处剂量率按患者注射药物后所致剂量率 $0.402\mu\text{Sv/h}$ （见表11-3 PET-CT机房观察窗处）进行计算，PET部分扫描所致工作人员年有效剂量为 0.251mSv/a ；考虑到CT扫描时X射线的叠加影响，工作人员操作位处剂量率取 $5.19\times 10^{-7}\mu\text{Sv/h}$ （见表11-8），CT部分扫描时间每人次20s，全年累积CT扫描时间13.89h，CT扫描所致工作人员年有效剂量为 $7.21\times 10^{-9}\text{mSv/a}$ 。

综上，PET显像检查所致工作人员年附加有效剂量见表11-9。

表 11-9 PET 显像检查所致工作人员年附加有效剂量核算表

工作场所	工作岗位	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	全年累积工 作时间 (h)	受照剂量 (mSv/a)	岗位人 数(人)	每人所受年剂 量 (mSv/a)	
PET 场所	分装	0.514	41.67	2.14×10^{-2}	1	9.01×10^{-2}	
	转移	3.30	20.83	6.87×10^{-2}			
	PET注射	0.824	20.83	1.72×10^{-2}	1	1.72×10^{-2}	
	摆位	34.04	41.67	1.42	1	1.42	1.67
	PET扫描	0.402	625	0.251		0.251	
	CT扫描	5.19×10^{-7}	13.89	7.21×10^{-9}		7.21×10^{-9}	

由上表计算结果可知，本项目PET显像检查所致工作人员职业照射的最大有效剂量值为 1.67mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（ 20mSv/a ）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的职业照射剂量约束值（ 5mSv/a ）。

11.2.1.5.2 SPECT-CT显像检查所致工作人员剂量估算

SPECT-CT显像检查使用放射性核素 ^{99m}Tc ，其显像检查过程大致可分为 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 淋洗制备、分装、转移、药物注射、摆位、扫描等过程。根据医院提供的资料，单名患者 ^{99m}Tc 药物用量为925MBq。每天共检查10人次，年工作250天，年治疗病人2500人次。

^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗制备、分装 ^{99m}Tc 药物：

本项目使用 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗制备 ^{99m}Tc ，根据医院提供的资料，本项目SPECT-CT显像检查年使用 ^{99m}Tc 为 $3.03 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，每年共淋洗250次，每次淋洗时间约15min，全年淋洗 ^{99m}Tc 的时间约62.5h。发生器淋洗在带有排风装置的手套箱内进行，淋洗过程中操作位处的剂量率为 $1.12 \times 10^{-7}\mu\text{Sv/h}$ （见表11-3），则可计算得出 ^{99m}Tc 淋洗过程中工作人员的年附加有效剂量为 $7.00 \times 10^{-9}\text{mSv/a}$ 。

^{99m}Tc 药物由 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器制备完成后，需要在手套箱内进行分装，工作人员分装操作位处剂量率为 $1.12 \times 10^{-7}\mu\text{Sv/h}$ ，年检查患者2500人次，每人分装时间按0.5min计，年分装时间为20.8h，则分装过程所致工作人员的年附加有效剂量为 $2.33 \times 10^{-9}\text{mSv/a}$ 。

转移：放射性药物注射前，放射性工作人员将分装好的药物通过传递窗由淋洗间转移至放药分装室，转移过程中采取注射器转运盒进行防护。本项目SPECT-CT使用 ^{99m}Tc 进行显像检查，年检查患者2500人次，药物转移时间按1min/人，全年累计约41.7h。剂量估算按每名患者注射最大药物量925MBq考虑。转移过程中药物置于5mm铅当量的注射防护套中，将注射防护套置于注射器5mm铅当量的注射器转运盒，人员操作位处（与放射源距离按0.5m考虑）的剂量率为 $1.12 \times 10^{-8}\mu\text{Sv/h}$ （依据公式11-6进行计算）。则转移 ^{99m}Tc 药物的工作人员年附加有效剂量为 $4.67 \times 10^{-10}\text{mSv/a}$ 。

^{99m}Tc 药物制备、分装、转移由1名工作人员完成，则所致工作人员年附加有效剂量为 $9.80 \times 10^{-9}\text{mSv/a}$ 。

注射：工作人员为患者进行 ^{99m}Tc 药物注射时，工作人员在一体化注射窗（10mm铅当量）后给患者进行注射，工作人员距离患者约0.5m，工作人员注射操作位剂量率为 $1.12 \times 10^{-8}\mu\text{Sv/h}$ ，每次给患者注射药物时间为30s计，年工作时间为20.83h，则注

射^{99m}Tc药物所致工作人员有效剂量为 2.33×10^{-10} mSv/a。

摆位：患者注射^{99m}Tc后进入SPECT-CT显像检查室进行检查过程中，工作人员指导患者进行摆位时与患者距离约1m，患者注射925MBq的^{99m}Tc药物1m处的剂量率约为19.15μSv/h。每个病人摆位按1min计，全年累积时间为41.67h，患者摆位过程所致工作人员年有效剂量为0.798mSv/a。

扫描：SPECT-CT分为SPECT部分扫描和CT部分扫描，全年检查病人2500人次。每人次SPECT扫描时间约15min，全年累积时间625h，工作人员操作处剂量率按 9.05×10^{-6} μSv/h（见表11-3 SPECT-CT机房观察窗处）进行计算；CT部分扫描时考虑到X射线的叠加影响，工作人员操作位处剂量率取 1.27×10^{-2} μSv/h（见表11-8），扫描时间每人次20s，全年累计时间13.89h。

综上，SPECT-CT显像检查所致工作人员年附加有效剂量见表11-10。

表 11-10 SPECT-CT 显像检查所致工作人员年附加有效剂量核算表

工作场所	工作岗位	剂量率 (μSv/h)	全年累积工作 时间 (h)	受照剂量 (mSv/a)	岗位人 数 (人)	每人年剂量 (mSv/a)	
SPECT 场所	^{99m} Tc制备	1.12×10^{-7}	62.5	7.00×10^{-9}	1	9.80×10^{-9}	
	^{99m} Tc分装	1.12×10^{-7}	20.8	2.33×10^{-9}			
	药品转移	1.12×10^{-8}	41.7	4.67×10^{-10}			
	SPECT注射	1.12×10^{-8}	20.83	2.33×10^{-10}	1	2.33×10^{-10}	
	患者摆位	19.15	41.67	0.798	1	0.798	0.926
	SPECT扫描	9.05×10^{-6}	625	5.66×10^{-6}		5.66×10^{-6}	
	CT扫描	1.27×10^{-2}	13.89	2.12×10^{-4}		2.12×10^{-4}	

由上表计算结果可知，SPECT-CT检查所致工作人员职业照射的最大年有效剂量值为0.926mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（20mSv/a）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的职业照射剂量约束值（5mSv/a）。

11.2.1.5.3 ¹³¹I核素所致工作人员剂量估算

本项目甲功测定、甲亢治疗使用放射性核素¹³¹I，其工作过程大致可分为药物分装、药品转运、甲亢治疗服药、甲功测定等过程。根据医院提供的资料，甲功测定每名患者¹³¹I药物用量为0.185MBq，每天检查20人次，年工作250天，年治疗病人5000人次；甲亢治疗每名患者¹³¹I药物用量为370MBq，每天检查5人次，年工作250天，年

治疗病人1250人次。

分装：本项目¹³¹I药物采用预约方式，由供药单位将药物于每天07:30送至医院储源室。本项目甲功测定拟采用分装好的¹³¹I药物胶囊，医院工作人员不再分装；本项目甲亢治疗患者服药使用自动分装机进行分装。因此不考虑分装过程对工作人员的辐射影响。

药物转移、测定、服药：

①甲功测定：甲功测定每天20人，每人最大用量0.185MBq（患者口服5 μ Ci）。药物及服药后患者1m处剂量率为 $1.28 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，已低于表8中本底水平，对辐射工作人员及周围公众的辐射影响很小。因此甲功测定药物转移及测定过程中对辐射工作人员及公众所致剂量可以忽略不计。

②甲亢治疗：工作人员每天将甲亢治疗所需的¹³¹I药物装入转运铅防护罐（30mmPb）转移至放药分装室¹³¹I自动分装机处，每次转移时间约1min，则年累计转移时间约4.16h；药物转移过程中工作人员距放射性药物约0.5m，每次甲亢治疗转移5人次（1850MBq）的¹³¹I药物屏蔽体外0.5m处的剂量率为 $0.825 \mu\text{Sv/h}$ ，则甲亢治疗药物转移过程中工作人员所受的年有效剂量为 $3.43 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。用于甲亢治疗的¹³¹I放射性药物通过自动分装机给药，工作人员通过语音监控系统指导患者进行服药，放药分装室内指导服药处的剂量率为 $6.36 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ （见表11-3）。每次患者服药时间按1min计，年工作时间为20.83h，则指导甲亢治疗患者服药所致工作人员有效剂量为 $1.32 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

综上，¹³¹I放射性药物 γ 辐射所致工作人员年剂量见表11-11。

表11-11 碘-131核素操作人员个人剂量估算

工作岗位	工作时间		操作活度	距离 (m)	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 mSv/a
甲亢治疗 药品转运	1min/天	4.16h/a	1850MBq	0.5	0.825	3.43×10^{-3}
甲亢治疗 指导服药	1min/人·次	20.83h/a	1850MBq	2.0	6.36×10^{-3}	1.32×10^{-4}

分装室内1人负责¹³¹I药品转运及甲亢治疗指导服药过程，由表11-11可知，该辐射工作人员所受的年有效剂量为 $3.56 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。故¹³¹I核素诊疗区工作人员所受辐射年附加有效剂量符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）职业照射

剂量约束值不超过 5.0mSv/a 得要求。

11.2.1.5.4 核医学科工作人员叠加影响分析

根据表11-9、表11-10，考虑 ^{18}F 分装、 ^{18}F 注射、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射由1名放射工作人员完成，该名工作人员所受的年有效剂量合计为0.107mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（20mSv/a）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的职业照射剂量约束值（5mSv/a）。

11.2.2.5.5 公众成员剂量估算与评价

核医学科工作场所屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表11-12所示。由表11-12可知，核医学科工作场所控制区边界外的公众成员受到的年有效剂量最大为 $2.52 \times 10^{-2}\text{mSv}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众的职业照射水平控制限值（1mSv/a）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的公众照射剂量约束值（0.1mSv/a）。

表 11-12 公众成员年有效剂量估算结果

工作场所	关注点		患者辐射影响		CT 扫描影响		居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
			周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时间 (h)	周围剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时 间 (h)		
PET-CT 机房	楼上	检验中心	3.21×10^{-3}	1098h (扫描+摆位+每 2 名患者中有 1 名需在机房内进行 20min 等待)	5.31×10^{-3}	扫描时间 20s/人次, 全年 13.89h	1 ^{注 1}	3.60×10^{-3}
SPECT-CT 机房	南侧	会议室	5.44×10^{-3}	1306h (扫描+摆位+每 2 名患者中有 1 名需在机房内进行 30min 等待)	1.03	扫描时间 20s/人次, 全年 13.89h	1/2	1.07×10^{-2}
		阅片室	5.44×10^{-3}		1.03		1	2.14×10^{-2}
	楼上	检验中心	2.61×10^{-4}		4.44×10^{-2}		1	9.58×10^{-4}
放药分装室 ^{注 2}	楼上	检验中心	1.60×10^{-4}	^{18}F 分装 41.67h+转移 20.83h=62.5h	/	/	1	1.00×10^{-5}
PET 注射后 等候室	北侧	停车场	0.230	每 2 名患者中有 1 名需在等候室内进行 20min 等待, 则候诊时间为 2500 人/年 $\div 2 \times 20\text{min}/\text{次}$ $\div 60\text{min}/\text{h} = 416.7\text{h}$	/	/	1/20	4.79×10^{-3}
	楼上	检验中心	1.06×10^{-2}		/	/	1	4.58×10^{-3}
SPECT 注射 后等候室	楼上	检验中心	1.04×10^{-2}	每 2 名患者中有 1 名需在等候室内进行 30min 等待, 则候诊时间为 2500 人/年 $\div 2 \times 30\text{min}/\text{次}$ $\div 60\text{min}/\text{h} = 625\text{h}$	/	/	1	6.50×10^{-3}

PET 留观/ 抢救室	北侧	停车场	0.147 (留观) 4.08×10^{-3} (抢救)	按 1 人留观, 留观时间按最长 10min 计, 则留观时间为 $2500 \text{ 人/年} \div 1 \text{ 人/次} \times 10 \text{ min/次} \div 60 \text{ min/h} = 416.7 \text{ h}$;	/	/	1/20	3.06×10^{-3}
	楼上	检验中心	1.06×10^{-2}	考虑 1 名患者抢救时间 30min, 每年最多 5 个患者抢救, 全年累积时间 2.5h; $416.7 \text{ h} + 2.5 \text{ h} = 419.2 \text{ h}$ 。	/	/	1	4.44×10^{-3}
SPECT 留观室	楼上	检验中心	1.04×10^{-2}	按 1 人留观, 留观时间按最长 10min 计, 则留观时间为 $2500 \text{ 人/年} \div 1 \text{ 人/次} \times 10 \text{ min/次} \div 60 \text{ min/h} = 416.7 \text{ h}$ 。	/	/	1	4.33×10^{-3}
PET 注射室	楼上	检验中心	0.037	每年最多 2500 人, 每人 1min, 全年累计时间 41.7h	/	/	1	1.54×10^{-3}
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/ 运动负荷室	楼上	检验中心	1.04×10^{-2}	注射每年最多 2500 人, 每人 1min, 全年累计时间 41.7h; 运动负荷每年最多 750 人 (按总人数 30% 计), 每人运动时间最长 10min, 全年累积时间 125h。 $125 + 41.7 = 166.7 \text{ h}$	/	/	1	1.73×10^{-3}
淋洗间 ^{注3}	南侧	候诊大厅走廊	1.29×10^{-11}	淋洗 62.5h+分装 20.8h=83.3h	/	/	1/5	2.15×10^{-13}
	楼上	检验中心	1.52×10^{-11}		/	/	1	1.27×10^{-12}
甲亢服药/留 观室 ^{注4}	楼上	检验中心	1.75×10^{-2}	服药 20.83h+留观 $208.3 \text{ h} = 229.13 \text{ h}$	/	/	1	4.01×10^{-3}

注 1：核医学科各工作场所正上方为 1F 检验中心包括中心实验室在内的各实验室，居留因子保守起见统一取 1；

注 2：放药分装室内的辐射源考虑分装手套箱内活度为 3700MBq 的 ^{18}F 。

注 3：淋洗间内的辐射源考虑淋洗手套箱内活度为 9250MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

注 4：放药分装室自动分装机内 1850MBq ^{131}I 药物经自动分装机自屏蔽后对楼上辐射剂量当量率极小，此处忽略不计。

榆林市星元医院核医学科及后装机房
核技术应用项目环境影响报告表
(公示稿)

11.2.1.5.6 核医学科公众叠加影响分析

考虑本项目核医学科上方检验中心可能受到核医学科多个房间的辐射影响，叠加影响的分析如下：

①周围剂量当量率叠加影响

表 11-11 周围剂量当量率叠加影响情况

关注点	影响来源	关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$	叠加后剂量率， $\mu\text{Sv/h}$	剂量率限值， $\mu\text{Sv/h}$	是否合格
检验中心	PET-CT 机房	3.21×10^{-3}	0.110	2.5	合格
	SPECT-CT 机房	2.61×10^{-4}			
	放药分装室	1.60×10^{-4}			
	PET 注射后等候室	1.06×10^{-2}			
	SPECT 注射后等候室	1.04×10^{-2}			
	PET 留观/抢救室	1.06×10^{-2}			
	SPECT 留观室	1.04×10^{-2}			
	PET 注射室	3.69×10^{-2}			
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/运动负荷室	1.04×10^{-2}			
	淋洗间	1.52×10^{-11}			
	甲亢服药/留观室	1.75×10^{-2}			

注：表中数据来自表 11-3。

因此，本项目核医学科上方检验中心的周围剂量当量率叠加后最大约 $0.110\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准限值。

②人员年剂量叠加影响

表 11-12 年剂量叠加影响情况

关注点	影响来源	有效剂量 mSv/a	叠加后有效剂量 mSv/a	剂量控制水平 mSv/a	是否合格
检验中心	PET-CT 机房	3.60×10^{-3}	3.17×10^{-2}	0.1	合格
	SPECT-CT 机房	9.58×10^{-4}			
	放药分装室	1.00×10^{-5}			
	PET 注射后等候室	4.58×10^{-3}			
	SPECT 注射后等候室	6.50×10^{-3}			
	PET 留观/抢救室	4.44×10^{-3}			
	SPECT 留观室	4.33×10^{-3}			
	PET 注射室	1.54×10^{-3}			
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射/运动负荷室	1.73×10^{-3}			
	淋洗间	1.27×10^{-12}			
	甲亢服药/留观室	4.01×10^{-3}			

注：表中数据来自表 11-12。

综上所述，若考虑叠加影响，核医学科工作场所控制区边界外的公众成员受到的有效剂量最大值为 $3.17 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众的职业照射水平控制限值（ 1mSv/a ）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的公众照射剂量约束值（ 0.1mSv/a ）。

11.2.1.6 放射性废气影响分析

本项目核医学科控制区采取独立的排风系统，并根据各功能区的活性高低分别设置排风管道及高效活性炭过滤防护装置，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，不违背核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。主管道均拟布设于吊顶上方，然后通过支管连接至各个工作区域用房，管道节点处拟设置调节阀，防止放射性废气倒灌，主管道在吊顶上方至风井后，沿风井向上穿1层空调机房至屋顶，经活性炭过滤后排至大气。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.2.3“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 。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。”和J.8“测量手套箱风速时应在正常操作状态，没有手孔的手套箱为前档玻璃开到一半，在前档玻璃打开处测量，有手孔的为2个手孔打开后，在手孔处测量。”本项目核医学科PET、SPECT手套箱单独专设一路排风管道，管道连接专用防辐射排风管，手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s ，管道内部设有高效活性炭过滤防护装置。

故项目产生的放射性废气在采取上述措施后对环境影响较小，核医学科各工作场所排风系统能够符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

本环评要求活性炭过滤装置应加强维护，建议采用高效的蜂窝状活性炭，活性炭应每一年更换一次，以保证过滤效果。更换废活性炭的工作人员应正确穿戴个人防护用品（放射性污染防护服）和佩戴个人剂量计，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。

11.2.1.7 放射性废水影响分析

项目核医学科工作场所产生的放射性废水的主要来源为工作人员清洗手部受到微量污染后进行清洗，受微量放射性核素污染的衣服的清洗，工作场所台面、地面的清洗，以及患者排泄物冲洗用水等。

11.2.1.7.1 废水暂存时间估算

衰变池的设计、长短半衰期废水的暂存时间详见10.2.1核医学科（2）放射性废水部分。放射性废水达到暂存时间后进入医院污水处理站，处理达标后经市政管网排至榆林市污水处理厂。

11.2.1.7.2 废水排放口浓度估算

项目长半衰期放射性废水含¹³¹I，因此按¹³¹I相关参数估算；短半衰放射性废水含¹⁸F和^{99m}Tc，其中¹⁸F半衰期（1.83h）相比^{99m}Tc半衰期（6.02h）较短，且用量较小，因此短半衰期废水按^{99m}Tc相关参数估算。

项目甲亢治疗¹³¹I日最大用药量为1.85×10⁹Bq；SPECT-CT诊断^{99m}Tc日最大用药量为1.21×10¹⁰Bq。

根据医院提供资料，门诊患者服药2小时内服药量的15%-20%进入放射性废水。因此保守考虑每日甲亢治疗及核素诊断患者最大用药量的20%进入衰变池。

考虑废水衰变，第n天的废水进入衰变池后，衰变池中单一核素的放射性活度用以下公式计算：

$$S_n = \sum_{i=1}^N A \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{N-n}{T}} \quad (11-7)$$

式中：

S_n-第 n 天的放射性废水进入衰变池中后，衰变池中某核素的总活度，Bq；

A-每日进入衰变池的废水活度，Bq；

N-衰变池注满所用时间，天；

T-对应核素的半衰期，天。

放射性废水排放口活度浓度估算结果见表11-13。

表 11-13 单个池体住满时池中放射性活度估算结果

衰变池	估算核素	半衰期	注满所用时间 (天)	日最大用量 (Bq)	注满时池中活度 (Bq)
¹⁸ F 及 ^{99m} Tc 核 素衰变池	^{99m} Tc	6.02h	52	1.21×10 ¹⁰	1.63×10 ⁸
含 ¹³¹ I 核 素衰变池	¹³¹ I (甲亢治疗)	8.02d	82	1.85×10 ⁹	4.10×10 ⁹

放射性废水排放口活度浓度估算结果见表11-14。

表 11-14 衰变池排放口活度浓度估算结果

衰变池	估算核素	半衰期	注满后暂存时间(天)	排放总活度(Bq)	排水量(m³)	排放口活度浓度(Bq/L)
¹⁸ F 及 ^{99m} Tc 核素衰变池	^{99m} Tc	6.02h	52	6.39×10 ⁻⁵⁵	20	3.20×10 ⁻⁵⁹
含 ¹³¹ I 核素衰变池	¹³¹ I	8.02d	246	2.39	20	1.20×10 ⁻⁴

根据上表计算结果，¹⁸F及^{99m}Tc核素衰变池排放口活度浓度为3.20×10⁻⁵⁹Bq/L，含¹³¹I核素衰变池排放口活度浓度为1.20×10⁻⁴Bq/L，均低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中总β放射性不大于10Bq/L的要求。

11.2.1.7.3衰变池屏蔽能力估算

项目衰变池槽体为不锈钢罐，四周屏蔽措施为370mm厚实心砖墙体（西侧及南侧设置管线检修通道，对衰变池罐体有2道墙体屏蔽），上方屋顶屏蔽措施为200mm混凝土楼板+15mm铅板。衰变池北侧及西侧为停车区，南侧为SPECT-CT留观室，上方为1F检验中心冷库、主任室及走廊，东侧及下方为土层。

根据表11-2及表11-13计算结果，衰变池周围剂量率估算结果见表11-15，衰变池所致周围人员年有效剂量见表11-16。

表 11-15 衰变池周围剂量率估算结果

衰变池	估算 核素	最大活 度 (Bq)	方向	关注点	屏蔽设计	最短 距离 (m)	关注点 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核 素衰变池	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.63×10^8	北	停车区	370mm 实心砖 (2.3mmPb)	1.52	1.07×10^{-2}
			西	停车区	370mm 实心砖 $\times 2$ (4.6mmPb)	5.20	4.59×10^{-6}
			南	SPECT-CT 留观室	370mm 实心砖 $\times 2$ (4.6mmPb)	9.55	1.36×10^{-6}
			上	检验中心 冷库	200mm 混凝土 +15mm 铅板 (16.8mmPb)	5.4	2.68×10^{-18}
				检验中心 主任室			
				检验中心 走廊			
含 ^{131}I 核 素衰变池	^{131}I	4.10×10^9	北	停车区	370mm 实心砖 (17mmPb)	4.72	0.312
			西	停车区	370mm 实心砖 $\times 2$ (34mmPb)	5.20	7.32×10^{-3}
			南	SPECT-CT 留观室	370mm 实心砖 $\times 2$ (34mmPb)	3.15	1.99×10^{-2}
			上	检验中心 冷库	200mm 混凝土 +15mm 铅板 (27.9mmPb)	5.4	2.43×10^{-2}
				检验中心 主任室			
				检验中心 走廊			

表 11-16 衰变池周围人员剂量估算结果

工作场所	关注点	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时间 (h)	居留因子	附加剂量 (mSv/a)
衰变池	停车区 (北)	1.07×10^{-2}	2000	1/40	1.61×10^{-2}
		0.312	2000		
	停车区 (西)	4.59×10^{-6}	2000	1/40	3.66×10^{-4}
		7.32×10^{-3}	2000		
	SPECT-CT 留观室	1.36×10^{-6}	2000	1/2	1.99×10^{-2}
		1.99×10^{-2}	2000		
	检验中心 冷库	2.68×10^{-18}	2000	1/20	2.43×10^{-3}
		2.43×10^{-2}	2000		
	检验中心 主任室	2.68×10^{-18}	2000	1	4.86×10^{-2}
		2.43×10^{-2}	2000		
	检验中心 走廊	2.68×10^{-18}	2000	1/5	9.72×10^{-3}
		2.43×10^{-2}	2000		

注：衰变池周围关注点仅每日工作时间 (8h) 有人员进入，年工作 250 天。

根据计算结果，衰变池周围辐射剂量率最大为 $1.07 \times 10^{-2} + 0.312 = 0.323 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求；衰变池周围人员年有效剂量最大为 $4.86 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准限值（ 1mSv/a ）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中剂量约束值（ 0.1mSv/a ）要求。衰变池周围其他环境保护目标距离更远，间隔的屏蔽体更多，所受辐射影响更小，因此其剂量率及年有效剂量也满足标准要求。

11.2.1.8 放射性固体废物影响分析

核医学科产生的固体废物主要为与放射性核素接触过的一次性注射器、棉签、废钨钍发生器柱、废淋洗真空瓶、注射台上的吸水纸、口罩、乳胶手套、患者服药的杯子、其他一次性卫生用品等医疗废物、废气处理产生的废活性炭等。 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断、 ^{131}I 核素诊断治疗年产生放射性固废总量 622.5kg。

项目拟在放药分装室、淋洗间、运动负荷室、注射后候诊室、留观及抢救室、PET-CT机房、SPECT-CT机房、甲亢服药间内放置专用废物桶。核医学科废气过滤更换下来的废活性炭装入专用塑料袋中，塑料袋密封后转移至固废间放置衰变。废物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。废物桶应具有屏蔽能力，并在表面张贴电离辐射标志。

对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入锐器盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内，专用塑料袋装满后应密封，不破漏，及时转送污物间贮存。放射性废物每袋重量不超过20kg。

半衰期小于24小时（主要为含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素）的放射性固废暂存时间超过30天；含碘-131核素的放射性固废暂存时间超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 ， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ，可对废物清洁解控作为一般固废医疗废物处理。

不能解控的放射性固体废物应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 发射体应小于 4Bq/cm^2 。

应安排专人负责管理废物的存储和处理，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。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养，接触放射性废物的工作人员必须穿放射性污染防护服，并佩戴个人剂量计。

11.2.2 后装机

(1) 机房屏蔽体厚度核算

医院拟在后装治疗机房内配置一台 ^{192}Ir 后装治疗机，含 ^{192}Ir 放射源1枚，最大装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，源距地面高度约1.3m。

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）标准中的公式，估算本项目屏蔽设计是否符合要求。保守考虑，计算时将 ^{192}Ir 源当作裸源。

①关注点的选取

治疗机房应考虑治疗源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。图中红色线框区域为治疗源可能使用的区域，后装机移动时，放射源距南侧墙最近距离取2.1m，距迷道内墙最近距离取1m，距地面高度取1.3m。

后装治疗机房辐射影响分析关注点设置详见图11-1、图11-2。

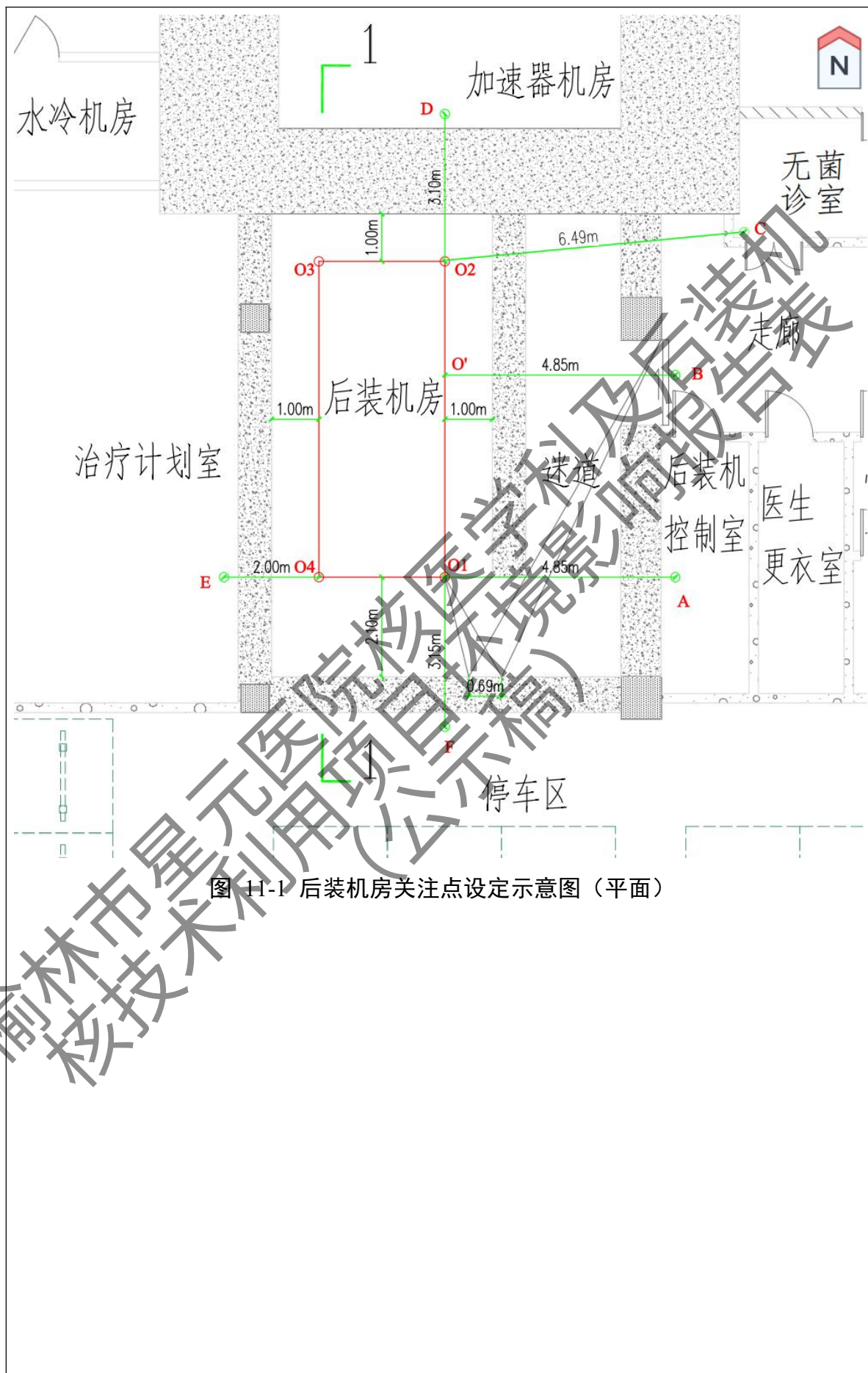


图 11-1 后装机房关注点设定示意图（平面）

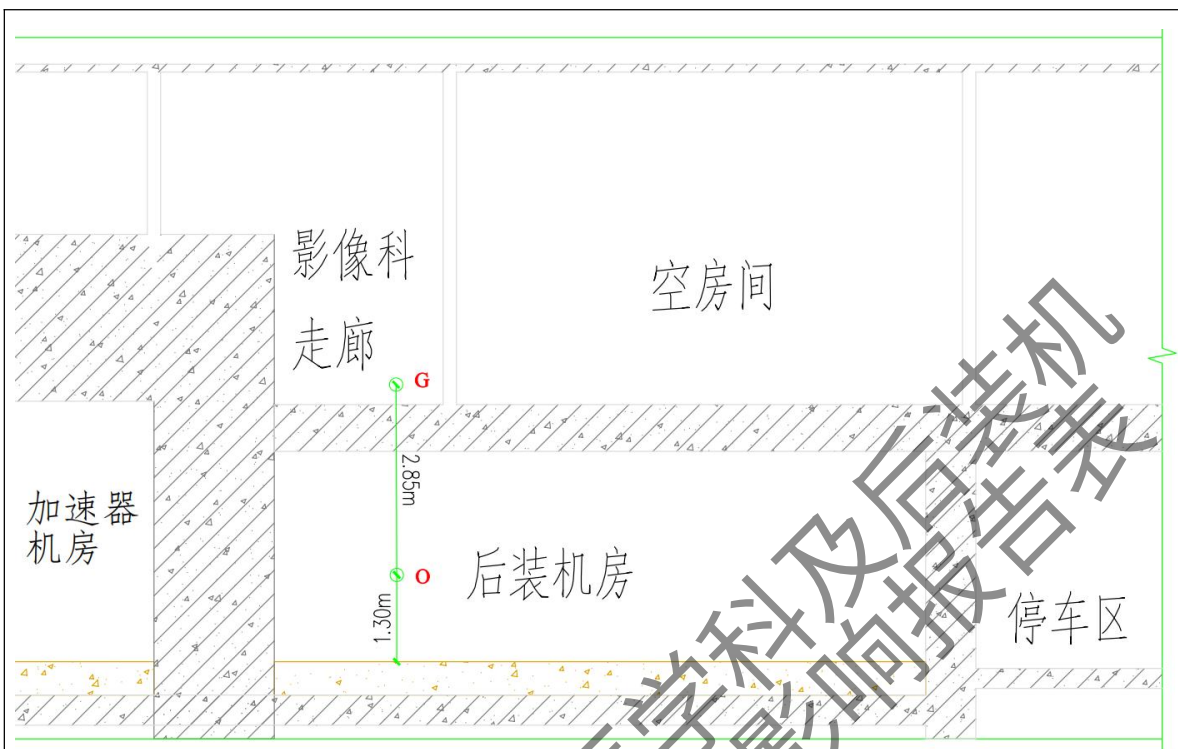


图 11-2 后装机房关注点设定示意图（剖面）

后装机房上方空房间保持空置，不作使用，因此无需对此处辐射影响进行评价。

②关注点的剂量率参考控制水平

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）6.1.4，由以下周剂量参考控制水平（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ：

放射治疗机房外控制区的工作人员， $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

放射治疗机房外非控制区的人员， $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子（ T ）的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ 按以下情况取值：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所：最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 取a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）。

◆根据GBZ/T201.3-2014中4.1剂量控制要求及附录A，关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率控制水平按公式11-4计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-4)$$

式中：

H_c —周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t —治疗装置周治疗照射时间， h ；每天接待放射治疗患者最多为10人，每周工作5d，每位患者的治疗时间6min，周治疗照射时间为5h；

U —关注位置方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子，取值参考HJ1198-2021附录A表A.1。

机房外关注点剂量率参考控制水平见表11-13。

表 11-13 后装治疗机房关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点点位	辐射类型	t (h)	U	T	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 计算值	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最终取值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A (后装机控制室)	初级	4	1	1	100	25	2.5	2.5
B (防护门外)	散射 初级	4	1	1/8	5	10	10	10
C 无菌诊室	初级	4	1	1/2	5	2.5	10	2.5
D (加速器机房)	初级	4	1	1/2	100	50	10	10
E (治疗计划室)	初级	4	1	1	5	1.25	10	1.25
F (停车区)	初级	4	1	1/20	5	25	10	10
G (上方影像科走廊)	初级	4	1	1/5	5	6.25	10	6.25

③ 机房防护墙体屏蔽厚度核算

后装机房四周墙体和屋顶考虑初级辐射的直接照射。根据后装治疗机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离 R 。当关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式（11-5）计算，按式（11-6）估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e （ cm ），再按照式（11-7）获得屏蔽厚度 X （ cm ），计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (11-5)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-6)$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (11-7)$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

$\dot{H}_c$ —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —活度为A的放射源在距其1m处的剂量率；

$$\dot{H}_0 = A \times K_r = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}；$$

R—辐射源点至关注点的距离，m；

f—对有用束为1；

θ —为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL1 (cm) 和TVL (cm) —为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。根据GBZ/T201.3-2014的附录C表C.1，对 ^{192}Ir 放射源，TVL1=TVL=15.2cm；

Xe—有效屏蔽厚度，cm；

X—墙体屏蔽厚度，cm。

后装治疗机房墙体屏蔽厚度核算结果见表11-14。

表11-14 后装治疗机房墙体屏蔽厚度核算结果

关注点点位	辐射类型	$\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	B	计算厚度 (砵, cm)	设计厚度 (砵, cm)	结论
A (后装机控制室)	初级	2.5	4.85	9.55×10^{-4}	43.2	85	满足
C (无菌诊室)	初级	2.5	6.49	2.56×10^{-3}	39.2	155	满足
D (加速器机房)	初级	10	3.1	1.56×10^{-3}	40.0	180	满足
E (治疗计划室)	初级	1.25	2.0	8.12×10^{-5}	59.5	70	满足
F (停车区)	初级	10	3.15	1.61×10^{-3}	39.8	75	满足
G (上方影像科走廊)	初级	6.25	2.85	8.24×10^{-4}	44.2	70	满足

根据以上计算，后装治疗机房四周墙体设计屏蔽厚度符合要求。

(2) 机房防护门屏蔽厚度核算

①机房入口处的散射辐射剂量 $\dot{H}$ 按下式计算：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-8)$$

式中：

A—放射源的活度，单位为兆贝可（MBq），源活度 $A=3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ；

K_{γ} —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_{γ} 常数）在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时 K_{γ} 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；对 ^{192}Ir 放射源， $K_{\gamma}=0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

S_w —迷道内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积， $0.69 \times 3.15 = 2.17 \text{m}^2$ ；

α_w —散射体的散射因子， m^2 ，GBZ/T201.3-2014 表 C.4 中取 0.25MeV 时 45° 入射 15° 散射因子 3.50×10^{-2} ；

R_1 —辐射源点至散射体中心的距离，2.27m；

R_2 —散射体中心至关注点的距离，8.00m；

计算得机房入口处的散射辐射剂量 $\dot{H}=9.46 \mu\text{Sv/h}$ 。

②由于后装治疗过程中，放射源外没有屏蔽，因此只产生有用线束，没有泄漏辐射。有用线束辐射经迷道内墙屏蔽后在 B 处（O'-B）的剂量率按公式 11-9 计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-9)$$

式中：

$\dot{H}_0$ —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，

$\dot{H}_0 = A \times K_{\gamma} = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ；

K_{γ} —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_{γ} 常数）在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时 K_{γ} 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；对 ^{192}Ir 放射源， $K_{\gamma}=0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

B——屏蔽透射因子，根据 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对 ^{192}Ir 放射源， $\text{TVL}_1=\text{TVL}=15.2\text{cm}$ ； $B = 10^{-(X_e+\text{TVL}-\text{TVL}_1)/\text{TVL}} = 10^{-(70/\cos 0^\circ+15.2-15.2)/15.2} = 2.48 \times 10^{-5}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，为 4.85m；

f—对有用线束为1。

经计算，有用线束经迷道内墙屏蔽后在G处的剂量率为 $\dot{H} = 4.33 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ （小于 $10 \mu\text{Sv/h} \times 1/4 = 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ）

无防护门屏蔽时，机房入口处的剂量率为 $9.46 + (4.33 \times 10^{-2}) = 9.50 \mu\text{Sv/h}$ 。

保守考虑，当防护门外辐射剂量率控制水平取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 时，后装机房防护门所需要的屏蔽透射因子 $B = \dot{H}_e / \dot{H} = 2.5 \div 9.50 = 0.263$ ，迷道入口B处散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的TVL值为5mm，相应的铅厚度（X）为： $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 2.90 \text{mmPb}$ 。

根据医院提供的设计方案，机房防护门为10mmPb，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）相关要求。

（3）机房屏蔽体外剂量率核算

①根据GBZ/201.3-2014的相关公式计算，首先根据机房各屏蔽墙体的设计厚度X（cm）根据式（11-10）计算出有效厚度 X_e （cm），按照式（11-11）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B，再按照式（11-12）计算初级辐射在屏蔽墙体外关注点的剂量率见表11-9。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (11-10)$$

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \quad (11-11)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-12)$$

式中： X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X—屏蔽厚度，cm；

θ —入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

B—辐射屏蔽透射因子；

TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) —为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。根据 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对 ¹⁹²Ir 放射源，TVL₁=TVL=15.2cm；

$\dot{H}$ —关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$ —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，

$\dot{H}_0 = A \times K_r = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

f —对有用线束为 1。

后装治疗机房外各关注点的初级辐射剂量率水平计算结果见表 11-15。

表11-15 后装治疗机房各关注点初级辐射剂量率预测结果

点位描述	辐射类型	X (cm, 砵)	R (m)	B	$\dot{H}$ (μSv/h)	控制水平值 (μSv/h)
A (后装机控制室)	初级	85	4.85	2.56×10^{-6}	4.47×10^{-3}	2.5
C (无菌诊室)	初级	155	6.49	5.62×10^{-11}	5.48×10^{-8}	2.5
D (加速器机房)	初级	180	3.10	1.44×10^{-12}	6.15×10^{-9}	10
E (治疗计划室)	初级	70	2.00	2.48×10^{-5}	0.255	1.25
F (停车区)	初级	75	3.15	1.16×10^{-5}	4.82×10^{-2}	10
G (上方影像科走廊)	初级	70	2.85	2.48×10^{-5}	0.125	6.25

由表11-15可知，后装机运行后，机房实体屏蔽墙外所有关注点处剂量率均满足各关注点剂量率参考控制水平。

②机房入口屏蔽前的剂量率为9.50μSv/h，铅中的TVL值为5mm，本项目后装治疗机房防护门设计为10mmPb，经计算防护门外30cm处B点位的剂量率为 $9.50 \times 10^{-(10/5)}$ = $9.50 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足防护门外剂量率参考控制水平 10μSv/h 及保守控制水平 2.5μSv/h。

(4) 个人剂量估算

①治疗机房外人员受照剂量

后装机计划每天治疗人数10人，每人治疗时间约为6min，每周工作5天，年工作

50周，则操作人员年工作时间250h。

后装治疗机房外关注点处的人员年有效剂量按式11-4计算，计算参数和计算结果见表11-16。

表11-16 后装机辐射工作人员及周边环境公众年剂量估算结果

点位描述	人员类型	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间h	居留因子T	使用因子U	受照剂量 (mSv/a)	约束限值 (mSv/a)
A (后装机控制室)	职业人员	4.47×10^{-3}	250	1	1	1.12×10^{-3}	5
B (防护门外/后装机走廊)*	公众	9.50×10^{-2}	250	1/5	1	4.75×10^{-3}	0.1
C (无菌诊室)	公众	5.48×10^{-8}	250	1/2	1	6.85×10^{-9}	0.1
D (加速器机房)	职业人员	6.15×10^{-9}	250	1/2	1	7.69×10^{-10}	5
E (治疗计划室)	职业人员	0.255	250	1	1	6.38×10^{-2}	5
F (停车区)	公众	4.82×10^{-2}	250	1/40	1	3.01×10^{-4}	0.1
G (上方影像科走廊)	公众	0.125	250	1/5	1	6.25×10^{-3}	0.1

注：后装机走廊处剂量率按后装机房防护门外剂量率，居留因子按走廊处1/5保守取值。

根据表 11-16 可知，项目正常运行期间，后装机所致治疗机房外辐射工作人员最大剂量为 $6.38 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ；后装机所致机房四周环境公众最大剂量为 $6.25 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。

本次对后装机房四周关注点的年有效剂量均进行了计算，对于表 7-1 中所列其他环境保护目标，由于距本项目的距离更远，考虑射线源随距离的平方成反比衰减关系和其他功能房间屏蔽体的阻隔，人员停留位置处剂量率将更低，因此，其他环境保护目标处受照射剂量均低于 0.1mSv 。因此本项目后装机投入使用后对评价范围内环境保护目标环境的影响满足评价标准要求。

②进入治疗机房内的工作人员受照剂量

由于放射治疗前，辐射工作人员需要进入后装治疗机房内协助患者进行摆位，在摆位过程会受到放射源的照射。

辐射工作人员进入后装治疗机房之前，必须确保放射源处于后装治疗机的贮源器中，并佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员协助患者摆位（连接施源器）

时在机房内停留时间按2min计，与工作贮源器的平均距离按1m考虑。根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）“3.6 贮源器表面100cm处的泄漏辐射所致周围剂量当量率应不超过 $5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，本次评价以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员摆位处的最大辐射剂量率进行计算，医生摆位时间最大为2min，年治疗患者人数2500人次，年累计受照时间83.3h，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量： $5\mu\text{Sv/h} \times 83.3\text{h} \times 1/1000 = 0.417\text{mSv/a}$ 。

由表 11-16 可知，辐射工作人员在控制室所受照射剂量为 $1.12 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，考虑到摆位和控制室工作人员可能为同人，因此后装机摆位辐射工作人员所受照射年附加有效剂量为 $0.417 + (1.12 \times 10^{-3}) = 0.418\text{mSv}$ ，低于项目辐射工作人员年附加剂量约束值（ 5mSv/a ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

（5）本项目与医院其他核技术利用项目的叠加影响分析

本项目投入运行后，北侧直线加速器机房及 CT 模拟定位机房运行情况下会对本项目后装机房及治疗计划室内辐射工作人员产生影响；本项目后装机房、北侧直线加速器机房及 CT 模拟定位机房同时运行时会对无菌诊室、后装机走廊及上方影像科走廊公众产生影响。因北侧直线加速器目前尚未建设完成，本次采用环评预测值进行叠加。汇总《榆林市星元医院常乐院区医用电子直线加速器核技术利用项目环境影响报告表》（已批复，榆政环辐批复〔2025〕27 号）中相关部分内容，叠加影响分析如下：

表 11-17 本项目剂量率叠加影响情况

关注点	影响来源	关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$	叠加后剂量率, $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值/控制水平, $\mu\text{Sv/h}$	是否合格
后装机房	直线加速器机房	2.66×10^{-2}	5.03	10	合格
	本项目后装机	5			
治疗计划室	直线加速器机房	2.66×10^{-2}	0.282	10	合格
	本项目后装机	0.255			
无菌诊室	直线加速器机房	8.10×10^{-6}	0.163	2.5	合格
	CT模拟定位机房	0.163			
	本项目后装机	5.48×10^{-8}			
后装机走廊	直线加速器机房	2.66×10^{-2}	0.122	1.25	合格
	本项目后装机	9.50×10^{-2}			
上方影像科走廊	直线加速器机房	3.57×10^{-3}	0.129	6.25	合格
	本项目后装机	0.125			

注：治疗计划室及走廊处相对直线加速器机房的距离较远，且屏蔽墙等效厚度较大，故此处收到的直线加速器机房辐射影响较后装机房处更小，按后装机房内所受影响保守取值。

表 11-18 本项目年剂量叠加影响情况

关注点	影响来源	年有效剂量, mSv	叠加后有效剂量, mSv/a	剂量约束值, mSv/a	是否合格
后装机房	直线加速器机房	2.67×10^{-3}	0.426	5	合格
	本项目后装机	0.418			
治疗计划室	直线加速器机房	5.34×10^{-3}	6.91×10^{-2}	5	合格
	本项目后装机	6.38×10^{-2}			
无菌诊室	直线加速器机房	5.33×10^{-7}	4.10×10^{-3}	0.1	合格
	CT模拟定位机房	4.10×10^{-3}			
	本项目后装机	6.85×10^{-9}			
后装机走廊	直线加速器机房	6.68×10^{-4}	5.42×10^{-3}	0.1	合格
	本项目后装机	4.75×10^{-3}			
上方影像科走廊	直线加速器机房	7.17×10^{-4}	6.97×10^{-3}	0.1	合格
	本项目后装机	6.25×10^{-3}			

综上所述，本项目与医院其他核技术利用项目所致辐射影响叠加后各关注点剂量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等标准中的限值要求；各关注点年有效剂量均低于项目剂量约束值（工作人员不超过 5mSv/a，公众人员不超过 0.1mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值相关要求，《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）剂量约束值要求。

（6）废气影响分析

1) 臭氧

根据《辐射防护手册》（第三分册），假设在辐照期间无进行通风且臭氧无分解，臭氧在辐照室内均匀分布，则机房内臭氧产额由下式进行估算。

$$Q_0=2.28 \times 10^{-4} \cdot A \cdot G \cdot V^{1/3} \quad (11-13)$$

式中：

Q_0 —照射时间内臭氧产额，mg/h；

A —放射源活度，本项目 ^{192}Ir 源活度为10Ci；

G —空气吸收100eV的电离辐射能量产生的臭氧分子数， γ 辐照室取6；

V —机房体积，本项目后装机房体积为 $66.3 \times 3.15 = 209\text{m}^3$ ；

根据以上公式估算臭氧产额为 0.0811mg/h 。

项目机房内产生的臭氧一部分由动力排风装置排到室外，另一部分自然分解。如果辐照时间很短（ $t < T$ ），则机房内臭氧的平均浓度估算公式如下：

$$Q = \frac{Q_0 t}{V} \quad (11-14)$$

式中：

Q —后装机房内 O_3 平衡浓度， mg/m^3 ；

Q_0 — O_3 的化学产额，mg/h，经上文计算后装机房为 0.0811mg/h ；

t —照射时间；

V —治疗室体积， m^3 ；

后装机单次治疗照射时间 6min，即 $t=0.1\text{h}$ ，代入公式 $Q=0.0122 \times 0.1 \div 209 = 3.88 \times 10^{-5}\text{mg/m}^3$ ，低于《工作场所有害因素职业接触限值-第一部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中最高容许浓度 0.3mg/m^3 。

2) 氮氧化物

O_3 容许浓度限值为 0.3mg/m^3 ； γ 射线电离空气产生多种氮氧化物（ NO_x ）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半，则浓度为 $1.94 \times 10^{-5}\text{mg/m}^3$ ，且工作场所 NO_2 容许浓度限值远大于 O_3 的容许浓度，因此在 O_3 浓度可以满足标准要求时， NO_x 的浓度也可以满足标准要求。

后装机房产生极少量的臭氧和氮氧化物经排风管道引至排风井排至外环境。根

据陕西省榆林市建筑设计研究院有限公司出具的《榆林市星元医院放疗科改造项目》暖通施工图，本项目后装机房排风量约为2500m³/h，后装机房总容积（不含迷道）约为214m³，通风换气次数约为11.7次/h。因此，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中机房换气次数不小于4次/h的要求。对外环境影响较小。

（7）固体废物环境影响

项目更换的废¹⁹²Ir放射源由供源单位回收，不在项目工作场所内存放，不存在废放射源对周边环境的影响。工作人员产生的生活垃圾最终交由环卫部门统一清运，对外环境影响较小。

（8）废水

工作人员产生的生活污水依托医院现有污水处理站处理达标后经市政管网排放。

11.3 事故影响分析

11.3.1 核医学科事故影响

11.3.1.1 辐射事故

针对医院核医学科应用的放射性核素与射线装置进行分析，该项目可能发生辐射事故为：

（1）放射性药品或密封放射源丢失、被盗事故

医院核医学科管理不严、保管不当，导致放射性药品丢失、被盗，进而对公众造成辐射影响。

（2）放射性药品洒漏事故

放射性药品分装、注射操作过程中因操作不当，放射性药品出现洒漏对工作场所台面、地上等形成放射性污染。

（3）射线装置误照射事故

本项目PET-CT、SPECT-CT属于Ⅲ类射线装置，在进行显像检查时，由于防护门闭门装置失效，工作人员误入正在运行的检查室，致使人员受到照射；或工作人员尚未撤离检查室，即开启设备进行扫描，对室内工作人员进行放射性照射。

（3）衰变池事故

衰变池罐体、池体结构破损导致放射性废水泄漏。

11.3.1.2 采取的预防措施

(1) 放射性药品或密封放射源丢失、被盗事故

为了防止放射性药品或密封放射源贮存期间发生丢失、被盗事故，医院拟采取如下防范措施：

①放射性药品或放射源贮存场所（储源室、放药分装室）均位于地下1层核医学科控制区内，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；

②在储源室、放药分装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；

③对放射性药品或放射源贮存场所（储源室、放药分装室）设置门锁，采用双人双锁进行管理；

④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；

⑤建立放射源台账，使用登记制度，对每次使用的放射源进行登记、定期进行盘点。

应急措施：当发生放射性药品或放射源被盗事故，事故发生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、生态环境主管部门对被盗的密封源进行侦察和追缴。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

(2) 放射性药品洒漏事故

工作人员在分装、注射或给药过程中，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洒漏在工作台面以及地上。假如发生洒漏事故，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），增加操作熟练程度，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，用酒精药棉或纸巾由外向内进行擦抹，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 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，直到污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

（3）射线装置误照射事故

本项目核医学科共涉及Ⅲ类PET-CT、SPECT-CT射线装置2台，为低危险性射线装置，发生严重事故时，可能会对室内工作人员造成辐射损伤。为了预防事故发生，可采取如下防范措施：

①定期对PET-CT、SPECT-CT防护门闭门装置进行检查、维护，确保其处于正常的工作状态；

②控制室工作人员每次在使用PET-CT、SPECT-CT进行扫描前，通过观察窗查看检查室内人员停留情况，在仅有患者且防护门关闭到位的情况下，开启PET-CT、SPECT-CT设备进行扫描操作。

应急措施：发生误照射事故时，控制室内工作人员应立即按下紧急停机开关或切断射线装置高压电源，终止射线装置出束，同时向医院辐射安全与环境保护应急管理机构报告。

（3）衰变池事故

衰变池池体进行防渗、防漏处理，同时经耐酸耐碱等抗腐蚀处理；定期检修；衰变池设置有液位监控装置及事故排空装置，衰变池液位发生异常下降时将发生事故池体的水迅速转移到其他池体。排空后由专业人员检修衰变池。

11.3.2 后装机事故影响

11.3.2.1 辐射事故

后装机用于医用放射治疗时，可能发生的辐射事故包括：

（1）安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入后装治疗机房，如果这时运行放射源，则可能造成误照射事故。

（2）除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房环境便运行后装治疗机，则会造成机房中人员误照射。

（3）外力撞击导致放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

（4）后装机设备故障，在使用过程中卡源事故。

（5）放射源丢失或被盗事故，属于较大辐射事故。

11.3.2.2 事故分析

当放射源处于裸源状态，估算在距放射源 ^{192}Ir 不同距离、不同接触时间人员所接受的有效剂量， ^{192}Ir 裸露可能导致的有效剂量计算结果见表 11-17。

表11-19 裸源情况下达到剂量限值所需时间

距离 剂量限值	0.05m	0.1m	0.5m	1m	2m	2.5m
20mSv	4.38s	17.53s	7.3min	29.22min	116.87min	182.62min
1mSv	0.22s	0.87s	21.91s	1.46min	5.84min	9.13min

事故情景假设及后果估算：

若发生警示灯和联锁装置损坏，人员误入治疗室，当距离放射源1m超过1.46min时会造成1mSv剂量照射。若治疗过程中出现卡源事故，人员进入治疗室进行手动回源，当超过7.3min（与放射源距离以0.5m计算），会造成20mSv的剂量照射。

11.3.2.13 采取的预防措施

（1）医院应对从事辐射的操作人员进行定期培训，进行考核，考核不合格的，不得上岗。加强设备运行管理，使放射源的安全管理制度规范化和制度化。

（2）设备安装调试时必须由设备厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在机房门外设立辐射警示标志。更换放射源时应对治疗室实行封闭管理，并在机房门外设立警戒线，无关人员严禁进入，更换放射源工作必须由设备厂家专业人员负责完成，换源结束后应对现场进行详细的辐射剂量率测量。

（3）应经常检查治疗系统的安全装置，确保处于正常工作状态，安全装置发生

故障时应及时排除，安全装置的故障未排除前，治疗系统不得进行开机操作。

（4）每天开机前应检查联锁装置、报警装置的工作状态，保证其处于良好的工作状态，防止带故障开机操作。

（5）治疗过程中出现卡源事故

后装机本身设计具有放射源应急自动返回贮源器的功能。从而保证在实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源能自动返回工作贮源器。

治疗过程如果出现停电或者系统故障导致卡源时，使用“急停按钮”和使后装机断电都不能将放射源收回到储源罐中心，辐射工作人员将第一时间通过手动回源措施进行应急处理，使用手动收源扳手将放射源收回到储源罐中心。由于设备未定，使用手动回源扳手的具体操作措施应在设备确定后按照设备说明书进行操作。

在处理卡源的过程中，工作人员需携带个人剂量报警仪，穿戴辐射防护用品。卡源事故处理期间，安全系统同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应发出声光报警信号。操作间内的剂量监测系统可以实时监测机房内辐射剂量水平，剂量水平回归正常时代表处理完成。辐射工作人员进入机房内操作手动回源措施进行应急处理时，必须通过监测设施记录当时的辐射剂量率水平，记录处理时间和受照累积剂量。事故处理后及时总结并记录，包括事故发生的时间和地点、对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果、采取的纠正措施、事故的可能原因、为防止类似事件再次发生所采取的措施。

（6）为防止放射源丢失、被盗，应加强安保工作，实行 24 小时监控。

应急措施：当发生放射源丢失被盗事故，事故发生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《医院辐射事故初始报告表》，并通过电话联系方式向当地生态环境主管部门和公安部门报告，协助公安、生态环境主管部门对被盗的密封源进行侦察和追缴。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为了保证辐射防护措施得到有效落实，指导和督促从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作，医院按照《中华人民共和国环境保护法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等要求，成立了以院长王建春为组长的放射防护委员会，负责全院辐射安全防护管理工作。医院以正式文件明确了小组成员以及相关工作职责。

放射防护委员会全面负责本单位的辐射防护管理工作；组织制定本单位的辐射事件应急预案和辐射防护管理制度；审核监督辐射工作人员上岗资质；安排工作人员定期参加辐射防护知识的培训，监督本单位放射工作人员上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康体检，负责辐射事件直接向上级管理部门报告。

放射防护委员会具体职责如下：

- （一）制订辐射安全与防护工作的计划；定期对辐射安全控制效果进行评议；各辐射安全与防护制度进行定期修订；
- （二）定期召开辐射安全与防护工作会议，定期对委员会成员进行调整；讨论辐射安全与防护工作计划、放射人员职业危害控制等事宜，以会议纪要的形式下发；
- （三）对全院辐射安全与防护工作的监督检查过程中存在的问题提出整改意见并及时督导落实；
- （四）会同上级有关部门按有关规定调查和处理放射事故，并对有关责任人员提出处理意见；
- （五）定期组织对放射诊疗工作场所、设备和工作人员进行放射防护检测、监测和检查；
- （六）组织本机构放射诊疗工作人员接受专业技术、放射防护知识及有关规定和健康体检；
- （七）组织本机构放射诊疗工作人员接受专业技术、放射防护知识及有关规定和健康体检；

(八) 放射防护委员会办公室负责日常事务性工作并与各部门进行协调。

医院现有放射防护委员会人员配备和相关人员职责，能够满足对辐射安全与环境保护管理机构设置的管理要求，本项目建成投运前，应将核医学科及后装机相关成员纳入到放射防护委员会，并完善相应的工作职责。医院还需指定专职或兼职的辐射安全防护管理人员

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理制度

针对本次新增的核医学科和后装治疗机，医院应按照《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项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29号）相关要求，增加《后装机操作规程》《后装机操作人员岗位职责》《核医学科辐射工作场所监测制度》《PET-CT、SPECT-CT设备维护、维修制度》《放射性同位素使用登记制度》等，医院在今后日常工作中应严格落实各项辐射安全管理制度，并根据实际工作对其进行不断完善，使之更满足辐射安全管理要求。

12.2.2 人员管理

针对本项目配备的辐射工作人员，应满足以下要求：

(1) 医院应组织核医学科及使用Ⅲ类放射源的辐射工作人员需参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，仅操作Ⅲ类射线装置的辐射工作人员需进行自主培训考核，取得成绩合格单后方可上岗。辐射工作人员取得上岗证后，应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定，每五年进行再培训。项目运行期若新增人员，同样需要参加相应的辐射安全培训并取得成绩合格单。

(2) 辐射工作人员应按照相应类别进行岗前、岗中和离岗职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。

(3) 辐射工作人员要接受个人剂量监测，医院负责建立个人剂量档案。辐射工作人员调动时，个人剂量档案将随其转给调入单位，个人剂量档案终身保存；个人剂量计的监测周期一般为1个月，最长不得超过3个月；工作人员个人剂量监测工

作应委托具有相关资质的个人剂量监测技术服务机构进行。

(4) 应建立辐射工作人员培训档案、个人剂量监测档案和职业健康监护档案，其中培训档案应包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等资料；个人剂量监测档案应包括：1) 历年常规监测的方法和结果等相关资料；2) 应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料；职业健康监护档案应包括：1) 职业史、既往病史和职业照射接触史；2) 历次职业健康检查结果及评价处理意见；3) 职业性放射性疾病诊疗、医学随访观察等健康资料。

12.2.3 辐射安全管理标准化建设

根据《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项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）的相关要求，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。

医院现有的辐射安全管理与标准化建设的具体要求对照情况见表 12-1。

表 12-1 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
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
		年初工作安排的和年终工作总结时，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
		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，向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	有
		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
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	有
		建立辐射环境安全管理档案。	有
	直接从事放射工作的作业人员	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
		岗前进行职业健康体检，结果无异常。	有
		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
		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

		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
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
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
		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
		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
		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
		建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	有
		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
		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），建立维护与维修工作记录档案（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
		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
		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
*应急管理		结合单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	有
		辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。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

根据对医院现有制度的制定情况及执行情况进行调查，医院已制定的辐射安全与防护管理工作制度，在实际工作中均已贯彻落实，医院各项规章制度执行良好。

本项目建成投入使用运行前，应建立并落实相应的规章制度和操作规程，如《后装机操作规程》《后装机操作人员岗位职责》《核医学科辐射工作场所监测制度》《PET-CT、SPECT-CT 设备维护、维修制度》《PET-CT、SPECT-CT 辐射装置修理与维护应急处理措施》《放射性同位素使用登记制度》等。并根据本项目实际情况修订《辐射监测计划》等相关制度及医院辐射事故应急预案。

12.3 辐射监测

本项目建成后，医院将制订日常监测方案，并利用检测仪器对各辐射工作场所

及周边环境进行日常监测，监测数据存档备查。项目辐射监测计划见表 12-2。

表 12-2 项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
核医学科	辐射水平	①核医学科各功能用房四周墙体、顶棚、防护门（缝隙和中央）、观察窗外 30cm 处、操作位、管线洞口/通风口，机房顶棚 30cm 处，机房地面下方（楼下）距楼下地面 1.7m 高度处，核医学科工作场所控制区边界外 30cm 处；②手套箱的观察窗、手孔位、操作位、柜身周围 5cm 处；③药物屏蔽容器表面 5cm 处；注射台的观察窗、手孔位、操作位；④放射性废物桶表面 5cm 处。	X-γ辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
	表面放射性污染	放射性药物分装、注射后候诊等场所：工作台面、设备表面、墙壁、地面、座椅、洗手池、患者卫生间地面以及可能受到污染位置。	β表面污染	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）
		核医学科工作人员手、皮肤暴露部分以及工作服手套、手套、鞋、帽等。		每次人员离开前
		放射性废物桶表面 5cm 及表面 100cm 处。放射性固废包装袋外表面。		每次人员离开前
	含放射性废水	衰变池出水口	总β放射性 总 ¹³¹ I 活度	委托有资质单位至少每年一次
后装机房	辐射水平	四周屏蔽墙外 30cm 处、机房楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟等	X-γ辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
		储源器表面 5cm、100cm		每次换源或维修后
个人剂量监测				
监测内容		监测范围	监测类别	监测频次
个人剂量当量		所有辐射工作人员	个人剂量检测	委托有资质单位每季度监测一次

12.4 辐射事故应急

12.4.1 辐射事故应急预案

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性核素与射线装置安全与

防护条例》、《放射性核素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定，医院已制定《辐射事故应急预案》，该预案能够满足医院现有射线装置辐射事故应急管理。

12.4.2 本项目辐射事故应急

医院应结合本项目放射性核素和射线装置的应用情况，将本项目新增的后装机、PET-CT、SPECT-CT、新增核素（¹⁸F、⁹⁹Mo、^{99m}Tc、¹³¹I）等纳入医院辐射事故应急预案。补充后装治疗机使用过程中放射源跌落、卡源、人员误入、急停开关失灵等辐射事故，针对新增放射性核素（¹⁸F、⁹⁹Mo、^{99m}Tc、¹³¹I）操作过程和分装过程中可能出现的辐射事故（放射性药品洒漏、丢失、被盗等事故情况），对医院现有的辐射事故应急预案进行修订。依据国家相关法律法规、标准要求等，不断对应急预案进行补充修改和完善，使应急预案更具有操作性、可行性。同时医院应加强宣传教育工作，普及辐射事故预防常识，增强职工的防范意识和相关心理准备，提高防范能力；组织辐射事故应急预案的演练，提高辐射事故应急处置能力；加强应急管理及相关专业技术人员的日常培训，不断提高辐射事故应急管理、应急监测及应急救援处置人员的专业素质和技能。每年针对可能发生的辐射事故组织一次应急演练，演练内容包括人员的及时救助、应急处置、应急辐射环境监测，受照人员剂量评估及医学处理、防护设施使用方法、应急通讯联络和应急上报流程等，及时总结演练经验，并妥善保存应急演练记录。

12.5 环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

12.5.1 环保投资

项目总投资 3293 万元，其中环保投资 436 万元，占总投资的 13.2%。环保投资主要用于辐射安全设施购置、放射工作人员职业健康体检、个人防护用品采购以及个剂监测、工作场所监测等。项目环保投资明细一览表见表 12-3。

表 12-3 项目环保投资明细一览表

实施时段	类别	污染源		污染防治措施或设施	费用 (万元)	
运营期	废气	核医学科	含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性废气	3 套动力通风系统，经活性炭吸附后，经专用管道排入大气	20	
		后装机房	NO_x 、 O_3	1 套动力通风系统	10	
	固废	核医学科	放射性固体废物（空药瓶、废注射器、吸水纸、棉签、一次性卫生防护用品）、废活性炭等	固废桶内按要求存放后处置。	1	
		后装机房	废 ^{192}Ir 源	由供应商更换收回处置。	/	
	废水	核医学科	含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素的患者排泄物及冲洗废水	衰变池贮存一定时间后，检测合格后，排入医院污水处理站，处理合格后经市政污水管网排入榆林市污水处理厂	100	
	辐射安全防护设施	核医学科	X 射线、 γ 射线、 β 表面污染	机房防护墙、防护门及观察窗等	190	
				门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、对讲装置、个人剂量计等。	15	
				个人防护用品：铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅眼镜等。	3	
		后装机房	$\text{X-}\gamma$ 射线	机房防护墙、防护门等	50	
				门-机/源联锁装置、红外防夹装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、摄像监控装置、固定式剂量率报警仪、对讲装置、个人剂量计、应急储源器、长柄镊子等。	10	
	人员管理	成立辐射安全防护管理领导小组，建立环境管理制度				/
		人员培训				1
		个人剂量监测和职业健康检查				2
环境监测	个人剂量报警仪				1	
	$\text{X-}\gamma$ 辐射剂量率监测仪（2 台）、 β 表面污染监测仪（1 台）				3	
	定期委托监测				5	
环境管理	环境影响评价及竣工环境保护验收费用				25	
合计					436	

12.5.2 竣工环境保护验收

为规范项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化医院环境保护主体责任，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）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格，并取得新的辐射安全许可证后，方可投入生产或使用。项目竣工环境保护验收清单见表 12-4。

表 12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容		验收方式
1	辐射安全管理机构		修订辐射安全防护管理领导小组并明确成员职责。
2	辐射安全管理制度		按照项目的实际情况，补充完善全面的、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对新增的放射性同位素、后装治疗机可能存在的风险，修订应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。应急预案应包含本项目放射性同位素、后装治疗机的辐射事故应急情况。
3	辐射安全防护措施	核医学科	①项目核医学科工作场所划分控制区和监督区，控制区出入口安装门禁； ②设置卫生通过间，工作人员离开时进行表面污染监测； ③机房墙体、防护门、观察窗防护当量满足标准限值要求，设置有门灯联锁装置、急停按钮、电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲装置、摄像监控装置等； ④机房内通风良好； ⑤手套箱：设置 2 个手套箱分别用于 ^{18}F 分装和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗及分装。
		后装机房	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门-机/源联锁装置、红外防夹装置、防护门紧急开门装置、实时摄像监控系统、对讲装置、急停按钮（共 8 个）、长柄镊子、应急贮源器等。
4	防护用品	核医学科	个人剂量计、放射性污染防护服、铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅帽（选配）、铅眼镜（选配）。
		后装机房	个人剂量计、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅帽等受检者个人防护用品。
5	机房面积	核医学科	SPECT-CT、PET-CT 机房面积 $\geq 30\text{m}^2$ ，机房内最小单边长度 $\geq 4.5\text{m}$ 。
		后装机房	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。
6	放射性废水	核医学科	核医学科衰变池排口设置标准采样口，医院污水处理站总排口：总 β 放射性 $<10\text{Bq/L}$ 。

序号	验收内容		验收方式
7	放射性 废气	核医学科	设置手套箱，核医学科设置专用排风管道，放射性废气采取活性炭过滤装置处理后，由楼顶排放。手套箱应有专用的排风装置，手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s，管道内部设有高效活性炭过滤防护装置。
		后装机房	设置新排风系统、机房换气次数不小于 4 次/h。
8	放射性 固废	核医学科	设置固废间，有放射性废物处理台账。待放射性废物活度浓度低于 HJ1188-2021 清洁解控水平的要求后，作为医疗废物处理。
			每袋废物（重量≤20kg）的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h；废物包装盒外表面： $\beta<0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$
			所含核素半衰期小于 24 小时（主要为含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素）的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；含碘-131 核素的暂存超过 180 天。
9	环境监测仪器		配备 1 台 X-γ辐射剂量监测仪器，1 台表面污染监测仪，每年检定 1 次；应定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，详细记录监测数据并归档。
10	职业教育培训		辐射工作人员应定期参加相应类别的辐射安全和防护知识培训考核，取得成绩合格单后方能上岗。
11	个人剂量档案		为每名辐射工作人员配备个人剂量计，辐射工作时要求佩戴，定期送检并保存放射工作人员个人剂量监测档案。
12	健康档案		定期对辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康检查档案。
13	剂量管理 限值	核医学科	剂量限值
			项目公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a，职业工作人员剂量约束值不超过 5mSv/a。
			1.工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）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；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、给药后患者候诊室门外、核素治疗住院病房门外以及核医学科患者走廊等位置，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h； 2.屏蔽墙体外表面 30cm 处、防护门表面及缝隙 30cm、管线穿墙孔洞处空气吸收剂量率应小于 2.5μSv/h。核医学科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。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应有屏蔽结构，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。
		表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta<4\times10\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；监督区： $\beta<4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta<4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；③手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta<4\times10^{-1}\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

序号	验收内容			验收方式
		放疗科	剂量限值	项目公众剂量约束值不超过0.1mSv/a，职业工作人员剂量约束值不超过5mSv/a。
			墙体外剂量率控制	后装机房在正常工况下监测机房周围辐射当量剂量率，屏蔽体外表面30cm处剂量率满足剂量率参考控制水平。

榆林市星元医院核医学科及后装机
核技术应用项目环境影响报告表
(公示稿)

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为满足广大患者诊疗需求和医院自身发展需要，榆林市星元医院拟在主院区医技综合楼 A 区地下 1 层建设核医学科（乙级非密封放射性物质工作场所，日等效最大操作活度为 $2.28 \times 10^8 \text{Bq}$ ），设计 1 间 PET-CT 和 1 间 SPECT-CT 机房及相关辅助功能用房（涉及放射性核素 ^{18}F 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ）；拟在常乐院区地下 2 层放疗科设计 1 间后装机房及其他相关辅助用房，后装机房内安装一台后装治疗机（含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，源活度最大为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，III 类放射源）。

2、实践正当性

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”要求。

3、辐射环境质量现状

项目拟建辐射工作场所的环境 γ 辐射剂量率与榆林市 γ 辐射剂量率调查结果相当，属天然辐射本底水平，辐射环境现状无异常。

4、辐射安全与防护分析结论

（1）核医学科

核医学科 PET-CT、SPECT-CT 射线装置均设计有单独的机房，工作人员隔室进行操作，各辐射工作场所采取的屏蔽体均满足辐射防护屏蔽要求。核医学科辐射工作场所控制区出入口、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、给药室、注射后候诊室、留观室等涉及放射性核素场所均设置电离辐射警告标识和中文警告说明；机房安装门灯联锁装置和工作状态指示灯；核医学科辐射工作场所控制区出入口安装门禁，其内部场所设置分区标识，地面设置行走路径标识；核医学科配备满足需要的放射性废物贮存设施（固废室）、放射性废水衰变池、专用排风管道及活性炭过滤设施，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

（2）后装机

后装机工作场所明显位置张贴电离辐射警示标志；后装机房设置电离辐射警告

标志、工作状态指示灯、门-机/源联锁装置、红外防夹装置、紧急开门装置、急停按钮、摄像视频装置、对讲系统、固定式剂量率报警仪、应急储源器、长柄镊子，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关要求。

5、辐射环境影响分析

（1）辐射环境影响分析

经计算，本项目核医学科PET-CT机房、SPECT-CT机房面积和单边尺寸满足标准要求。根据预测计算，核医学科各工作场所屏蔽墙体表面30cm处、防护门表面30cm处、手套箱、注射窗外表面剂量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ1188-2021）相关要求，具备较好的辐射屏蔽能力。

经计算，本项目后装机房设计屏蔽措施满足相关要求，机房外关注点处的剂量率满足各关注点剂量率参考控制水平，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）相关要求。

（2）“三废”影响分析

本项目运行以后，后装机项目不产生放射性废水。核医学科产生的放射性废水经过排水管道收集，暂存于放射性废水衰变池内，经暂存规定期限后排放，废水排放满足《核医学辐射防护和安全要求》（HJ1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）排放要求。核医学科非密封放射性物质的分装操作在手套箱内进行，手套箱均设计有独立的排风系统，负压操作，放射性废气经活性炭吸附后，汇集至排风井引至医技综合楼屋顶排放；后装机房设置通风装置，其产生的 NO_x 、 O_3 等废气经通风管道引至室外排放。核医学科产生的放射性沾染物品以及放射性固体废物将其分类收集后，送至核医学科固废间，暂存规定期限后，达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

（3）项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

①核医学科

核医学科辐射工作人员年有效剂量最大值为 1.67mSv，公众所受年有效剂量最大

值约为 $3.17 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中职业人员不大于 5mSv/a 、公众不大于 0.1mSv/a 剂量约束值要求。

②后装机

后装机运行所致辐射工作人员年有效剂量最大为 0.418mSv ，公众年有效剂量最大为 $6.25 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 。均满足职业人员不大于 5mSv/a 、公众不大于 0.1mSv/a 剂量约束值要求。

本项目兼职其他核技术利用项目的辐射工作人员年有效剂量叠加后能满足职业人员剂量约束值要求（不大于 5mSv/a ）。

6、辐射安全管理

医院成立了辐射安全防护管理机构，并明确了相关成员职责。医院制定了一系列辐射安全管理制度，用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和辐射防护工作。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。项目开展后将其纳入医院现有辐射安全管理体系，并根据人事变动情况及时调整人员名单，明确相关人员职责，可满足项目对辐射安全管理的要求。

7、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值要求，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。

13.2 建议与承诺

(1) 项目建设期间，医院应严格按照《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项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）相关要求，建立健全各项辐射防护管理规章制度，规范管理与操作，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改，竣工验收前须达到辐射安全管理标准

化要求。

(2) 项目竣工后，医院应按照国家环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，取得辐射安全许可证后方可投入运行。

(3) 项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年应对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发证机关报送上一年度辐射安全年度评估报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见	
经办人	公 章 年 月 日