

表 1 项目基本情况

建设项目名称		宝鸡高新医院核医学科和后装机核技术利用项目			
建设单位		宝鸡高新医院有限公司			
法人代表	孙彬	联系人	██████	联系电话	██████
注册地址		陕西省宝鸡市高新开发区高新四路 19 号			
项目建设地点		陕西省宝鸡市高新开发区高新四路 19 号宝鸡高新医院住院楼负一层肿瘤诊疗中心、传染病楼一层核医学科			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	3700	项目环保投资（万元）	500	投资比例（环保投资/总投资）	13.5%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	675
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其他					
<p>1.1 项目概述</p> <p>1.1.1 项目背景</p> <p>1.1.1.1 医院简介</p> <p>宝鸡高新医院有限公司（以下简称“医院”）是由陕西汉唐医疗投资管理有限公司投资，经省卫健委评定的一所三级甲等综合医院。2020 年 12 月 9 日，经宝鸡市场监督管理局审批，医院《营业执照》名称由“宝鸡高新人民医院有限公司”变更为“宝鸡高新医院有限公司”，相关证明材料详见附件 2。</p> <p>医院于 2012 年 5 月开诊，现拥有员工 1400 余名，其中卫生技术人员 1200 余名，设置临床医技科室 47 个，编制床位 799 张，配有以美国 GE3.0T 核磁共振、瑞典医科达直线加速器等为代表的医疗设备 200 余台件。医院不断健全学科体系，目前已</p>					

经形成心血管内科、神经内科、神经外科、肿瘤学科、骨科、消化病中心、产科、检验科、病理科、放射科等一批特色学科。

1.1.1.2 目的和任务的由来

2009年4月28日，《陕西汉唐医疗投资管理有限公司宝鸡高新医院建设项目环境影响报告书》取得宝鸡市生态环境局（原宝鸡市环境保护局）的批复（宝市环函〔2009〕62号）；2015年12月31日，宝鸡市生态环境局（原宝鸡市环境保护局）对该建设项目竣工环境保护验收作出批复（宝市环函〔2015〕497号）。批复内容详见附件3。

为满足广大患者诊疗需求和医院自身发展需要，医院拟开展后装治疗和核素显像诊断的工作。

医院拟在住院楼负一层肿瘤诊疗中心设置1间后装机房及其辅助用房，后装机房内安装使用1台后装机（拟配备1枚Ⅲ类 ^{192}Ir 放射源），用于对病变组织进行近距离后装治疗。

医院拟将传染病楼一层原规划的体检中心改造为核医学科（日等效最大操作活度为 $9.25\times 10^7\text{Bq}$ ），安装使用1台PET-CT（Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展PET-CT显像诊断，7枚Ⅴ类密封放射源 ^{22}Na 用于PET-CT的校准；安装使用1台SPECT-CT（Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展SPECT-CT显像诊断，校准源类型及数量待定。本项目校准源均拟进行环境影响登记表备案，不在本次评价范围内。

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》（国家环境保护总局公告2017年第66号）相关规定，PET-CT中CT部分为Ⅲ类射线装置，SPECT-CT中CT部分为Ⅲ类射线装置；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，核医学科日等效最大操作量为 $9.25\times 10^7\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》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；生产、使用Ⅱ类射线装置的；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。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》

中“第四条……建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定……”，因此，本项目应编制环境影响报告表。

2024年7月西安旭奥环境科技有限公司（环评单位）接受医院委托，承担对本项目的环境影响评价工作。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、资料调研、预测分析的基础上，按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的基本要求，编制了《宝鸡高新医院核医学科和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

后装治疗从传统的妇科领域扩展到对人体多部位肿瘤的治疗，治疗技术涉及到腔管、腔内、组织间、插入、贴敷和术中等多种施治技术。后装照射可使病灶区获得很高的剂量而又很好地保护周围正常组织，医务人员通过遥控操作，减少了工作人员不必要的受照。

核医学科使用 PET-CT 和 SPECT-CT 对受检者进行核素显像诊断，将功能检查与形态学检查有机地结合，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。

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 后装机房

医院拟将住院楼负一层肿瘤诊疗中心南侧的档案室、洽谈室、护士站和走廊改造为1间后装机房及冲洗间、准备间、埋管室等辅助功能用房，后装机房及相关辅助用房的建筑面积约95m²。

后装机房北侧紧邻大孔径 CT 机房（已完成竣工环境保护自主验收并已投入使用，见附件 5 第 11-14 页），患者接受后装治疗之前需先使用大孔径 CT 进行模拟定位。大孔径 CT 与后装治疗机共用 1 间控制室，控制室位于大孔径 CT 机房东侧，后装机房楼上为值班室、主任办公室、阅片室和大厅，地下为土层。

后装机房拟安装的 1 台后装机厂家与型号尚未确定，拟使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源开展放射治疗工作， ^{192}Ir 的最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci）。本次环评后装机拟使用放射源相关参数详见表 1-1。

表 1-1 后装机使用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	型号待定、III类放射源	1枚 ^{192}Ir 放射源， 医院安装时源活度不大于 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci） ^注	放射 治疗	住院楼负一层 肿瘤诊疗中心 后装机房

注：医院安装使用时 ^{192}Ir 放射源活度不超过 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci）。

1.1.4.2 核医学科

医院拟将传染病楼一层原规划的体检中心改造为核医学科（乙级非密封放射性物质工作场所），拟将预留的 1 间 CT 机房改造为 PET-CT 机房、1 间 DR 机房改造为 SPECT-CT 机房，原有的屏蔽防护措施满足本项目防护要求；控制室位置保持不变，其余房间分别设置为分装质控室、注射后等待室、留观室等其他辅助用房，墙内和屋顶拟增加防护涂料。改造后核医学科总建筑面积约 580m²，核医学科楼上为院史展览馆、办公资料库房，地下为土层。传染病楼（发热门诊）已于 2023 年 3 月 15 日填报了环境影响登记表（备案号：20236103000100000048）。

医院拟在 PET-CT 机房内安装使用 1 台飞利浦（中国）投资有限公司生产的 Ingenuity TF 型 PET-CT（属于 III 类射线装置），使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET-CT 显像诊断。

医院拟在 SPECT-CT 机房内安装使用 1 台 SPECT-CT（属于 III 类射线装置，生产厂家与型号待定），使用非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT-CT 显像诊断。

本项目拟使用的非密封放射性核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 均根据患者情况提前预约登记，向厂家进行定量订购，厂家根据需求将分装好的放射性药物送至核医学科储源室。一般情况下，医院不再对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行分装，特殊情况下，因患者个体差异、病情差异或药物不能满足医学诊疗等因素影响，可能涉及少量对已分装的药物进行进一步分

装，以满足患者诊疗需求。

1.1.4.2.1 ¹⁸F 用药量情况

根据医院计划，PET-CT每天最多检查20人次，每人最大药物注射量10mCi。¹⁸F半衰期为109.8min，医院计划分两个时段送药（上午7:30和下午12:30），上午时段送10人药量，下午时段送10人药量。上午时段分5批注射，每批注射2人，依次注射；下午时段分5批注射，每批注射2人，依次注射；每批注射间隔时间约45分钟。考虑到¹⁸F的衰变，¹⁸F订购量根据半衰期衰减公式（1-1）和医院注射计划计算，至少为382.15mCi。考虑¹⁸F需从西安市订购并运输至医院（大约4小时）及其他不可控因素，日最大操作量需留有余量，医院¹⁸F的实际订购量为1500mCi，即 5.55×10^{10} Bq。

$$N = N_0 \times (1/2)^{(t/T)} \quad (1-1)$$

式中：N—衰变后放射性核素活度；

N_0 —初始时刻（ $t=0$ ）放射性核素活度；

t—衰变时间；

T—半衰期。

PET-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 1-2。

表 1-2 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	日最大注射操作量(Bq/d)	日实际订购量(Bq/d)	年最大用量(Bq)注	用途
¹⁸ F	液体	109.8min	γ射线 511keV	3.7×10^8 (10mCi)	20人	7.4×10^9	5.55×10^{10}	1.39×10^{13}	PET-CT 显像诊断

注：医院年工作 250 天。

1.1.4.2.2 ^{99m}Tc 用药量情况

根据医院计划，SPECT-CT每天最多检查20人次，每人最大药物注射量30mCi。^{99m}Tc半衰期为6.02h，医院计划分两个时段送药（上午7:30和下午12:30），上午时段送10人药量，下午时段送10人药量。上午时段分2批注射，每批注射5人，依次注射；下午时段分2批注射，每批注射5人，依次注射；每批注射间隔时间约2小时。考虑到^{99m}Tc的衰变，^{99m}Tc订购量根据半衰期衰减公式（1-1）和医院注射计划计算，至少为677.69mCi。考虑^{99m}Tc需从西安市订购并运输至医院（大约4小时）及其他不可控因素，日最大操作量需留有余量，医院^{99m}Tc的实际订购量为1000mCi，即 3.70×10^{10} Bq。

SPECT-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 1-3。

表 1-3 SPECT-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	日最大注射操作量(Bq/d)	日实际订购量(Bq/d)	年最大用量(Bq) ^注	用途
^{99m} Tc	液体	6.02h	γ射线 140keV	1.11×10 ⁹ (30mCi)	20 人	2.22×10 ¹⁰	3.70×10 ¹⁰	9.25×10 ¹²	SPECT-CT 显像诊断

注：医院年工作 250 天。

综上所述，核医学科拟使用非密封放射性物质和射线装置情况见表 1-4。

表 1-4 核医学科拟使用放射源、非密封放射性物质和射线装置相关参数一览表

(一) 非密封放射性物质									
核素名称	日诊疗人数	形态	毒性	半衰期	单人核素最大用量(Bq)	日最大操作活度(Bq) ^注	年最大用量(Bq)	用途	来源
¹⁸ F	20 人	液态	低毒	109.8min	3.7×10 ⁸ (10mCi)	5.55×10 ¹⁰	1.39×10 ¹³	PET-CT 显像	外购
^{99m} Tc	20 人	液态	低毒	6.02h	1.11×10 ⁹ (30mCi)	3.70×10 ¹⁰	9.25×10 ¹²	SPECT-CT 显像	外购
(二) 射线装置									
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	飞利浦 Ingenuity TF	1 台	III类	140kV	663mA	传染病楼一层 PET-CT 机房			
SPECT-CT	待定	1 台	III类	140kV	800mA	传染病楼一层 SPECT-CT 机房			

注：¹⁸F 与 ^{99m}Tc 的实际订购量（日最大操作活度）根据半衰期衰减公式（1-1）和医院注射计划计算，考虑药物需从西安市订购并运输至医院及其他不可控因素，¹⁸F 与 ^{99m}Tc 的日最大操作量保守取日实际订购量。

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

(1) 后装机房

后装机房拟配备 5 名辐射工作人员，其中医师 3 名，物理师 2 名，均从医院肿瘤诊疗中心现有的辐射工作人员中调配。

3 名医师轮流为患者冲洗、埋管并摆位后，在控制室内操作后装机；2 名物理师在计划室 1 工作。

本项目开展后 5 名辐射工作人员还将参与肿瘤诊疗中心其他辐射工作。

(2) 核医学科

核医学科尚在筹备阶段，医院拟为核医学科新招聘 6 名辐射工作人员，包括 2

名分装、注射人员，4名影像工作人员。

2名分装、注射人员固定在分装质控室工作，4名影像工作人员轮流为需要进行核素显像诊断的患者摆位。除从事本项目核医学科工作外，该6名辐射工作人员均不兼职参与其他辐射工作。

1.1.5.2 工作负荷

(1) 后装机房

后装工作负荷：预计每年工作时间约250d，每周工作时间为5d，每天最多治疗10人，年最多治疗2500人次。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，周治疗照射时间为5h。

(2) 核医学科

PET-CT工作负荷：预计每年工作时间约250d，每天最多接待患者20人，年累计接待患者人数约5000人次，每名患者 ^{18}F 最大注射量为10mCi。

SPECT-CT工作负荷：预计每年工作时间约250d，每天最多接待患者20人，年累计接待患者人数约5000人次，每名患者 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 最大注射量为30mCi。

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

医院位于陕西省宝鸡市高新开发区高新四路19号，地理坐标为经度：107.226522°，纬度：34.344827°，地理位置见图1-1。

医院北侧为万润国际广场，东侧隔康福路为天下汇高新店与麦恩印象一期小区，南侧为盛园锦都小区，西侧隔和谐路为左岸新城小区，医院四邻关系见图1-2。

1.1.6.2 医院总平面布置

医院主要包括医技楼、住院楼、门诊楼、传染病楼等，医院急诊、门诊、儿科与健康体检中心入口均位于医院西侧，住院入口位于医院北侧。本项目后装机房位于住院楼负一层，核医学科位于传染病楼一层。医院总平面布局见图1-3。

1.1.6.3 项目所在区域的平面布置

(1) 后装机房

本项目后装机房位于医院住院楼地下一层，由档案室、洽谈室、护士站和走廊改造而成，机房北侧紧邻大孔径CT机房和计划室1，后装机房与大孔径CT机房共用1间控制室，控制室位于大孔径CT机房东侧。后装机房东侧由北至南紧邻准备间

与埋管室，埋管室东侧为冲洗间，后装机房西侧与档案室相邻，南侧为走廊。后装机房楼上是主任办公室、阅片室、值班室、住院大厅和走廊，地下为土层。

本项目后装机房改造前后平面布局示意图见图 1-4、图 1-5，住院楼负一层、一层平面布局示意图分别见图 1-6、图 1-7。

(2) 核医学科

本项目核医学科位于医院传染病楼一层，根据医院提供的图纸，核医学科患者走廊以北自西向东依次为值班室、更衣室、分装质控室、注射后等待室、留观室；患者走廊以南自西向东依次为预约室、抢救室、SPECT-CT 机房、控制室、PET-CT 机房；患者走廊西侧为候诊大厅，患者注射药物前应在大厅候诊；患者走廊东侧紧邻污洗间。核医学科正上方为院史展览馆、办公资料库房，地下为土层。核医学科改造前后平面布局示意图见图 1-8、图 1-9，核医学科正上方平面布局示意图见图 1-10。

1.1.6.4 项目选址合理性

(1) 后装机房

后装机房位于医院住院楼地下一层南侧肿瘤诊疗中心，楼上为主任办公室、阅片室、值班室、住院大厅和走廊，楼下为土层。住院楼避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周围无人员流动性大的商业活动区域。

后装机房评价范围内主要有医院内部建筑物、道路或空地，项目周围环境制约因素较小。

医院在落实相应辐射安全防护设施及措施后可更大程度的减少对机房周边职业人员、公众的影响。

因此，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。

(2) 核医学科

根据医院提供的资料(附件 10)，医院因业务发展需要，原传染病楼(发热门诊)整体不再用于发热及其他传染性疾病的患者诊治用途，拟在传染病楼一层设置核医学科，传染病楼不布设产科、儿科、食堂等部门，无特殊人群及人员密集区域。

核医学科辐射工作场所位于传染病楼一层东侧，楼上为院史展览馆、办公资料库房，楼下为土层，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。

本项目核医学科仅为门诊诊断，不设置住院治疗场所，且核医学工作场所功能用房集中于建筑物底层且位于一端，医院可通过设计合适的时间、空间模式来控制辐射源的活动，实现工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径相对独立。

核医学科评价范围内主要有医院内部建筑物、道路或空地，东侧 50m 范围内有麦恩印象一期小区。

医院在落实相应辐射安全防护设施及措施后可更大程度的减少对核医学科周边职业人员、公众的影响。

因此，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）中选址相关要求。



图 1-1 医院地理位置图

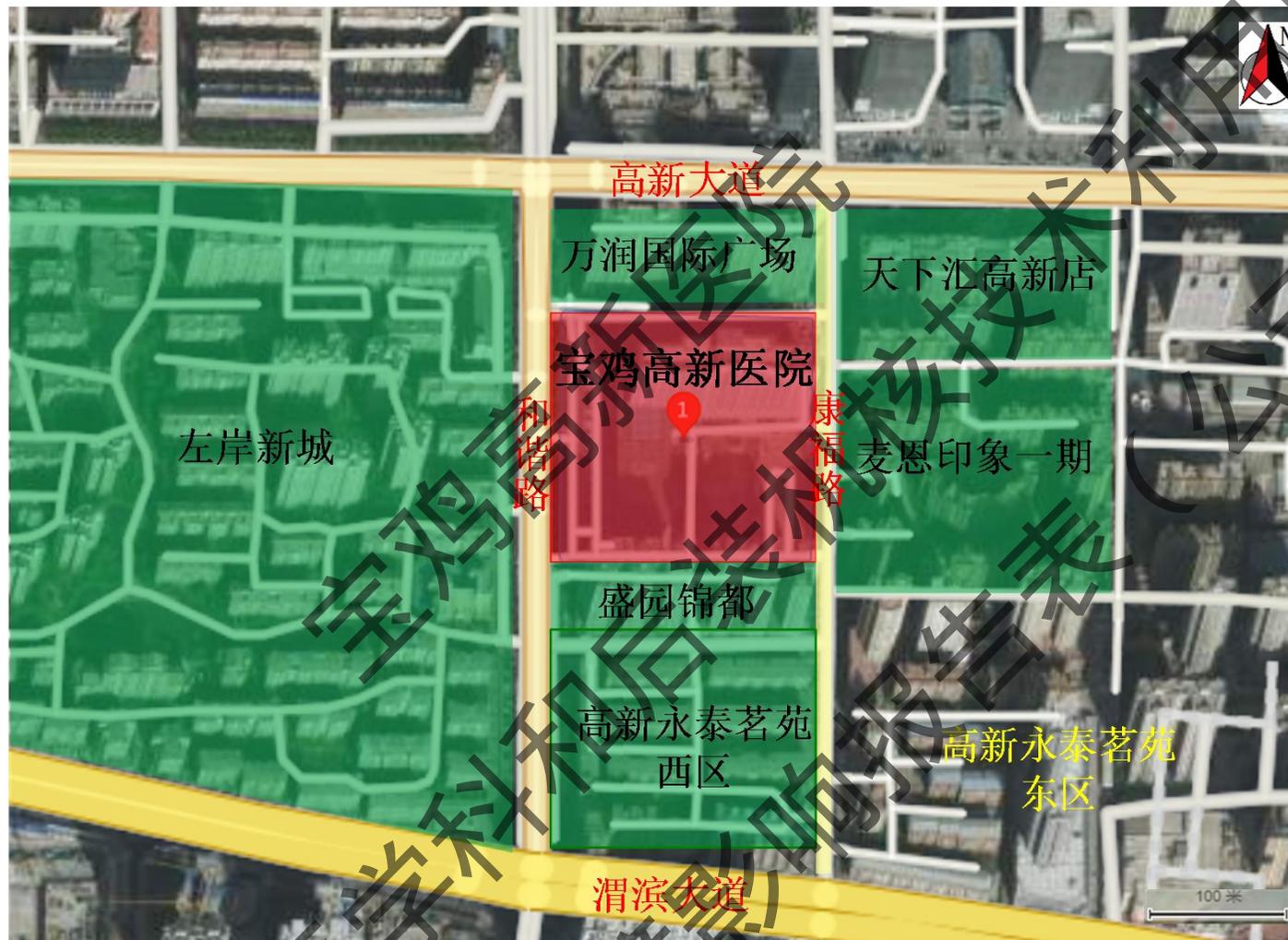


图 1-2 医院四邻关系示意图

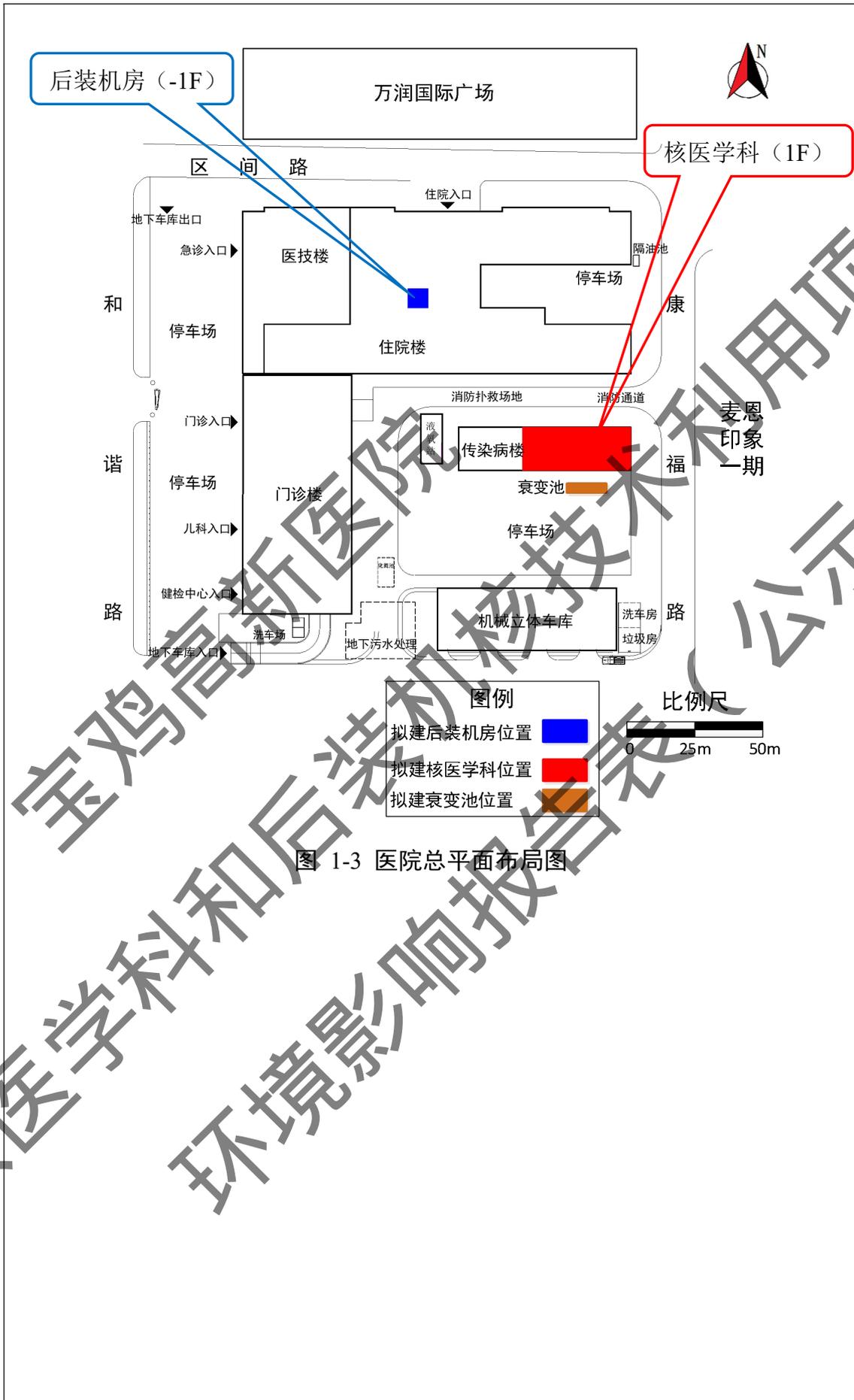


图 1-3 医院总平面布局图

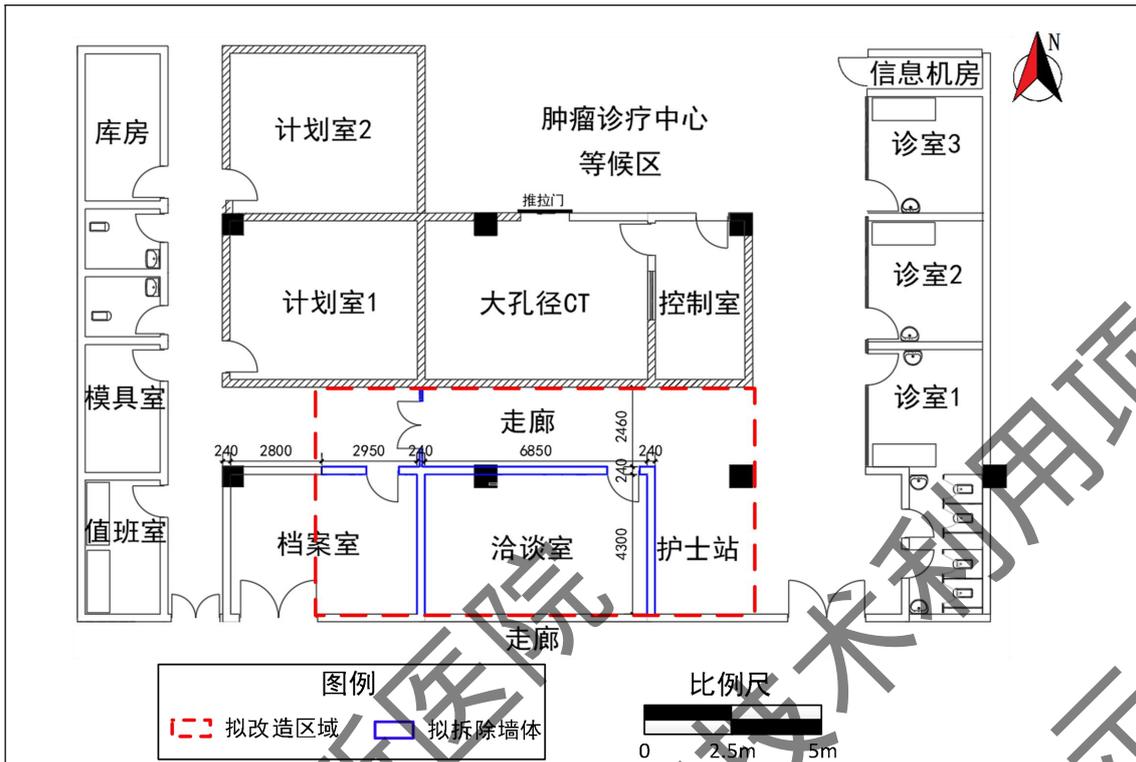


图 1-4 后装机房选址现状平面布局示意图（地下一层，改造前）

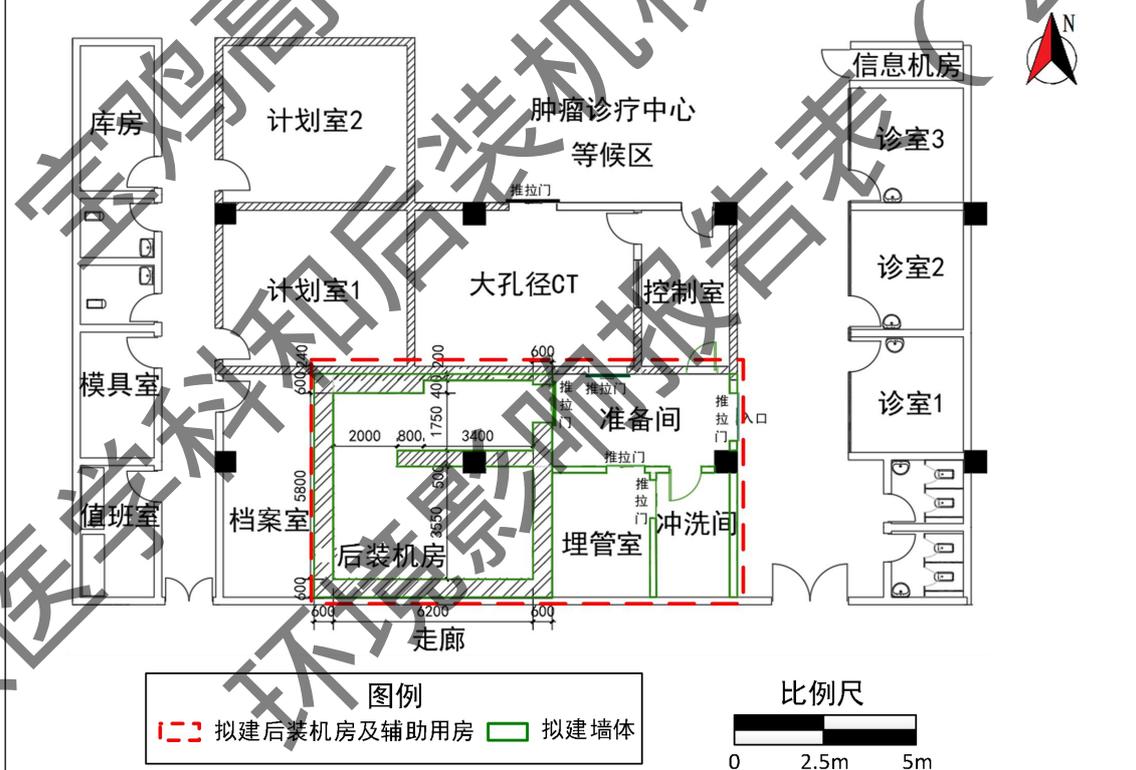
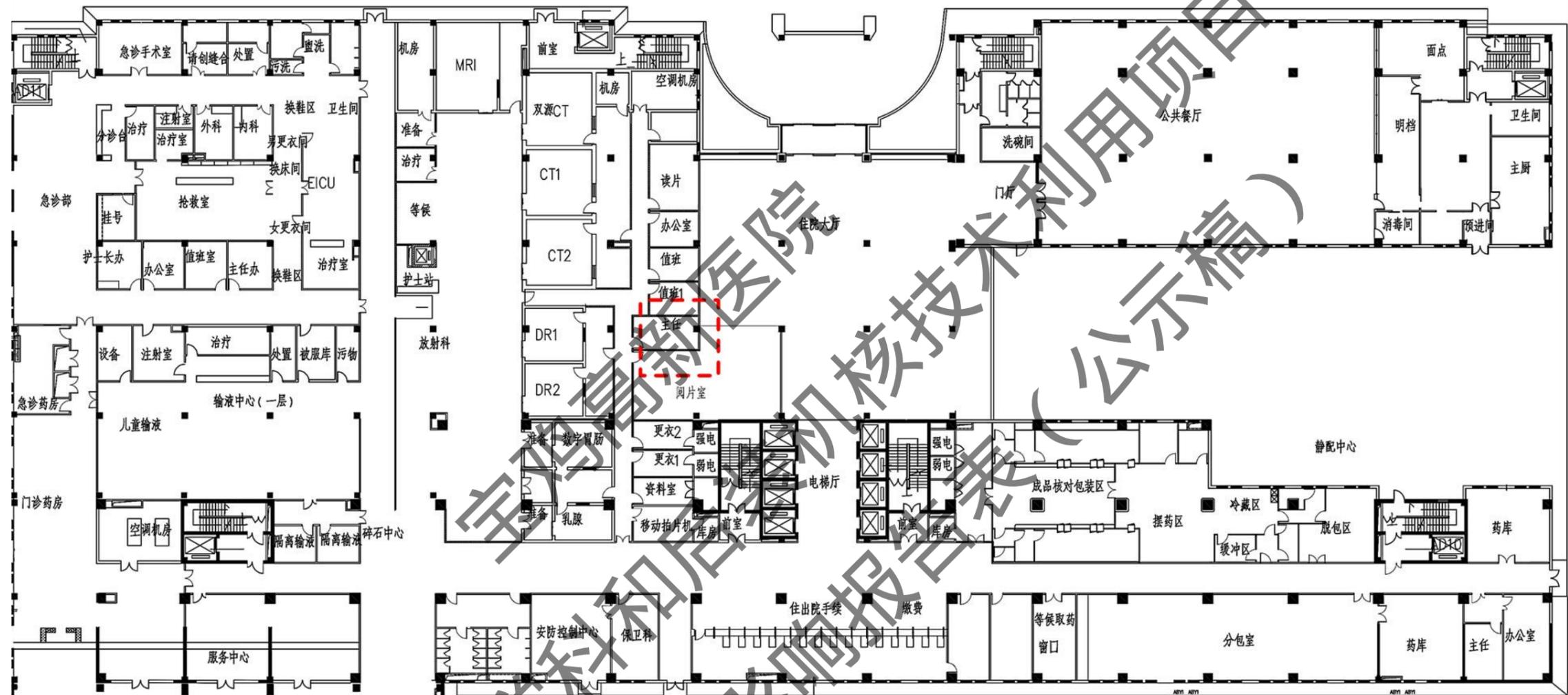


图 1-5 拟建后装机房及辅助用房平面布局示意图（地下一层）



图 1-6 住院楼负一层平面布局示意图



图例
 拟建后装机房上方

比例尺
 0 5m 10m

图 1-7 住院楼一层平面布局示意图

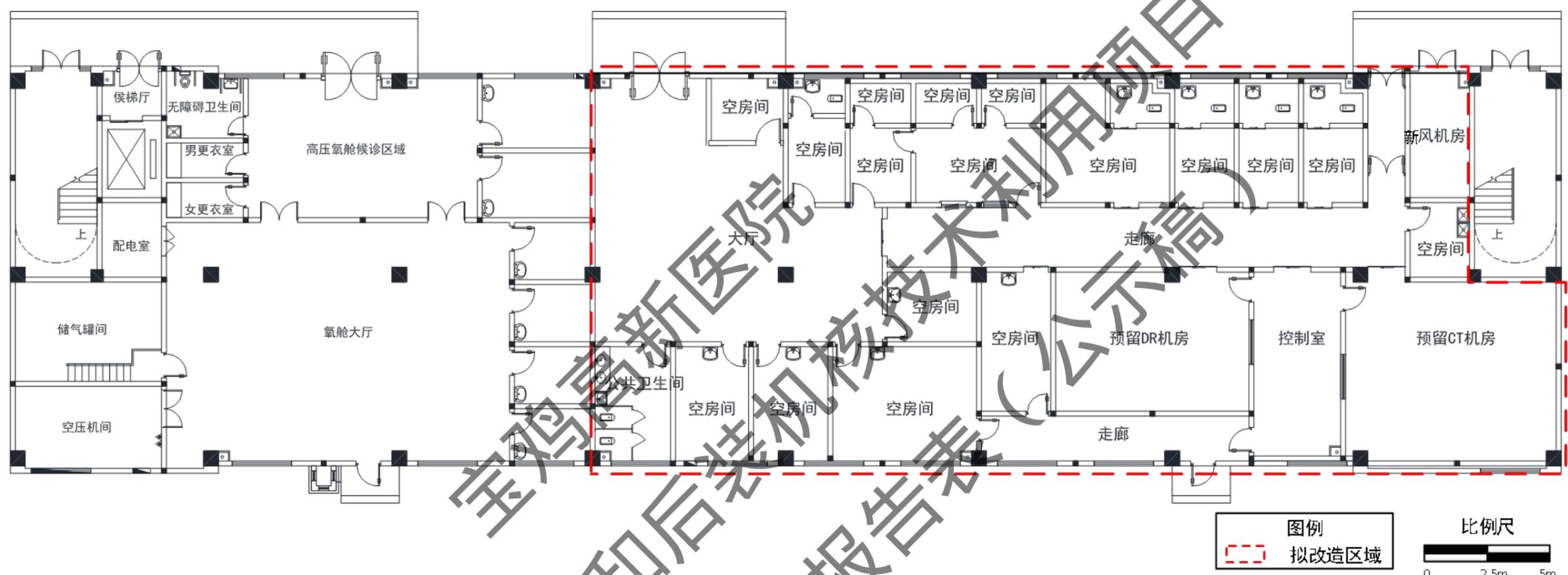


图 1-8 核医学科选址现状平面布局示意图（一层，改造前）

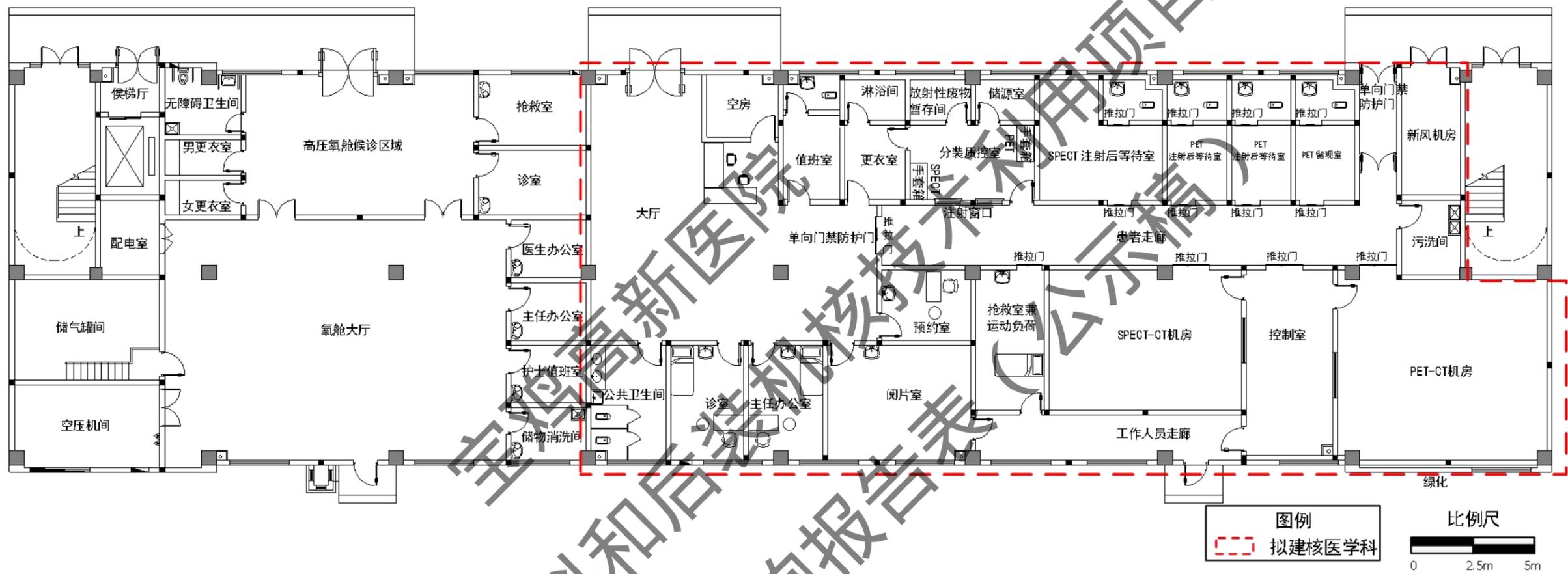


图 1-9 拟建核医学科平面布局示意图（一层）

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 2021 年 9 月 6 日由宝鸡市生态环境局核发的辐射安全许可证，证书编号：陕环辐证[10132]，有效期至 2026 年 9 月 5 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 1-5。

表 1-5 陕环辐证[10132]号核准的种类和范围

序号	装置名称	型号	类别	数量/台	辐射活动场所名称
1	DSA	Innova IGS 5	II类	1	放射介入科
2	DSA	Inova IGS 530	II类	1	放射介入科
3	直线加速器	Elekta Infinity	II类	1	肿瘤放疗部
4	CT 定位机	Discovery CT590	III类	1	肿瘤放疗部
5	双源 CT	Somatom	III类	1	放射科
6	钼靶乳腺机	Senographe DS	III类	1	放射科
7	数字胃肠机	THUNIS-800+	III类	1	放射科
8	DR 机	Defium 6000	III类	1	放射科
9	16 排 CT	Optima CT520	III类	1	放射科
10	DR 机	Optima XR642	III类	1	放射科
11	移动 X 射线机	AMX-4+	III类	1	放射科
12	C 型臂	Brivo OEC850	III类	1	手术室 5 室
13	DR 机	Brivo XR515	III类	1	健康体检科
14	口腔 CT 机	XG 3D	III类	1	口腔科
15	16 排 CT	Optima CT520	III类	1	放射科
16	牙片机	SMX-II	III类	1	口腔科
17	移动 DR 机	Optima XR240amx	III类	1	放射科
18	小 C 臂机	Brivo OEC785	III类	1	手术室

(2) 现有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-6。

表 1-6 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	批复文号	批复时间	验收内容	
宝鸡高新人民医院医用射线装置核技术应用项目	陕环批复(2013)621号	2013年11月29日	在新建医技大楼配备8台射线装置(Ⅱ类1台,Ⅲ类7台)	陕环批复(2015)269号	2015年6月4日	1台Ⅱ类射线装置,7台Ⅲ类射线装置	环评、验收一致
宝鸡高新人民医院加速器和大孔径CT定位机房建设项目	陕环批复(2017)315号	2017年7月11日	建设1套医用加速器(属Ⅱ类射线装置)和1套大孔径CT定位机(属Ⅲ类射线装置)	于2018年4月3日进行了竣工环境保护自主验收		1台10MV医用电子直线加速器(属Ⅱ类射线装置)和1台大孔径CT定位机(属Ⅲ类射线装置)	环评、验收一致
宝鸡高新人民医院新增医用X射线装置核技术应用项目	陕环批复(2018)524号	2018年11月20日	新增1套数字减影血管造影系统(属Ⅱ类射线装置)	于2019年1月25日进行了竣工环境保护自主验收		1台DSACT定位机(属Ⅱ类射线装置)	环评、验收一致
宝鸡高新医院有限公司新增口腔CT(OPHOPHOS XG 3D CEPH)和DR(Brivo XR515)核技术应用项目	2021年4月16日进行了备案登记(备案编号:20216103000100000043)。						
宝鸡高新医院新增四台三类射线装置核技术应用项目	2021年8月27日进行了备案登记(备案编号:20216103000100000066)。						
宝鸡高新医院新增一台三类射线装置(DR机(OptimaXR642))核技术应用项目	2024年11月20日进行了备案登记(备案编号:20246103000100000145)。						

1.2.2 辐射安全管理现状

医院按照《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等相关法律法规要求，配合各级生态环境主管部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，建立了辐射安全和防护制度。

(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，医院成立有辐射防护与环境保护领导小组，明确了小组成员及工作职责。领导小组下设办公室，办公室在公共卫生科，由公共卫生科科长担任办公室主任，负责全院辐射安全与防护工作的具体组织、实施及督导。

(2) 规章制度建设及落实情况

医院辐射工作管理逐步规范，已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，包括：《宝鸡高新医院辐射事故应急预案》《辐射防护和安全保卫制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》《辐射工作人员职业健康体检管理制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射安全防护设施维护与维修制度》《辐射工作场所监测计划》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》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

根据医院提供的辐射工作人员管理台账，医院共计 169 名辐射工作人员，58 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（含本项目拟从肿瘤诊疗中心调配的 5 名辐射工作人员）；111 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

医院辐射工作人员已于 2023 年 8 月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，有 6 名与职业相关的异常者，其中 4 人建议复查血常规（已复查），2 人不宜从事放射工作（已于 2024 年 4 月调离辐射工作岗位），其余辐射工作人员的体检结果显示可从事或可继续从事放射工作。

(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监测，建立了个人剂量档案并存档。根据 2023 年 7 月~2024 年 6 月的个人剂量检测报告，肿瘤诊疗中心的辐射工作人员中连续四个季度的累积剂量最大值为 0.29mSv，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 0.52mSv，因此医院所有辐射工作人员连续四个季度的累积剂量均满足不大于 5mSv/a 的剂量管理目标值。

表1-7 肿瘤诊疗中心辐射工作人员个人剂量最大值汇总表

序号	编号	各佩戴周期个人剂量当量(mSv)H _p (10)				年个人剂量当量 (mSv) H _p (10)
		2023.7.1 起 3 个月	2023.10.1 起 3 个月	2024.1.1 起 3 个月	2024.4.1 起 3 个月	
1	00010742 D0074 ^注	0.11	0.06	0.10	0.02	0.29

注：编号取自附件 8 辐射工作人员个人剂量检测报告。

表1-8 医院辐射工作人员个人剂量最大值汇总表

序号	编号	各佩戴周期个人剂量当量(mSv)H _p (10)				年个人剂量当量 (mSv) H _p (10)
		2023.7.1 起 3 个月	2023.10.1 起 3 个月	2024.1.1 起 3 个月	2024.4.1 起 3 个月	
1	00010742 2A016 ^注	0.11	0.32	0.02	0.07	0.52

注：编号取自附件 8 辐射工作人员个人剂量检测报告。

(6) 辐射工作场所环境监测情况

医院现持有的辐射安全许可证（陕环辐证[10132]）显示共有 18 台射线装置，经与医院核实，其中移动 X 射线机（AMX-4+）、DR（Brivo XR515）和牙片机（SMX-II）已报废。因此，2023 年 12 月，医院委托有资质单位对其余 15 台射线装置工作场所进行了辐射环境检测（报告编号：FHJC-SXGK-01202023038）。

表 1-9 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	直线加速器	Elekta Infinity	X 射线 10MV，照射野 40cm×40cm，剂量率 600cGy/min	0.158	2.5
2	DSA 机	Innova IGS 530	80kV、12.3mA	0.57	2.5
3	DSA 机	Innova IGS 5	84kV、8.7mA	0.142	2.5
4	大孔径 CT	Discovery CT590 RT	120kV、200mAs	0.29	2.5

5	CT机①	SOMATOM Definition Flash	120kV、200mAs	0.145	2.5
6	CT机②	Optima CT520	120kV、200mAs	0.147	2.5
7	CT机③	Optima CT520	120kV、200mAs	0.167	2.5
8	DR机①	Optima XR642	120kV、100mA、 2.63mAs	0.039	25
9	DR机②	Definium 6000	120kV、100mA、 2.13mAs	0.043	25
10	移动DR机	Optima XR240amx	80kV、20mAs	操作位 0.140	25
11	数字胃肠机	Precision THUNIS-800+	80kV、3.7mA、10s	透视 0.146	2.5
			120kV、100mA、 13.2mAs	点片 0.44	25
12	乳腺机	Senographe DS	28kV、50mAs	0.135	2.5
13	小C臂机①	Brivo OEC 850	88kV、4.2mA、10s	0.158	2.5
14	小C臂机②	Brivo OEC 785	90kV、1.9mA、10s	0.157	2.5
15	口腔CT机	ORTHOPHOS XG 3D Ceph	90kV、6mA、14s	0.144	2.5

根据检测报告可知，15台射线装置工作场所的辐射环境检测结果均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）标准要求。

（7）辐射环境自主监测设备

医院已配备1台环境自主监测用FD-3013H型X、 γ 辐射空气比释动能率仪。

该仪器现行有效的校准证书编号：2023H21-10-4925074001。校准单位为上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心，校准日期为2023年11月13日。

（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，并按时提交年度评估报告。

1.2.3 现存问题及改进要求

1.2.3.1 现存问题

目前医院已报废1台移动X射线机（AMX-4+）、1台DR（Brivo XR515）和1台牙片机（SMX-II），未在辐射安全许可证进行注销。

1.2.3.2 改进要求

对于已报废的3台射线装置，医院应及时将其从辐射安全许可证上注销。

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	3.7×10 ¹¹ Bq×1枚	III类	使用	放射治疗	住院楼地下一层	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	¹⁸ F	液体, 半衰期 109.8min, 低毒	使用	5.55×10 ¹⁰ (日实际订购量)	5.55×10 ⁷	1.39×10 ¹³	PET-CT 显像检查	很简单的操作	核医学科	外购, 储存在铅罐中, 暂存于储源室, 当天用完。
2	^{99m} Tc	液体, 半衰期 6.02h, 低毒	使用	3.70×10 ¹⁰ (日实际订购量)	3.70×10 ⁷	9.25×10 ¹²	SPECT-CT 显像检查	很简单的操作		

注: 考虑到 ¹⁸F 与 ^{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 ¹⁸F 与 ^{99m}Tc 的实际订购量 (实际日最大操作量) 需大于实际注射量。

表 4 射线装置

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	飞利浦 Ingenuity TF	140	663	显像诊断	核医学科	新购
2	SPECT-CT	III 类	1 台	待定	140	800	显像诊断	核医学科	新购

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
后装机废放射源	固体	^{192}Ir	/	/	每年最多更换放射源3次, 由放射源供应单位更换	/	/	由放射源供应单位回收
放射性废水 (清洗废水、患者排泄物等)	液体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	181.5m ³	总 β <10Bq/L	专用衰变池暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求 (超过 30 天), 经院内污水处理站处理达标后排入市政管网
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 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	560kg	/	放射性废物暂存间暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求 (含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的废物暂存时间超过 30 天), 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, 按一般医疗废物处理, 最终交由有资质单位处置

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
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气体	气体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	微量	微量	/	/	经活性炭吸附过滤后接专用排风管道，最终引至楼顶西侧排放
臭氧、氮氧化物	气体	/	/	少量	少量	/	/	由专用排风管道送至住院楼裙房五层楼顶排放
非放射性废水 (医护人员生活污水)	液体	/	/	少量	少量	/	/	依托院内污水处理站统一处理达标后排入市政管网
非放射性固体废物 (医护人员生活垃圾)	固体	/	/	少量	少量	/	/	交由市政环卫部门处理

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(3) 《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;</p> <p>(4) 《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;</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第449号公布, 2019年3月2日第二次修订;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第18号, 2011年5月1日起施行;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(12) 《放射源分类办法》国家环境保护总局公告2005年第62号;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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</p>
-------------	--

	<p>(2016) 430 号, 2016 年 3 月 7 日;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(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;</p> <p>(19) 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;</p> <p>(20) 《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。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ2.1-2016);</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016);</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</p> <p>(4) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008);</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</p> <p>(6) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</p> <p>(7) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021);</p> <p>(8) 《医院污水处理工程技术规范》(HJ2029-2013);</p> <p>(9) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(10) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(11) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);</p> <p>(12) 《职业性外照射个人检测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(13) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(14) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</p> <p>(15) 《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》</p>

	<p>(GBZ/T201.3-2014)；</p> <p>(16) 《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(17) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)；</p> <p>(18) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(19) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(20) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)；</p> <p>(21) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)；</p> <p>(22) 《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019)。</p>
其他	<p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 医院提供的现有核技术利用项目环保手续、监测资料等；</p> <p>(3) 《辐射防护手册 第三分册：辐射安全》，原子能出版社，1990年；</p> <p>(4) 《中国环境天然放射性水平》，中国原子能出版社，2015年。</p>

宝鸡高新医院核技术利用项目
核医学科和后装机核技术利用项目
环境影响报告表（公示稿）

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和边界，从项目辐射工作场所的屏蔽体向外 50m 为评价范围。本项目环境影响评价范围示意图如图 7-1 所示。

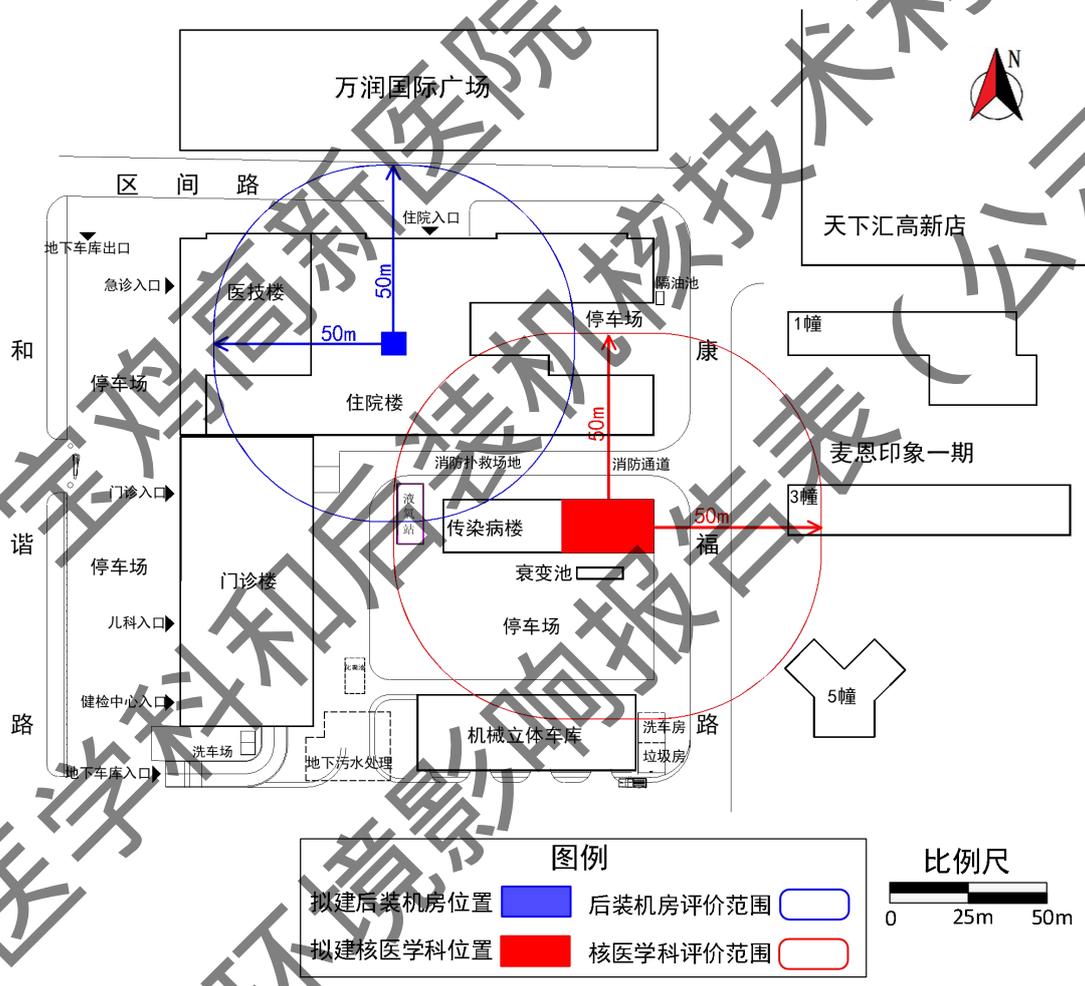


图 7-1 本项目评价范围图

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
1	控制室	东北	2.5	3人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
2	准备间、埋管室、冲洗间	东	0.3~6		
3	大孔径CT机房	北	0.3	约2人(其他辐射工作人员)	
4	计划室1	北	0.3	约2人(辐射工作人员)	
5	计划室2	北	5~10	约2人(其他辐射工作人员)	
6	走廊、诊室、卫生间等	东	7~11	约6人(公众)	
7	配电室、水泵房、空调机房	东	11~50	流动人员	
8	放疗候诊区	北	5~10	流动人员	
9	加速器机房及其控制室、设备间	北	10~25	约3人(其他辐射工作人员)	
10	走廊	南	0.3	流动人员	
11	维修中心、卫生间、病案库房、病案审核室、复印室等	南	4~28	约6人(公众)	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
12	档案室	西	0.3	约2人(公众)	
13	走廊、库房、卫生间、模具室、值班室、地下车库等	西	5~50	流动人员	
14	阅片室、主任办公室、值班室	/	0.3	约10人(其他辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员)
15	住院楼一层大厅	/	0.3	流动人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
16	传染病楼一层大厅	东南	45~50	流动人员	
17	医技楼、门诊楼一层大厅，放射科、输液中心、抢救室、EICU等	西	21~50	其他医务人员约20人、流动人员等	

18		停车场	东	20~50	流动人员	
19		区间路	北	40	流动人员	
20	核医学科 (地上一层)	PET-CT机房、SPECT-CT机房	内部	/	4人 (辐射工作人员)	$\leq 5\text{mSv/a}$ (职业工作人员) $\leq 0.1\text{mSv/a}$ (公众人员)
21		控制室	2间 机房中间	0.3		
22		分装质控室、抢救室、预约室、更衣室	内部	/	2人 (辐射工作人员)	
23		大厅、办公室、诊室、抢救室、更衣室等	西	2~35	流动人员	
24		院内道路	西	36	流动人员	
25		麦恩印象一期3幢	东	40~50	约30人(公众)	
26		停车场、立体车库、洗车房	南	0.3~50	流动人员	
27		住院楼大厅, 住出院手续办理处、取药处、药库、停车场等	北	20~37	其他医务人员约15人、流动人员等	
28	传染病楼二层院史展览馆、办公资料库房	上	0.3	流动人员		
注: 传染病楼西侧液氧站仅安装设备, 无人员居留。						

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

一、剂量要求			执行标准
执行对象	剂量限值 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)	
辐射工作人员	20	5	GB18871-2002 HJ1188-2021
公众	5	0.1	HJ1198-2021

二、屏蔽体表面剂量率控制值	执行标准
<p>剂量控制应符合以下要求：</p> <p>4.1.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平：</p> <p>a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，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 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：</p> <p>i 放射治疗机房外控制区的工作人员：$H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$；</p> <p>ii 放射治疗机房外非控制区的人员：$H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$；</p> <p>b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)；</p> <p>c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)。</p> <p>4.1.2 治疗机房顶的剂量控制要求</p> <p>治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制：</p> <p>a) 在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自放射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$；按照①求得关注点的剂量率参考控制水平加以控制。</p> <p>b) 除 a) 的条件外，应考虑下列情况：</p> <p>i 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量（率）的总和，应按（2）中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平加以控制；</p> <p>ii 穿出治疗机房屋顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250μSv 加以控制；</p> <p>iii 对无人员停留并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 i 和 ii 之后，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。</p>	<p>HJ1198-2021 GBZ121-2020 GBZ/T201.1-2007 GBZ/T201.3-2014</p>

后装机房

核医学科 工作场所		<p>剂量控制应符合以下要求：</p> <p>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$\geq 1/2$）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$\mu\text{Sv/h}$；</p> <p>2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子$< 1/2$），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室门外、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10$\mu\text{Sv/h}$；</p> <p>3.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$\mu\text{Sv/h}$；</p> <p>4.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$\mu\text{Sv/h}$。</p>	<p>HJ1188-2021 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号） GBZ120-2020</p>
CT机房		<p>6.2.2 CT机房屏蔽防护铅当量至少为2.5mmPb；</p> <p>6.3.1b) CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于2.5$\mu\text{Sv/h}$。</p>	GBZ130-2020
		三、场所分区要求	执行标准
核医学科	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。	<p>GB18871-2002 HJ1188-2021 GBZ120-2020</p>
	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。	
后装机房		<p>5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流运输通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。</p> <p>5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。</p>	HJ1198-2021
		四、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

五、核医学科工作场所通风要求		执行标准
<p>6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。</p> <p>6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。</p> <p>6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。</p>		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通风橱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
六、核医学工作场所放射性废物管理		执行标准
固体放射性废物	<p>固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08 Bq/cm²、β表面污染小于 0.8 Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：</p> <p>a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；</p> <p>b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；</p> <p>c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。</p>	HJ1188-2021
液态放射性废物	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；所含核素半衰期大于 24 小时（ ¹³¹ I）的暂存时间超过 180 天后可直接解控排放	
气态放射性废物	<p>7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。</p> <p>7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。</p>	

七、辐射监测				执行标准
工作场所	监测内容	监测点位	监测频次	
后装机房	防护检测 (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
核医学科工作场所	辐射水平	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）	
八、安全防护设施和措施要求				执行标准
场所类型	工作人员			GBZ120-2020
	必备	选备		
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、铅玻璃眼镜		
正电子放射性药物和 ¹³¹ I的场所	放射性污染防护服		—	
后装治疗室内应配备应急贮源容器和长柄镊子				HJ1198-2021

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

医院位于陕西省宝鸡市高新开发区高新四路 19 号，地理坐标为经度：107.226522°，纬度：34.344827°，地理位置见图 1-1。

医院主要包括医技楼、住院楼、门诊楼、传染病楼等，医院急诊、门诊、儿科与健康体检中心入口均位于医院西侧，住院入口位于医院北侧。医院总平面布置见图 1-3。

8.1.2 项目场所位置

医院拟将医院住院楼负一层档案室、洽谈室、护士站和走廊改造为 1 间后装机房及冲洗间、准备间等辅助功能用房；拟将传染病楼一层原规划的体检中心改造为核医学科，项目场所位置详见图 1-4、图 1-8。

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，本次评价委托陕西新高科辐射技术有限公司，于2024年8月20日对场地及周边环境进行本底检测，检测结果见附件 5，《拟建后装机房和核医学科及周围区域环境 γ 辐射剂量率检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-012024037）中相关数据。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	拟建后装机房区域	后装机房区域1#~10#
		后装机房楼上区域11#~12#
	拟建核医学科区域	核医学科区域13#~25#
		核医学科楼上区域26#
	拟建后装机房和核医学科四周50m范围内	27#~34#

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8-4。

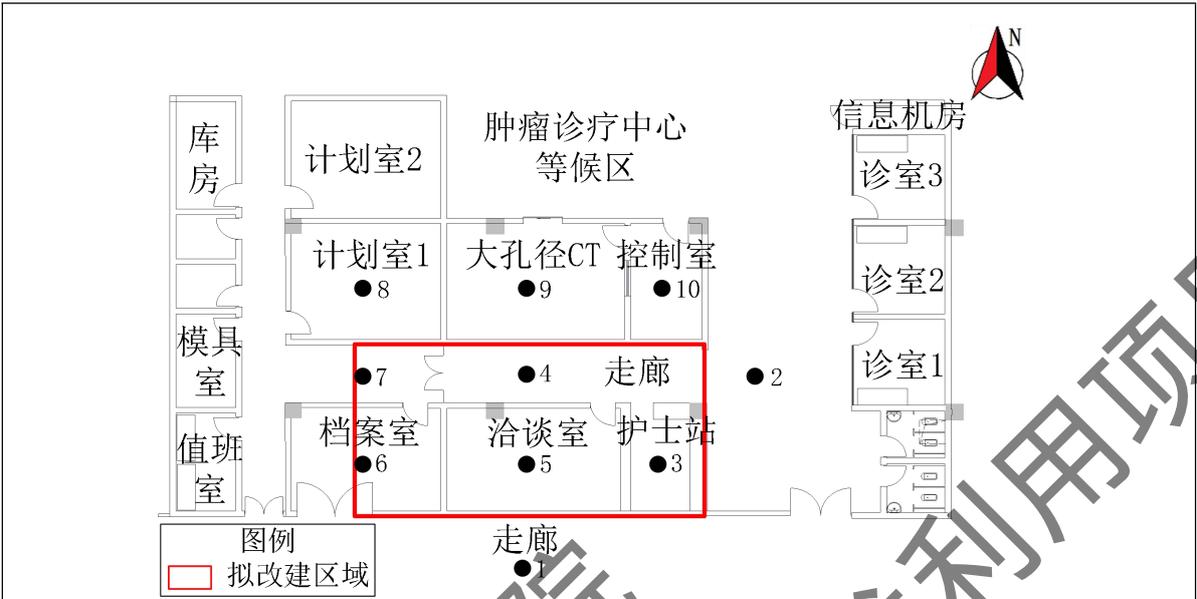


图 8-1 拟建后装机房及周围区域检测点位图

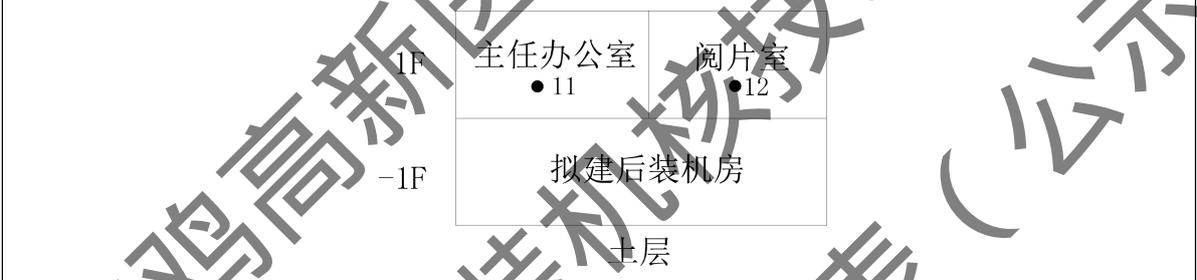


图 8-2 拟建后装机房正上方区域检测点位图

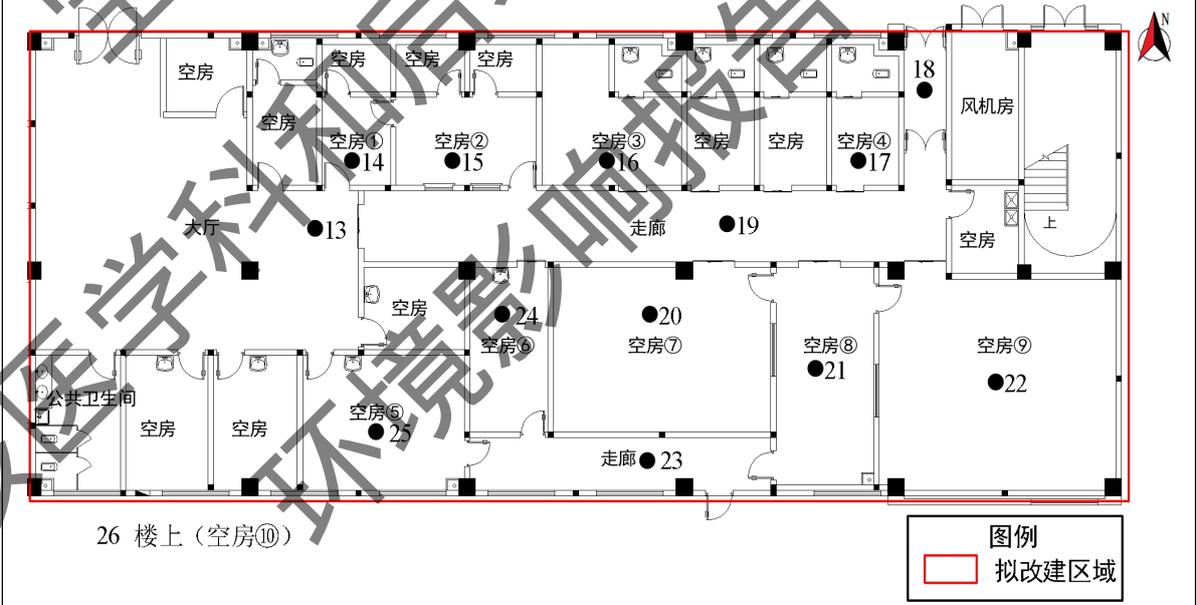


图 8-3 拟建核医学科检测点位图

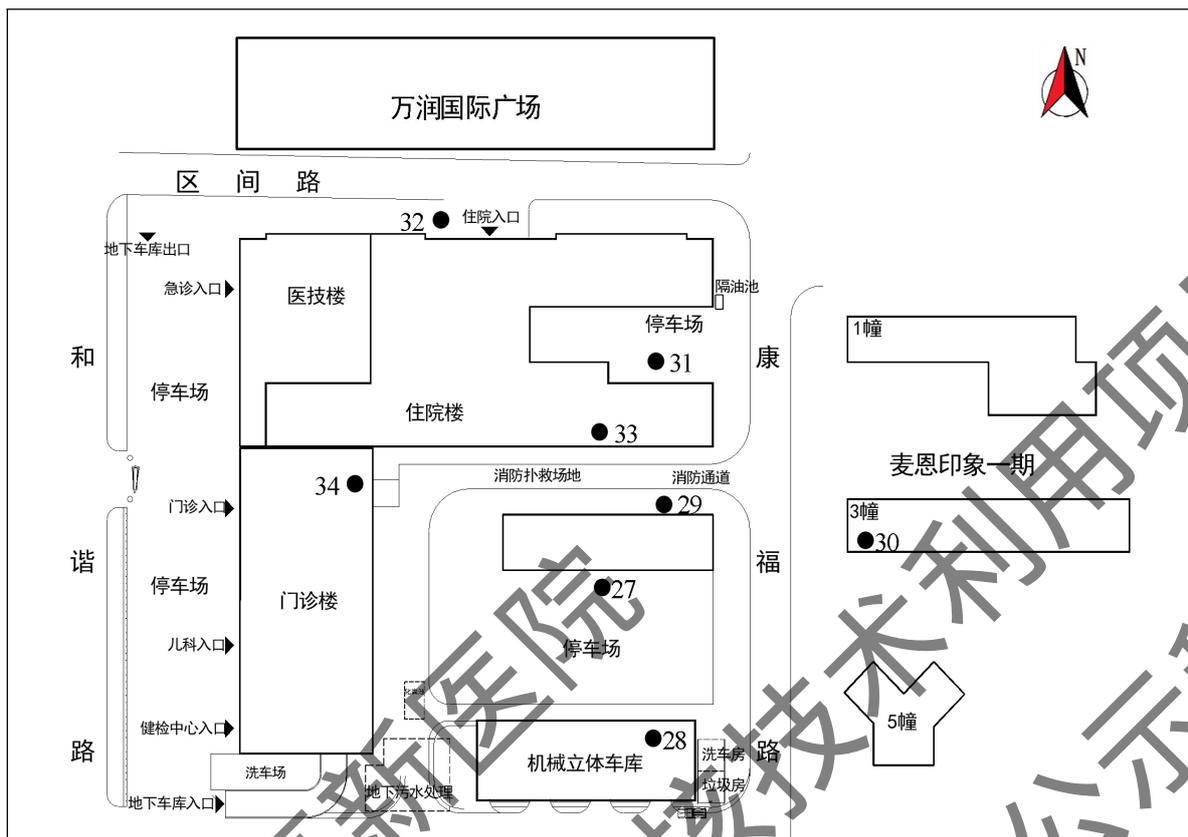


图 8-4 拟建后装机房和核医学科周围区域检测点位图

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	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-5877	0.01~200 μSv/h	中国辐射防护研究院放射性计量站	检字第 (2024) L0133	2024.3.1~ 2025.2.28

(5) 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《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）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

项目拟建后装机房和核医学科及周围区域环境 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	点位描述		检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)		
			平均值	标准差	
1	住院楼负一层	洽谈室南侧走廊		0.09	0.006
2		护士站东侧走廊		0.09	0.007
3		拟建后装机房	检测点①	0.09	0.005
4			检测点②	0.09	0.005
5			检测点③	0.08	0.006
6			检测点④	0.08	0.006
7			检测点⑤	0.08	0.006
8		计划室1		0.08	0.006
9		大孔径CT		0.09	0.006
10		控制室		0.09	0.006
11	住院楼一层(拟建后装机房楼上)	主任办公室		0.08	0.005
12		阅片室		0.08	0.006
13		大厅		0.09	0.006
14		空房①		0.09	0.006
15		空房②		0.09	0.005
16		空房③		0.09	0.006
17		空房④		0.09	0.006
18	传染病楼一层(拟建核医学科)	东北侧走廊		0.08	0.005
19		中部走廊		0.09	0.006
20		空房⑦		0.09	0.006
21		空房⑧		0.09	0.006
22		空房⑨		0.08	0.006
23		南侧走廊		0.09	0.006
24		空房⑥		0.09	0.006

点位编号	点位描述		检测结果 (μGy/h)	
			平均值	标准差
25		空房⑤	0.09	0.007
26	传染病楼二层 (拟建核医学科楼上)	空房⑩	0.09	0.006
27	传染病楼南侧停车场		0.08	0.005
28	传染病楼南侧立体车库		0.08	0.005
29	传染病楼北侧消防通道		0.09	0.005
30	麦恩印象一期3幢一层		0.09	0.006
31	住院楼东侧停车场		0.09	0.006
32	住院楼入口		0.09	0.006
33	住院楼一层南侧大厅		0.09	0.006
34	门诊楼一层		0.09	0.006

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0.009μGy/h，建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按原野、道路取1（点位27-29，点位31-32），其余点位按楼房取0.8。

由表 8-3 可知，项目拟建后装机房和核医学科及周围区域的环境γ辐射剂量率为 80~90nGy/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“宝鸡市γ辐射剂量率调查结果（原野：41~120nGy/h，道路：37~146 nGy/h，室内：64~140nGy/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 后装机

(1) 设备组成及工作原理

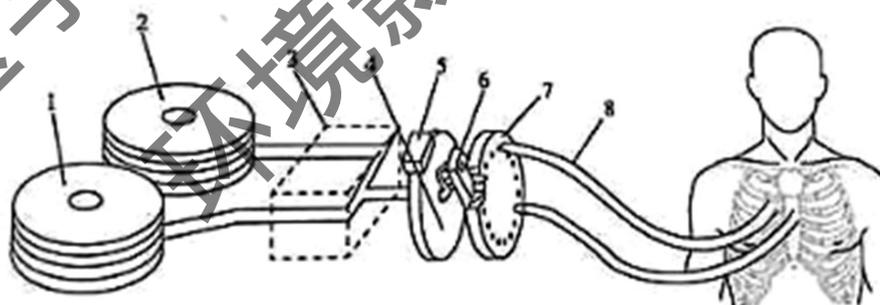
后装治疗机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统三部分组成，其中治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件等，治疗系统包括专用控制微机系统、步进电机、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道等。

后装治疗技术是在病人需要治疗的部位放置施源器，然后通过遥控操作，将储源器内放射源输入施源器内，对患者病灶部位实施治疗。

典型后装治疗机见图 9-1，典型后装治疗机内部结构见图 9-2。



图 9-1 典型后装治疗机实物图



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 9-2 典型后装机结构示意图

(2) 工艺分析

后装治疗流程如下：

①预约登记：医生对患者进行诊断、治疗正当性判断后，为确定需要治疗的患者预约登记，告知可能受到的辐射危害，确定模拟定位和治疗时间。

②模拟定位：预约患者通过模拟定位机（本项目依托已有大孔径CT）进行肿瘤定位，确定肿瘤具体位置和形状。

③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。根据患者肿瘤的性质、部位和大小，确定照射剂量和照射时间。

④治疗前准备：治疗计划制定后，工作人员在准备间对肿瘤患者病变部位插入施源管。

⑤工作人员将患者推进后装机房，检查设备状况，将储源器和施源器相连接，工作人员一般距后装治疗机1m。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，先用假源轮进行模拟治疗，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治疗结束后，真源回到屏蔽体内。打开防护门，拆除施源管等设备，工作人员协助患者离开治疗机房。

后装治疗过程产污环节如下：

模拟定位过程中污染因子主要为：X射线、臭氧和氮氧化物等。

后装治疗使用的 ^{192}Ir 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，属于密封放射源。

正常使用情况下， ^{192}Ir 放射源衰变产生 γ 射线。后装治疗前准备阶段，污染因子主要为： 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。

^{192}Ir 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。

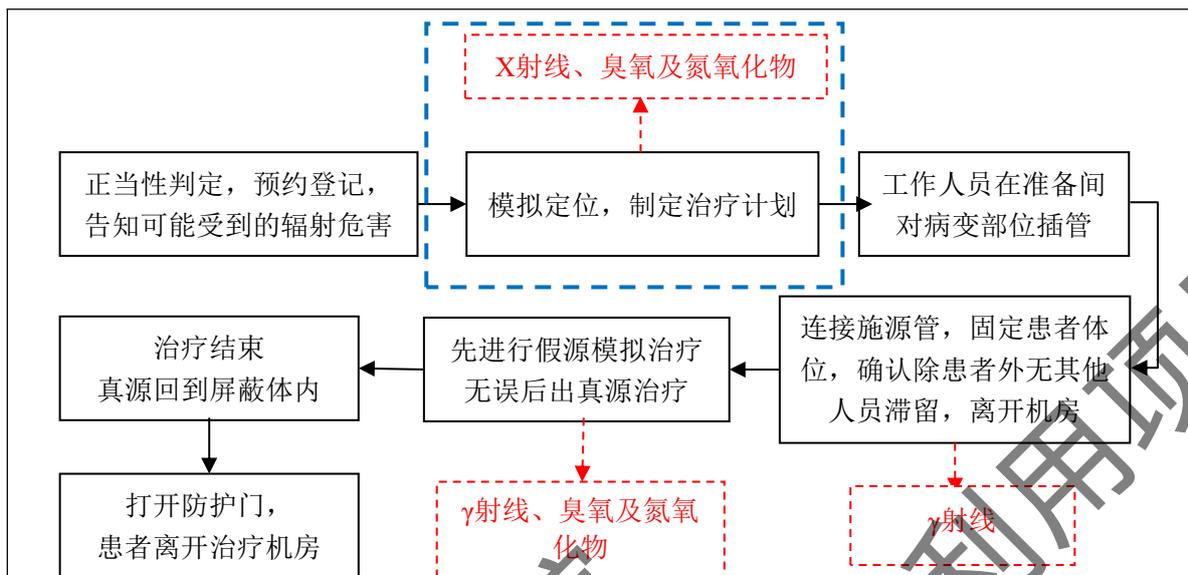


图 9-3 后装治疗流程及产污环节图

9.1.2 核医学科设备和工艺分析

9.1.2.1 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，便于病灶的准确定位和精确定位。

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 9-4。



图 9-4 典型 PET-CT 实物图

(2) 工艺分析

PET-CT 显像诊断工作流程:

- a、根据患者预约情况，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，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放储源室的铅罐内。
- c、工作人员穿戴好个人防护用品将放射性药物由储源室转运至分装质控室的手套箱，并在手套箱内对外购的放射性药物进行分装。
- 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活性区，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。
- 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 PET 注射后等待室候诊。
- 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，控制室的放射工作人员通过观察窗和语音系统，指导患者正确躺在检查床上，然后隔室操作 PET-CT 对患者实施显像扫描。如遇到个别特殊的患者需要协助摆位时，放射工作人员从控制室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 PET 留观室内留观，确认无异常反应后离开。

医生协助患者在 PET-CT 机房摆位时产生的污染因子主要是： γ 射线。

PET-CT 显像诊断过程的污染因子主要是： γ 射线、X 射线、 β 射线、放射性固废和放射性废水等。

PET-CT 显像诊断工作流程及产污环节见图 9-5。

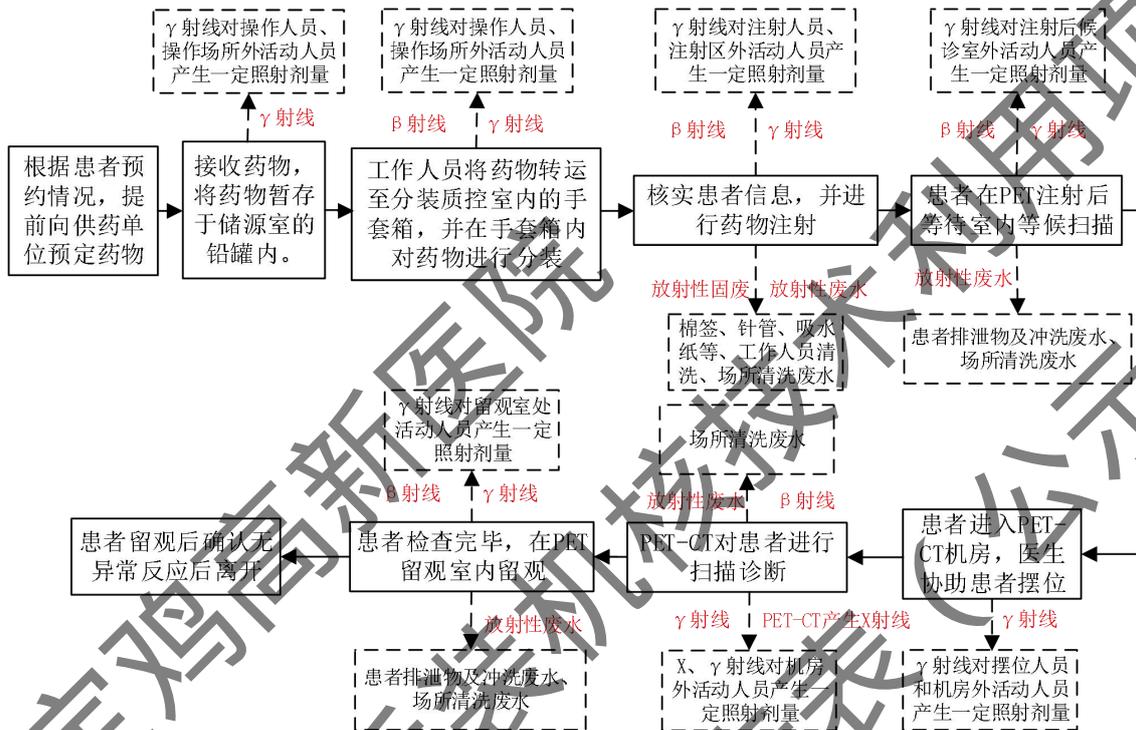


图 9-5 PET-CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图

9.1.2.2 SPECT-CT 显像诊断

(1) 设备组成及工作原理

SPECT 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 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 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) 工艺流程

SPECT-CT 显像诊断工作流程：

a、根据患者预约情况，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，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放储源室的铅罐内。

c、工作人员穿戴好个人防护用品将放射性药物由储源室转运至分装质控室的手套箱，项目外购的放射性药物 ^{99m}Tc 事先由供药单位分装好，不再进行分装。

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活性区，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

放射工作人员穿戴好个人防护用品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 SPECT 注射后等待室候诊。

f、通过语音提示，患者进入 SPECT-CT 机房接受显像扫描。患者进入机房后，控制室的放射工作人员通过观察窗和语音系统，指导患者正确躺在检查床上，然后隔室操作 SPECT-CT 对患者实施显像扫描。如遇到个别特殊的患者需要协助摆位时，放射工作人员从控制室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 SPECT-CT 对患者实施显像扫描。

g、扫描完成后，患者由控制区出口离开核医学科辐射场所活性区。

患者进入 SPECT-CT 机房摆位时产生的污染因子主要是： γ 射线。

SPECT-CT 显像诊断过程的污染因子主要是： γ 射线、X 射线、 β 射线、放射性固废和放射性废水等。

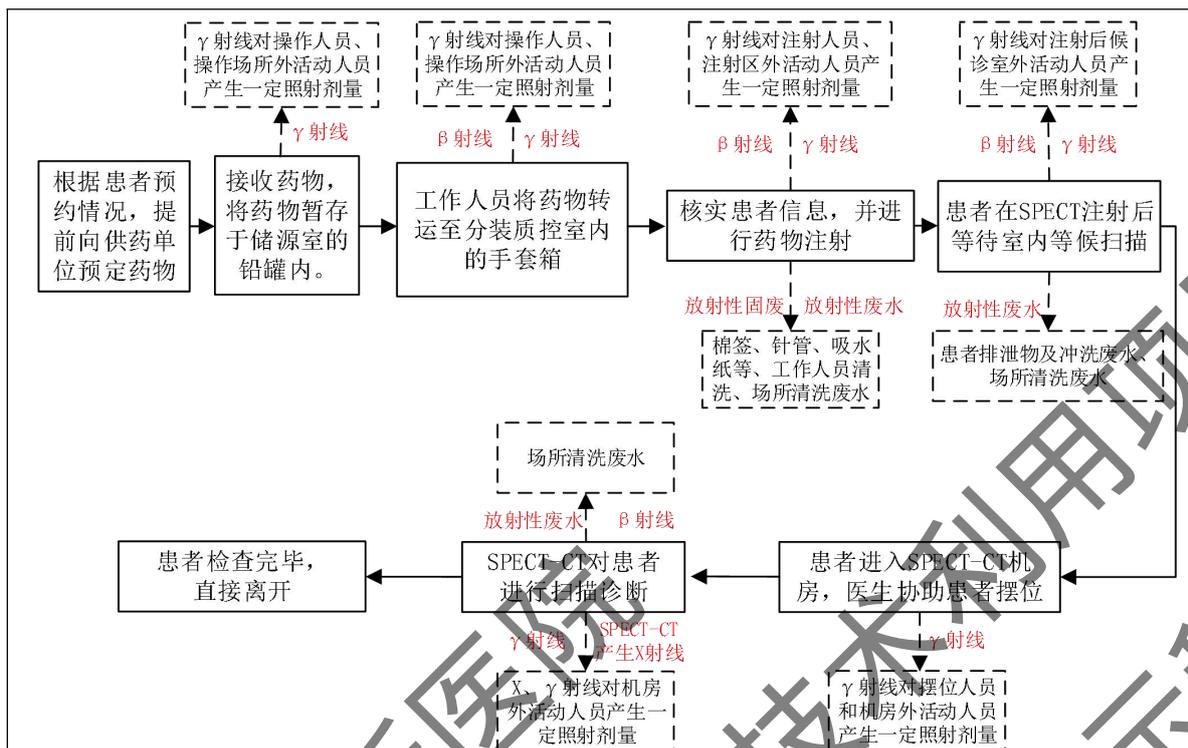


图 9-6 项目 SPECT-CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图

9.2 污染源项描述

9.2.1 后装机

(1) 正常工况下污染途径

项目后装机使用的放射源为微型单颗¹⁹²Ir，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。

后装机正常运行状态下可能产生的污染途径如下：

① 模拟定位

后装治疗前，需采用大孔径CT对患者的肿瘤模拟定位。大孔径CT在正常运行时，会产生X射线，在机房相邻区域产生泄漏辐射和散射辐射，需要进行屏蔽防护。

当设备运行产生X射线时，X射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

② 后装机房泄漏辐射

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¹⁹²Ir放射源发出的平均能量为370keV的γ射线，有小部分穿过治疗室屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚及迷路防护门）泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工

作人员和公众产生 γ 外照射。

③ 治疗前、治疗后装卸施源管

在治疗前、治疗后连接或拆卸施源管时， ^{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。

④ 运输、更换放射源

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低， ^{192}Ir 放射源一般在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。换下的废旧放射源仍具有一定的放射性，会对周围环境产生电离辐射影响。

本项目后装机放射源的安装、更换、运输和装卸等均由厂家负责，废旧放射源由放射源供源单位回收处置。

⑤ 非放射性废气

后装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。

⑥ 废水

本项目后装辐射工作人员均为医院现有人员，无新增生活污水产生。

⑦ 固体废物

后装机使用的 ^{192}Ir 放射源活度不能满足治疗需要时，需更换放射源。废旧放射源由供源单位负责回收。

本项目后装辐射工作人员均为医院现有人员，无新增生活垃圾产生。

(2) 事故工况下污染途径

① 外力撞击，导致放射源密封包壳破损，源活性物质泄漏对周围环境造成外照射。

② 治疗过程中，出现门机（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。

③ 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，对防护门外活动人员造成外照射；

④ 放射源位置异常、卡源等，造成工作人员或公众的外照射。

⑤ 放射源丢失或被盜，对周围环境或公众造成外照射。

9.2.2 核医学科的污染源项描述

9.2.2.1 正常工况

PET-CT 使用的放射性药物为 ^{18}F ， ^{18}F 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 ^{18}F 在使用过程可能产生 β 表面污染，CT 扫描时会产生 X 射线；SPECT-CT 使用的放射性药物为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变产生 γ 射线和内转换电子，CT 扫描时会产生 X 射线。此外，项目正常运行期间还会产生一定量的臭氧、氮氧化物和放射性废水、放射性废气、放射性固废。

污染源项如下：

① γ 射线

由于 γ 射线具有较强的穿透性，放射性药物在分装质控室注射过程中，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。

② X 射线

PET-CT 或者 SPECT-CT 开机扫描时 CT 会产生 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，污染途径为 X 射线外照射。

③ β 射线

放射性药物使用活动过程中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服手套等产生放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。因此， β 射线是该项目的主要污染因子。

④ 放射性废水

项目核医学科辐射工作场所产生的放射性废水主要为工作人员清洗手部及工作场所时产生少量带有放射性的废水和患者的排泄物等，主要含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

1) PET-CT 显像诊断每天接诊患者最多 20 人，SPECT-CT 显像诊断每天接诊患者最多 20 人，参考《节水型卫生洁具》（GB/T31436-2015），节水型坐便器平均用水量应不大于 5L，患者洗手用水量按 1L/人·次计，按照患者入厕 2 次计算，则显像检查患者用水量为 12L/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 2 人，参考《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019) 表 3.2.2，门诊医务人员用水量平均为 60~80L/d，本次核素操作人员用水量按平均值 70L/人·d 计(含药物注射人员的清洗)；

3) SPECT-CT 显像诊断每天接诊患者最多 20 人，考虑每天有 30% 的患者需要在注射放射性药物后进行运动负荷，患者洗手用水量按 1L/人·次计；

4) 核医学科场所清洁预计每天产生废水量 0.1m³/d。

则核医学科的放射性废水产生量见下表。

表 9-1 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	废水产生量		去向
				m ³ /d	m ³ /a	
核医学科工作场所	辐射工作人员	70L/人·d	2 人/d	0.14	35	衰变池
	显像检查患者	12L/人·次	40 人/d	0.48	120	
	运动负荷患者	1L/人·次	6 人/d	0.006	1.5	
	清洁用水	0.1m ³ /d	/	0.1	25	
合计				0.726	181.5	

综上，项目运营期间产生含放射性废水总量 0.726m³/d (181.5m³/a) 全部排入衰变池存放超过 30 天后，即满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 标准要求后，再排入医院污水处理站进一步处理。

医院拟为核医学科新聘 6 名辐射工作人员，用水量参考《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019) 表 3.2.2，取平均值 70L/人·d，核医学科每天产生的生活污水量约 0.42m³，依托医院污水处理站统一处理达标后排入市政管网。

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 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：¹⁸F、^{99m}Tc 分装、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，项目核医学科日接诊人数最多 40 人，医疗废物按人均每天 0.05kg 计，则医疗废物每天产生量约为 2kg，全年产生量约为 500kg；清洁时用过

的抹布及拖布产生量约为 10kg/a。放射性废物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放射性废物暂存间内专用容器中。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 560kg。

2) 非放射性固废

核医学科辐射工作人员日常会产生生活垃圾，按每人每天产生生活垃圾 0.5kg 计，6 名新聘辐射工作人员每天产生 3kg 生活垃圾，与医院其他生活垃圾一起交由市政环卫部门处理。

9.2.2.2 事故工况

- ①由于误操作，导致放射性药物错误注射；
- ②对放射性药物管理不善，造成放射性药物丢失或被盗；
- ③对注射放射性药物的患者管理不善，患者体内放射性药物或排泄物、呕吐物等发出射线产生外照射对周围人员会产生一定的辐射影响；
- ④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；
- 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。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 后装机房工作场所布局及合理性分析

10.1.1.1 工作场所布局

本项目后装机房位于医院住院楼地下一层南侧，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）中相关要求的符合性分析见表 10-1。

表 10-1 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。	后装机房设置于医院住院楼地下一层南侧肿瘤诊疗中心，位于建筑底层。用地类型为医疗用地，不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合
	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。	后装机房设置于医院住院楼地下一层南侧肿瘤诊疗中心，位于建筑底层。后装机房正上方为主任办公室、阅片室、值班室、住院大厅和走廊，正下方为土层。后装机房周围无儿科病房、产房或人员流动性大的商业活动区域。	符合
《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）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。	后装机房设置于医院住院楼地下一层南侧肿瘤诊疗中心，位于建筑底层；后装机房与控制室、准备间、埋管室、冲洗间等同时设计建造。	符合
	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，凡是可能与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	后装机房与控制室、准备间、埋管间、冲洗间等分开设置。	符合

	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北侧。	符合
	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
	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（不含迷路）为22.19m ² ，机房面积能够满足使用要求。	符合

根据表 10-1，后装机房工作场所布局满足《放射治疗辐射安全与防护》（HJ1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的相关规定。

10.1.1.2 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.....，直线加速器机房、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定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

根据 GB18871-2002 及 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；将控制室、准备间、埋管室、冲洗间、计划室 1 划分为监督区；后装机房上方的主任办

公室、阅片室是职业人员可能长期居留的场所，因此纳入监督区管理；后装机房北侧的大孔径 CT 机房属于原有控制区。

后装机房西侧档案室无人员长期居留；后装机房上方的值班室用于工作人员夜间值班休息，白天无人居留，因此档案室和值班室均不划为监督区管理。

后装机工作场所分区管理示意图详见图 10-1，后装机房上方工作场所分区管理示意图见图 10-2。

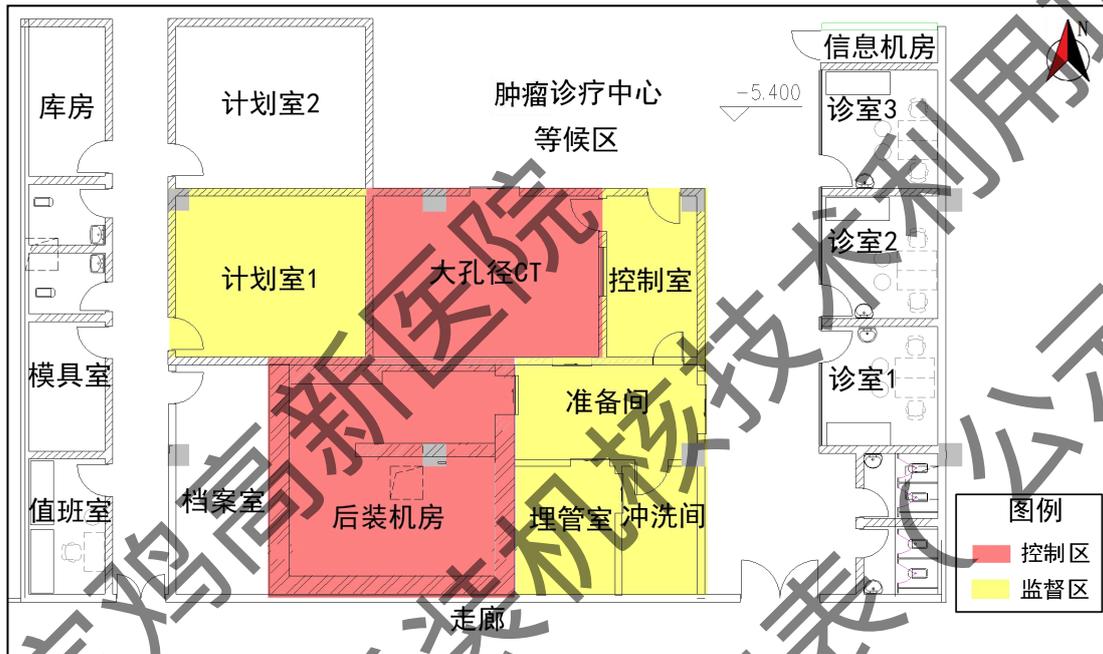


图 10-1 项目后装机工作场所分区管理示意图（地下一层）

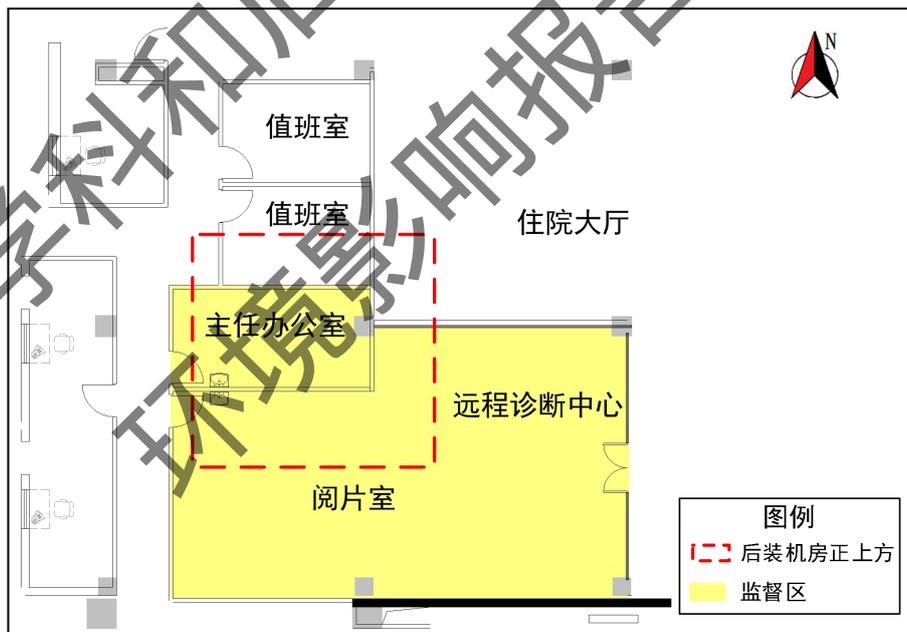


图 10-2 项目后装机房上方工作场所分区管理示意图（一层）

10.1.1.3 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 10-2，后装机房平面布局图见图 10-3，剖面图见图 10-4。

表 10-2 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 22.19m ² (长 6.25m×宽 3.55m)，机房净高 3.1m
	东墙	厚 0.6m 混凝土
	南墙	厚 0.6m 混凝土
	西墙	厚 0.6m 混凝土
	迷道内墙	厚 0.5m 混凝土
	北墙	与计划室 1 共用墙体为 0.6m 厚混凝土+0.24m 厚实心砖； 与大孔径 CT 机房共用墙体为 0.2m 厚混凝土+0.24m 厚实心砖。
	屋顶	原有 0.2m 厚混凝土叠加 0.45m 厚混凝土
防护门	8mmPb 电动推拉门	

注：①项目后装机房墙体（包括四周墙体、屋顶）采用钢筋混凝土浇筑，现浇混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ；
②项目后装机房下方为土层。

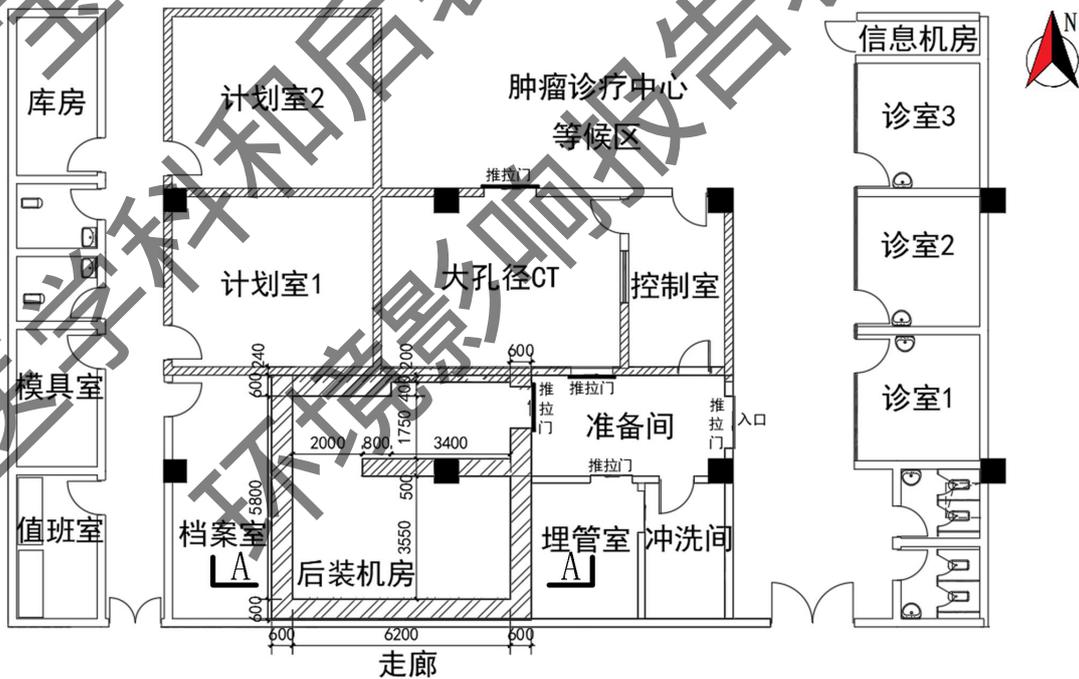


图 10-3 后装机房平面布局图

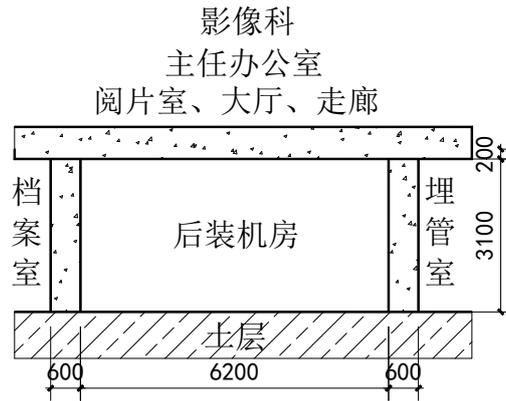


图 10-4 后装机房A-A剖面图

10.1.1.4 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，从安装后装机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。在电缆沟开口处设置有盖板进行屏蔽，其开口不正对工作人员经常停留的地点。电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图 10-5。

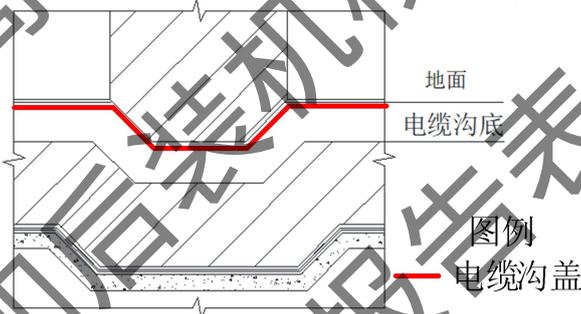


图 10-5 后装机房电缆沟穿屏蔽墙剖面图

10.1.1.5 通风设计

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）第8.4.1条“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全送全排的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”

后装机房内拟设置设置排风口2个（300mm×200mm），分别位于机房东墙南侧和迷路内墙处（距地面0.3m）。排风管道在机房防护门洞口上方呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，通过折叠设计，增加管道中的射线的散射次数。根据医院提供的设计资料，后装机房面积22.19m²（不含迷路），机房净高3.1m，机房容积约68.79m³，排风机风量约500m³/h，通风次数约7.3次/h，满足标准中通风次数不少于4次/h的要求。后装机

房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体由排风管道从防护门上方穿墙而过，与大孔径CT机房的排风管道合并后向北引至排风井，废气最终经排风管道向上升高至住院楼裙房五层楼顶排放，排气口高出所在建筑屋脊，且周围无门、窗或人流较大的过道。

后装机房通风管线布局见图10-6，机房通风管线穿墙图见图10-7。

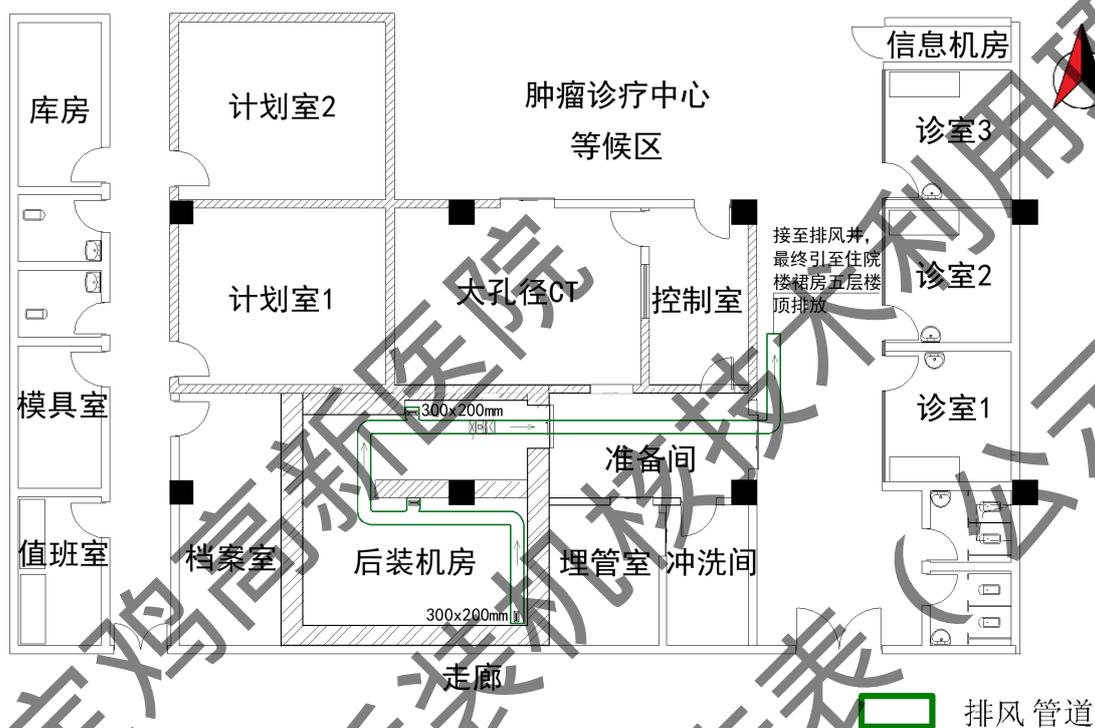


图 10-6 后装机房排风管道设计图



图 10-7 后装机房排风管道穿墙示意图

10.1.1.6 其他辐射安全与防护措施

(1) 后装机房拟采取以下辐射安全防护措施

①标志和指示灯：拟在后装机房准备间入口处设置电离辐射警告标志，在后装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、迷路转角处设摄像监视系统，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运行情况，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固定式剂量警报装置：后装机房内拟设固定式剂量报警装置，仪器探头建议安装在迷路转角处，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：后装机房防护门上方设有工作状态指示灯与后装机联锁，防护门关闭后，后装机才能启动，后装机启动时工作状态指示灯亮起。治疗过程中一旦防护门意外打开，系统将自动回收放射源至储源位置。

⑤紧急开门装置和防夹装置：防护门内侧拟设置从室内开门的按钮（手动紧急开门装置），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急停按钮：在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及后装机房内墙面各设置一个急停按钮。一旦人员误入或遇其它紧急情况，按“急停按钮”，放射源自动回到储源器，事故处理后，人工就地复位并通过控制台才能重新启动后装机。

⑦应急装备：在后装机房内配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

⑧放射源在线监控系统：对后装机房使用的放射源建立放射源在线监控系统（数值监控），并与陕西省辐射环境监督管理站联网。



图 10-8 后装机房辐射安全防护设施安装位置图

(2) 其他防护措施

①医院应安排工作人员使用现有的1台便携式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本项目辐射工作人员按要求正确佩戴个人剂量计。

②控制室内张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

表10-3 后装机房拟采取的安全防护措施/设施与HJ 1198-2021符合情况表

序号	安全防护设施和措施	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 标准要求	安全防护措施和设施	是否符合
1	标志和指示灯	6.2.1 a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志;	拟在后装机房入口防护门设置电离辐射警告标志; 贮源容器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明。	符合
		6.2.1 b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;	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
2	视频监控、对讲交流系统	6.2.1 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。	拟在后装机房内、迷路转角处设摄像监视系统, 监视屏设在控制室内, 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及防护门外的情况; 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
3	固定式辐射剂量监测仪	6.2.2……含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能, 其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	拟在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后装机房的控制室内。	符合
4	联锁装置、断电自动回源措施	6.2.3 a) 放射治疗室和……应设置门-机/源联锁装置, 防护门未完全关闭时不能出束/出源照射, 出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施。	拟对后装机房防护门与后装机设置联锁, 防护门未关闭状态下不能启动后装机; 后装机自带断电自动回源装置, 设备断电后, 放射源自动返回储源器。	符合
	紧急开门装置和防夹装置	6.2.3 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侧设置紧急开门装置, 在停电或电动门故障时使用。防护门拟设置红外防夹装置。	符合
	急停按钮	6.2.3 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、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
5	应急工具	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。	拟在后装机房内配备应急贮源容器和长柄镊子。	符合

表10-4 后装机房拟采取的安全防护措施/设施与GBZ121-2020符合情况表

序号	安全防护设施和措施	《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)标准要求	安全防护措施和设施	是否符合
1	监测报警装置	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
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。	拟对后装机房防护门与后装机设置联锁，防护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紧急开门按钮，防护门拟设置红外防夹装置。	符合
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，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯	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
4	急停开关	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，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合
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。	拟配备应急贮源容器。	符合
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

10.1.2 核医学科工作场所布局及合理性分析

10.1.2.1 工作场所布局

项目核医学科辐射工作场所位于传染病楼一层，包括辐射活性区和非活性区两个功能区，其中辐射活性区设置有分装质控室、储源室、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、PET 注射后等待室、SPECT 注射后等待室、PET 留观室、抢救室兼运动负荷、放射性废物暂存间、污洗间、患者走廊等；非活性区设置有大厅、预约室及更衣室、淋浴间、控制室、阅片室、工作人员走廊等。核医学科平面布局图见图 1-7。

核医学科工作场所选址及布局合理性分析见表 10-5。

表 10-5 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；控制区集中设置在南侧，储源室、分装质控室、PET 注射后等待室、SPECT 注射后等待室、PET 留观室相邻，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。	项目控制区的入口和出口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；本项目控制区入口设置工作人员更衣室与淋浴间；项目 3 间注射后等候室、1 间留观室均设置专用卫生间。	符合要求

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《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。	本项目储源室、分装质控室出口设置卫生通过间,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 诊断区域核医学工作场所设计有大厅、储源室、分装质控室、PET 注射后等待室、SPECT 注射后等待室、PET 留观室、抢救室兼运动负荷、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、放射性废物暂存间、污洗间和患者专用卫生间等功能用房。	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值班室、淋浴间、更衣室、卫生间、抢救室兼运动负荷等辅助用房。	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。

10.1.2.2 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”。

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10-9,衰变池分区管理示意图详见图10-10。

10.1.2.3 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、导向标识等形式引导患者，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10-11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分装质控室辐射工作人员：早7:30和中午12:30为放射性药品计划送达时间，药品送达后由值班人员接药，分装质控室辐射工作人员上班期间8:00~12:00和13:00~18:00，通过更衣室进入分装质控室，药物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。工作完成后，工作人员沿原路返回，在更衣室进行表面污染检测，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：通过阅片室进入工作人员走廊，之后进入控制室完成PET-CT和SPECT-CT图像采集。工作完成后，工作人员沿原路返回。

③诊室和预约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。

④医护人员经工作人员走廊进入抢救室兼运动负荷，对患者实施抢救，完成工作后原路返回。

(2) 患者路线

患者在正常接诊时间8:00~12:00和13:00~18:00, 经过传染病楼一层大厅进入核医学科, 患者首先在预约室进行预约登记, 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: 患者登记和预约后在大厅等候, 通过语音叫号, 依次由患者的单向专用入口(单向, 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, 在对应的注射后等待室候诊; 等到通知后进入PET-CT或SPECT-CT机房进行显像诊断, 检查完成后可能进入PET留观室(根据患者情况, 判定是否需要进入PET留观室), 最后从核医学科北侧东部大门(单向, 只出不进)离开核医学工作场所。

患者的出入口均设置单向门禁, 仅允许患者单向通行。注射后等待室、PET留观室均设有独立的卫生间, 患者可在专用卫生间入厕, 不随意走动。

(3) 放射性药物路线

项目采用的放射性药物均外购, 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和中午12:30)将放射性药物由传染病楼北侧东部大门进入, 经患者走廊运送至核医学科分装质控室。核医学科安排专人接收, 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放射性废物暂存间进行暂存, 衰变至符合清洁解控水平。在18:30后无病人时, 放射性固废通过患者通道运出。

核医学科工作场所工作人员、患者、放射性药物和放射性固废路径见图10-11。

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, 即每天上午上班前和中午上班前由核素供应商将订购的药物沿放射性药物路径运至核医学科储源间, 上班期间 8:00~12:00 和 13:00~18:00 为患者专用通道, 下班后 18:30 沿患者通道运出放射性固废, 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。

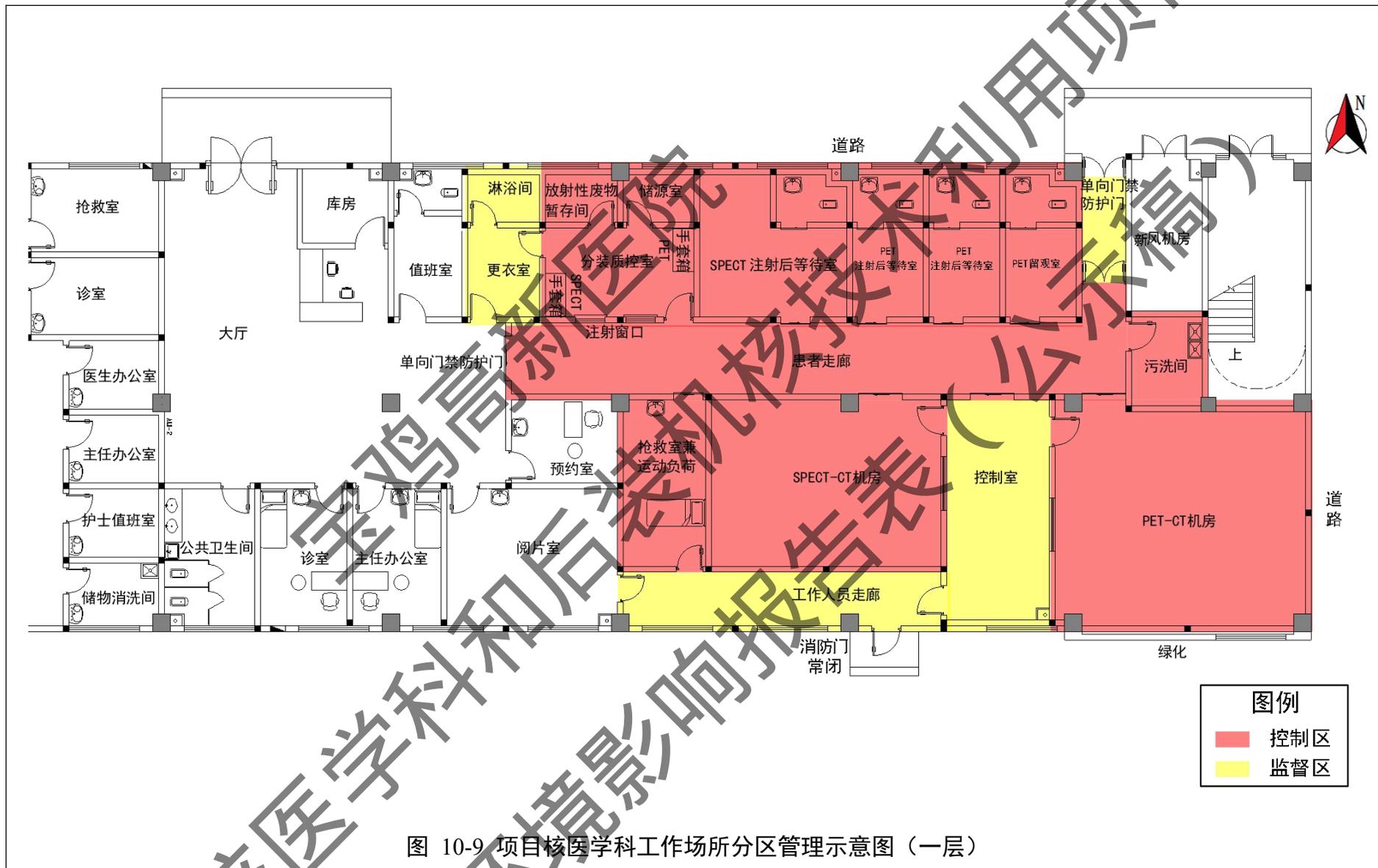
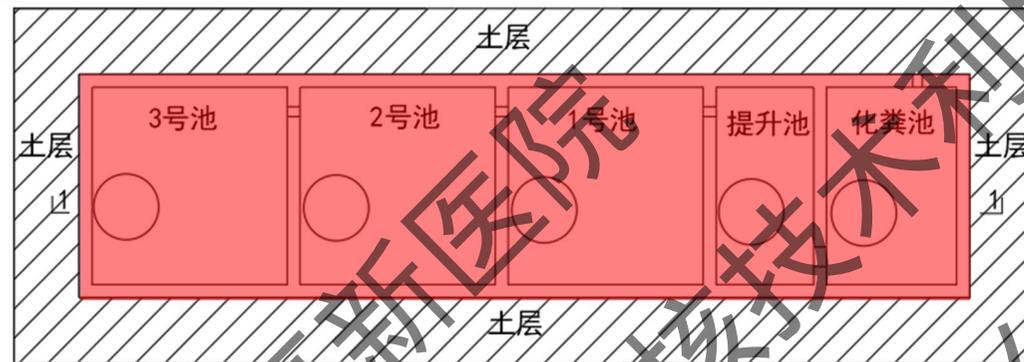
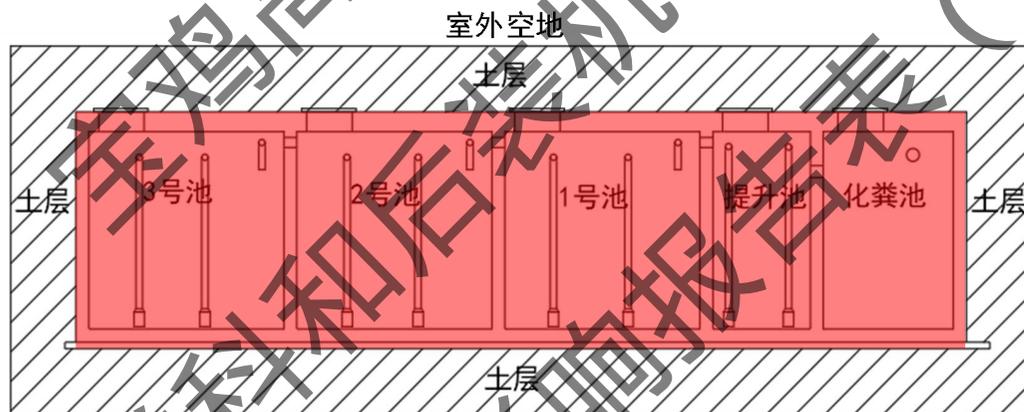


图 10-9 项目核医学科工作场所分区管理示意图（一层）



衰变池平面图



衰变池1-1剖面图



图 10-10 项目衰变池分区管理示意图（地下）

10.1.2.4 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10-7。

表 10-6 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 10-7 非密封放射性物质（核素）日等效最大操作量

项目	核素种类	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	低毒/0.01	很简单操作/10	5.55×10^{10} (日实际订购量)	5.55×10^7
SPECT-CT	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	低毒/0.01	很简单操作/10	3.70×10^{10} (日实际订购量)	3.70×10^7
合计	/	/	/	9.25×10^{10}	9.25×10^7

注：日等效最大操作量=日实际最大操作量×毒性组别修正因子÷操作修正因子。

根据表 10-7 可知，核医学科工作场所的日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ ，在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 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。

10.1.2.5 屏蔽设计情况

本项目核医学科的 1 间 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房分别由原规划体检中心预留的 1 间 CT 机房、1 间 DR 机房改造而成，原屏蔽措施满足本项目防护要求，核医学科工作场所屏蔽设计情况见表 10-8。

表 10-8 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	200mm 厚实心水泥砖 ^注 体墙+3.5mmPb 防护涂料
	观察窗	5mmPb 铅玻璃
	防护门	受检者门：5mmPb，工作人员门：5mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3.3mmPb 防护涂料
	地板	160mm 混凝土+3.5mmPb 防护涂料
SPECT-CT 机房	四周墙体	200mm 厚实心水泥砖体墙+3.5mmPb 防护涂料
	观察窗	5mmPb 铅玻璃

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：5mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3.3mmPb 防护涂料
	地板	160mm 混凝土+3.5mmPb 防护涂料
分装质控室	东墙和北墙	200mm 厚实心水泥砖体墙+2mmPb 防护涂料
	西墙	200mm 厚实心水泥砖体墙+2mmPb 防护涂料
	南墙	200mm 厚实心水泥砖体墙+2mmPb 防护涂料
	注射窗（东）	32mmPb
	注射窗（西）	32mmPb
	注射窗东侧防护门	7mmPb
	西侧更衣室门	8mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+2.5mmPb 防护涂料
	地板	160mm 混凝土
抢救室兼运动负荷	四周墙体	200mm 厚实心水泥砖体墙+1.2mmPb 防护涂料
	人员进出门（北）	3mmPb
	人员进出门（南）	3mmPb
	屋顶 地板	120mm 混凝土+2.5mmPb 防护涂料 160mm 混凝土
PET 注射后等待室	等待室四周墙体	200mm 厚实心水泥砖体墙+1.2mmPb 防护涂料
	人员进出门	2.5mmPb
	卫生间门	1.5mmPb
	卫生间墙体	200mm 厚实心水泥砖体墙+1.2mmPb 防护涂料
	屋顶 地板	120mm 混凝土+2mmPb 防护涂料 160mm 混凝土
PET 留观室	留观室四周墙体	200mm 厚实心水泥砖体墙+2.3mmPb 防护涂料
	人员进出门	2.5mmPb
	卫生间门	1.5mmPb
	卫生间墙体	200mm 厚实心水泥砖体墙+1.2mmPb 防护涂料
	留观室屋顶	120mm 混凝土+2mmPb 防护涂料
	卫生间屋顶	120mm 混凝土+2mmPb 防护涂料
	地板	160mm 混凝土
SPECT 注射后等待室	等待室四周墙体	200mm 厚实心水泥砖体墙+1.2mmPb 防护涂料
	卫生间西墙和南墙	200mm 厚实心水泥砖体墙+1.5mmPb 防护涂料
	人员进出门	2.5mmPb
	卫生间门	1.5mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+2mmPb 防护涂料
	地板	160mm 混凝土
注：实心水泥砖密度约 1700kg/m ³ 。		

10.1.2.6 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、核医学科放射性废物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、PET 留观室、抢救室兼运动负荷之间设置视频监控系统和双向对讲装置；候诊大厅、分装质控室之间设置叫号系统；在 SPECT-CT 机房、PET-CT 机房与控制室之间设置观察窗；在注射窗口、患者通道、注射后等待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注射后等待室、PET 留观室卫生间配置的洗手台均设置感应式水龙头，患者专用卫生间的便池设置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，项目拟配置注射器防护套等。

⑥放射性药物（ ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）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妥善处理医用放射性废物。在分装质控室、注射后等待室及卫生间、留观室及卫生间、抢救室兼运动负荷等位置放置污物桶，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射性废物暂存间，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，禁止放射工作人员在辐射活性区饮食。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，需到工作人员卫生间进行清洗、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 扫描的患者在语音提示下到注射窗接受药物注射，经语音提示到注射后等待室候诊，不应随意走动，并在患者专用卫生间入厕，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。

(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 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物存入储源室中。储源室安装视频监控系统，并设置门锁，实行双人双锁管理，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

项目拟为核医学科配置 β 表面污染监测仪，X- γ 剂量率仪依托医院现有。

(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 10-9。

表 10-9 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
注射窗	2套 ^注 ，32mmPb 当量，两侧设有手套孔
手套箱	2个 ^注 ，50mmPb，设置于分装质控室
铅污物桶	数量满足实际工作需要，10mmPb，置于分装质控室、注射后等待室、患者走廊、留观室、放射性废物暂存间等。
^{18}F 钨合金注射屏蔽套	1个，10mmPb
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 钨合金注射屏蔽套	1个，5mmPb
储源铅罐	数量满足实际工作需要，40mmPb 当量，储源室可放 10ml/20ml/30ml 用药
转运注射箱	1个，20mmPb 当量，存储、转运注射器； 1个，5mmPb 当量，存储、转运注射器
手提式屏蔽箱	1个，5mmPb 当量（配备钨合金手套），用于单支剂量转运
高剂量屏蔽罐	数量满足实际工作需要，50mmPb 当量
铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶围裙	数量满足实际工作需要，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	按使用需求提供

注：医院拟在分装质控室设置2个相同规格的手套箱、注射窗。

10.2 “三废”治理

10.2.1 后装机

后装治疗前,需采用大孔径CT对患者的肿瘤模拟定位。大孔径CT在正常运行时,会产生X射线,X射线与空气相互作用会产生臭氧、氮氧化物等有害气体,大孔径CT机房废气收集排风系统运行正常,满足排放要求。

(1) 废气

本项目后装机正常使用过程中,无放射性废气产生。

后装机工作时, γ 射线与空气中的氮和氧作用,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。

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) 固体废物

后装机使用的 ^{192}Ir 属于III类放射源。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。

本项目后装辐射工作人员均为医院现有人员,无新增生活垃圾产生。

(3) 废水

本项目后装辐射工作人员均为医院现有人员,无新增生活污水产生。

10.2.2 核医学科

(1) 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。项目放射性废水排放走向详见图10-11。

医院拟在传染病楼东南侧地下新建槽式衰变池,衰变池采用200mm厚混凝土浇筑,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3组衰变池槽体并联组成,每个槽体有效容积为 24m^3 ,第一个槽体前端设置1座容积约 10m^3 的提升池与1座容积约 15m^3 的化粪池。

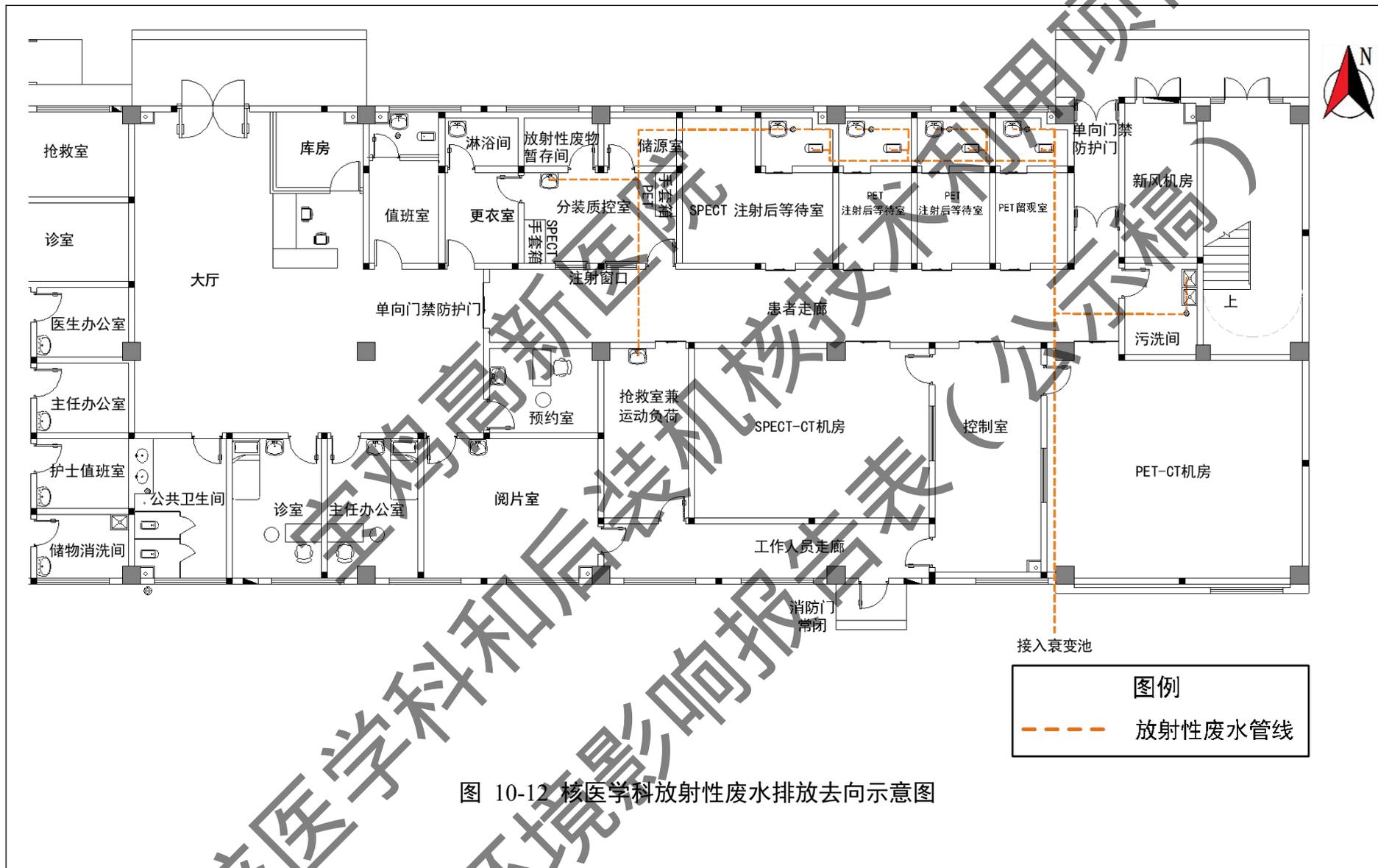
放射性废水经化粪池沉淀后首先进入提升池,提升池水位到达高液位时,1#衰变池槽体开始进水,直到提升池水位降至低液位时,1#衰变池的进水电动阀关闭,重复上述过程,直至1#衰变池槽体注满放射性废水后进水电动阀关闭,开始衰变计

时；随后 2#衰变池槽体开始进水，重复上述过程直至 2#衰变池槽体注满放射性废水后进水电动阀关闭，开始衰变计时；3#衰变池槽体同样按照上述过程注入放射性废水，待 3#衰变池到达高液位时，1#衰变池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#衰变池排空后，关闭 1#衰变池出水电动阀并开启 1#衰变池进水电动阀。3 个衰变池依次交替循环进水、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。

化粪池清掏前，医院应联系检测单位对化粪池内放射性污泥监测，放射性指标合格后方可由有资质单位处置。

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。

经计算，本项目放射性废水日排放量约 $0.726\text{m}^3/\text{d}$ ，每个衰变池体储存满需要大约 33 天，则排放时放射性废水最短衰变时间约为 66 天。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 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放的要求。核医学科工作场所给排水走向见图 10-12，衰变池设计见图 10-13。



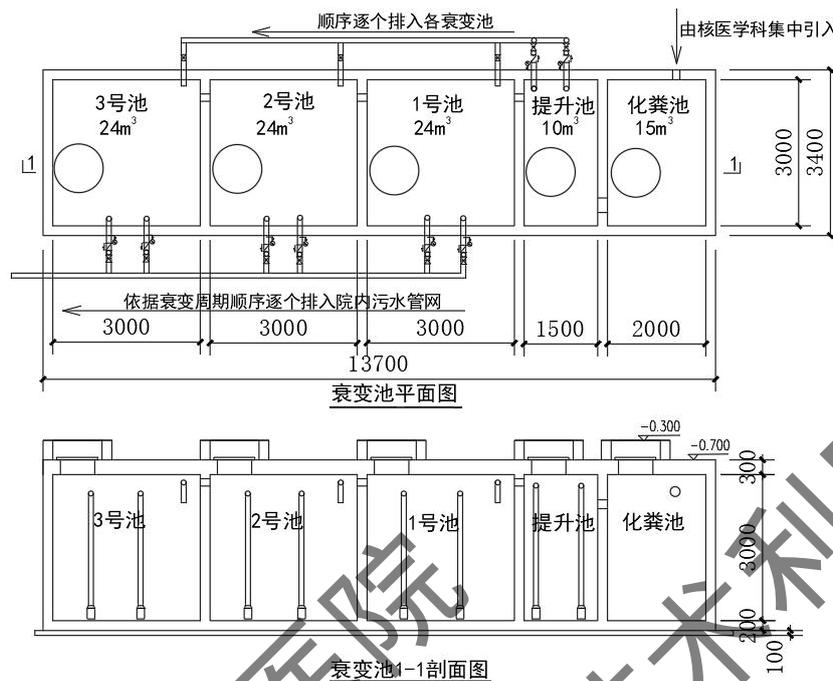


图 10-13 核医学科衰变池设计图

(2) 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分装质控室手套箱排风管线：2 个手套箱的放射性废气经排风管线合并后接入淋浴间上方的排风井，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分装质控室排风管线：放射性废气经排风管线收集，过滤净化后与西侧自患者走廊引来的排风管线合并，接入淋浴间上方的排风井。

③核医学科其他区域排风管线：核医学科南侧的污洗间、PET-CT 机房、注射后等待室、留观室、SPECT-CT 机房、抢救室兼运动负荷房间的废气自东向西由低活区至高活区依次接入排风管道，储源室、放射性废物暂存间的废气也自东向西接入排风管道，与西侧自患者走廊引来的排风管线合并，经过滤净化后引至核医学科北侧淋浴间上方的排风井。

核医学科工作场所主管道内保持负压，各支管设止回装置，放射性废气通过淋浴间上方的排风井引至传染病楼二层楼顶西侧排放。

项目核医学科放射性废气排风管道路径见图 10-14。核医学科放射性废气排风系统符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

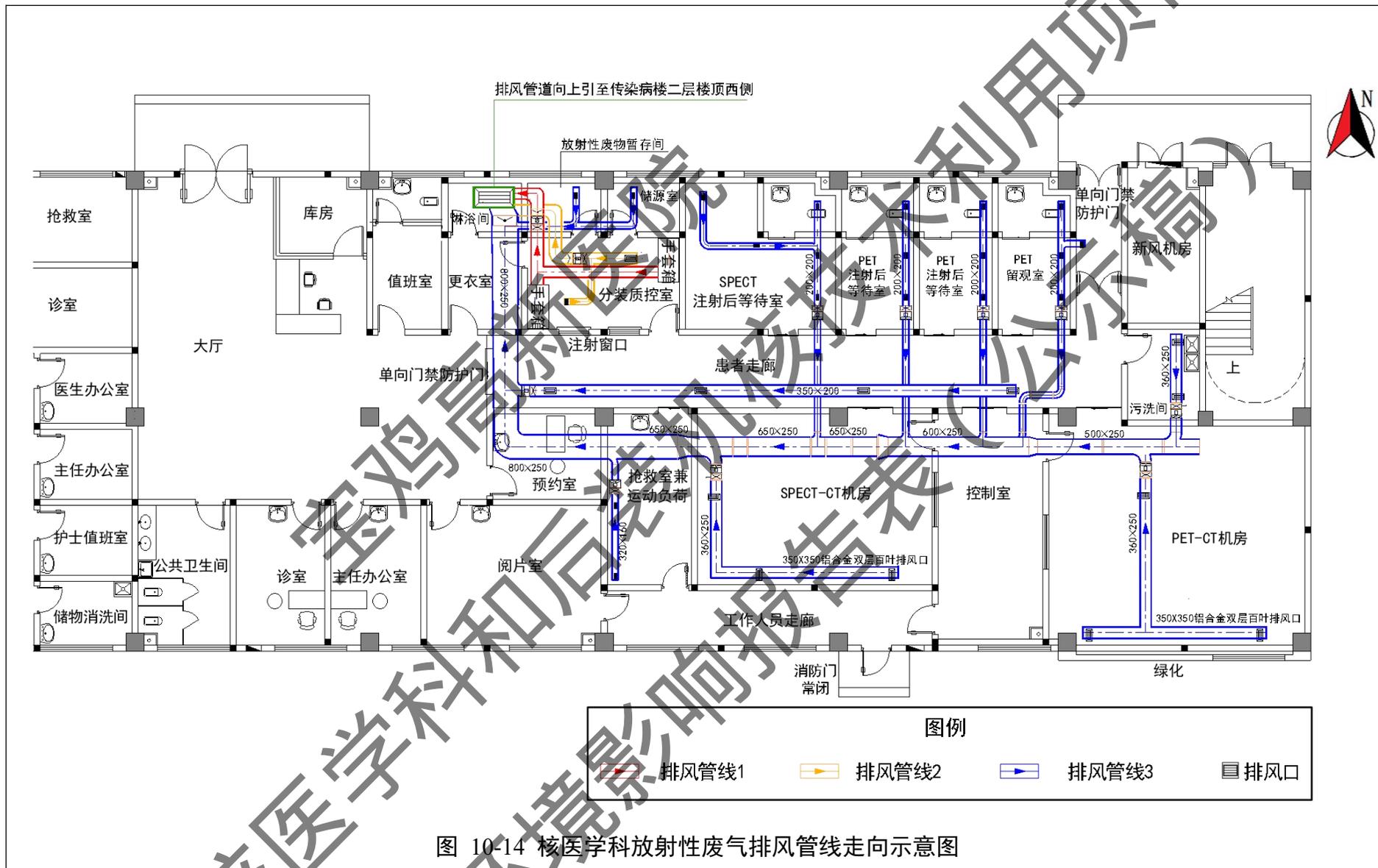


图 10-14 核医学科放射性废气排风管线走向示意图

(3) 放射性固体废物

本项目放射性固废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，密封后及时运送至核医学科放射性废物暂存间的废物暂存桶内，此过程通过时间及空间管控杜绝交叉污染的现象。放射性固废暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，且放射性固废活度低于 GB18871 清洁解控水平（ ^{18}F 活度浓度 $\leq 1 \times 10^1 \text{Bq}/\text{g}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度浓度 $\leq 1 \times 10^2 \text{Bq}/\text{g}$ ）时，可对废物清洁解控，按一般医疗废物处置。

医院年工作 250 天，核医学科每年产生放射性固废总量约 560kg，30 天大约产生放射性固废总量约 18.7kg。医院拟将 2 个 10mmPb，容积 20L 的铅污物桶放置于放射性废物暂存间（有效使用面积 3.9m^2 ）内，用于暂存与放射性核素接触过的一次性注射器、棉签、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以及废气处理产生的废活性炭等放射性固废，30 天后监测污物桶的辐射剂量率，低于清洁解控水平后方可转运。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

医院拟在住院楼地下一层设置后装机房及其辅助用房，在传染病楼地上一层设置核医学科。本项目施工主要内容包括：部分结构拆除，辐射屏蔽措施施工、设备安装，电缆走线等。项目施工建设阶段对环境的影响主要为施工过程产生的废气、废水、噪声、建筑垃圾等。本次评价提出以下措施：

(1) 废气：施工过程中及施工物料运输、堆放、原有结构拆除等过程中可能产生扬尘等气体污染物，应采取防尘措施；拆除工程应采取洒水抑尘，固体废物及时清运，运输物料车采取覆盖等防止散落的措施。

(2) 废水：施工期间的机械洗刷污水、生活污水。治理措施为：施工期间的机械洗刷污水应进行沉淀处理，然后回用于施工或施工场地洒水抑尘，严禁将施工泥浆排入下水道，以免引起排水不畅而导致周围积水内涝。生活污水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降噪措施落实：施工设备相对集中，对施工设备可以屏蔽降噪，使用隔声性能好的隔声构件将施工机械噪声源与周围环境隔离，以减少环境污染范围与污染程度，尽量缩小噪声干扰范围，合理安排作业时间，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。

(4) 固体废物：拆除及施工产生的建筑垃圾、设备安装产生的废弃物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。

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

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 后装治疗机

11.2.1.1 机房屏蔽体厚度核算

本项目后装机房内拟配置一台 ^{192}Ir 后装治疗机，含 ^{192}Ir 放射源1枚，最大装源活度

为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，产生的 γ 射线平均能量为 0.37MeV ，源距地面高度 1.0m 。

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

后装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。图中红色虚线框区域为治疗源可能使用的区域，后装机移动时，放射源距东墙、南墙和迷路内墙最近距离取 1m ，放射源距西墙最近距离取 2.8m ，放射源距地面高度取 1m 。

后装机房辐射影响分析关注点设置详见图11-1、图11-2。

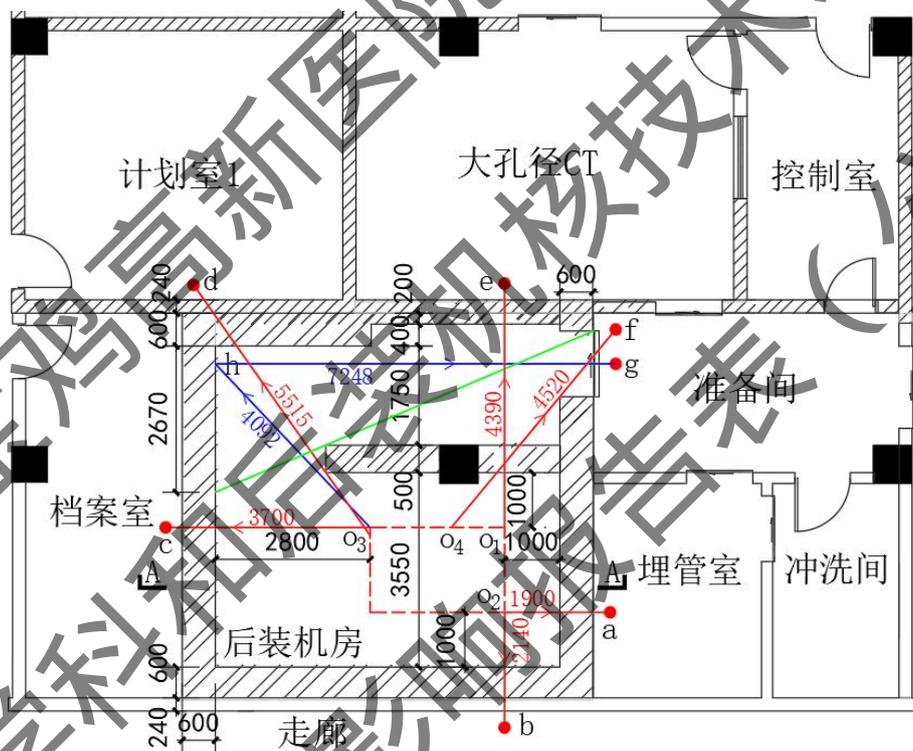


图 11-1 后装机房关注点设定平面示意图

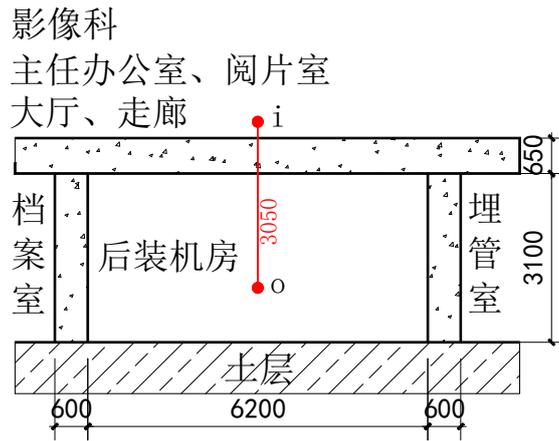


图 11-2 后装机房关注点设定A-A剖面示意图

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， $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

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

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 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

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

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11-1计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-1)$$

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。

后装机房外关注点剂量率参考控制水平见表11-1。

表11-1 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	U	T	H _c (μSv/周)	$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	最终 取值 (μSv/h)
						(μSv/h) 计算值		
a (东侧埋管室)	初级	5	1	1/5	100	100	10	10
b (南侧走廊)	初级	5	1	1/5	5	5	10	5
c (西侧档案室)	初级	5	1	1/20	5	20	10	10
d (北侧计划室1)	初级	5	1	1	100	20	2.5	2.5
e (大孔径CT机房)	初级	5	1	1/2	100	40	10	10
i (屋顶阅片室、主任 办公室)	初级	5	1	1	100	20	2.5	2.5
i (值班室)	初级	5	1	1/5	100	100	10	10
i (大厅、走廊)	初级	5	1	1/5	5	5	10	5
f、g (防护门外)	初级、 散射	5	1	1/8	100	160	10	10

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。

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) 5.2中公式(3)、(5)和(6)，本项目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(11-2)计算，按式(11-3)估算所需要的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按照式(11-4)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。

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

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-3)$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (11-4)$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

\dot{H}_c —剂量率参考控制水平，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—对有用束为1，对泄漏辐射为0.01;

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¹⁹²Ir放射源，TVL₁ = TVL = 15.2cm;

X_e—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11-8。

表11-2 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}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	B	计算厚度 (混凝土, cm)	设计厚度 (混凝土, cm)	结论
a (东侧埋管室)	初级	10	1.90	8.79×10^{-4}	46.45	60	满足
b (南侧走廊)	初级	5	2.14	5.58×10^{-4}	49.46	60	满足
c (西侧档案室)	初级	10	3.70	3.33×10^{-3}	37.65	60	满足
d (北侧计划室1)	初级	2.5	5.51	1.85×10^{-3}	34.03	77 ^②	满足
e (大孔径CT机房)	初级	10	4.39	4.69×10^{-3}	35.39	87 ^③	满足
i (楼上阅片室、主任办公室)	初级	2.5	3.05	5.66×10^{-4}	49.35	65	满足
i (值班室)	初级	10	3.05	2.27×10^{-3}	40.20	65	满足
i (大厅、走廊)	初级	5	3.05	1.13×10^{-3}	44.78	65	满足
f (防护门外)	初级	2.5 ^①	4.52	1.24×10^{-3}	27.21	50	满足

注：①放射源初级辐射经迷路内墙屏蔽对机房门口剂量率贡献按防护门外控制值的1/4考虑。

②原有24cm实心砖墙 ($\rho=1.70\text{g/cm}^3$) 等效为混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) 厚度约 $24 \times 1.70/2.35=17.36\text{cm}$ ，本项目新浇筑60cm厚混凝土，总厚度约77cm。

③原有24cm实心砖墙 ($\rho=1.70\text{g/cm}^3$) 等效为混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) 厚度约17.36cm，砖墙南侧新浇筑20cm厚混凝土，并新浇筑50cm厚迷路内墙，总厚度约87cm。

根据以上计算，后装机机房墙体设计屏蔽厚度能满足防护要求。

11.2.1.2 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：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-5)$$

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 —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积， $2.67 \times 3.1=8.28 \text{m}^2$ ；

α_w —散射体的散射因子， m^2 ，GBZ/T201.3-2014 表 C.4 中 0.25MeV 时 45° 入射 0° 散射因子 3.39×10^{-2} ；

R_1 —辐射源点至散射体中心的距离， 4.09m ；

R_2 —散射体中心至关注点的距离， 7.25m ；

计算得机房入口g处（O₃-h-g）的散射辐射剂量 $\dot{H}=13.11 \mu\text{Sv/h}$ 。

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。有用线束经迷路内墙屏蔽后在f处（O₄-f）的剂量率按公式11-6计算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-6)$$

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， $\text{TVL}_1=\text{TVL}=15.2 \text{cm}$ ； $B = 10^{-(Xc+\text{TVL}-\text{TVL}_1)/\text{TVL}} = 10^{-(50/\cos 39^\circ + 15.2 - 15.2)/15.2} = 1.47 \times 10^{-5}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，为 4.52m ；

f—对有用线束为1。

经计算，有用线束经迷路内墙屏蔽后在f处的剂量率为 $\dot{H}=2.96 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ （小于 $8 \mu\text{Sv/h} \times 1/4 = 2 \mu\text{Sv/h}$ ）

无防护门屏蔽时，机房入口处的剂量率为 $13.11 + 2.96 \times 10^{-2} = 13.14 \mu\text{Sv/h}$ 。

后装机房防护门所需要的屏蔽透射因子 $B = \dot{H}_c / \dot{H} = 8 \div 13.14 = 0.61$ ，迷路入口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：

$X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 1.07 \text{mmPb}$ 。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，计算得防护门厚度需要 3.60mmPb 。

根据医院提供的设计方案，机房防护门为 8mmPb ，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。

11.2.1.3 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（11-7）计算出有效厚度 X_e （cm），按照式（11-8）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B，再按照式（11-8）计算初级辐射在屏蔽墙体外关注点的剂量率见表11-9。

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

$$B = 10^{-\frac{X_e - \text{TVL}_1}{\text{TVL}}} \quad (11-8)$$

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

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半值层厚度和平衡半值层厚度。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， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\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 —一对有用线束为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11-3。

表11-3 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, 混凝土)	θ (°)	X_e (cm)	R (m)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
a (东侧埋管室)	初级	60	0	60	1.90	1.13×10^{-4}	1.28
b (南侧走廊)	初级	60	0	60	2.14	1.13×10^{-4}	1.01
c (西侧档案室)	初级	60	0	60	3.70	1.13×10^{-4}	0.34
d (北侧计划室1)	初级	77	35	94	5.51	6.54×10^{-7}	8.85×10^{-4}
e (大孔径CT机房)	初级	87	0	87	4.39	1.89×10^{-6}	4.03×10^{-3}
i (楼上阅片室、主任办公室、值班室、大厅、走廊)	初级	65	0	65	3.05	5.29×10^{-5}	0.23
f (迷路)	初级	50	39	64	4.52	5.85×10^{-5}	0.12

由表11-3可知，本项目后装机运行后，机房实体屏蔽墙外各关注点处剂量率均满足各关注点剂量率参考控制水平，符合《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）和《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。

②机房入口屏蔽前的剂量率为 $13.14\mu\text{Sv/h}$ ，铅中的TVL值为5mm，本项目后装治疗机房防护门设计为8mmPb，经计算防护门外30cm处的剂量率为 $13.14 \times 10^{-(8/5)} = 0.33\mu\text{Sv/h}$ ，满足防护门外剂量率参考控制水平。

11.2.1.4 个人剂量估算

辐射工作人员与公众所照射的辐射年剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot H \cdot U \times 10^{-3} \quad (11-10)$$

式中：

H—辐射工作人员与公众受照射的辐射年剂量，mSv/a；

t—受照射时间（h）；

T—居留因子，参照HJ1198-2021附录A表A.1取值；

\dot{H} —关注点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U—使用因子。

①治疗机房外人员受照剂量

后装机计划每年治疗人数最大为2500人次，每人治疗时间约为6min，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11-10计算，计算参数和计算结果见表11-4。由于后装控制室与后装机房不相邻，本次评价中后装控制室的周围剂量当量率的取值保守与关注点f（准备间）相同，控制室内实际剂量率小于准备间。

表11-4 后装机辐射工作人员及周边环境公众年附加剂量估算结果

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	年受照剂量(mSv)	剂量约束值(mSv/a)
a (东侧埋管室)	职业人员	1.28	250	1/5	1	6.42×10^{-2}	5
b (南侧走廊)	公众	1.01	250	1/5	1	5.06×10^{-2}	0.1
c (西侧档案室)	公众	0.34	250	1/20	1	4.23×10^{-3}	0.1
d (北侧计划室1)	职业人员	8.85×10^{-4}	250	1	1	2.21×10^{-4}	5
e (大孔径CT机房)	职业人员	4.03×10^{-3}	250	1/2	1	5.03×10^{-4}	5
i (楼上)	阅片室、主任办公室	0.23	250	1	1	5.84×10^{-2}	5
	值班室	0.23	250	1/5	1	1.17×10^{-2}	5
	大厅、走廊	0.23	250	1/5	1	1.17×10^{-2}	0.1
f (防护门外，准备间)	职业人员	0.33	250	1/8	1	1.03×10^{-2}	5
北侧控制室 ^注	职业人员	0.33	250	1	1	8.25×10^{-2}	5

注：后装机房北侧控制室内的周围剂量当量率按照关注点f处的最大周围剂量当量率取值，居留因子取1来计算本项目运行所致控制室内职业人员的年受照剂量，实际年受照剂量低于本次评价的估算值。

根据表11-4可知，后装机正常运行所致本项目辐射工作人员（北侧控制室）附加剂量最大为 $8.25 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，其他辐射工作人员（楼上阅片室、主任办公室）年附加剂量最大为 $5.84 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。根据表1-7，叠加近一年度本项目辐射工作人员最大个人剂量当量值0.29mSv后，本项目辐射工作人员所受最大辐射剂量约0.37mSv/a。

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（本项目配备3名医师，轮岗摆位）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。辐射工作人员为患者摆位（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。

本项目的后装机型号暂未确定，市场上流通的后装机销售厂家无法提供后装机所含放射源的剂量分布图。经调查，后装治疗机厂家在设计后装机屏蔽体时，一般在满足《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 $5\mu\text{Sv/h}$ ”要求的屏蔽厚度基础上，再增加10%的屏蔽厚度。但因各厂家屏蔽体厚度存在差异，故无法明确贮源器表面100cm处的泄漏辐射所致周围剂量当量率。

参考同类型放射源的后装机环保验收阶段性能检测报告，贮源器表面100cm处泄漏辐射所致周围剂量当量率检测值一般处于 $0.16\text{--}0.38\mu\text{Sv/h}$ 之间。

为保守起见，本次评价以该泄漏辐射的剂量率限值 $5\mu\text{Sv/h}$ 作为辐射工作人员摆位处的最大辐射剂量率进行计算，如下表。

表11-5 辐射工作人员全年摆位累计受照剂量计算表

贮源器表面 100cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率	每名患者摆位时间	年治疗患者人数	年累计受照时间	年累计受照剂量
$5\mu\text{Sv/h}$	2min	2500 人	83.3h	0.417mSv

则辐射工作人员全年摆位累计受照剂量为 0.417mSv ，因全年摆位工作由3名辐射工作人员轮流承担，故平均每人在摆位过程所受的剂量为 0.139mSv 。

综上所述，后装辐射工作人员个人年效剂量约为 $0.37\text{mSv/a}+0.139\text{mSv/a}=0.509\text{mSv/a}$ ，公众有效剂量约为 $5.06\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ 。

11.2.1.5 叠加影响分析

本项目后装机房和大孔径CT机房相邻且共用一间控制室，后装机房防护门外的准备间、控制室、北侧计划室1和楼上办公室、候诊区可能同时受后装机和大孔径CT的辐射影响。

负责摆位和操作后装机的医师除本项目所致有效剂量 0.509mSv/a 之外，当经过准备间和后装机房迷路时可能受到大孔径CT的辐射影响；物理师在计划室1内可能同时

受到后装机和大孔径CT的辐射影响。

由于患者在接受后装治疗前，需在大孔径CT机房对病灶进行定位，因此大孔径CT的年工作量有所增加。根据医院提供的资料，放疗科年接诊患者人数约450人，本项目每年接受后装治疗的患者人数不超过2500人，CT扫描一次的时间按10s计算，则大孔径CT年运行时间约为29500s，即8.2h。工作人员在控制室和大孔径CT机房内均可能受到后装的辐射影响，因此大孔径CT的辐射工作人员年有效剂量应将本项目开展前的年有效剂量与后装机运行所致的年有效剂量叠加。

后装机房和大孔径CT机房楼上包括主任办公室、阅片室和值班室（其他辐射工作人员），以及走廊、大厅（公众），因此楼上的其他辐射工作人员和公众年有效剂量应考虑叠加影响。

叠加影响的具体分析如下：

(1) 周围剂量当量率叠加影响

a) 后装机房控制室

根据医院2023年12月27日的《放射工作场所辐射防护检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-012023038），大孔径CT机房操作位的周围剂量当量率为 $0.150\mu\text{Sv/h}$ ，扣除最低本底值 $0.132\mu\text{Sv/h}$ 后为 $0.018\mu\text{Sv/h}$ 。

根据表11-3，后装机房控制室的周围剂量当量率约 $0.33\mu\text{Sv/h}$ 。叠加后，控制室的周围剂量当量率约 $0.018\mu\text{Sv/h}+0.33\mu\text{Sv/h}=0.348\mu\text{Sv/h}$ 。

b) 后装机房防护门外准备间

根据医院2023年12月27日的《放射工作场所辐射防护检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-012023038），大孔径CT机房南墙外（走廊）周围剂量当量率为 $0.150\mu\text{Sv/h}$ ，扣除最低本底值 $0.132\mu\text{Sv/h}$ 后为 $0.018\mu\text{Sv/h}$ 。

经计算，后装机房防护门外关注点f处的周围剂量当量率为 $0.33\mu\text{Sv/h}$ 。叠加后，后装机房防护门外的周围剂量当量率约 $0.018\mu\text{Sv/h}+0.33\mu\text{Sv/h}=0.348\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 后装机房北侧计划室1

根据医院2023年12月27日的《放射工作场所辐射防护检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-012023038），大孔径CT机房西侧计划室1的最高周围剂量当量率为 $0.152\mu\text{Sv/h}$ ，扣除最低本底值 $0.132\mu\text{Sv/h}$ 后为 $0.020\mu\text{Sv/h}$ 。

根据表11-3，计划室1（关注点d）处的周围剂量当量率为 $4.03\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ 。经过

叠加，计划室1的周围剂量当量率约 $0.020\mu\text{Sv/h}+4.03\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}=0.024\mu\text{Sv/h}$ 。

d) 后装机房楼上

根据医院2023年12月27日的《放射工作场所辐射防护检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-012023038），大孔径CT机房楼上大厅的周围剂量当量率为 $0.148\mu\text{Sv/h}$ ，扣除最低本底值 $0.132\mu\text{Sv/h}$ 后为 $0.016\mu\text{Sv/h}$ 。

根据表11-3，后装机房楼上关注点i处的周围剂量当量率为 $0.23\mu\text{Sv/h}$ 。经过叠加，后装机房楼上的周围剂量当量率约 $0.016\mu\text{Sv/h}+0.23\mu\text{Sv/h}=0.246\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目后装机房防护门外准备间、北侧计划室1和楼上周围剂量当量率的叠加影响情况见表11-6。

表 11-6 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
控制室	后装机	0.33	0.348	2.5	合格
	大孔径CT	0.018			
准备间	后装机	0.33	0.348	2.5	合格
	大孔径CT	0.018			
计划室1	后装机	4.03×10^{-3}	0.024	2.5	合格
	大孔径CT	0.020			
楼上	后装机	0.23	0.246	2.5	合格
	大孔径CT	0.016			

注：①表中数据来自表 11-3 和年度防护检测报告。

②GBZ121-2020 和 GBZ130-2020 的剂量率限值要求不同时，取更低的值作为限值。

根据表11-6，本项目后装机房防护门外准备间、北侧计划室1和楼上的周围剂量当量率与大孔径CT机房的周围剂量当量率叠加后，均能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)中6.3.1.1b)条“人员居留因子 $T>1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max}\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $T\leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max}\leq 10\mu\text{Sv/h}$ ”的要求和《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中6.3.1b)条“CT机……机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

(2) 人员年剂量叠加影响

a) 后装辐射工作人员

大孔径CT机房南墙外周围剂量当量率为 $0.150\mu\text{Sv/h}$ ，西墙外计划室的周围剂量当量率为 $0.152\mu\text{Sv/h}$ ，扣除最低本底值 $0.132\mu\text{Sv/h}$ 后分别为 $0.018\mu\text{Sv/h}$ 、 $0.020\mu\text{Sv/h}$ （报告编号：FHJC-SXGK-012023038）。

表11-7 大孔径CT运行所致后装辐射工作人员年累计受照剂量情况

关注点位置	周围剂量当量率（已扣除本底 0.132μSv/h）	大孔径 CT 年运行时间	居留因子	年累计受照剂量
大孔径 CT 机房南墙外（准备间和后装机房迷路）	0.018μSv/h	8.2h	1/5	2.95×10 ⁻⁵ mSv
大孔径 CT 机房西墙外（计划室 1）	0.020μSv/h	8.2h	1	1.64×10 ⁻⁴ mSv

则后装辐射工作人员（医师）经过准备间和后装机房迷路时，大孔径CT运行所致工作人员受照剂量约2.95×10⁻⁵mSv/a；计划室1内辐射工作人员（本项目物理师）受到大孔径CT照射的有效剂量约1.64×10⁻⁴mSv/a。

根据表11-4和P90页的计算结果，经叠加，后装辐射工作人员（医师）有效剂量约为2.95×10⁻⁵mSv/a+0.509mSv/a=0.509mSv/a。计划室1内辐射工作人员（本项目物理师）有效剂量约为1.64×10⁻⁴mSv/a+2.21×10⁻⁴mSv/a=3.85×10⁻⁴mSv/a。

b) 大孔径CT辐射工作人员

大孔径CT操作位的周围剂量当量率为0.150μSv/h，扣除最低本底值0.132μSv/h后为0.018μSv/h（报告编号：FHJC-SXGK-012023038）。

表11-8 后装运行所致大孔径CT辐射工作人员年累计受照剂量情况

关注点位置	周围剂量当量率（已扣除本底 0.132μSv/h）	大孔径 CT 年运行时间	居留因子	年累计受照剂量
大孔径 CT 操作位（控制室）	0.018μSv/h	8.2h	1	1.48×10 ⁻⁴ mSv

因此，大孔径CT辐射工作人员在控制室内的受照剂量约1.48×10⁻⁴mSv/a。

根据表11-4，后装机运行所致大孔径CT机房内的辐射工作人员所受有效剂量约5.03×10⁻⁴mSv/a，控制室内的辐射工作人员所受有效剂量约8.25×10⁻²mSv/a。后装机辐射工作人员不操作大孔径CT。

叠加后，大孔径CT辐射工作人员所受有效剂量约为：

$$1.48 \times 10^{-4} \text{mSv/a} + 5.03 \times 10^{-4} \text{mSv/a} + 8.25 \times 10^{-2} \text{mSv/a} = 8.32 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$$

c) 楼上主任办公室其他辐射工作人员

由表11-4可知，本项目后装机正常运行所致楼上其他辐射工作人员所受年附加剂量约为5.84×10⁻²mSv/a。经与医院核实，后装机房楼上其他辐射工作人员近一年度最大个人剂量当量值为0.12mSv（计算过程详见表11-6）。

表11-9 后装机房楼上其他辐射工作人员个人剂量汇总表

序号	编号	各佩戴周期个人剂量当量(mSv)H _p (10)				年个人剂量当量(mSv)H _p (10)
		2023.7.1起 3个月	2023.10.1起 3个月	2024.1.1起 3个月	2024.4.1起 3个月	
1	0001074 2D0072 ^注	0.03	0.03	0.04	0.02	0.12

注：编号取自附件 8 辐射工作人员个人剂量检测报告。

大孔径CT机房楼上的周围剂量当量率为0.148μSv/h，扣除最低本底值0.132μSv/h后为0.016μSv/h（报告编号：FHJC-SXGK-012023038）。医院每年接受后装治疗的患者人数不超过2500人，CT扫描一次的时间按10s计算，则每年后装治疗前使用大孔径CT定位的时间约为25000s，即6.9h。

表11-10 大孔径CT运行所致楼上辐射工作人员年累计受照剂量情况

关注点位置	周围剂量当量率(已扣除本底 0.132μSv/h)	每年后装治疗前使用大孔径CT定位的时间	居留因子	年累计受照剂量
楼上主任办公室	0.016μSv/h	6.9h	1	1.10×10 ⁻⁴ mSv

则楼上其他辐射工作人员所受的有效剂量约 1.10×10⁻⁴mSv/a，经过叠加，主任办公室内其他辐射工作人员所受有效剂量约为：

$$5.84 \times 10^{-2} \text{mSv/a} + 0.12 + 1.10 \times 10^{-4} \text{mSv/a} = 0.18 \text{mSv/a}$$

d) 楼上大厅的公众

由表11-4可知，本项目后装机正常运行所致楼上公众所受年附加剂量约为1.17×10⁻²mSv/a。

大孔径CT机房屋顶的周围剂量当量率最大为0.148μSv/h，扣除最低本底值0.132μSv/h后为0.016μSv/h（报告编号：FHJC-SXGK-012023038）。

表11-11 大孔径CT运行所致楼上公众年累计受照剂量情况

关注点位置	周围剂量当量率(已扣除本底 0.132μSv/h)	大孔径CT年运行时间	居留因子	年累计受照剂量
楼上大厅	0.016μSv/h	8.2h	1/5	2.62×10 ⁻⁵ mSv

则大孔径CT运行所致楼上大厅的公众所受有效剂量约2.62×10⁻⁵mSv/a，经叠加，大厅公众所受有效剂量约为1.17×10⁻²mSv/a+2.62×10⁻⁵mSv/a=1.17×10⁻²mSv/a。

本项目后装辐射工作人员（医师和物理师）、大孔径CT辐射工作人员、楼上主

任办公室辐射工作人员和大厅公众的年剂量叠加影响情况见表11-12。

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
后装机辐射 工作人员	准备间和 后装机房 迷路	后装机	0.509	0.509	5.0	合格
		大孔径 CT	2.95×10^{-5}			
	计划室 1	后装机	2.21×10^{-4}	3.85×10^{-4}	5.0	合格
		大孔径 CT	1.64×10^{-4}			
大孔径 CT 辐 射工作人员	控制室	后装机	8.25×10^{-2}	8.32×10^{-2}	5.0	合格
		大孔径 CT	1.48×10^{-4}			
	大孔径 CT 机房内	后装机	5.03×10^{-4}			
楼上其他辐 射工作人员	楼上	后装机	5.84×10^{-2}	0.18	5.0	合格
		大孔径 CT	1.10×10^{-4}			
		其他辐射影响	0.12			
公众	楼上	后装机	1.17×10^{-2}	1.17×10^{-2}	0.1	合格
		大孔径 CT	2.62×10^{-5}			

注：表中数据来自表 11-4、年度防护检测报告和个人剂量检测报告。

根据表11-4和表11-12，后装机运行时本项目辐射工作人员受到的有效剂量约0.509mSv/a，叠加大孔径CT辐射影响后有效剂量约为0.509mSv/a；公众受到的有效剂量最大值约 5.06×10^{-2} mSv/a。考虑叠加影响后，本项目外的其他辐射工作人员所受有效剂量最大值约0.18mSv/a。因此，本项目辐射工作人员和公众的年附加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）相关要求。

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较远，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，其他环境保护目标处受照射剂量均低于0.1mSv/a。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。

11.2.1.6 更换放射源过程中的环境影响

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。放射源更换应进行转让审批，转让活动结束后20日内进行备案，由厂家安排换源及换源后的整机调试。贮源容器供运输和使用时贮存放射源，更换放射

源时，厂家使用新的贮源容器运输放射源至医院后装治疗机房内，进行更换，更换下来的废放射源运输至设备厂家进行回收处置。

更换放射源全程由厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成，期间医院需进行配合，主要工作有：按照医院院内运输、装源方案设置警戒区，提供现场电源、安保工作等，装源现场在后装机房内进行，医院工作人员不直接参与放射源的更换操作，仅监督辅助厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作，因此，更换放射源时对控制室内人员及机房周围的辐射环境影响较小。

11.2.1.7 废气环境影响

后装机正常使用过程中，无放射性废气产生。

后装机工作时， γ 射线与空气中的氮和氧作用，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。

后装机房内拟设置设置排风口2个（300mm×200mm），分别位于机房东墙南侧和迷路内墙处（距地面0.3m）。根据医院提供的设计资料，后装机房面积22.19m²（不含迷路），机房净高3.1m，机房容积约68.79m³，排风机风量约500m³/h，通风次数约7.3次/h，满足标准中通风次数不少于4次/h的要求。后装机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体由排风管道从防护门上方穿墙而过，与大孔径CT机房的排风管道合并后向北引至排风井，废气最终经排风管道向上升高至住院楼裙房五层楼顶排放，排气口高出所在建筑屋脊，且周围无门、窗或人流较大的过道。

11.2.1.8 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。

本项目后装辐射工作人员均为医院现有人员，无新增生活垃圾产生，对环境影响较小。

11.2.1.9 废水环境影响

本项目后装辐射工作人员均为医院现有人员，无新增生活污水产生，对环境影响较小。

11.2.2 核医学科

11.2.2.1 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环境影响主要为 PET-CT 和

SPECT-CT 中 CT 部分在出束时产生的 X 射线，放射性核素 (^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$) 在使用过程中产生的 γ 射线、 β 射线、放射性废水、放射性废气和放射性固废等。

11.2.2.1.1 核医学科墙体屏蔽防护效能核算

(1) 计算公式

① 依据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 I.2, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断、PET 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：

$$d = TVL \cdot \lg\left(\frac{A \cdot \Gamma}{H_p \cdot R^2}\right) \quad (11-14)$$

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：

$$H_R = A \times \Gamma \times R^{-2} \times 10^{-\frac{x}{TVL}} \quad (11-15)$$

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) 中工作场所屏蔽要求，本评价报告中工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；手套箱、分装柜、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 μ Sv/h；手套箱、分装柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25 μ 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 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，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。

根据医院计划，PET-CT每天最多检查20人次，每人最大药物注射量10mCi，上午时段送10人药量，分5批注射，每批注射2人，依次注射，下午重复上述过程，因此计算时分装按10人考虑，其余按1人考虑。

SPECT-CT每天最多检查20人次，每人最大药物注射量30mCi，上午时段送10人药量，分2批注射，每批注射5人，依次注射，下午重复上述过程，因此计算时分装按10人考虑，注射后等待室按5人考虑，其余按1人考虑。

表 11-14 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 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	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 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (mm)		
			混凝土 (2.35g/cm ³)	砖 (1.65g/cm ³)	铅 (11.3g/cm ³)
^{18}F	0.1430	0.0920	176	263	16.6
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	110	160	1

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

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I表I.1中砖的密度约1.65g/cm³，本项目实心水泥砖密度约1.7g/cm³，因此实心水泥砖屏蔽 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的十分之一值层厚度可参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

本项目屏蔽材料等效铅当量折算过程如下：

表 11-15 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	200mm实心水泥砖体墙	$200 \div 263 \times 16.6 = 12.6$	12.6mmPb
	120mm混凝土	$120 \div 176 \times 16.6 = 11.3$	11.3mmPb
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	200mm实心水泥砖体墙	$200 \div 160 \times 1 = 1.2$	1.2mmPb
	120mm混凝土	$120 \div 110 \times 1 = 1.1$	1.1mmPb

②距离取值说明

对于PET工作场所，分装质控室、抢救室兼运动负荷以房间的几何中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值；PET-CT显像诊断患者在卫生间内停留时间与在PET注射后等待室和PET留观室内停留时间相比很短，因此以PET注射后等待室和PET留观室考虑卫生间空间后的几何中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值；对于PET-CT机房，以机房的几何中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值。

对于SPECT工作场所，分装质控室、抢救室兼运动负荷以房间的几何中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值；SPECT-CT显像诊断患者在卫生间内停留时间与在SPECT注射后等待室内停留时间相比很短，因此以SPECT注射后等待室考虑卫生间空间后的几何中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值；对于SPECT-CT机房，以机房的几何中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值。

控制区各工作场所屏蔽效能核算结果见表11-16。

表 11-16 PET-CT、SPECT-CT 显像检查各场所屏蔽估算结果

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	设计值	设计厚度下墙体 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)	东墙	4.75	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	0.162	符合
			南墙	4.40	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	0.188	符合
			西墙	4.75	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	0.162	符合
			北墙	4.10	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	0.217	符合
			楼上(院史展览馆)	4.80	2.5	120mm混凝土+3.3mmPb防护涂料	0.195	符合
			观察窗	4.75	2.5	5mmPb	0.754	符合
			工作人员防护门	5.58	2.5	5mmPb	0.546	符合
			受检者防护门	5.23	2.5	5mmPb	0.622	符合
分装质控室 (^{18}F 考虑一 批2人,注射1 人)	370 (^{18}F)	0.143 (裸源)	东墙	3.0	10	200mm实心砖墙+2mmPb防护涂料 +10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.194	符合
			西墙	3.0	2.5	200mm实心砖墙+2mmPb防护涂料 +10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.194	符合
			南墙	2.0	10	200mm实心砖墙+2mmPb防护涂料 +10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.436	符合
			北墙(室外道路)	4.0	2.5	200mm实心砖墙+2mmPb防护涂料 +10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.109	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+2.5mmPb防护涂料 +10mmPb钨合金注射屏蔽套	8.46×10^{-2}	符合
			注射窗东侧防护门	2.8	10	7mmPb+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.638	符合
			西侧更衣室门	3.2	2.5	8mmPb+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.426	符合
	370 (^{18}F)	0.143 (裸源)	注射窗	0.5	2.5	32mmPb+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.624	符合
分装质控室 (^{18}F 考虑手)	3330 (^{18}F)	0.143 (裸源)	东墙	1.0	10	32mmPb手套箱侧面+200mm实心砖墙+ 2mmPb防护涂料	7.42×10^{-2}	符合

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	设计值	设计厚度下墙体 体外瞬时剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 符合
套箱内9人)			西墙	5.0	2.5	32mmPb手套箱侧面+200mm实心砖墙 +2mmPb防护涂料	2.97×10^{-3}	符合
			南墙	2.0	10	32mmPb手套箱侧面+200mm实心砖墙 +2mmPb防护涂料	1.86×10^{-2}	符合
			北墙 (室外道路)	4.0	2.5	32mmPb手套箱侧面+200mm实心砖墙 +2mmPb防护涂料	4.64×10^{-3}	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	32mmPb手套箱侧面+120mm混凝土 +2.5mmPb防护涂料	3.60×10^{-3}	符合
			注射窗东侧防护门	2.5	10	32mmPb手套箱侧面+7mmPb	3.41×10^{-2}	符合
			西侧更衣室门	5.0	2.5	32mmPb手套箱侧面+8mmPb	7.42×10^{-3}	符合
			注射窗	3.0	2.5	32mmPb手套箱侧面+32mmPb	7.38×10^{-4}	符合
手套箱 (^{18}F 考 虑10人)	手套箱: 3700 (^{18}F)	0.143 (裸源)	手套箱工作面	0.5	2.5	50mmPb	2.058	符合
PET注射后等 待室 (考虑1 人)	370 (^{18}F)	0.092 (人体源)	北墙	2.9	2.5	(200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料) + (200mm实心砖墙1.2mmPb防护涂料)	8.80×10^{-2}	符合
			南墙	2.9	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	0.597	符合
			东墙、西墙	1.7	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	1.737	符合
			防护门	2.9	10	2.5mmPb	2.861	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+2mmPb防护涂料	0.234	符合
PET留观室 (考虑1人)	370 (^{18}F)	0.092 (人体源)	北墙	2.9	2.5	(200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料) + (200mm实心砖墙+1.5mmPb防护涂料)	8.44×10^{-2}	符合
			南墙	2.9	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	0.597	符合
			东墙、西墙	1.7	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	1.737	符合
			防护门	2.9	10	2.5mmPb	2.861	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+2mmPb防护涂料	0.234	符合
抢救室兼运动	370 (^{18}F)	0.092	东墙	1.9	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	1.390	符合

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	设计值	设计厚度下墙体外瞬时剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	是否符合
负荷 (考虑1人)		(人体源)	南墙	3.3	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	0.461	符合
			西墙	1.9	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	1.390	符合
			北墙	3.3	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	0.461	符合
			人员进出门 (北)	3.4	10	3mmPb	1.942	符合
			人员进出门 (南)	3.4	2.5	3mmPb	1.942	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+2.5mmPb防护涂料	0.218	符合
SPECT工作场所								
SPECT-CT机房 (考虑1人)	1110 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	0.0207 (人体源)	东墙	4.4	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	2.37×10^{-5}	符合
			南墙	3.3	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	4.21×10^{-5}	符合
			西墙	4.4	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	2.37×10^{-5}	符合
			北墙	3.3	2.5	200mm实心砖墙+3.5mmPb防护涂料	4.21×10^{-5}	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+3.3mmPb防护涂料	3.97×10^{-5}	符合
			观察窗	4.4	2.5	5mmPb	1.19×10^{-5}	符合
			工作人员防护门	4.88	2.5	5mmPb	9.65×10^{-6}	符合
			受检者防护门	3.82	2.5	5mmPb	1.57×10^{-5}	符合
SPECT注射后等待室 (考虑5人)	5550 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	0.0207 (人体源)	北墙 (卫生间)	1.0	10	200mm实心砖墙+1.5mmPb防护涂料	0.229	符合
			北墙 (室外道路)	2.9	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	5.44×10^{-2}	符合
			西墙	3.0	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	5.08×10^{-2}	符合
			东墙	3.0	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	2.55×10^{-2}	符合
			南墙	2.9	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	5.44×10^{-2}	符合
			人员进出门	3.1	10	2.5mmPb	3.78×10^{-2}	符合
			卫生间门	1.2	10	1.5mmPb	2.523	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+2mmPb防护涂料	3.96×10^{-3}	符合
注射后等待室	1110	0.0207	南墙	1.4	10	200mm实心砖墙+1.5mmPb防护涂料	2.34×10^{-2}	符合

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	设计值	设计厚度下墙体 体外瞬时剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 符合
内卫生间 (考 虑1人)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	(人体源)	北墙	1.4	2.5	200mm实心砖墙+1.5mmPb防护涂料	4.67×10^{-2}	符合
			西墙	1.6	2.5	200mm实心砖墙+1.5mmPb防护涂料	1.79×10^{-2}	符合
			东墙	1.6	10	200mm实心砖墙+1.5mmPb防护涂料	3.57×10^{-2}	符合
			卫生间门	1.5	10	1.5mmPb	0.323	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+2mmPb防护涂料	7.92×10^{-4}	符合
抢救室兼运动 负荷 (考虑1 人)	1110 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0207 (人体源)	东墙	1.9	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	2.53×10^{-2}	符合
			南墙	3.3	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	8.40×10^{-3}	符合
			西墙	1.9	2.5	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	2.53×10^{-2}	符合
			北墙	3.3	10	200mm实心砖墙+1.2mmPb防护涂料	8.40×10^{-3}	符合
			人员进出门(北)	3.4	10	3mmPb	1.99×10^{-3}	符合
			人员进出门(南)	3.4	2.5	3mmPb	1.99×10^{-3}	符合
			楼上(院史展览馆)	4.8	2.5	120mm混凝土+2.5mmPb防护涂料	2.51×10^{-4}	符合
<p>注：①计算时机房选取四面屏蔽体外表面 30cm 作为关注点，核医学科正下方为土层。 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，^{18}F 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。$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不考虑分装，当药物由储源室转运至手套箱（正面 50mmPb，其他面 32mmPb）暂存时屏蔽体外瞬时剂量率约 6.73×10^{-48}，可忽略不计；通过 32mmPb 注射窗注射时，屏蔽体外瞬时剂量率约 1.35×10^{-35}，可忽略不计。 ④2间PET注射后等待室布局相同，此处不重复计算；北墙的屏蔽防护考虑等待室外墙和卫生间南墙叠加；由于^{18}F一批注射2人，依次进行PET-CT扫描，因此PET注射后等待室和PET留观室内只有1名患者，计算时不考虑PET注射后等待室内卫生间的防护。 ⑤各核算位置周围剂量当量率控制目标值根据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进行选取。</p>								

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11-21。

根据上表及后文表11-15计算结果可知，核医学科各工作场所的墙体、防护门、观察窗、地板及顶棚设计厚度均满足理论估算出的厚度，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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准限值，满足辐射防护要求。

11.2.2.1.2 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（6.8m×8.5m）和SPECT-CT机房（5.2m×7.8m）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11-17。

表 11-17 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	57.80m ²	≥30m ² （按 CT 评价）	符合
	最小单边长	6.8m	≥4.5m（按 CT 评价）	符合
SPECT-CT 机房	使用面积	40.56m ²	≥30m ² （按 CT 评价）	符合
	最小单边长	5.2m	≥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 11-11 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

本项目拟配置PET-CT、SPECT-CT最大管电压为140kV，本项目PET-CT、SPECT-CT机房分别由预留的CT机房和DR机房改造而成，2间机房的X射线防护屏蔽措施符合性分析见表11-18。

表 11-18 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	200mm 实心水泥砖体墙 +3.5mmPb 防护涂料	5.14mmPb	≥2.5mmPb	符合
	屋顶	120mm 混凝土 +3.3mmPb 防护涂料	4.55mmPb	≥2.5mmPb	符合
	观察窗	5mmPb	5mmPb	≥2.5mmPb	符合
	受检者门	5mmPb	5mmPb	≥2.5mmPb	符合

	工作人员门	5mmPb	5mmPb	≥2.5mmPb	符合
SPECT-CT 机房 (按 CT 部 分评价)	四周墙体	200mm 实心水泥砖体墙 +3.5mmPb 防护涂料	5.14mmPb	≥2.5mmPb	符合
	屋顶	120mm 混凝土 +3.3mmPb 防护涂料	4.55mmPb	≥2.5mmPb	符合
	观察窗	5mmPb	5mmPb	≥2.5mmPb	符合
	受检者门	5mmPb	5mmPb	≥2.5mmPb	符合
	工作人员门	5mmPb	5mmPb	≥2.5mmPb	符合

注：①根据《辐射防护手册 第三分册》第 63 页表 3.4，在管电压 150kV 条件下，130mm 砖（1.6g/cm³）相当于 1mm 铅当量，240mm 砖（1.6g/cm³）相当于 2mm 铅当量。因此本项目管电压 140kV 下，200mm 实心水泥砖体墙（1.7g/cm³）保守取 1.64mmPb。

②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，120mm混凝土等效铅当量约为1.25mmPb。

根据表11-19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。

11.2.2.1.3 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663mA；SPECT-CT设备中CT部分最大管电压140kV、最大管电流800mA。

根据飞利浦厂家140kV工况下CT周围的剂量分布曲线，1m处的杂散辐射为0.052 μ Gy/mAs（垂直）和0.051 μ Gy/mAs（水平），从保守角度，PET-CT扫描取663mA，1m处的杂散辐射剂量率最高约124.11mGy/h；SPECT-CT扫描取800mA，1m处的杂散辐射剂量率最高约149.76mGy/h。其他型号设备的CT散射辐射水平也在相同量级。

根据表11-12核算的PET-CT机房、SPECT-CT机房屏蔽体的等效铅厚度以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C计算得透射因子B，最终计算得出本项目PET-CT和SPECT-CT机房屏蔽体外表面30cm处的剂量见下表11-19所示。

表 11-19 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	距离 (m)	透射因子 B	CT 辐射剂量率 (μ Sv/h)	患者辐射剂量率 (μ Sv/h)	患者辐射叠加 CT 辐射剂量率 (μ Sv/h)
PET-CT 机房	东墙	4.75	1.42 \times 10 ⁻⁶	7.79 \times 10 ⁻³	0.162	0.170
	南墙	4.40		9.08 \times 10 ⁻³	0.188	0.197

机房名称	屏蔽防护体名称	距离 (m)	透射因子 B	CT 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	患者辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	患者辐射叠加 CT 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
	西墙	4.75		7.79×10^{-3}	0.162	0.170
	北墙	4.10		1.05×10^{-2}	0.217	0.228
	屋顶	4.80	4.77×10^{-6}	2.57×10^{-2}	0.195	0.218
	观察窗	4.75	1.89×10^{-6}	1.04×10^{-2}	0.754	0.764
	工作人员防护门	5.58	1.89×10^{-6}	7.52×10^{-3}	0.546	0.554
	受检者防护门	5.23	1.89×10^{-6}	8.56×10^{-3}	0.622	0.631
SPECT-CT 机房	东墙	4.40	1.42×10^{-6}	1.10×10^{-2}	2.37×10^{-5}	1.10×10^{-2}
	南墙	3.30		1.95×10^{-2}	4.21×10^{-5}	1.95×10^{-2}
	西墙	4.40		1.10×10^{-2}	2.37×10^{-5}	1.10×10^{-2}
	北墙	3.30		1.95×10^{-2}	4.21×10^{-5}	1.95×10^{-2}
	屋顶	4.80	4.77×10^{-6}	3.10×10^{-2}	3.97×10^{-5}	3.10×10^{-2}
	观察窗	4.40	1.89×10^{-6}	1.46×10^{-2}	1.19×10^{-5}	1.46×10^{-2}
	工作人员防护门	4.88	1.89×10^{-6}	1.19×10^{-2}	9.65×10^{-5}	1.19×10^{-2}
受检者防护门	3.82	1.89×10^{-6}	1.94×10^{-2}	1.57×10^{-5}	1.94×10^{-2}	

由表 11-19 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。

11.2.2.1.4 剂量估算

(1) 人员受到的附加年有效剂量可由下式计算得到：

$$H_E = H_R \times T \times t \times 10^{-3} \quad (11-16)$$

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。

(2) 估算结果

1) PET 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、注射、

摆位、扫描4个过程，因此可通过这4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¹⁸F药物用量为370MBq，每天检查20人次，年工作250天，年治疗病人5000人次。

分装：医院核医学科¹⁸F药物采用预约方式，由供药单位将分装好的药物针剂置于铅罐内送至医院内，在手套箱内进行¹⁸F的分装。年诊疗患者5000人次，每次药物分装时间为1min，年分装时间累积83.3h，手套箱处的剂量率按2.058μSv/h（表11-10），则分装过程所致工作人员年有效剂量为171.43μSv/a。

注射：工作人员为患者进行¹⁸F药物注射时，工作人员在一体化注射窗（32mm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0.624μSv/h，每次给患者注射药物时间按20s计，年工作时间为27.8h计，则注射¹⁸F药物所致工作人员年有效剂量为1.73×10⁻²mSv/a。

摆位：患者注射¹⁸F后，在候诊室进行候诊后，进入PET-CT显像检查室进行检查。工作人员需指导患者进行摆位时与患者距离约1m，患者注射370MBq的¹⁸F药物1m处的剂量率约为34.040μSv/h，每个病人摆位按30s计，PET-CT按照每天20人计算，全年累积时间41.7h，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，全年检查病人5000人次。每人每次PET扫描时间约15min，全年累积扫描时间1250h，工作人员操作处剂量率按患者注射药物后所致剂量率0.754μSv/h进行计算（见表11-10），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0.764μSv/h（见表11-13），CT部分扫描时间每人每次20s，全年累积CT扫描时间27.8h。

综上，PET显像检查所致工作人员年附加有效剂量见表11-20。

表 11-20 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 (μSv/h)	全年累积工作 时间 (h)	年有效剂量(mSv)	
PET 场所	分装	2.058	83.3	0.17	0.19
	PET注射	0.624	27.8	1.73×10 ⁻²	
	摆位	34.040	41.7	1.42	
	PET扫描	0.754	1250	0.94	
	CT扫描	0.764	27.8	2.12×10 ⁻²	

由上表计算结果可知，本项目负责PET分装、注射的工作人员所受职业照射的年有效剂量约0.19mSv。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）。

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，该药物不在医院自行分装，因此SPECT-CT显像检查过程大致可分为药物注射、摆位、扫描3个过程。根据医院提供的资料，单名患者^{99m}Tc药物用量为1110MBq，每天检查20人次，年工作250天，年治疗病人5000人次。

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（32mm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 $1.35 \times 10^{-30} \mu\text{Sv/h}$ ，每次给患者注射药物时间按20s计，年工作时间按27.8h计，则注射^{99m}Tc药物所致工作人员年有效剂量为 $3.75 \times 10^{-32} \text{mSv/a}$ 。

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，工作人员需指导患者进行摆位时与患者距离约1m，患者注射1110MBq的^{99m}Tc药物1m处的剂量率约为 $22.977 \mu\text{Sv/h}$ ，每个病人摆位按30s计，全年累积时间41.7h，摆位过程所致工作人员年有效剂量为 0.958mSv/a 。

扫描：SPECT-CT分为SPECT部分扫描和CT部分扫描，全年检查病人5000人次。每人次SPECT扫描时间约15min，全年累积时间1250h，工作人员操作处剂量率按服药患者所致剂量率 $2.37 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ 进行计算（见表11-10）；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 $1.46 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ （见表11-13），扫描时间每人次20s，全年累计时间27.8h。

综上，SPECT-CT显像检查所致工作人员年附加有效剂量见表11-21。

表 11-21 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)	年有效剂量 (mSv)
SPECT 场所	摆位	22.977	41.7	0.96
	SPECT扫描	2.37×10^{-5}	1250	2.96×10^{-5}
	CT扫描	1.46×10^{-2}	27.8	4.06×10^{-4}

根据表11-16注③，通过32mmPb注射窗注射^{99m}Tc时，屏蔽体外瞬时剂量率可忽略。

因此，分装质控室内负责SPECT注射的工作人员所受年有效剂量低于《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）。

本项目4名影像工作人员需轮流为患者摆位，因此影像工作人员所受年有效剂量约 $(1.42+0.94+2.12 \times 10^{-2}+0.96+2.96 \times 10^{-5}+4.06 \times 10^{-4})/4=3.34/4=0.84\text{mSv}$ ，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）。

3) 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11-22所示，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 $2.92 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$ 。

表 11-22 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	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	北侧	楼梯间	0.217	1250h (含摆位)	1.05×10^{-2}	扫描时间 20s/ 人次, 全年 27.8h	1/20	1.36×10^{-2}
	东侧	室外道路	0.162		7.79×10^{-3}		1/40	5.06×10^{-3}
	南侧	室外绿化	0.188		9.08×10^{-3}		1/40	5.90×10^{-3}
	楼上	院史展览馆	0.195		2.57×10^{-2}		1/20	1.22×10^{-2}
SPECT-CT 机房	南侧	工作人员走廊	4.21×10^{-5}	1250h (含摆位)	1.95×10^{-2}	扫描时间 20s/ 人次, 全年 27.8h	1/5	1.19×10^{-4}
	楼上	院史展览馆	3.97×10^{-5}		3.10×10^{-2}		1/20	4.55×10^{-5}
分装质控室 ^注	西侧	更衣室	$0.194 + 2.97 \times 10^{-3}$	^{18}F 分装 83.3h + 注射 27.8h = 111.1h	/	/	1/5	4.37×10^{-3}
	北侧	室外道路	$0.109 + 4.64 \times 10^{-3}$		/	/	1/40	3.16×10^{-4}
	楼上	院史展览馆	$8.46 \times 10^{-2} +$ 3.60×10^{-3}		/	/	1/20	4.90×10^{-4}
SPECT 注射后 等待室	北侧	室外道路	5.44×10^{-2}	考虑 5 人同时候诊, 候 诊时间按平均 30min 计, 则候诊时间为 5000 人/ 年 \div 5 人次 \times 30min/次 \div 60min/h = 500h	/	/	1/40	6.80×10^{-4}
	楼上	院史展览馆	3.96×10^{-3}		/	/	1/20	9.90×10^{-5}
PET 注射后等待室	北侧	室外道路	8.80×10^{-2}	考虑每间等待室 1 人候	/	/	1/40	5.50×10^{-3}

	楼上	院史展览馆	0.234	诊, 候诊时间按平均30min 计, 则候诊时间为 5000 人/年÷1 人/次× 30min/次÷ 60min/h=2500h	/	/	1/20	2.92×10⁻²
PET 留观室	北侧	室外道路	8.44×10 ⁻²	考虑 1 人留观, 留观时间按最长时间 5min 计, 则留观时间为 5000 人/年÷1 人/次×5min/次÷60min/h=416.7h	/	/	1/40	8.79×10 ⁻⁴
	楼上	院史展览馆	0.234		/	/	1/20	4.87×10 ⁻³
抢救室兼运动负荷	西侧	预约室	1.390	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	/	/	1	3.48×10 ⁻³
		阅片室	1.390		/	/	1	3.48×10 ⁻³
	楼上	院史展览馆	0.218		/	/	1/20	2.72×10 ⁻⁵
注: 分装质控室内的辐射源考虑手套箱外活度为 370MBq 的 ¹⁸ F 和手套箱内活度为 3330MBq 的 ¹⁸ F。								

11.2.2.1.5 叠加影响分析

考虑本项目核医学科北侧室外道路可能受到分装质控室、SPECT 注射后等待室、PET 注射后等待室和 PET 留观室中相邻 2 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 11-23 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
室外道路	分装质控室	$0.109+4.64\times 10^{-3}$	0.21	2.5	合格
	SPECT 注射后等待室	5.44×10^{-2}			
室外道路	SPECT 注射后等待室	5.44×10^{-2}	0.14	2.5	合格
	PET 注射后等待室(西)	8.80×10^{-2}			
室外道路	PET 注射后等待室(西)	8.80×10^{-2}	0.18	2.5	合格
	PET 注射后等待室(东)	8.80×10^{-2}			
室外道路	PET 注射后等待室(东)	8.80×10^{-2}	0.17	2.5	合格
	PET 留观室	8.44×10^{-2}			

注：表中数据来自表 11-16。

因此，本项目核医学科北侧室外道路的周围剂量当量率叠加后最大约 $0.21\mu\text{Sv/h}$ 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 11-24 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
室外道路	分装质控室	3.16×10^{-4}	9.96×10^{-4}	0.1	合格
	SPECT 注射后等待室	6.80×10^{-4}			
室外道路	SPECT 注射后等待室	6.80×10^{-4}	6.18×10^{-3}	0.1	合格
	PET 注射后等待室(西)	5.50×10^{-3}			
室外道路	PET 注射后等待室(西)	5.50×10^{-3}	1.10×10^{-2}	0.1	合格
	PET 注射后等待室(东)	5.50×10^{-3}			
室外道路	PET 注射后等待室(东)	5.50×10^{-3}	6.26×10^{-3}	0.1	合格
	PET 留观室	7.55×10^{-4}			

注：表中数据来自表 11-22。

根据表11-22和表11-24，不论是否考虑叠加影响，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均为 $2.92\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，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）。

50m范围内其他环境保护目标距辐射源的距离更远，间隔的墙体更多，因此上表中关注点处年有效剂量满足标准要求的情况下，50m范围内其他环境保护目标处的年有效剂量也满足标准要求。

11.2.2.2 核医学科 β 表面污染及废气、废水、固废环境影响分析

11.2.2.2.1 β 表面污染影响分析

本项目核医学科辐射工作人员按照正确的工作流程分装、注射放射性药物过程中一般不会发生放射性药物洒漏，因此正常情况下不会产生 β 表面污染。

11.2.2.2.2 废气影响分析

（1）放射性废气影响分析

本项目核医学科的2个手套箱均设计单独的通风系统并在密闭设备的顶壁安装活性炭作为过滤装置，分装质控室、储源室和放射性废物暂存间、核医学科其他区域根据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，各支管设止回装置，放射性废气在管道中经过滤净化后引至核医学科北侧淋浴间上方的排风井，最终引至传染病楼二层楼顶西侧排放。

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通风橱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“测量通风橱风速时应在正常操作状态，没有手孔的通风橱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。

（2）臭氧、氮氧化物影响分析

本项目核医学科正常运行期间会产生一定量的臭氧、氮氧化物等非放射性废气，该废气同放射性废气一起通过排风管道排至室外。

11.2.2.2.3 废水影响分析

（1）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，工作场所台面、地面的清洗，以及患者排泄物冲洗用水等。

项目拟在核医学科南侧新建一座埋地式衰变池，3个槽式衰变池内部长度均为3m、宽度均为3m、高度均为3m，每个槽体有效容积为24m³，采用200mm厚混凝土浇筑，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，第一个槽体前端设置1座容积约10m³的提升池与1座容积约15m³的化粪池，衰变池槽体与提升池、化粪池采用不锈钢现场焊接。

¹⁸F、^{99m}Tc半衰期均小于24h，因此放射性废水贮存时间须超过30天后可直接解控排放。本项目放射性废水经化粪池沉淀后首先进入提升池，废水经提升后由东向西按顺序逐个排入1-3号衰变池（3m×3m×2.67m，有效容积为24m³）。项目运行期产生废水量约为0.726m³/d，每个池体储存满需要33天，则排放时放射性废水最短衰变时间按2个池体计约为66天。故含¹⁸F、^{99m}Tc的放射废水在衰变池衰变后，衰变时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）暂存时间超过30天的要求。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城镇污水处理厂。

（2）非放射性废水影响分析

医院拟为核医学科新聘6名辐射工作人员，产生的生活污水依托医院污水处理站统一处理达标后排入市政管网。

11.2.2.2.3 固体废物影响分析

（1）放射性固体废物影响分析

医院年工作250天，核医学科每年产生放射性固废总量约560kg，30天大约产生放射性固废总量约18.7kg。医院拟将2个10mmPb，容积20L的铅污物桶放置于放射性

废物暂存间（有效使用面积 3.9m^2 ）内，用于暂存与放射性核素接触过的一次性注射器、棉签、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以及废气处理产生的废活性炭等放射性固废，30天后监测污物桶的辐射剂量率，低于清洁解控水平后方可转运。

项目拟在分装质控室、抢救室兼运动负荷、注射后等候室及卫生间、PET-CT机房、SPECT-CT机房内放置专用废物桶。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污物间放置衰变。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，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 $\leq 1\times 10^1\text{Bq}/\text{g}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度浓度 $\leq 1\times 10^2\text{Bq}/\text{g}$ ）时，可对废物清洁解控作为一般固废医疗废物处理。

放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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。

（2）非放射固体废物影响分析

医院拟为核医学科新招聘辐射工作人员，产生少量的生活垃圾分类收集后与医院其他生活垃圾一起交由市政环卫部门处理。

11.3 事故影响分析

11.3.1 风险识别及评价

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第449号）第四十条规定：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将

辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级

本项目开展前，医院已配备加速器、DSA、CT、DR等射线装置，可能发生的辐射事故等级最高为较大辐射事故。

后装机内拟使用1枚¹⁹²Ir放射源（最大装源活度为 3.7×10^{11} Bq，属Ⅲ类放射源）开展放射治疗工作，可能发生的辐射事故等级最高为较大辐射事故。

依据《关于发布放射源分类办法的公告》三、非密封源分类：乙级和丙级非密封源工作场所的安全管理参照Ⅱ、Ⅲ类放射源。经计算，本项目核医学科为乙级非密封源工作场所，事故时可能导致受照人员产生较严重的放射损伤，大剂量照射甚至导致人员死亡。因此，核医学科可能发生的辐射事故等级最高为重大辐射事故。

11.3.2 后装机事故影响

11.3.2.1 辐射事故

后装机运行过程中可能发生的辐射事故包括：

- (1) 外力撞击，导致放射源密封包壳破损，源活性物质泄漏对周围环境造成外照射。
- (2) 治疗过程中，出现门机（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。
- (3) 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，对防护门外活动人员造成外照射。
- (4) 放射源源位置异常、卡源等，造成工作人员或公众的外照射。
- (5) 放射源丢失或被盗，对周围环境或公众造成外照射。

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¹⁹²Ir不同距离、不同接触时间人员所接受的有效剂量，根据公式 $H=H_0 \cdot t/R^2$ ，¹⁹²Ir裸露可能导致的有效剂量计算结果见表11-25。

表 11-25 裸源情况下达到剂量限值所需时间

剂量 \ 距离	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剂量照射。

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。

11.3.2.3 采取的预防措施

（1）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。

（2）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。

（3）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。

（4）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。

（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《辐射事故初始报告表》，并通过电话联系方式向当地环境保护主管部门和公安部门报告，协助公安、环保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。

11.3.3 核医学科事故影响

11.3.3.1 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。

本次以 ^{18}F 为例进行理论估算，假定 ^{18}F 放射性药物活度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ，放射性药物全部洒漏在工作台面上，则根据 γ 放射源裸源计算公式，则工作人员所接受到有效剂量随时间和距离关系如表11-26所示。

表 11-26 ^{18}F 药物洒漏情况一定时间、距离处个人有效剂量

距源的距离 (m)	事故持续时间药物产生的 γ 射线所致人员外照射剂量 (mSv)				
	1min	2min	5min	10min	20min
0.3	9.80×10^{-3}	1.96×10^{-2}	4.90×10^{-2}	9.80×10^{-2}	1.96×10^{-1}
0.5	3.53×10^{-3}	7.05×10^{-3}	1.76×10^{-2}	3.53×10^{-2}	7.05×10^{-2}
1	8.82×10^{-4}	1.76×10^{-3}	4.41×10^{-3}	8.82×10^{-3}	1.76×10^{-2}
2	2.20×10^{-4}	4.40×10^{-4}	1.10×10^{-3}	2.20×10^{-3}	4.41×10^{-3}
5	3.53×10^{-5}	7.05×10^{-5}	1.76×10^{-4}	3.53×10^{-4}	7.05×10^{-4}

由表11-26可以看出，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，所收到的剂量越大。

(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。

11.3.3.2 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、分装质控室）均位于一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、分装质控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、分装质控室）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》，并向当地环境保护主管部门和公安部门报告，协助公安、环保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，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。工作人员应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，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。

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，成立了以院长李宽智为组长的辐射防护与环境保护领导小组。领导小组下设办公室，办公室设在公共卫生科，公共卫生科科长邓芳担任办公室主任，负责辐射安全与防护工作的具体组织、实施及督导。医院以正式文件明确了小组成员以及相关工作职责。

辐射防护与环境保护领导小组主要职责如下：

(1) 负责制定辐射防护计划、工作制度和辐射事故应急预案演练，并定期组织实施；

(2) 负责对工作人员辐射防护与安全培训管理，辐射防护档案建立、工作人员岗前、岗中及离岗后职业健康检查，建立个人健康监护档案，实施一人一档健康管理；

(3) 负责辐射工作场所及周围辐射环境定期监测，指导个人及患者做好辐射防护，杜绝辐射安全事故的发生；

(4) 负责工作人员个人剂量监测管理，每季度实施更换，对异常结果开展复查及异常人员调岗管理；

(5) 负责辐射工作场所及周围辐射环境年度检测，委托具有资质的辐射安全检测机构进行检测，并出具年度检测报告；

(6) 负责辐射安全管理信息系统内容实时维护更新以及辐射安全年度报告上报；

(7) 负责辐射安全许可证内容变更、新增、换发等事宜具体办理。

医院现有辐射防护与环境保护领导小组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，本项目投入使用后，将其纳入医院现有管理体系，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。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理制度

医院辐射工作管理逐步规范，按照陕环办发〔2018〕29号，已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，包括：《宝鸡高新医院辐射事故应急预案》《辐射防护和安全保卫制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员培训管理制度及培训计划》《辐射工作人员职业健康体检管理制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射安全防护设施维护与维修制度》《辐射安全质量监测控制制度》《辐射工作场所监测计划》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》等，用于医院的辐射安全与防护管理。

医院应根据《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），针对本次新增的核医学科和后装机，补充《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，并在今后日常工作中应严格落实各项辐射安全管理制度，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 职业人员能力建设保障要求

本项目辐射工作人员开展不同类别辐射工作，应分别满足表12-1的规定要求。

表12-1 辐射工作场所人员配备要求

科室	规定要求
放疗科	中级以上专业技术职务任职资格的放射肿瘤医师
	病理学、医学影像学专业技术人员
	大学本科以上学历或中级以上专业技术职务任职资格的医学物理人员
	放射治疗技师和维修人员
核医学科	中级以上专业技术职务任职资格的核医学医师
	病理学、医学影像学专业技术人员
	大学本科以上学历或中级以上专业技术职务任职资格的技术人员或核医学技师

由于本项目为核医学科新配备的辐射工作人员，本次评价提出以下要求：

(1) 医院应组织辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，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，同样需要参加辐射安全培训并取得合格证书。

(2) 辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；上岗后的放射工作人员应定期进行职业健康检查，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；放射工作人员脱离放射工作岗位时，医院应当对其进行离岗前的职业健康检查；工作人员职业健康检查工作应由职业健康检查机构承担。

(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。放射工作人员调动时，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12-2。

表12-2 辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容	管理要求	落实情况
人员管理	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。	已落实
	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。	已落实
	明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	已落实
	提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	已落实
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。	已落实

管理内容	管理要求	落实情况
直接从事放射工作的作业人员	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。	已落实
	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。	已落实
	建立辐射环境安全管理档案。	已落实
	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。	已落实
	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	已落实
	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。	已落实
	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。	已落实
	熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理。	已落实
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。	已落实
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，需完善
	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，需完善
	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，需完善
	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，需完善
	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，需完善
	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，需完善
	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，需完善
*应急管理	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，需完善
	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，需完善
	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，需完善

根据表 12-1 可知，医院现有的辐射安全管理制度基本满足陕环办发〔2018〕29 号相关要求，但辐射事故应急预案内容不够完整，环评要求医院进一步完善并细化现有辐射事故应急预案并加强演练。

12.3 辐射监测

1、放射工作场所日常监测

医院已配备 X- γ 剂量监测仪，并按照需要配备个人剂量计、个人剂量报警仪，每年委托有资质单位对辐射工作场所进行一次定期监测。按要求为辐射工作人员配备个人剂量计，委托有资质单位定期对辐射工作人员进行个人剂量检测并存档。

医院还应配备 β 表面污染检测仪，每年委托有资质单位对核医学科辐射工作场所进行一次定期监测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度医院的评估报告。

医院应要求为所有辐射工作人员正确佩戴个人剂量计，每季度委托有资质单位进行监测，并建立个人剂量档案，安排专人负责个人剂量监测管理。

项目辐射监测计划见表 12-3。

表 12-3 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
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 储源器表面 5cm、100cm	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 每次换源或维修后
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、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（出现放射性药物洒漏应及时进行监测）

位置	监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
		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	委托有资质单位每次排放前监测一次
个人剂量计监测				
	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	个人剂量监测	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

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强射线装置安全监测和控制等管理工作，保障放射相关工作人员以及射线装置周围人员的健康安全，避免环境辐射污染，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工作项目表〉的通知》要求，医院已制定的辐射事故应急预案包括辐射事故分级、现有射线装置的应急处置流程、辐射事故报告流程等内容，针对本项目医院还应在辐射事故应急预案中补充下列内容：

- (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) 辐射事故调查、报告和处理程序。

依照《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）有关要求，针对可能发生的风险事故，医院应根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，执行辐射事故应急预案。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急小组上报当地主管部门，同时上报公安部门；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

12.4.2 本项目辐射事故应急

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》，规定了应急组织机构与职责，确定了应急联络、报警及现场指挥程序，提出了事故处理及应急措施，符合《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）的应急管理要求。

根据现场调查，医院运行至今尚未发生辐射事故，未启动过上述应急预案。

环评要求：医院应结合本项目放射性核素和射线装置的应用情况，对应急预案进行补充修改、完善，将本项目新增的后装机、PET-CT、SPECT-CT、新增核素（ ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）等纳入医院辐射事故应急预案。补充针对后装机卡源、新增放射性核素操作过程和分装药物（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F ）等操作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。同时应加强辐射事故应急预案的演练，提高事故应急处置能力。辐射事故应急预案应报所在地区级生态环境行政主管部门备案。

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 3700 万元，其中环保投资 500 万元，占总投资的 13.5%。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 12-4。

表 12-4 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	
施工期	废气	施工扬尘等	定期洒水	0.6	
	废水	施工人员的生活污水、施工废水等	依托医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网	0.4	
	固废	生活垃圾、建筑垃圾	统一纳入医院生活垃圾清运系统	1	
运营期	废气	后装机房	NO_x 、 O_3	1 套动力通风系统	20
		核医学科	含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、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	27

实施时段	类别	污染源		污染防治措施或设施	费用
	固废	后装机房	废 ^{192}Ir 放射源等	由供应商更换收回处置。	/
		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	放射性废物暂存间固废桶存放内按要求存放后处置。	5
	废水	核医学科	含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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，排入污水处理站	290
	辐射安全防护设施	后装机房	γ 射线	机房防护墙、防护门及观察窗等	50
				门灯连锁装置、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、摄像监控装置、固定式剂量报警装置、放射源在线监控系统等。	10
		防护用品：铅衣、铅帽、铅颈套、应急贮源容器、长柄镊子等。	3		
		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	30
				门灯连锁装置、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、个人剂量计等。	12
				个人防护用品：铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖等。	3
				辅助防护设施：2个手套箱、转运注射箱、钨合金注射屏蔽套、铅罐、铅污物桶、个人剂量计等。	5
	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			3
		个人剂量监测档案和职业病健康档案			3
环境监测	X- γ 辐射剂量率仪			依托现有，不计入本项目环保投资	
	核医学科需新增 1 台个人剂量报警仪和 1 台 β 表面污染监测仪			2	
	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			30	
合计					500

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。验收合格后，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 12-5。

表 12-5 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	
1	辐射安全管理机构	
		设立辐射安全防护管理领导小组并明确成员职责，负责项目辐射安全与环境管理工作。
2	辐射安全管理制度	制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急措施等规章制度
		根据环评要求以及陕环办发（2018）29 号文件要求，按照项目的实际情况，完善放疗科岗位职责，补充《后装机操作规程》《核医学科辐射工作场所监测制度》《放射性同位素使用登记制度》等。针对使用的放射性核素和射线装置使用过程中可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。
		后装机房：固定式剂量警报装置、工作状态指示灯、电离辐射警告标识、实时摄像监控系统、门灯联锁装置、对讲装置、急停按钮、防护门开关、X-γ 辐射剂量率仪、红外防夹装置、紧急开门装置等、应急储源容器、长柄镊子等。
3	辐射安全防护措施	核医学科
		①项目核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，划分控制区和监督区，控制区出入口安装门禁；在地面设置患者、医生的行走箭头标识，规定各类人员的活动路径； ②工作人员离开时进行表面污染监测； ③设置放射性废气活性炭吸附装置，并设置电离辐射警告标志； ④机房墙体、防护门、观察窗防护当量满足标准限值要求，设置有门灯联锁和门机联锁装置、急停开关、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等； ⑤门与墙搭接满足要求、机房内通风良好； ⑥机房内设置对讲装置，观察窗或摄像监控装置； ⑦建立完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账； ⑧配备相应的防护设施：铅防护罐、钨合金注射器防护套等； ⑨2 个手套箱；

序号	验收内容		
			⑩在核医学科分装质控室、注射后等待室、留观室、抢救室等配置带铅污物桶，桶外张贴电离辐射警示标识。放射性固体废物分类收集存放于放射性废物暂存间，废物包装体外注明核素、收集时间、处理时间等相关信息。
4	防护用品	后装机房	每个辐射工作人员佩戴个人剂量计 后装机房配备铅衣、铅帽、铅颈套、应急储源罐、长柄镊子等用品。
		核医学科	每个辐射工作人员佩戴个人剂量计 铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖
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 $\geq 4.5\text{m}$ 。
6	放射性废水	核医学科	建设有满足环境管理要求的放射性废液衰变池，且有运行管理记录。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 $< 10\text{Bq/L}$ 。
7	放射性废气	核医学科	设置 2 个手套箱，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、分装柜应有专用的排风装置，手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s 。
8	放射性固废	核医学科	设置放射性废物暂存间，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 $\leq 20\text{kg}$ ）的表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ；废物包装盒外表面： $\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$ 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。
9	环境监测仪器		配备 1 台 α - 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	后装机房	剂量限值 项目公众剂量约束值取 0.1mSv/a ，职业工作人员剂量约束值取 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：人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所：

序号	验收内容			
				$\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$; 2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。
		核医学科	剂量限值	项目公众剂量约束值取 0.1mSv/a, 职业工作人员剂量约束值取 5mSv/a。
			墙体外剂量率控制	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 $< 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$, 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。
			表面污染	① 工作台、设备、墙壁、地面: 控制区: $\beta < 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$; 监督区: $\beta < 4 \text{Bq/cm}^2$; ② 工作服、手套、工作鞋: 控制区/监督区: $\beta < 4 \text{Bq/cm}^2$; ③ 手、皮肤、内衣、工作袜: $\beta < 4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ 。

宝鸡高新医院核医学科和后装科装修项目环境影响报告表

(征求意见稿)

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为了满足广大患者的诊疗需求和自身发展需要，宝鸡高新医院有限公司拟将住院楼负一层档案室、洽谈室、护士站和走廊改造为 1 间后装机房及冲洗间、准备间等辅助功能用房，后装机房内安装使用 1 台后装机（1 枚 III 类 ^{192}Ir 密封放射源，活度不大于 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）；拟将传染病楼一层原规划的体检中心改造为核医学科（乙级非密封放射性物质工作场所，日等效最大操作活度为 $9.25\times 10^7\text{Bq}$ ），拟将预留的 1 间 CT 机房改造为 PET-CT 机房、1 间 DR 机房改造为 SPECT-CT 机房，控制室位置保持不变，其余房间分别设置为分装质控室、注射后等待室、留观室、更衣室等其他辅助用房。

医院拟在 PET-CT 机房内安装使用 1 台 PET-CT，CT 部分最大管电压 140kV，最大管电流 663mA，属 III 类射线装置，使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET-CT 显像诊断，PET-CT 诊断患者预计单人最大注射量为 10mCi；拟在 SPECT-CT 机房内安装使用 1 台 SPECT-CT，CT 部分最大管电压 140kV，最大管电流 800mA，属 III 类射线装置，使用非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT-CT 显像诊断，SPECT-CT 诊断患者预计单人最大注射量最大 30mCi。

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 辐射剂量率与宝鸡市 γ 辐射剂量率调查结果相当，属天然辐射本地水平，辐射环境现状无异常。

4、辐射安全与防护分析结论

(1) 后装机房

后装机房拟设置固定式剂量报警装置、门-机-源联锁装置、实时摄像视频装置、双向交流对讲系统、急停按钮、工作状态指示灯、红外防夹装置、手动开门装置、应急储源容器、长柄镊子等，辐射工作场所明显位置张贴电离辐射警示标识，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。

(2) 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活性区出入口、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、分装质控室、注射后等待室、留观室等涉及放射性核素场所均设置放射性警告标识和中文警告说明；机房安装门灯联动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。

5、辐射环境影响分析

(1) 辐射环境影响分析

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/T201.3-2014）相关要求。

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、分装柜、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。

(2) 废水、废气和固废影响分析

本项目运行以后，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自动分装柜或手套箱内进行，分装柜和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，汇集至放射性排风井引至传染病楼楼顶西侧排放；放射性沾染物品以及放射性固体废物将其分类收集后，送至核医学科放射性废物暂存间，暂存规定期限后，达到清

洁解控水平后，按照医疗废物处置；后装机工作场所设置通风装置，其产生的NO_x、O₃等废气经通风管道引至楼顶排放。

(3) 项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

①后装机

后装机运行所致时本项目辐射工作人员受到的有效剂量约0.509mSv/a，叠加大孔径CT造成的辐射影响后约为0.509mSv/a；公众受到的有效剂量最大值约 5.06×10^{-2} mSv/a。考虑叠加影响后，本项目外的其他辐射工作人员所受有效剂量最大值约0.18mSv/a。

因此，职业人员和公众受到的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）相关要求。

②核医学科

项目正常运行期间，核医学科分装质控室内辐射工作人员所受有效剂量最大值约为0.19mSv/a，控制室内辐射工作人员所受有效剂量约为0.84mSv/a，工作场所周边公众所受年有效剂量最大值约为 2.92×10^{-2} mSv/a，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）中对辐射工作人员及公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理限值要求。

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放射防护工作。医院应根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射安全和防护制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，使其具有更强的针对性和可操作。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，经验收合格并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