

表 1 项目基本情况

建设项目名称		铜川市中医医院中医特色重点医院核医学科核技术利用项目			
建设单位		铜川市中医医院（北京中医药大学第七临床医学院、北京中医药大学孙思邈医院）			
法人代表	丁治国	联系人	陈玉萌	联系电话	15829890752
注册地址		铜川市新区长虹北路 26 号			
项目建设地点		铜川市新区长虹北路 26 号 铜川市中医医院中医临床培训楼负一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	1627	项目环保投资（万元）	480	投资比例（环保投资/总投资）	29.50%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	1000
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" 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	/				

1.1 项目概述

1.1.1 项目背景

1.1.1.1 医院简介

铜川市中医医院（北京中医药大学第七临床医学院、北京中医院大学孙思邈医院，以下简称“医院”）现有南、北两个院区，其中北院区位于陕西省铜川市王益区红旗街 68 号，南院区位于铜川市新区长虹北路 26 号（以下简称“南院”），两个院区共用一个领导班子，共同承担着铜川南北两市区的居民医疗保障工作。

1979年，铜川市中医医院在原红旗街医院的基础上改建而成，2014年12月，铜川市政府与北京中医药大学签订战略合作框架协议，决定将铜川市中医医院合作共建为北京中医药大学第七临床医学院、北京中医药大学孙思邈医院。

医院占地面积65亩，建筑面积4.8万平方米，现有职工893人，其中专业技术人员790人，副高及以上职称70人，中级职称133人，初级职称517人，具有中医及中西医专业127人，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健于一体的三级甲等中医医院。

铜川市中医医院中医特色重点医院属于南院区改扩建项目，分为新建和改建两部分，其中新建部分在南院区东南侧原锅炉房位置新建一栋7层中医临床培训楼（地上6层，地下1层），建筑面积10783平方米（其中地下3459.96平方米，地上6647.28平方米），地上部分主要设置实验室、示教室、中医临床培训中心、远程医疗平台系统，地下部分设置设备间、核医学中心和中药库房。改建部分为改造原门诊楼和医技楼7940平方米，突出心脑血管、甲状腺、肾病、骨伤科、肛肠科、针灸科、儿科、脾肺病等优势专科功能。配套购置远程医疗平台等设备，以及进行排水、暖通和电气等配套设施建设。铜川市中医医院中医特色重点医院核医学科核技术利用项目位于中医临床培训楼地下一层，目前中医临床培训楼大楼主体结构已基本完成。

2021年8月24日，医院取得了铜川市行政审批服务局《关于铜川市中医医院中医特色重点医院项目可行性研究报告的批复》（铜行审建设〔2021〕114号）；2021年10月26日，医院取得了铜川市行政审批服务局《关于铜川市中医医院中医特色重点医院建设项目初步设计的批复》（铜行审建设〔2021〕143号）。

2023年10月9日，医院对铜川市中医医院中医特色重点医院建设项目进行了环境影响登记备案，备案号为：20236102000100000046。

1.1.1.2 核技术应用的目的是任务

为了满足广大患者的诊疗需求和医院自身发展需要，铜川市中医医院（北京中医药大学第七临床医学院、北京中医药大学孙思邈医院）计划开展核医学科项目。项目核技术应用的目的是任务如下：

项目拟在南院中医临床培训楼负一层建设核医学科，属于乙级非密封放射性物质工作场所（日等效最大操作活度为 $6.07 \times 10^8 \text{Bq}$ ），主要建设内容包括1间

SPECT-CT 机房、1 间 PET-CT 机房、吸碘室、敷贴室、放免室及其配套区域。

计划安装使用 1 台 SPECT-CT 开展 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 显像诊断；安装使用 1 台 PET-CT 开展 ^{18}F 显像诊断；使用 ^{131}I 开展甲亢治疗和甲功测定；使用 ^{89}Sr 开展肿瘤骨转移治疗；使用 ^{32}P 和 ^{90}Sr - ^{90}Y 开展敷贴治疗；使用 ^{125}I 开展放免分析；使用 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 核素发生器制备 ^{99m}Tc 。

1.1.1.3 工作过程概述

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与放射线装置放射防护条例》（2019 年 3 月 2 日修订版）及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年 1 月 4 日修订版）等法律法规的规定，辐射工作单位在申请辐射安全许可证前，应当组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报生态环境主管部门审批。

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》（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，项目核医学科日等效最大操作量为 $6.07 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；根据《关于发布<放射源分类>办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）相关规定， ^{90}Sr - ^{90}Y （ $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ）、 ^{68}Ge （ $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ）为 V 类放射源。

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；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”，应编制环境影响登记表。建设项目符合两个以上级别的划分原则时，按较高级别的评价等级评价，因此，铜川市中医医院中医特色重点医院核医学科核技术利用项目应编制环境影响报告表。

医院委托西安旭奥环境科技有限公司（以下简称“我公司”）承担对该项目的环境影响评价工作。接受委托后，我公司组织技术人员进行了现场勘察，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据项目类型及项目所在

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《铜川市中医医院中医特色重点医院核医学科核技术利用项目环境影响报告表》。

1.1.2 实践正当性分析

项目使用 PET-CT 和 SPECT-CT 对受检者进行显像诊断，功能检查与形态学检查有机结合，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特征，对提高诊断的准确性具有重要作用；项目开展甲功测定、甲亢治疗对评价甲状腺功能状态、抑制/破坏功能亢进的甲状腺组织具有显著意义；项目开展敷贴治疗可达到治疗患者病变部位的目的；在保障病人健康的同时，进一步提高了医院的医疗水平，推动医院整体发展。

因此，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

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019年）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第29号，2021年第49号令修改）鼓励类中“十三、医药-5 新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备……”，符合国家相关法律法规和政策规定，符合国家产业政策。

1.1.4 项目规模

1.1.4.1 核医学科

项目拟在南院中医临床培训楼负一层建设核医学科，总建筑面积约 1000m²，主要建设内容包括：1 间 PET-CT 机房、1 间 SPECT-CT 机房及其它辅助用房，PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房有效使用面积均为 49.92m²。

项目拟在 PET-CT 机房内安装使用 1 台 PET-CT（III 类射线装置），使用非密封放射性物质 ¹⁸F 开展显像诊断；拟在 SPECT-CT 机房内安装使用 1 台 SPECT-CT（III 类射线装置），使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc 和 ¹³¹I 开展显像诊断。拟使用非密封放射性物质 ¹³¹I 开展甲功测定和甲亢治疗；使用 ⁸⁹Sr 开展肿瘤骨转移治疗；使用 ³²P、⁹⁰Sr-⁹⁰Y 开展敷贴治疗；使用 ¹²⁵I 开展放免分析。使用 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 核素发生器制备 ^{99m}Tc。

项目核医学科射线装置见表 1-1，非密封放射性物质相关参数见表 1-2，密封放射源相关参数见表 1-3。

表 1-1 项目核医学科设备一览表

名称	型号	数量	类别	应用场所	活动种类	主要技术参数
PET-CT	待定	1 台	III 类	中医临床培训楼负一层 PET-CT 机房	显像诊断	CT 部分： 最大管电压 140kV 最大管电流 800mA
SPECT-CT	NM/CT 860	1 台	III 类	中医临床培训楼负一层 ECT 机房	显像诊断	CT 部分： 最大管电压 140kV 最大管电流 200mA

表 1-2 项目核医学科非密封放射性物质一览表

核素名称	日诊疗人数	毒性	半衰期	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq/d)	用途	来源
¹⁸ F	10 人	低毒	109.8min	3.7×10 ⁸ (10mCi)	3.7×10 ⁹	PET-CT 显像	外购
⁹⁹ Mo	/	中毒	2.75d	/	3.7×10 ¹⁰	制备 ^{99m} Tc	外购
^{99m} Tc	20 人	低毒	6.02h	9.25×10 ⁸ (25mCi)	1.85×10 ¹⁰	SPECT 显像	自制
	2 人	低毒	6.02h	7.4×10 ⁸ (20mCi)	1.48×10 ⁹	肺通气 SPECT 显像	自制
¹³¹ I	5 人	中毒	8.02d	1.48×10 ⁸ (4mCi)	7.4×10 ⁸	碘扫描 SPECT 显像	外购
	10 人	中毒	8.02d	3.7×10 ⁸ (10mCi)	3.7×10 ⁹	甲亢治疗	外购
	100 人	中毒	8.02d	1.85×10 ⁵ (5μCi)	1.87×10 ⁷ *	甲功测定	外购
³² P	5 人	中毒	14.26d	1.85×10 ⁸ (5mCi)	9.25×10 ⁸	敷贴治疗	外购
⁸⁹ Sr	4 人	中毒	50.53d	1.85×10 ⁸ (5mCi)	7.4×10 ⁸	骨转移癌治疗	外购
¹²⁵ I	100 人	中毒	59.4d	3.7×10 ⁴ (1μCi)	3.7×10 ⁶	放免分析	外购

注：*甲功测量过程，每名病人口服 ¹³¹I 最大用量为 5μCi，在测量过程每天需要配置一次标准源溶液（最大用量 5μCi），表中日最大操作活度为日诊疗人数+1 份标准源用量之和。

表 1-3 项目核医学科密封源一览表

核素名称	放射性活度 (Bq)	数量 (枚)	物理、化学性态	分类	用途
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	7.4×10 ⁹	3	外购敷贴器	V 类源	敷贴治疗
⁶⁸ Ge	7.4×10 ⁷	1	外购校准源	V 类源	PET-CT 质控校准

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

本项目拟配备 5 名放射工作人员，均为新招聘人员。本项目放射工作人员固定设置，不参与其他放射性工作。

本评价要求：项目拟配备的放射工作人员应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成绩合格单后，持证上岗；上岗前应进行职业健康检查，检查合格者方能进行相关放射工作；应正确佩戴个人剂量计，并建立个人剂量监测档案。

1.1.5.2 工作负荷

根据医院提供的资料，本项目使用的放射性药物 ^{99m}Tc ，院方拟进行淋洗制备，预计工作人员每次淋洗、分装时间约为 20min，每天最多淋洗两次，则全年为 166.67h，每次最大制备量为 11 人用量；其余放射性药物均根据患者预约情况提前向厂家进行预约订购，厂家按照约定时间将分装好的放射性药物送至医院储源室，用于显像检查或治疗。一般情况下，医院不进行上述放射性药物的分装。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。

项目 PET-CT 工作场所建成后，预计每年工作时间约 250d，每天最多接待患者 10 人，则年累计接待患者人数约 2500 人。在 PET-CT 诊断前需向患者注射一定量的放射性药物 ^{18}F ，预计注射量最大为 10mCi。

项目 SPECT-CT 工作场所建成后，预计每年工作时间约 250d，每天最多接待患者 27 人，其中需注射 ^{99m}Tc 的患者 20 人、需吸入 ^{99m}Tc 的肺通气患者 2 人、需口服 ^{131}I 的患者 5 人，则年累计接待患者人数约 6750 人。在 SPECT-CT 诊断前需向患者注射一定量的放射性药物 ^{99m}Tc ，预计注射量最大为 25mCi；需口服 ^{131}I 的碘扫描患者，预计最大服药量为 4mCi；需吸入 ^{99m}Tc （气溶胶）的肺通气患者预计最大吸入量为 20mCi。

甲亢治疗预计每天治疗患者 10 人，每年工作时间约 250d，则年累计接待患者人数约 2500 人，预计每名患者服药 10mCi。

骨转移癌治疗预计每天治疗患者 4 人，每年工作时间约 250d，则年累计接待患者人数约 1000 人，预计每名患者服药 5mCi。

甲功测定预计每天最多接诊患者 100 人，每年工作时间约 250d，则年累计接待患者人数约 25000 人，预计每名患者服药 10 μ Ci。

项目敷贴治疗室建成后，使用 ^{32}P 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 开展敷贴治疗，预计每年工作时间约 250d，使用 ^{32}P 敷贴每天治疗患者 5 人，每名患者最大药物用量 5mCi；使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 每天治疗患者 5 人。

项目放免室建成后，使用 ^{125}I 开展放免分析，预计每年工作时间约 250d，每天最多检测样品 100 份，则年累计检测样品约 25000 份，预计每次测定使用药量为 $1\mu\text{Ci}$ 。

该项目新增的 1 台 PET/CT 机，拟配备 1 枚 V 类 ^{68}Ge 放射源，用于 PET/CT 图像融合的精度、晶体均一性等性能指标的校正。

1.1.6 项目选址及周边环境概况

1.1.6.1 医院地理位置及周边环境关系

铜川市中医医院南院位于陕西省铜川市新区长虹北路 26 号，地理坐标为东经： 108.930867° ，北纬： 34.913047° 。南院东邻桥畔葡萄酒有限公司，东南侧为创业中心；南侧为铜川市东荣医院和祥和园小区；西邻长虹北路，路西为铜煤小区；北邻文昌东路，路以北为铜川市委党校。

医院地理位置见图 1-1，医院周边环境关系图见图 1-2。

1.1.6.2 医院总平面布置

南院院区主要包括门诊楼、医技楼、住院楼、后勤楼和在建的中医临床培训楼及相关配套设施。本项目核医学科位于中医临床培训楼（地上 6 层，地下 1 层）负一层，中医临床培训楼位于南院东南侧，东邻桥畔葡萄酒有限公司，南侧为医院规划用地，西侧为院内庭院（停车场入口），北侧为住院楼。

南院总平面布置详见图 1-3。

1.1.6.3 项目所在楼层的总平面布置

核医学科位于南院中医临床培训楼负一层，根据医院提供的图纸，核医学科北侧患者通道自东向西依次为放免室、敷贴间、吸碘率室、固废间和留观室；中部自东向西依次为候诊大厅、登记接诊室、消洗间、缓冲间、更衣室、制备间、废源暂存间、质控区、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药、运动负荷室、肺通气、 ^{18}F 给药室、储源室、服药间、留观室、PET 候诊室、VIP 候诊单间、固废间；南侧自东向西依次为问诊室、抢救室、SPECT 候诊室、SPECT/CT 机房、操作间、PET/CT 机房等；核医学科正上方为地面绿化（百草园），正下方为土层。核医学科平面布置见图 1-4。

1.1.6.4 项目选址合理性

项目核医学科选址位于南院东南侧新建中医临床培训楼地下一层，负一层主要布置中医药库房、设备机房、核医学科及相关配套功能用房，核医学科正上方为地面绿化（百草园），中医临床培训楼主要为实验室和中医培训教室，楼内不设置床位，无人员长期居留。核医学科与其他功能用房分层布置，核医学科设置在负一层，其顶部除设置场所出入口外和通风设备机房外无其他建筑。东侧 50m 范围内包括桥畔葡萄酒有限公司，距公司最近距离 43m；东南侧为创业中心，最近距离为 25m。本项目核医学科工作场所产生的辐射经土层、多面墙体屏蔽和距离衰减，运行过程时对周围环境辐射影响较小。

核医学科设置在负一层，并配套建设相应的功能用房。①核医学科与其他工作场所有明确的分界墙隔离，自成一区，通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源的活动，可实现工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径相对独立。②核医学科位于中医临床培训楼楼负一层，正上方为地面绿化等，正下方为土层，地面东侧为中医临床培训楼，再以东为桥畔葡萄酒有限公司，南侧为医院规划用地，东南侧为铜川市大学生创业孵化园，西侧为地下车库入口，北侧为医院住院楼和医技楼。工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。③核医学科放射性废气通过专用排气道引至中医临床培训楼顶部屋面排放，排风井高出屋面，且废气经活性炭吸附处理后再排放。

因此，项目核医学科选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。

综上所述，项目选址充分考虑了邻近周围场所的防护和安全。从辐射场所的楼层平面布局可知，各辐射场所与其配套单元间功能布局分区明确，不相互穿插、干扰。项目选址合理。



图 1-1 南院地理位置示意图

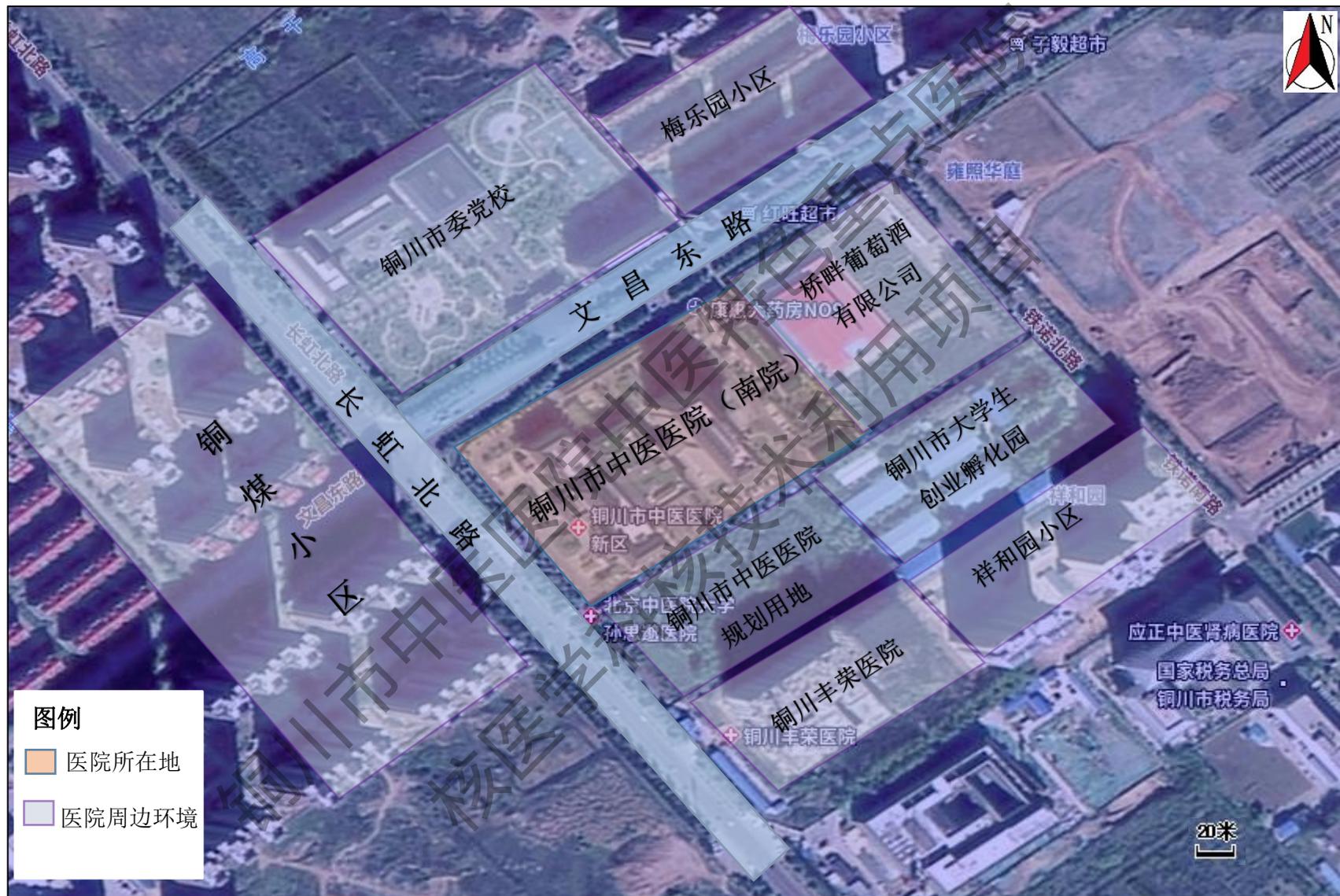


图 1-2 南院周边环境关系图

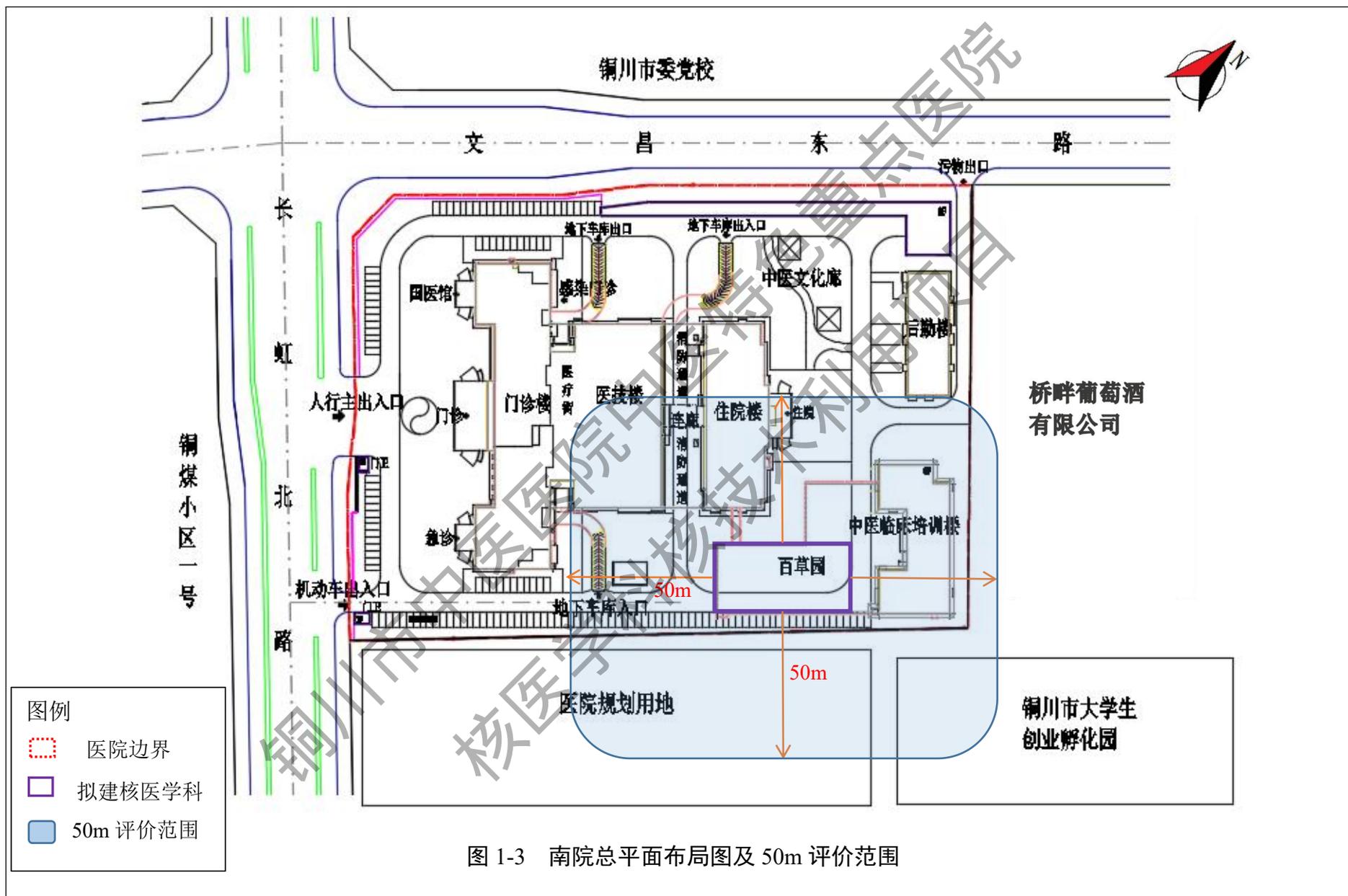
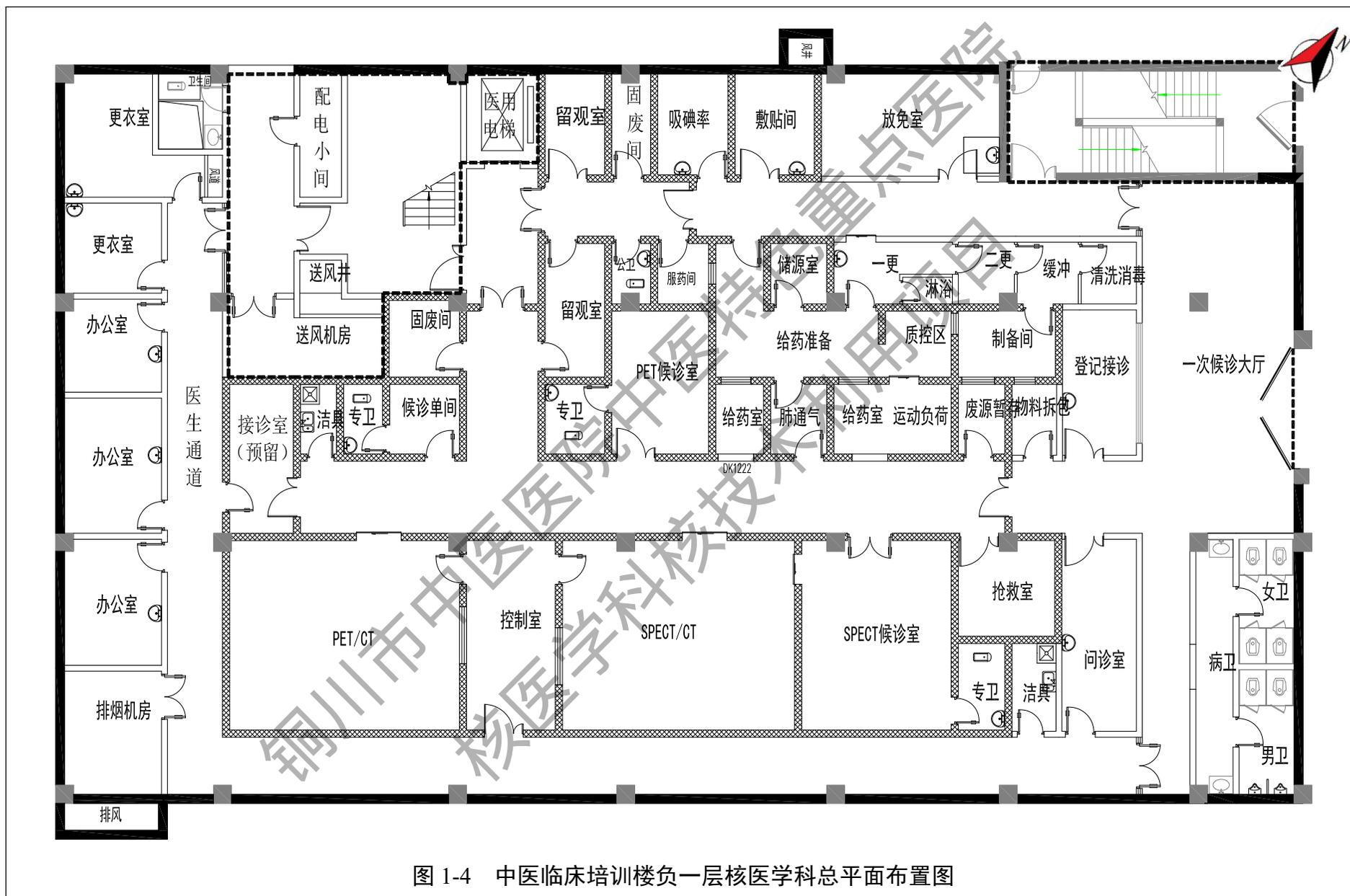


图 1-3 南院总平面布局图及 50m 评价范围



1.2 医院已有核技术利用项目许可情况

1.2.1 环保手续履行情况

医院南、北两个院区共有射线装置 14 台，环保手续履行情况见表 1-4。

南院区：两台 DSA 机于 2017 年 9 月 15 日取得了陕西省环境保护厅的批复（陕环批复（2017）458 号）；DR 机、移动 DR 机、CT 机和数字胃肠机均于 2018 年 7 月 25 日填报了环境影响登记表；牙片机于 2021 年 8 月 17 日填报了环境影响登记表。

北院区：DR 机、CT 机、数字胃肠机、中 C 臂机、牙片机和口腔 CT 机均于 2020 年 4 月 20 日填报了环境影响登记表。

表 1-4 医院现有射线装置及其环保手续履行情况

序号	名称	型号	类别	环保手续履行情况		院区
				环评	验收	
1	DR	Definium 6000	Ⅲ类	备案号： 201861020001000 00146	/	南院区
2	移动 DR	Optima XR220amx	Ⅲ类			
3	CT	Optima CT660	Ⅲ类			
4	数字胃肠机	Precision TIIUNIS-800+	Ⅲ类			
5	DSA	UNIQ FD10	Ⅱ类	陕环批复 （2017）458 号	未提供验收资料	
6	DSA	Allura Centron	Ⅱ类			
7	牙片机	CS2100 CHINE	Ⅲ类	备案号： 202161020001000 00043	/	
8	DR	Definium 6000	Ⅲ类	备案号： 202061020200000 109	/	北院区
9	CT	Optima CT670	Ⅲ类			
10	数字胃肠机	HF52-2A	Ⅲ类			
11	中 C 臂机	Cios Alpha	Ⅱ类			
12	牙片机	RX DC Plus/I	Ⅲ类			
13	口腔 CT 机	PHT-35LHS	Ⅲ类			
14	移动 C 型臂	Cios Select S3	Ⅲ类	暂未提供环境影响登记表	/	南院区

注：序号 1-7 和 14 为南院区射线装置，序号 8-13 为北院区射线装置

1.2.2 现有辐射安全许可证

2021年11月17日，医院取得了由铜川市生态环境局核发的辐射安全许可证，证书编号：陕环辐证[30016]，许可种类和范围：使用II类、III类射线装置。有效期至2026年11月16日。

辐射安全许可证核准的射线装置台账见表1-5。

表 1-5 陕环辐证[30016]核准的射线装置台账

序号	装置名称	规格型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	类别	数量	活动 种类
1	DR	Definium 6000	150	630	III类	1	使用
2	移动 DR	Optima XR220amx	125	250	III类	1	使用
3	CT	Optima CT660	140	500	III类	1	使用
4	数字胃肠机	Precision TIIUNIS-800+	125	400	III类	1	使用
5	DSA	UNIQ FD10	125	1000	II类	1	使用
6	DSA	Allura Centron	125	1250	II类	1	使用
7	牙片机	CS2100 CHINE	60	7	III类	1	使用
8	DR	Definium 6000	150	630	III类	1	使用
9	CT	Optima CT670	140	560	III类	1	使用
10	数字胃肠机	HF52-2A	150	630	III类	1	使用
11	中 C 臂机	Cios Alpha	125	250	II类	1	使用
12	牙片机	RX DC Plus/I	60	7	III类	1	使用
13	口腔 CT 机	PHT-35LHS	99	16	III类	1	使用

1.2.3 辐射安全管理现状

医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等法律、法规，配合各级环保部门监督和引导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

根据医院提供的资料，医院辐射安全管理现状如下：

(1) 辐射防护管理机构设置情况

医院已成立辐射安全防护管理领导小组，任命张武平为领导小组的组长，副组长由刘平安担任，成员由白宜城、侯龙飞、王坤、孙雪、王春风、高阳和王林

组成。

(2) 规章制度建设及落实情况

医院制定了一系列辐射防护管理规章制度，包括：《放射事故应急预案》《放射诊断质量保证制度》《个人剂量监测管理制度》《放射防护知识培训制度》《放射工作人员职业健康监护制度》《放射工作场所防护检测管理制度》《小 C 设备操作规程》《口腔科牙片机安全操作规程》《放射防护安全管理规章制度》《受检者电离辐射危害告知制度》《放射防护档案管理制度》《设备维修保养检查制度》等，并在工作中予以贯彻落实。

(3) 工作人员培训情况

根据医院提供的资料，医院 28 名放射工作人员中，13 人参加了辐射安全与防护培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并取得培训合格证书或培训成绩单。其余 15 人为仅从事 III 类射线装置使用活动的放射工作人员，参加了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，并经考试成绩合格。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）要求，对参与本项目的放射工作人员医院应组织参加生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核并取得成绩合格单后，持证上岗。

(4) 个人剂量检测情况

医院为现有的放射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质的单位（陕西思迈奥健康科技服务有限公司）对其进行个人剂量监测，每季度检测一次，建立了个人剂量档案并存档。根据 2022 年 6 月~2023 年 6 月年度个人剂量检测报告（报告编号：思迈奥（年）字（2023）第 144 号），在岗放射工作人员 2022 年 6 月~2023 年 6 月年累积剂量最大为 1.61mSv，均满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。

(5) 职业健康检查情况

医院组织从事放射性工作的职业人员分别于 2022 年 12 月和 2023 年 3 月在渭南职业病防治院进行了职业健康体检，建立了职业健康体检报告档案并存档。

根据医院提供的体检报告单，本次体检发现了2名（孙雪和何园园）与职业相关的异常者，体检发现白细胞减少，建议复查血常规；其余放射工作人员体检结果显示“可以从事放射工作或可继续原放射工作”。

(6) 工作场所辐射环境监测情况

医院现有14台医用X射线诊断设备。2022年11月，医院委托陕西思迈奥健康科技服务有限公司对14台医用X射线诊断设备工作场所进行了放射防护检测（报告编号：思迈奥（FH）字（2022）第363-2号、思迈奥（FH）字（2022）第360-2号）。根据检测报告可知，14台医用X射线诊断设备工作场所放射防护检测结果均符合GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》标准要求。

表 1-6 放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	DR	Definium 6000	120kV、 200mA, 0.2s	0.18	25
2	移动 DR	Optima XR220amx	120kV、 200mA, 0.2s	0.15	25
3	CT	Optima CT660	120kV、 191mA, 1s	0.17	2.5
4	数字胃肠机	Precision THUNIS-800+	透视模式： 58kV、1.1mA, 10s	0.16	2.5
5	DSA	UNIQ ED10	71kV、2.9mA, 10s	0.15	2.5
6	DSA	Allura Centron	69kV、3.4mA, 10s	0.15	2.5
7	牙片机	CS2100 CHINE	60kV、7mA, 0.63s	0.14	2.5
8	DR	Definium 6000	120k、200mA, 0.2s	0.17	25
9	CT	Optima CT670	120kV、 260mA, 1s	0.70	2.5
10	数字胃肠机	HF52-2A	透视模式： 68kV、1.6mA, 10s	0.15	2.5
11	中 C 臂机	Cios Alpha	65kV、1.4mA, 10s	0.17	2.5
12	牙片机	RX DC Plus/I	60kV、7mA,	0.15	2.5

			0.5s		
13	口腔 CT 机	PHT-35LHS	73kV、12mA, 13.5s	0.16	2.5
14	移动 C 型臂	Cios Select S3	71kV、2.9mA, 10s	0.20	2.5

根据医院提供的检测报告，1 台移动 DR 和 2 台 DR 机房外的周围剂量当量率均小于 25 μ Sv/h，其余射线装置工作场所各检测点的周围剂量当量率均低于 2.5 μ Sv/h，符合标准《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

(7) 辐射环境监测设备检定/校准情况

医院配备有 1 台 X 射线防护仪，用于医院射线装置工作场所的自主检测。医院已于 2022 年 9 月将该自主检测仪器送至计量站进行校准，校准证书编号为：校准字第 202208007711 号。

1.2.4 现存问题及提出的改进建议

1.2.4.1 现存问题

- (1) 体检发现的 2 名（孙雪和何园园）与职业相关的异常者，体检发现白细胞减少，建议复查血常规。
- (2) 医院对于新增的 1 台移动 C 型臂暂未进行环境影响登记备案。

1.2.4.2 改进建议

- (1) 医院对于体检结果存在异常的放射工作人员（孙雪和何园园），应及时组织复查，若复查结果仍存在异常，则应调离放射工作岗位。
- (2) 医院对新增的 1 台移动 C 型臂应及时进行环境影响登记备案并申领辐射安全许可证。

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	⁶⁸ Ge	7.4×10 ⁷ Bq×1 枚	V 类	使用	PET-CT 质控校准	核医学科	铅罐储存, 不使用时存放于 PET-CT 机房或储源室内	固态密 封源
2	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	7.4×10 ⁹ Bq×3 枚	V 类	使用	敷贴治疗	核医学科	不使用时存放敷贴室 专用保险箱内	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及生产的中子流强度（n/s）。

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	
1	¹⁸ F	液体, 半衰期 109.8min, 低毒	使用	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁶	9.25×10 ¹¹	PET-CT 显像检查	很简单操作	核医学科	外购, 当天用完。在铅罐中贮存, 暂存于储源室中。	
2	⁹⁹ Mo	液体, 半衰期 8.02d, 中毒	使用	3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ⁷	1.85×10 ¹²	制备 ^{99m} Tc	源的贮存		外购, 暂存于制备间, 自带铅屏蔽	
	^{99m} Tc	液体, 半衰期 6.02h, 低毒	使用	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	4.63×10 ¹²	SPECT-CT 显像检查	很简单操作		自制, 当天用完。在铅罐中贮存, 暂存于储源室中。	
1.48×10 ⁹				1.48×10 ⁶	3.70×10 ¹¹	SPECT-CT 肺通气显像检查	很简单操作				
3	¹³¹ I	液体, 半衰期 8.02d, 中毒	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	SPECT-CT 碘扫描显像检查	很简单操作		核医学科	外购, 当天用完。在铅罐中贮存, 暂存于储源室中。
4	¹³¹ I	液体, 半衰期 8.02d, 中毒	使用	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	甲亢治疗	简单操作			
5	¹³¹ I	液体, 半衰期 8.02d, 中毒	使用	1.87×10 ⁷	1.87×10 ⁶	4.68×10 ¹⁰	甲功测定	简单操作			
6	¹²⁵ I	液体, 半衰期 59.4d, 中毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁵	9.25×10 ⁸	放免分析	简单操作			
7	⁸⁹ Sr	液体, 半衰期 50.53d, 中毒	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁷	1.85×10 ¹¹	骨转移癌治疗	简单操作			
8	³² P	液体, 半衰期 14.26d, 中毒	使用	9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁷	2.31×10 ¹¹	敷贴治疗	简单操作			

注: 日最大等效操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III类	1 台	待定	140	800	显像诊断	核医学科	新购
2	SPECT-CT	III类	1 台	NM/CT 860	140	200	显像诊断	核医学科	新购
/		/	/	/	/	/	/	/	/
/		/	/	/	/	/	/	/	/
/		/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废 ⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc发生器柱	固态	⁹⁹ Mo、 ^{99m} Tc	/	/	100 个	/	固废间	由生产厂家回收处理
敷贴废弃放射源	固体	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	/	/	/	/	/	联系放射源供源单位负责回收
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液体	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	/	/	227.5m ³	<10Bq/L	专用衰变池	分类收集，核素半衰期小于24小时（ ¹⁸ F、 ^{99m} Tc）的暂存时间超过30天后可直接解控排放，经监测满足排放标准后排入医院二期污水处理站
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、废钼铯发生器柱、废 ³² P敷贴器、废活性炭等）	固体	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ¹²⁵ I、 ³² P、 ⁸⁹ Sr	/	/	约3328kg	/	固废间	暂存时间需满足HJ1188-2021要求，监测并达到清洁解控水平后，按一般医疗废物处理
通风橱及核医学科辐射工作场所活性区内含微量放射性核素的挥发气体	气体	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ¹²⁵ I、 ³² P、 ⁸⁹ Sr	/	可忽略	可忽略	微量	/	经专用排风管道送至中医临床培训楼顶部屋面，经活性炭吸附过滤后排放
非放射性废气	气体	臭氧、氮氧化物等	/	可忽略	可忽略	微量	/	核医学科非放射性废气经专用排风管道送至中医临床培训楼顶部屋面排放

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

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度年排放总量分别用比活度（Bq/L，或 Bq/kg，或 Bq/m³）和活度（Bq）。

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）》，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）》，2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号修改，2017 年 10 月 1 日发布施行；</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 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《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>(8) 《放射工作人员职业健康管理办法》，卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日施行；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生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>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号；</p> <p>(12) 《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>(13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号）；</p> <p>(14) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(15) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》（环发〔2008〕13 号），2008 年 4 月 14 日；</p>
-------------	--

	<p>(16) 《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>(17) 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>(18) 《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>技术 标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(2) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(3) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(4) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(6) 《职业性外照射个人检测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(7) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》（HJ421-2008）；</p> <p>(8) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(9) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(10) 《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>其他</p>	<p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的其他相关资料；</p> <p>(3) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强；</p> <p>(4) 《中国环境天然放射性水平》，中国原子能出版社；</p> <p>(5) 《γ射线屏蔽参数手册》，中国科学院工程力学研究所；</p> <p>(6) 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），2023年9月13日。</p>

表 7 保护目标和评价标准

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，给出相应辐射工作场所实体屏蔽外周围 50m 范围为项目环境影响评价范围，评价范围示意图详见图 1-3。

7.2 环境保护目标

项目环境保护目标主要为评价范围内的放射工作人员、医院内活动的其他医护人员、患者、患者家属以及医院周边公众。

项目环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

项目	保护对象	相对位置	环境保护目标	最近距离	人口规模	年剂量管理约束值
核医学科工作场所（距离以辐射源点算起）						
核医学科	放射工作人员	PET-CT 机房	核医学科显像诊断摆位人员	距注射药物后诊断者 1.0m	5 人	≤5mSv
		SPECT-CT 机房				
		PET-CT 控制室	核医学科显像诊断操作设备控制室操作人员	0.3m		
		SPECT-CT 控制室		0.3m		
		制备间	^{99m} Tc 制备人员	0.5m		
		分装质控注射给药区域	分装质控、注射人员	0.5m		
		放免室	放免分析人员	0.5m		
		吸碘室	吸碘测定人员	0.5m		
		敷贴室	敷贴工作人员	0.5m		

	公众	屋顶	地面绿化（百草园）	陪同患者家属、其他非办公人员	6.6m	流动人员	≤ 0.1mSv
楼外 50m 范围内（距离以大楼边界算起）							
中医临床培训楼 50m 范围内	公众	东侧	中医临床培训楼	医护人员	约 18m	约 200 人	≤ 0.1mSv
			桥畔葡萄酒有限公司	公司职员	约 43m	约 60 人	
		东南侧	铜川市大学生创业孵化园	创业中心办公人员	约 25m	约 100 人	
		南侧	医院规划用地	流动人员	约 13m	流动人员	
		西侧	地下车库入口	流动人员	约 41m	流动人员	
		北侧	住院楼、医技楼	医务人员、患者及陪同家属	约 12.8m	约 300 人	

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关内容

（1）豁免和解控

4.2.4 豁免

4.2.4.1 如果源符合下列条件之一，并经审管部门确认和同意，则该源或利用该源的实践可以被本标准的要求所豁免：

- a) 符合本标准附录 A（标准的附录）中所规定的豁免要求；
- b) 符合审管部门根据本标准附录 A（标准的附录）规定的豁免准则所确定的豁免水平。

4.2.4.2 对于尚未被证明为正当的实践不应予以豁免。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不在遵循本标准的要求，即可以将其解控。

（2）防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人

剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件(治疗性医疗照射除外)。

(3) 剂量限值

①职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制,以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外,由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B(标准的附录 B)中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制,使之不超过下述限值:

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

b)任何一年中的有效剂量, 50mSv。

②公众照射

B1.2.1 实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值:

a)年有效剂量, 1mSv;

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

(4) 分区

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

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

射条件进行监督和评价。

(5) 表面放射性污染的控制

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

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 7-3 所示。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平

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

(6) 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

C1 应按表 7-4 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

⑥ 放射性物质向环境排放的控制

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

- a) 每月排放的总活度不超过 10ALImin（ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得）；
- b) 每一次排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放

量的水进行冲洗。

7.3.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关内容

4.1.1 医疗机构应对所开展核医学活动的辐射防护与安全工作全面负责，实现保护放射工作人员、公众和环境的目标。

4.1.2 医疗机构应对拟开展的核医学活动进行正当性判断，确保实施的活动都是正当的。

4.1.3 规划、设计、建设核医学工作场所和开展核医学活动的过程中，遵循辐射防护最优化原则，使得核医学活动涉及的相关个人受照剂量的大小、受到照射的人数和受到照射的可能性保持在可合理达到的尽量低的水平。

4.1.4 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

4.1.5 开展核医学活动的辐射工作场所应划分出控制区和监督区，合理布局工作场所，规划好人流、物流、气流路径，妥善收集、暂存和处理核医学活动中产生的放射性废物。

4.1.6 医疗机构应对开展核医学活动的工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射防护与安全措施的合理性。

4.1.7 开展核医学活动的医疗机构应制定恰当的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备和响应工作安排，有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

表 7-5 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na 、 ^{32}P 、 ^{63}Ni 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm	0.1
低毒	^3H 、 ^{11}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

表 7-6 核医学常用放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100

	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	¹⁸ F、 ^{99m} Tc（液态）	很简单操作	10
	¹²⁵ I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	¹³¹ I（液态）	简单操作	1

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

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

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

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

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

5 选址和布局

5.1 选址

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

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并

应与非放射性工作场所有明确的分解隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

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

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

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

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

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

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

6.1.3 回旋加速器机房的建造应……。

6.1.4 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等……。

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

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

6.2.6 粒籽源植入场所应……。

6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

6.2.8 回旋加速器机房应……。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清

洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.2 使用回旋加速器……。

6.3.3 碘-131 治疗病房应……。

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

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7 放射性废物的管理

7.1 一般要求

7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

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

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

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时

转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

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

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

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

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

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

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

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人

员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

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

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

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

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

7.3.2 放射性废液贮存

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

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的……。

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

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

8 辐射监测

8.1 一般要求

8.1.1 开展核医学诊疗实践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。

8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。

8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

8.2 工作场所监测

8.2.1 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于下表的内

容。

表 7-7 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
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
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）

8.3 环境监测

开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

8.4 个人剂量监测

8.4.1 核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。

8.4.2 对于操作大量气态和挥发性放射性物质的工作人员，应根据场所的放射性气溶胶浓度开展内照射评价，当怀疑其体内受到放射性污染时，应进行体内放射性监测。

8.4.3 个人剂量档案应按要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。

7.3.3 生态环境部关于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关条款咨询的复函

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.4 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关内容

本标准适用于医疗机构开展核医学诊断、治疗、研究和放射性药物制备中使用放射性物质时的防护。

5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 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，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 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。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 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；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 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；

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源

治疗患者)、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB 18871 的有关规定,结合核医学学科的具体情况,对控制区和监督区采取相应管理措施。

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。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源(放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者)的活动,给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉,给药后患者或受检者与工作人员不交叉,人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道,便于放射性药物、放射性废物的运送和处理;便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级,并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理,把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-8。

表 7-8 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

^a 下水道宜短,大水流管道应有标记以便维修检测。
^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

5.2.3 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。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。

表 7-9 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平

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

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容,为工作人员配备合适的防护用品和去污用品,其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。对操作¹⁸F等正电子放射性药物的场所,此时应考虑其他的防护措施,如:穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要,合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所,如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器,应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时,应根据实际情况,熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆,也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员,在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测,如其污染水平超过表2规定值,应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测,以杜绝超过表2规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 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。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

12 放射性核素敷贴治疗放射防护要求

12.1 放射性核素敷贴治疗器的放射防护要求

12.1.1 放射性核素应选用半衰期较长、 β 射线能量较高，不伴生 γ 辐射或仅伴生低能 γ 辐射的放射性核素，例如 ^{90}Sr - ^{90}Y 和 ^{32}P 敷贴器。

12.1.2 外购放射性核素敷贴器应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格证，并应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格证，并应有生产批号和检验证书。说明书应载明敷贴器编号、核素名称及化学符号、辐射类型及能量、放射性活度、源面空气吸收剂量率、表面放射性污染与泄漏检测、检测日期、使用须知和生产单位名称。

12.1.6 自制敷贴器的处方剂量应根据病变性质和病变部位确定，根据处方剂量和面积大小确定所用放射性核素活度。

12.1.7 眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。

12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。

12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志。

12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于 β 辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。

12.3.3 距离贮源箱表面 5cm 和 100cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率

分别不应超过 10 μ Sv/h 和 1 μ Sv/h。

12.4 敷贴治疗设施的放射防护要求

12.4.1 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。

12.4.2 治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

12.4.3 治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。

12.4.4 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有 β 污染检查仪等检测仪器。

附录 K（规范性附录）个人防护用品和应急及去污用品

K.1 个人防护用品

表 7-10 个人防护用品

场所类型	工作人员	
	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 ¹⁸ F的场所	放射性污染防护服	—

注：“—”表示不需要要求，宜使用非铅防护用品。

K.2 应急及去污用品

主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

7.3.5 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）相关内容

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

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构的其他医疗机构污水排放执行表 7-11 的规定。直接或间接排入地表水体或海域的污水执行排放标准，排污终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7-11 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

控制项目		排放标准	预处理标准
总β	Bq/L	10	10

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1 污水取样与监测

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

6.1.2 总α、总β在衰变池出口取样监测。

6.1.3 监测频率

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

医院的放射性废水（含放射性核素的清洗废水和病员的排泄物）先经衰变池存放10个半衰期以上，排入医院污水处理站处理，最终排入市政污水管网。医院污水处理站排放口废水执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的预处理标准，即总β放射性 $<10\text{Bq/L}$ 。

7.3.6 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关内容

本标准适用于X射线影像诊断和介入放射学。

5 X射线设备防护性能的技术要求：

5.1.1 X射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。

5.1.2 X射线管组件上应有清晰的焦点位置标志。

5.1.3 X射线管组件上应标明固有滤过，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。

5.4 CT设备防护性能的专用要求

5.4.2 对于任意一种CT扫描程序，都应在操作这控制台上显示剂量信息。

5.4.3 应设置急停按钮，以便在CT扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。

6 X射线设备机房防护设施的技术要求

6.1X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置X射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式X射线机……。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式X射线设备和车载式诊断X射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的X射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表7-12的规定。

表 7-12 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度的要求

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

6.2 X射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型X射线设备（不含床旁摄影设备和便携式X射线设备）机房的屏蔽防护应不小于表7-13规定。

表 7-13 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mmPb)	非有用线束方向铅当量 (mmPb)
CT机房（不含头颅移动CT） CT模拟定位机房	2.5	2.5

6.2.4 距X射线设备表面100cm处的周围剂量当量率不大于2.5μSv/h时且X射线设备表面与机房墙体距离不小于100cm时，机房可不作专门屏蔽防护。

6.3 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b) 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2.5μSv/h。

6.4 X射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表7-14要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.25 mmPb；介入防护手套铅当量应不小于0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2 mmPb。

6.5.4 应为儿童的X射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.5 mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-14 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护用品
CT体层扫描 (隔室)	—	—	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套选配:铅橡胶帽子	—
注:“—”表示不需要。				

7.4 小结

本评价根据《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)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)和《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)等标准,及医院制定的个人剂量管理目标值,取 5mSv/a 作为放射工作人员的年有效剂量约束值,取 0.1mSv/a 作为公众成员年有效剂量约束值。

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

医院地理位置见图 1-1，医院总平面布置见图 1-3。

8.1.2 项目场所位置

项目拟在中医临床培训楼负一层建设核医学科。

项目场所位置详见图 1-4。

8.2 辐射环境质量现状评价

8.2.1 监测方法

为了解项目拟建场地及周边环境 γ 辐射本底水平，本次评价引用陕西新高科辐射技术有限公司于 2023 年 5 月 25 日对拟建场地周边环境 γ 辐射剂量率检测报告中相关数据（检测报告编号：FHJC-SXGK-042023013）。

监测方法如下：

- (1) 监测因子：环境 X、 γ 辐射剂量率。
- (2) 监测点位：监测点位分布情况详见图 8-1。

检测点位选在铜川市中医医院南院拟建核医学科核技术利用项目工作场所及周围区域，检测点位距地面 1m 处，每个点位测量 10 组数据。

- (3) 监测频次：2023 年 5 月 25 日，每个点位连续检测 10 次。
- (4) 检测仪器详细信息见表 8-1。

表 8-1 检测仪器信息

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 $\mu\text{Gy/h}$	中国辐射防护 研究院放射性 计量站	检字第 [2023]-L048	2023.2.15~ 2024.2.14

(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代表性和可重复性，以保证检测结果的科学性和可比性；

②严格按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）进行检测；

③检测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准，检定合格后方可使用；

- 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。

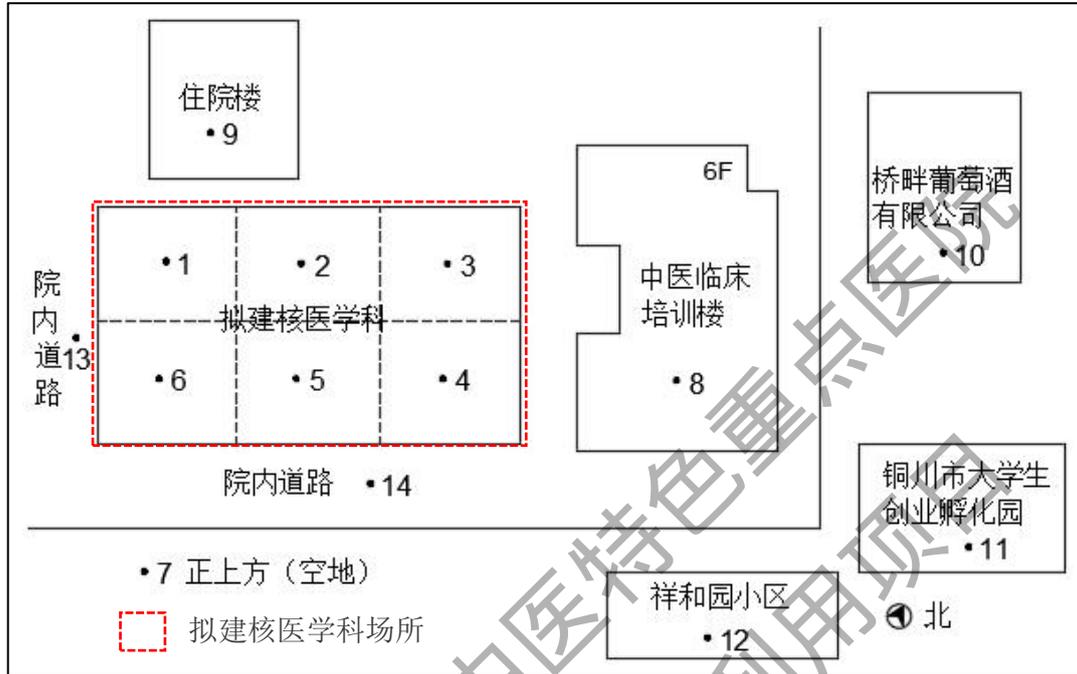


图 8-1 核医学科场所监测点位布设示意图

8.2.2 监测结果及评价

项目拟建场地周边环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-2。

表 8-2 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	拟建核医学科场所检测点①	0.09	0.005
2	拟建核医学科场所检测点②	0.10	0.006
3	拟建核医学科场所检测点③	0.10	0.005
4	拟建核医学科场所检测点④	0.10	0.007
5	拟建核医学科场所检测点⑤	0.10	0.006
6	拟建核医学科场所检测点⑥	0.10	0.005
7	核医学科正上方（空地）	0.06	0.006
8	东侧中医临床培训楼	0.09	0.005

9	北侧住院楼	0.09	0.004
10	桥畔葡萄酒公司	0.05	0.007
11	铜川市大学生创业孵化园	0.03	0.005
12	祥和园小区	0.05	0.005
13	西侧道路	0.05	0.006
14	南侧道路	0.05	0.006

注：1. 表中数据已扣除宇宙射线响应值，此处宇宙射线响应值为 0.011 $\mu\text{Gy/h}$ ，建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按楼房取 0.8（点位 8 和点位 9），按平房取 0.9（点位 1~点位 6）其余点位按原野、道路取 1。2. 因检测仪器 FD-3013H-5877 使用 ^{137}Cs 放射源进行检定，根据 HJ1157-2021，换算系数取 1.20Sv/Gy。

由表 8-2 可知，项目拟建辐射工作场所的环境 γ 辐射剂量率为 30~100nGy/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“铜川市 γ 辐射剂量率调查结果（室内：92~119nGy/h，室外：20~74nGy/h）”相当，属天然辐射本底水平。项目所在地辐射剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境质量现状无异常，项目所在区域辐射环境质量现状良好。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 核医学科的设备和工艺分析

项目拟在医院中医临床培训楼负一层建设核医学科,新建 1 间 PET-CT 机房、1 间 SPECT-CT 机房、1 间放免分析室、1 间吸碘测定室、1 间敷贴室及相关辅助功能用房。

本项目拟使用的非密封放射性物质有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 和 ^{32}P , 密封放射源有 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器和 ^{68}Ge 校准源。

拟使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET-CT 显像诊断; 拟使用非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 开展 SPECT-CT 显像诊断; 拟使用非密封放射性物质 ^{131}I 开展甲功测定和甲亢治疗, 使用 ^{125}I 开展放免分析, 使用 ^{89}Sr 开展骨转移癌治疗, 使用 ^{32}P 和 ^{90}Sr - ^{90}Y 开展敷贴治疗。

9.1.1.1 PET-CT

(1) 设备组成及工作原理

PET 显像的基本原理是利用体内正电子放射核素发射出的正电子与负电子结合发生湮灭辐射, 发射出一对能量相等(511keV)、方向相反的 γ 光子, 见图 9-1。

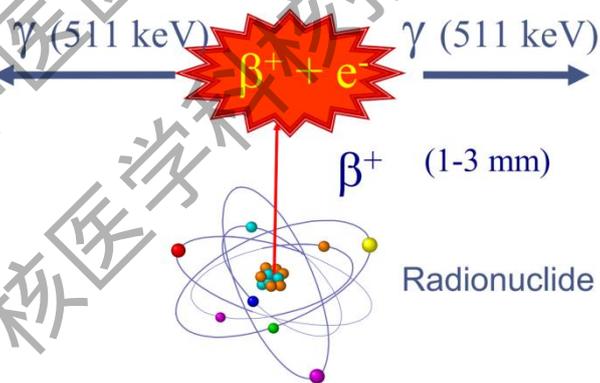


图 9-1 正电子湮灭

PET 探头系统由环形的数百个探测器构成, 晶体材料常采用锗酸铋或 12.7mm 厚的碘化钠。呈相反方向 (180°) 排列的两个探头探测 γ 光子, γ 光子与晶体作用下, 形成 1 个电脉冲, 脉冲高度分析器选择能量符合 511keV 的电脉冲送入电子学线路, 电子学线路把呈相反方向并在 5~15ns 内发生的两个电脉冲信号送入显像系统, 生成 PET 显像。

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

典型 PET-CT 见图 9-2。

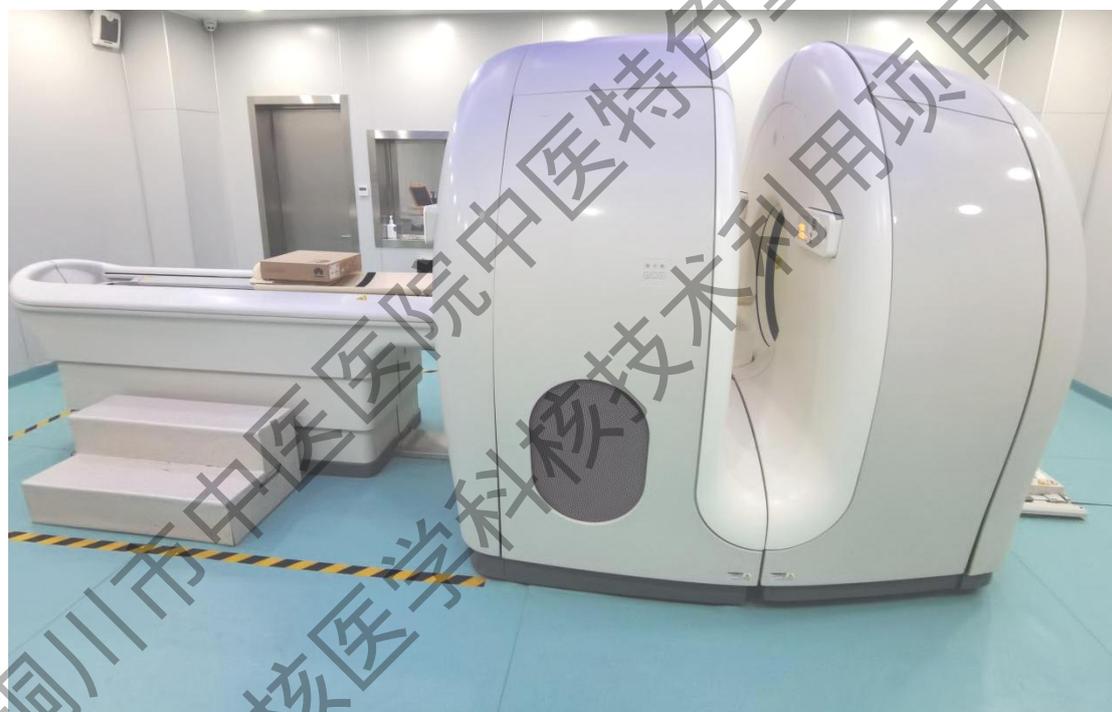


图 9-2 典型 PET-CT 实物图

(2) ^{18}F 用药量情况

项目 PET-CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，放射性核素 ^{18}F 外购。 ^{18}F 半衰期 109.8min，半衰期很短，医院根据临床诊断所需药物的使用量，向供药单位订购药物。供药单位在约定时间内，根据提前预定告知的放射性药品种类、活度、剂量和数量生产放射性药物。放射性药物采用 40mm 厚铅罐贮存，经 β 表面污染和外表面辐射剂量率检测合格后，将铅罐置于专用运输包装内，由专用运输

车辆进行配送，运送至核医学科药物准备室（储源室）。

根据医院计划，PET-CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，每天最多检查 10 人次，每天工作 8 小时，每周工作 5 天，每年工作 50 周。每人最大药物注射量 10mCi，计划上午 7:30 将药物运送至核医学科药物准备室（储源室）。医院计划分 3 批注射，前 2 批注射 4 人，最后一批 2 人。每批注射间隔时间约 60 分钟。由于 ^{18}F 半衰期较短，考虑到放射性核素的衰变，以及存在的其他不可控因素，日最大操作量仍需留有部分冗余，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。

根据医院注射计划，估算出医院 ^{18}F 的实际订购量为：

$$10 \times (1 + 2^{(60/109.8)}) \times 4 + 10 \times 2^{(120/109.8)} \times 3 = 162.4\text{mCi}, \text{ 即 } 6.01 \times 10^9 \text{Bq}.$$

项目 PET-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 9-1。

表 9-1 项目 PET 核素诊断拟使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	形态	半衰期	衰变方式	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq/d)	用途
^{18}F	液体	109.8min	EC、 β^+	3.7×10^8 (10mCi)	6.01×10^9	PET-CT 显像诊断

(3) 工作流程及产污环节

- a、根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物。
- b、供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，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。
- c、核医学科工作人员在高活室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。

放射工作人员将钨合金注射器防护套套在注射器上，隔着注射窗口对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用废物桶。
- e、放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入注射后候诊室候诊。
- 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，无不良反应患者由控制区出口离开核医学科辐射场所活性区，有不良反应患者在留观室留观 10min。

项目 PET-CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-3。

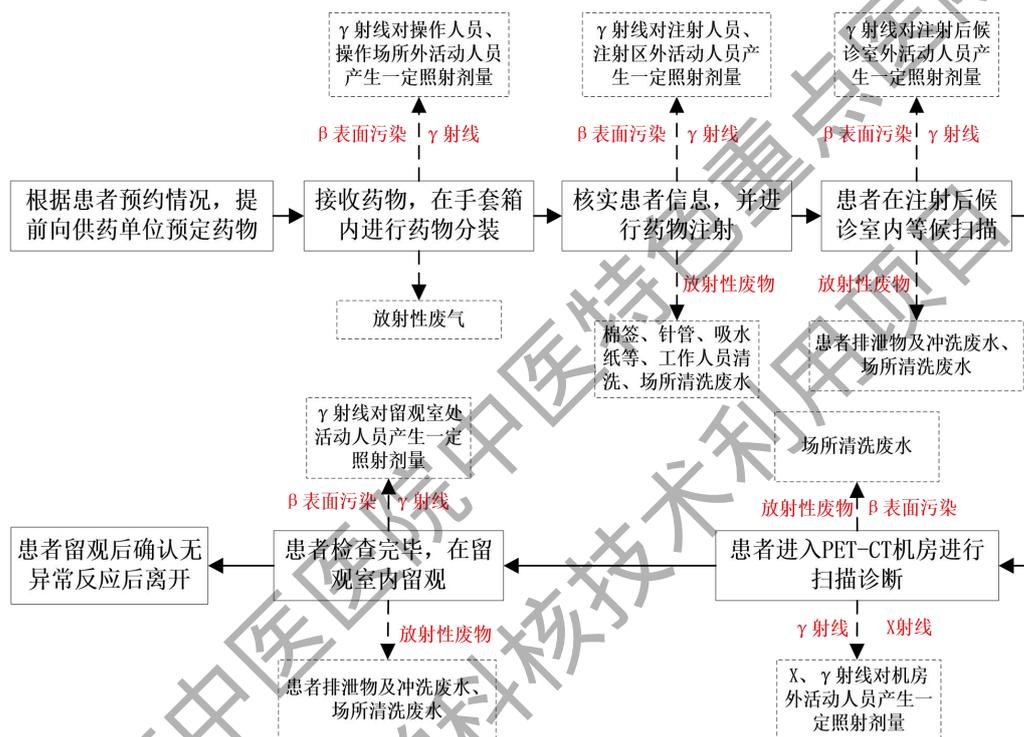


图 9-3 项目 PET-CT 诊断工作流程及产污环节示意图

项目PET-CT放射诊断过程的污染因子主要是： γ 射线、X射线、 β 表面污染、放射性“三废”等。

(4) 设备参数

项目核医学科 PET-CT 设备参数见表 9-2。

表 9-2 项目核医学科 PET-CT 主要设备参数一览表

设备名称	型号	数量	类别	具体参数
PET-CT	待定	1 台	III 类	CT 部分：最大管电压 140kV 最大管电流 800mA

9.1.1.2 SPECT-CT

(1) ^{99m}Tc 放射性核素制备

① ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器工作原理

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

典型放射性核素发生器内部结构示意图见图 9-4。

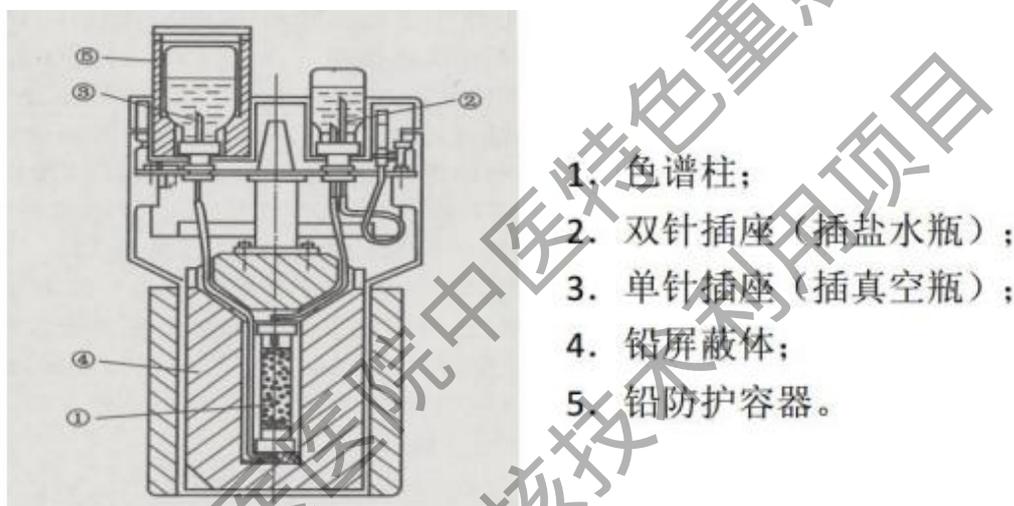


图 9-4 放射性核素发生器内部结构示意图

② 淋洗、分装操作流程及产污环节图

放射性核素发生器的操作流程为:

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

b. 开展淋洗工作前, 将放射性核素发生器置于手套箱中, 而后将放射性核素发生器顶部的铅屏蔽盖打开。

c. 先将盛有淋洗液的小瓶插入发生器的双针, 然后将置入铅罐的负压瓶插入发生器的单针。启动放射性核素发生器, 借助负压瓶的负压, 使淋洗溶液淋洗发生器的吸附柱, 这时由母体衰变而得到的子体放射性核素即被洗脱入负压瓶中,

获得含 ^{99m}Tc 的洗脱液。取走铅罐后，用另一负压瓶插至单针上，吸干吸附柱。

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

e.最后将分装好的药物送至注射室使用。

放射性核素发生器的操作流程及产污环节见图 9-5。

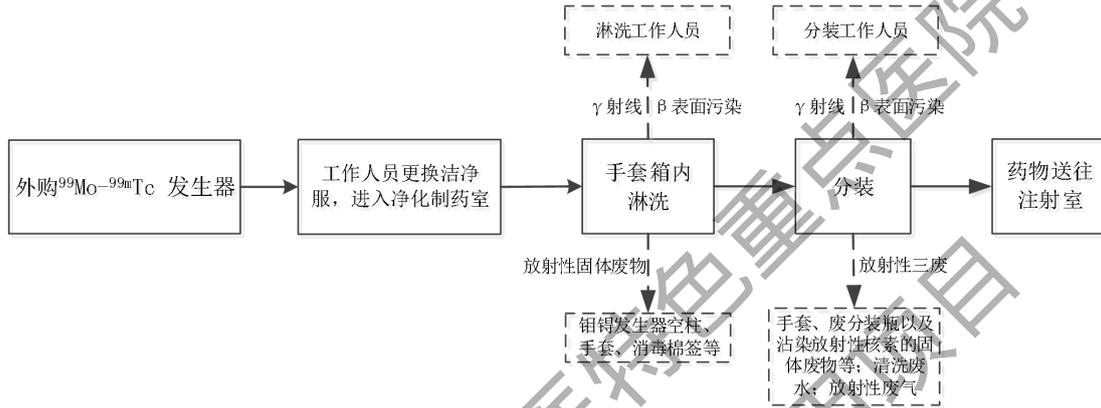


图 9-5 放射性核素发生器操作流程示意图

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

③ ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器用量

^{99}Mo 、 ^{99m}Tc 半衰期短，故裂变钼 99-Mo 色层发生器有效期短，一般不超过 1 周。医院根据患者的人数、诊疗内容和药物注射量向有资质的厂家每周订购 2 个 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器，（每个发生器活度为 500mCi ），全年使用的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器数量约为 100 个，每次淋洗、质控时间约 20min。 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗制药拟使用放射性核素相关情况见表 9-3。

表 9-3 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗制药拟使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	形态	半衰期	衰变方式	日最大操作活度 (Bq/d)	用途
^{99}Mo	液体	2.75d	β^-	3.7×10^{10}	制备 ^{99m}Tc

(2) SPECT/CT 显像检查

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)，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。人体自然发出的 γ 射

线不能用来做诊断，要获得人体内部病区情况，需要医疗人员向受检者体内注射一定活度的放射性核素，探测核素发出的 γ 射线，可知人体内器官、组织和影像的变化，从而获得病灶信息。常用发射单光子的核素药物如 ^{201}Tl 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等。

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探头绕人体一周，在旋转时每隔一定角度（ 3° 或 6° ）采集一帧图片，然后经滤波反向投影法或迭代重叠法或傅里叶变化法等方法，用电子计算机自动处理，将图像叠加，重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层、切面图像，最后极大提高了诊断的灵敏度和正确性。

SPECT-CT由SPECT和诊断CT融合而成，通过对受检者的一次扫描，可以达到单独的CT无法达到的诊断效果，完成SPECT和CT的一站式检查。在SPECT-CT诊疗中，CT机主要起定位和辅助分析作用，用于提高核素诊断效果。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，用于详细分析病灶区的厚度和形态等病征信息。SPECT-CT即可得出功能代谢显像，又可得出解剖学显像，对于病灶定位、病症诊断极具特殊优势，帮助医生降低误诊率，使医疗机构整体诊疗水平获得提高。

② $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 用量情况

项目SPECT/CT使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 进行显像诊断，放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为自制，医院自行购置钼铯发生器进行淋洗制备、分装，分装好的药物送注射室。

根据医院计划，SPECT-CT每天最多接待患者27人，其中需注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者20人、需吸入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的肺通气患者2人、需口服 ^{131}I 的患者5人。在SPECT-CT诊断前需向患者注射一定量的放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，预计注射量最大为25mCi；碘扫描患者需口服一定量的 ^{131}I ，预计最大服药量为4mCi；肺通气患者预计吸入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的最大量为20mCi。项目SPECT-CT拟使用放射性核素相关情况见表9-4。

表 9-4 SPECT-CT 拟使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	形态	半衰期	衰变方式	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq/d)	用途
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体	6.02h	同质异能跃迁 (IT)	9.25×10^8 (25mCi)	1.85×10^{10}	SPECT-CT 显像
				7.4×10^8 (20mCi)	1.48×10^9	肺通气 SPECT 显像
^{131}I	液体	8.02d	β^-	1.48×10^8 (4mCi)	7.4×10^8	碘扫描 SPECT 显像

③ 工作流程及产污环节

SPECT/CT 放射诊断工作流程：

SPECT/CT 诊断项目采用的放射性核素 ^{99m}Tc 为自制，医院自行购置钼铯发生器进行淋洗制备、分装，分装好的药物送注射室。

SPECT-CT 诊断项目采用的放射性核素 ^{131}I 为外购已分装针剂，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。

医生开具 SPECT/CT 诊断单，并告知患者诊断过程存在辐射危害，病人通过注射或口服将放射性药物摄入，患者摄入 ^{99m}Tc 后被安排至专用的注射后候诊室等候，待放射性药物代谢一定水平后进入 SPECT/CT 机房进行扫描诊断，一般情况下患者扫描结束后直接离开核医学科；碘扫描患者在服药间口服摄入 ^{131}I 后经核医学科北侧的患者专用通道和出口直接离开，24h 后按照约定时间进入 SPECT/CT 机房进行扫描诊断，检查完成之后不在核医学科工作场所停留。

^{99m}Tc 和 ^{131}I 核素诊断工作流程及产污环节分别见图 9-6 和 9-7。

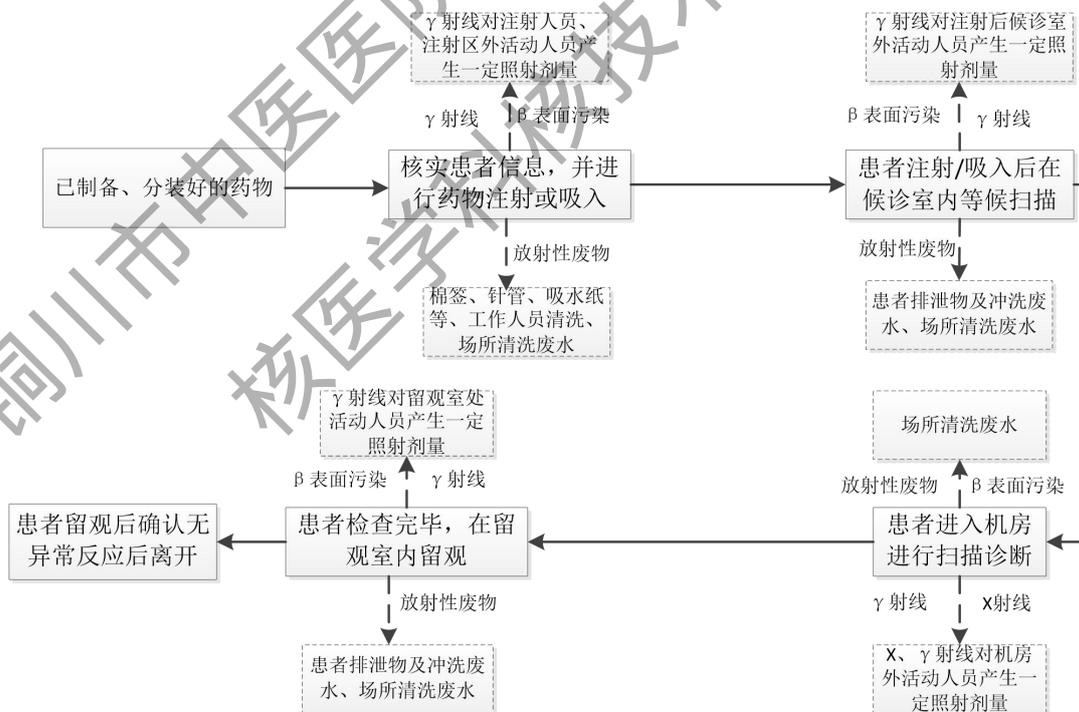


图 9-6 项目 SPET-CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图 (^{99m}Tc)

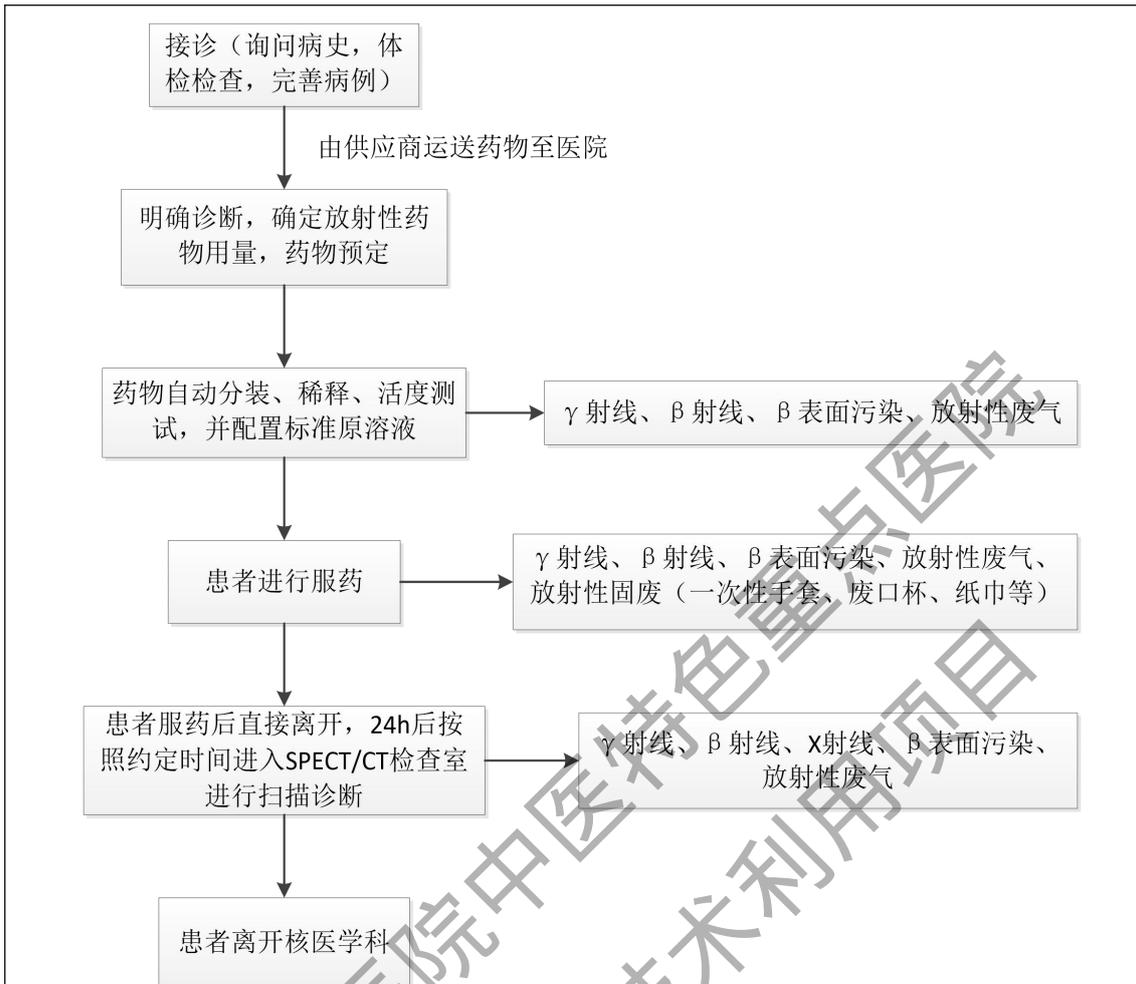


图 9-7 项目 SPET-CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图 (^{131}I)

SPECT/CT 放射诊断过程的污染因子主要是： β 射线、 γ 射线、X 射线、 β 表面污染、放射性“三废”等。

④ 设备参数

项目核医学科 SPECT-CT 设备参数见表 9-5。

表 9-5 项目核医学科 SPECT-CT 主要设备参数一览表

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

9.1.1.3 甲功测定和甲亢治疗

(1) 工作原理

① 甲状腺吸碘功能测定：甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，其摄取速度和数量，以及碘在甲状腺停留的时间，取决于甲状腺的功能状态。因此，给检查者口服一定量的 ^{131}I 后，即被甲状腺所摄取，在体外用特定的射线探测仪就可

测得甲状腺对 ^{131}I 的吸收情况，从而可判断甲状腺的功能状况，为甲状腺疾病的诊断和放射性碘治疗提供了可靠的数据。 ^{131}I 衰变时放射出能量为 0.608MeV 的 β 射线和能量为 0.364MeV 的 γ 射线， β 射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm ，一般不会造成甲状腺周围组织（例如甲状旁腺、喉返神经等）的辐射损伤。

②甲亢治疗：甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，服用药物后 ^{131}I 能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢病人的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高； ^{131}I 在衰变过程中放射出 β 射线的电离辐射生物效应，使功能亢进的甲状腺细胞收到破坏，甲状腺缩小、甲状腺激素的合成减少；达到治疗目的。

(2) ^{131}I 用药量情况

根据医院计划，甲功测定和甲亢治疗患者需提前预约治疗。医院每年工作 50 周，每周工作 5 天，每天最多分别接诊 100 名甲功测定者，每人最大给药量为 $5\mu\text{Ci}$ ；10 名甲亢患者，每人最大给药量为 10mCi 。

项目甲功测定、甲亢治疗拟使用放射性核素相关情况见表 9-6。

表 9-6 甲功测定、甲亢治疗拟使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	形态	半衰期	主要射线和能量 (MeV)	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq/d)	用途
^{131}I	液体	8.02d	β 射线 (0.608MeV)	3.7×10^8 (10mCi)	3.7×10^9	甲亢治疗
	液体	8.02d	γ 射线 (0.364MeV)	1.85×10^5 ($5\mu\text{Ci}$)	1.87×10^7 *	甲功测定

注：*甲功测量过程，每名病人口服 ^{131}I 最大用量为 $5\mu\text{Ci}$ ，在测量过程每天需要配置一次标准源溶液（最大用量 $5\mu\text{Ci}$ ），表中日最大操作活度为日诊疗人数+1 份标准源用量之和。

(3) 工作流程及产污环节

1) 甲状腺功能测定工作流程

甲状腺功能测定是甲亢治疗、甲癌治疗流程中治疗前阶段的步骤，甲状腺功能测定是在甲功测定室内利用甲状腺功能测定仪来测定患者甲状腺吸碘率。甲状腺功能测定一般患者需要服用 $2\sim 10\mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I ，服用药量非常小，服药后患者体外 0.5m 处辐射剂量率水平约为 $0.02\sim 0.09\mu\text{Sv/h}$ ，与天然环境辐射本底相当，因此甲功测定室不需要进行专门的辐射防护屏蔽设计，进行甲状腺功能检查的患者也不需要进行辐射安全管控。

甲状腺功能测定操作流程如下：

①病人准备。根据医生指导意见，需要接受甲状腺功能测定的患者提前登记预约，进行治疗前准备，需停止食用含碘丰富的食物 2-4 周，停止服用含碘药物 2 周以上。检查当日患者应空腹。

②药物预定好以后，然后由供药单位将药物当天用专车运抵医院核素治疗区储源间暂存，供药商的专业技术人员通过泵吸将铅罐内的 ^{131}I 注入配药室的自动分装仪中。医生通过电脑控制将蒸馏水注入自动分装仪中对购买的 ^{131}I 液态放射性药物进行稀释。医生在本机页面或远程计算机设定样品的分配活度、体积和计划使用时间，系统会自动完成将放射性原料（母液）进行稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的全部工作，测试合格的溶液可用于患者服用；并配置一份 $2\sim 10\mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I 药物作为标准源。

③患者空腹口服 $2\sim 10\mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I 药物，服药后继续禁食 1h。

④开机预热，使甲状腺功能仪处于正常工作状态，测量甲功测定室本底计数。

⑤测量标准源计数，将标准源溶液加入试管中，然后插入颈部模型内，测量标准源计数。标准源模型与患者甲状腺的几何位置应一致。

⑥患者口服 ^{131}I 药物后 2h、4h、24h 分别测量甲状腺放射性计数，并求出甲状腺摄碘率。

甲状腺功能测定的操作流程及产污环节见图 9-8。

2) 甲亢治疗流程

甲亢患者服药量小于 400MBq ，患者服药后可直接由病人出口离开核医学科。

^{131}I 自动分装仪图见图 9-9。甲亢治疗流程图见图 9-10。

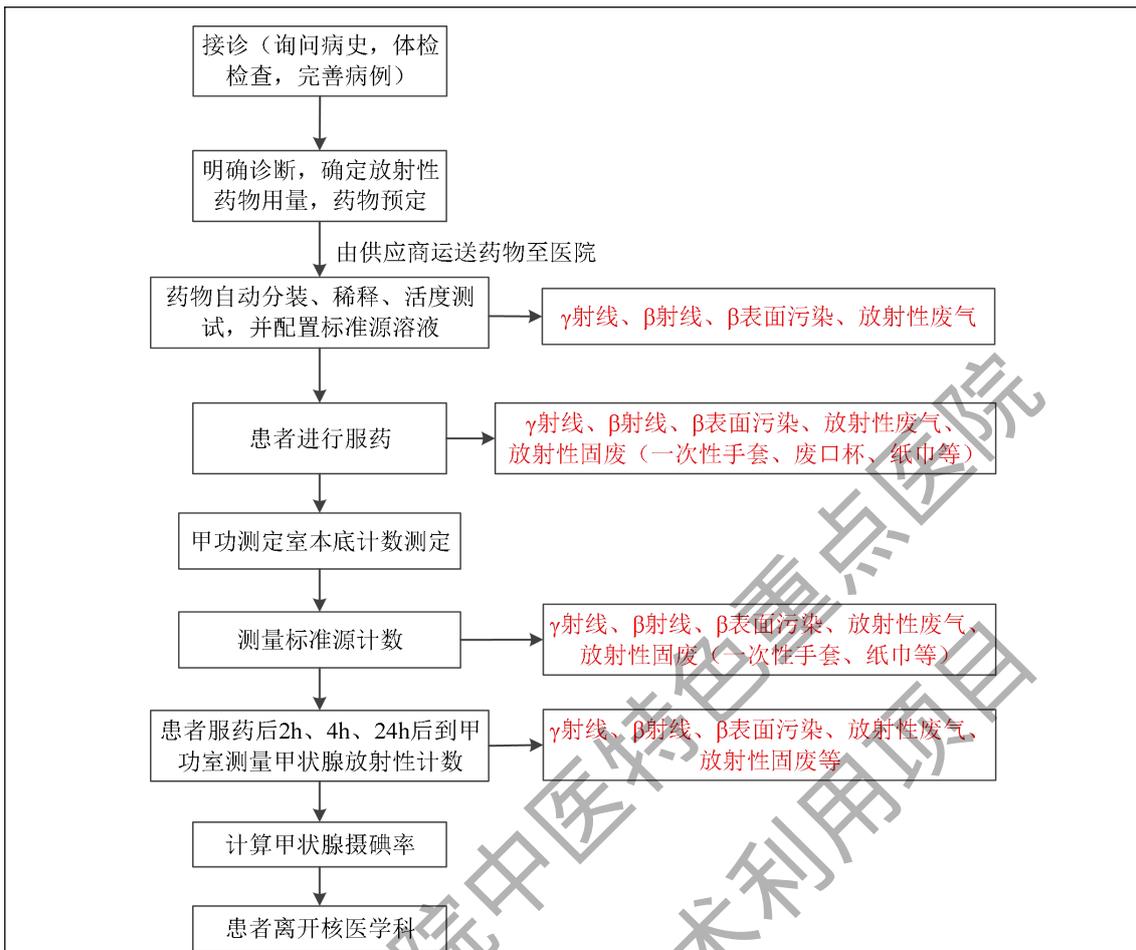


图 9-8 甲状腺功能测定操作流程及产污环节图



图 9-9 ¹³¹I 自动分装仪示意图

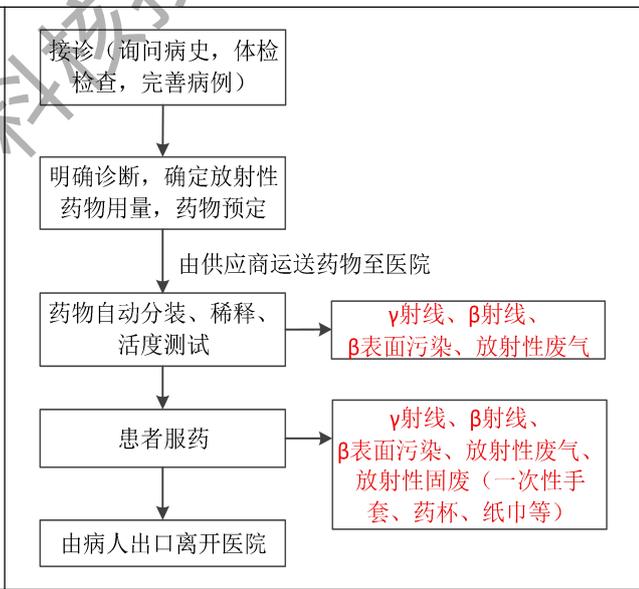


图 9-10 甲亢治疗流程及产污环节示意图

项目甲功测定和甲亢治疗过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、 β 表面污染、放射性“三废”等。

9.1.1.4 敷贴治疗

(1) 工作原理

与一般的核医学放射性药物内照射治疗不同，敷贴治疗是一种近距离治疗方式，即选择适当的放射性核素面状源作为敷贴器覆盖在患者病变部位的表面，照射一定时间，达到治疗目的的接触放射治疗的方法。放射性核素敷贴器(radionuclide applicator)是将一定活度与能量的放射性核素，通过一定的方式密封起来，制成具有不同形状和面积的面状源作为敷贴治疗用的放射源，简称敷贴器或敷贴源。放射性核素敷贴治疗器应选用半衰期较长、β射线能量较高，不伴生γ辐射或仅伴生低能γ辐射的放射性核素，例如⁹⁰Sr-⁹⁰Y和³²P敷贴器。⁹⁰Sr的半衰期为 $28.6\pm 0.3a$ ，⁹⁰Y的半衰期为 $64.1\pm 0.1h$ ，两者衰变方式为纯β⁻衰变，⁹⁰Y衰变可放出能量为2.283MeV的β射线。³²P的半衰期为 $14.26\pm 0.1d$ ，衰变方式为纯β⁻衰变，衰变可放出能量为1.710MeV的β射线。

(2) ⁹⁰Sr-⁹⁰Y、³²P使用情况

本项目使用的³²P敷贴器需要在使用前进行制作，由供应商按预约用量，在约定时间将放射性³²P溶液送至敷贴室暂存，药物密封于专用屏蔽容器中，使用前在敷贴室通风橱中进行简单制作，制作过程全程在专用通风橱中进行。制作方法如下：①采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为³²P溶液的支持物，滤纸上画有格子；②用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加³²P溶液的毫升数；③用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的³²P溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加³²P溶液，通过颜色的深浅来调整³²P活度的分布均匀性；④调整色剂均匀分布后，用优质塑料薄膜与胶布套封，经检测表面无放射性污染后即可使用。

根据医院计划，敷贴治疗计划使用的³²P、⁹⁰Sr-⁹⁰Y相关情况见表9-6：

表 9-6 ³²P、⁹⁰Sr-⁹⁰Y 相关情况一览表

序号	核素名称	日诊疗人数	毒性	半衰期	单人核素最大用量(Bq)	日最大操作活度(Bq/d)	使用场所位置	用途
1	³² P	5人	中毒	14.26d	1.85×10^8 (5mCi)	9.25×10^8	敷贴室	敷贴治疗
序号	核素名称	单枚活度(Bq)		枚数	放射源分类	使用场所位置	用途	
2	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	7.4×10^9 Bq		3	V类	敷贴室	敷贴治疗	

(3) 工作流程及产污环节

敷贴治疗的主要工作流程包括病人就诊, 治疗方法介绍并告知可能收到的辐射危害、取出敷贴器放置在病变部位、回收敷贴器等。 ^{90}Sr - ^{90}Y 和 ^{32}P 敷贴器日常存放在储源室的保险箱中。

a) 治疗前根据病变的部位、形状、面积、病变程度合理计算治疗方案, 精确计算疗程的分次照射剂量和累积照射剂量。

b) 专业医生制作 ^{32}P 敷贴器时, 须戴上乳胶手套在通风橱内进行操作, 敷贴器经检测表面无放射性污染后方可使用。 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器无需制作。

c) 实施治疗时, 采用 3mm 厚的橡胶板屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变, 屏蔽其周围正常皮肤; 对其他部位的病变, 则在病变周围露出正常皮肤 0.5cm。在已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后, 将敷贴器紧密贴在病变部位。每次治疗时应由专人使用能报警的计时器控制照射时间, 治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况, 及时调整照射剂量, 防止产生并发症。

d) 每次治疗结束后, 由工作人员收回敷贴器, 检查治疗效果。

项目敷贴治疗过程的污染因子主要是: β 射线、 β 表面污染、放射性“三废”等。

项目敷贴治疗的工作流程及产污环节见图9-11。

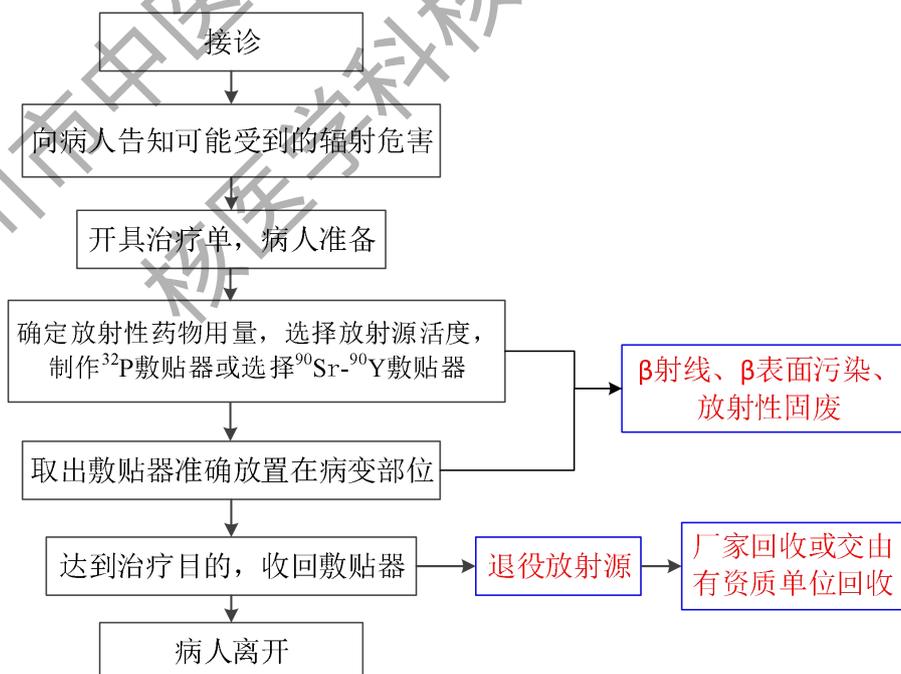


图 9-11 敷贴治疗工作流程及产污环节示意图

9.1.1.4 ¹²⁵I 放免分析

(1) 工作原理

放射性免疫检测简称放免,是利用标记抗原和非抗原与特异抗体的竞争结合反应,通过测定结合的抗原抗体复合物和游离抗原放射性量来计算出非标记抗原含量的一种超微量分析技术。抗体、标记抗原和非标记标准抗原是放射免疫分析方法所需的基本试剂。目前主要用 ¹²⁵I 标记物。

(2) ¹²⁵I 使用情况

根据医院计划,放免测定患者需提前预约治疗。医院每年工作50周,每周工作5天,每天最多检测100份样品,预计每次测定使用药量最大为1 μ Ci。

项目放免分析拟使用放射性核素相关情况见表 9-6。

表 9-6 放免分析拟使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	形态	半衰期	衰变方式	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq/d)	用途
¹²⁵ I	液体	59.4d	EC	3.7 \times 10 ⁴	3.7 \times 10 ⁶	放免分析

(3) 工作流程及产污环节

需进行 ¹²⁵I 放射免疫测定的患者首先应在南院医技楼二层检验科采集血样,血样采集完成后由工作人员统一送至放免室,在血样中加入 ¹²⁵I 标记物,人血清中 FT₄ 抗原和一定量 ¹²⁵I-T₄X 与限量的 T₄ 抗体竞争结合,形成抗原抗体复合物,再加入免疫分离剂,使免疫复合物沉淀,离心后,抽弃上清液,用 γ 计数器测量沉淀放射性计数 (cpm),最后通过标准曲线反算出血清中 FT₄ 含量。¹²⁵I 放射免疫测定流程及产污环节示意图如图 9-12 所示。

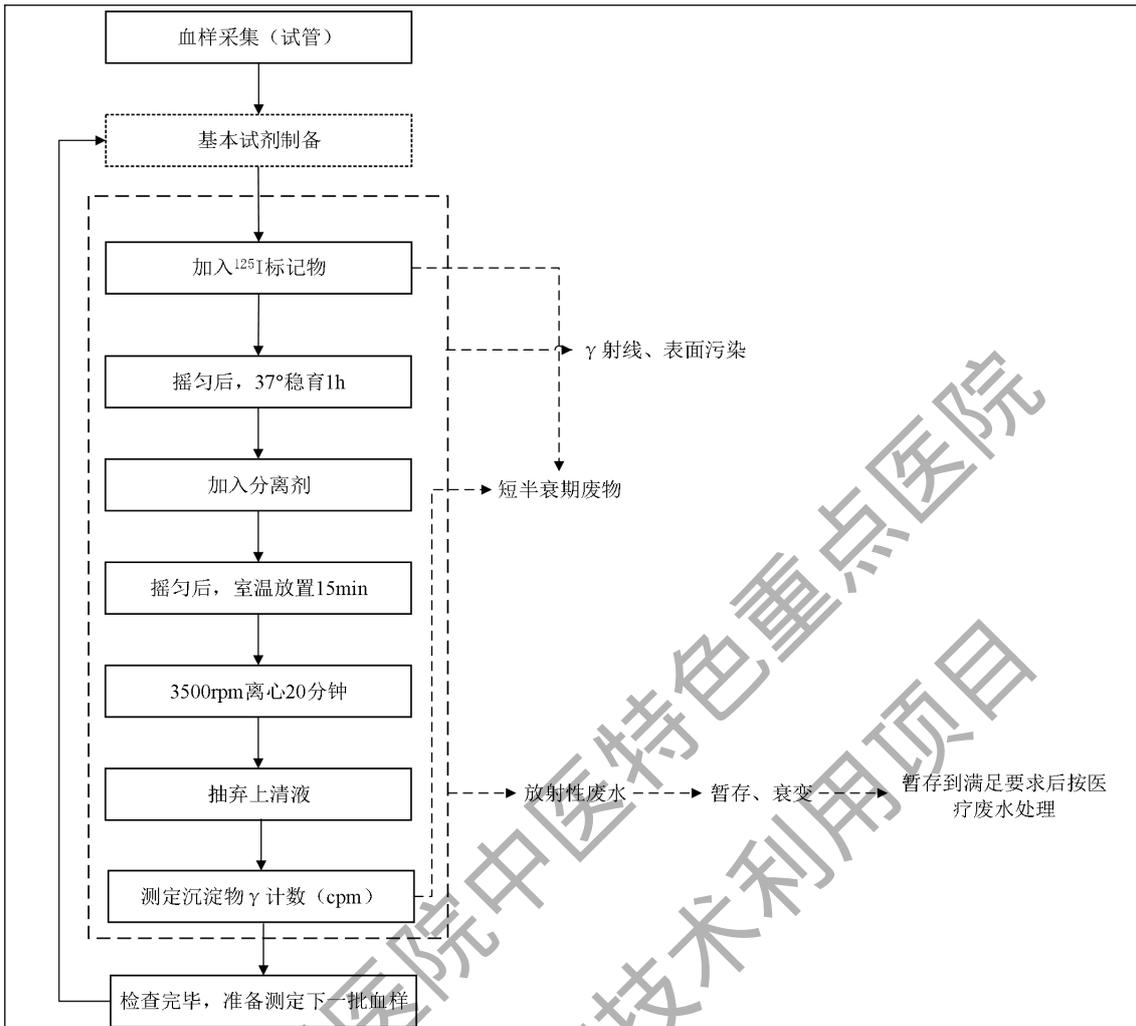


图 9-12 ^{125}I 放射免疫测定流程及产污环节示意图

9.1.1.5 ^{89}Sr 骨转移癌治疗

(1) 工作原理

^{89}Sr 为一种纯 β 射线型的放射性核素，发出的 β 射线最大能量为1.46MeV，平均能量为0.5815MeV，作为治疗骨转移的药物，锶在元素周期表中与钙在同一族，其代谢与钙相似，主要集中于骨骼系统而身体其他部位的量少。

骨转移灶浓聚量是正常骨的2-25倍，对骨癌引起的疼痛具有相当好的镇痛效果。 ^{89}Sr 的半衰期比较长(50.5d)。注射后90d，在转移灶内的滞留量可达20%-88%。 ^{89}Sr 治疗的另一个目的是使骨转移灶缩小或消失，以缓解病情，延长患者的生命，其 β 射线能杀死肿瘤细胞，因而除了镇痛外，在部分病例中 ^{89}Sr 还可以对骨转移灶起到治疗作用。

(2) ^{89}Sr 使用情况

根据医院计划，治疗骨转移癌患者需提前预约治疗。医院每年工作50周，每

周工作5天，每天最多分别接诊4名骨转移癌治疗患者，每人最大给药量为5mCi。

项目骨转移癌治疗拟使用放射性核素相关情况见表 9-6。

表 9-6 骨转移癌拟使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	形态	半衰期	衰变方式	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq/d)	用途
^{89}Sr	液体	50.5d	β^-	1.85×10^8	7.4×10^8	骨肿瘤治疗

(3) 工作流程及产污环节

根据医院提供的资料，所有放射性药物注射治疗患者需提前预约治疗。用于治疗的药物是直接进行静脉注射，每份用于治疗的放射性药物液体由供药商事先分装，预约病人后按约定用量和时间发货，治疗时不需在分装，在地下一层核医学科给药室进行注射，注射完成后直接离开。 ^{89}Sr 注射治疗流程及产污环节示意图如图9-13所示。



图 9-13 ^{89}Sr 注射治疗流程及产污环节示意图

9.2 污染源项描述

9.2.1 核医学科

9.2.1.1 正常工况下污染途径

项目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； ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器使用的放射性药物为

^{99}Mo , ^{99}Mo 衰变产生 β 射线和 γ 射线; SPECT-CT使用的放射性药物为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变产生 γ 射线和内转换电子, ^{131}I 衰变产生 β 射线和 γ 射线, CT扫描时产生的X射线。此外, 项目正常运行期间还会产生一定量的放射性“三废”及臭氧、氮氧化物等非放射性废气。

项目甲功测定和甲亢治疗使用的放射性核素为 ^{131}I , ^{131}I 衰变方式为 β , 在衰变过程中释放 β 射线和 γ 射线, β 射线为连续能谱, 最大能量为0.606MeV(分支比为89.7%), γ 射线的能量主要为0.364MeV(分支比为81.8%)。

^{32}P 敷贴治疗将液体溶液吸附在事先按照病变形状剪好的滤纸片上, 用薄膜包裹, 每天敷贴于病变上一定时间, 通过发射的 β 粒子照射达到治疗目的。自制的 ^{32}P 敷贴器弃用时按放射性废物管理。 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器为外购敷贴器, 会产生废弃商品敷贴器, 按放射性废源管理。

项目放免分析使用的放射性核素为 ^{125}I , ^{125}I 衰变模式为EC, 在衰变过程中释放 γ 射线; 骨肿瘤治疗使用的放射性核素为 ^{89}Sr , ^{89}Sr 衰变方式为 β , 在衰变过程中释放 β 射线和 γ 射线, β 射线为连续能谱, 最大能量为0.606MeV(分支比为89.7%), γ 射线的能量主要为0.364MeV(分支比为81.8%)。

项目核医学科正常运行状态下可能产生的污染途径如下:

① β 表面污染

由于放射性药物 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 和 ^{99}Mo 均为液体药物, 在淋洗、存放、注射过程中洒漏, 会造成工作场所的 β 表面污染; 患者注射放射性药物 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 或口服 ^{131}I 药物后, 其分泌汗液、排泄物等可能造成候诊、诊断、核素治疗工作场所的 β 表面污染。

② γ 射线

由于 γ 射线具有较强的穿透性, 放射性药物在储源室暂存、分装质控注射室注射过程中, 对其周围环境和工作人员会产生一定辐射影响; 经注射或口服进入患者体内后, 患者本身短时间内成为“辐射体”, 在衰变过程产生的 γ 射线造成患者周围辐射水平升高; 患者在候诊、显像诊断、留观过程中, 短期内对近距离接触的人员造成影响, 部分 γ 射线穿透候诊室、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。

③X射线

PET-CT或者SPECT-CT开机扫描时CT部分产生的X射线。X射线穿透机房的实体屏蔽造成机房周围环境辐射水平升高，人员在此区域活动时受到一定的照射剂量影响，污染途径为X射线外照射。

④放射性废水

项目核医学科PET和SPECT诊断场所产生的放射性废水主要为工作人员清洗受污染衣服、手部及工作场所时可能带有微量放射性的废水和患者的排泄物等，主要含有 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

碘扫描患者在服药间口服摄入 ^{131}I 后经核医学科北侧的患者专用通道和出口直接离开，24h后按照约定时间进入SPECT/CT机房进行扫描诊断，检查完成之后不在核医学科工作场所停留，不考虑碘扫描患者产生的放射性废水。

使用 ^{131}I 进行甲功测定的患者，在检查后可直接离开核医学科，无如厕人员，且甲功测定服用药量非常小，因此不考虑甲功测定患者产生放射性废水；甲亢治疗采用口服方式，患者服药量小于 400MBq ，服药后可直接离开核医学科，不考虑甲亢患者产生的放射性废水。

^{32}P 敷贴治疗和 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗时直接将敷贴器紧密贴在病变部位，不存在药物通过患者代谢而排放，故不考虑患者产生放射性废水。

^{89}Sr 骨肿瘤治疗注射完药物后患者即可离开核医学科，不考虑骨肿瘤患者产生的放射性废水。

使用 ^{125}I 进行放免分析时，离心分离后抽弃的上清液为放射性废水，主要含有 ^{125}I 放射性核素，本项目产生 ^{125}I 低放废液在专用贮存容器（3个 1m^3 不锈钢容器，厚度 2mm ）内贮存2年时间（ ^{125}I 半衰期 $T_{1/2}=60.1\text{d}$ ，10个半衰期为 601d ）。收集贮存方式，每年使用1个贮存容器收集 ^{125}I 低放废液约 $0.52\text{m}^3/\text{a}$ （小于单个容器体积 1m^3 ），封存后贮存衰变2年。使用3个 1m^3 的贮存容器能够满足 ^{125}I （放免）测定室 ^{125}I 低放废液的贮存衰变要求。

核医学科使用 ^{18}F 开展PET显像检查日接待患者量最大为10人，SPECT-CT每天最多接待患者27人，其中需注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者22人（包括肺通气患者2人）、需口服 ^{131}I 的患者5人（不停留，不产生放射性废水）。a）参考《节水型卫生洁具》（GB/T31436-2015），节水型蹲便器平均用水量不大于6L，从保守角度考虑每名受检者注射后均如厕2次，每次排泄物排出量约300mL，患者洗手废

水产生量按 1L·次计，则显像检查患者用水量为 14.6L/人；b) 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，本次核素操作人员废水产生量按平均值 70L/人·d 计（含药物注射人员清洗）；c) 核医学科场所清洁预计每天产生废水量 0.3m³/d。

表 9-11 核医学科放射性废水排放情况表

用水类别		废水产生量	用水规模	废水产生量		去向
				m ³ /d	m ³ /a	
18F、99mTc 核素诊断	放射工作人员	70L/人·d	2 人	0.14	35	1-4 衰 变池
	诊断患者	14.6L/人·d	32 人	0.47	116.8	
	清洁用水	0.3m ³ /d	/	0.3	75	
合计				0.91	226.8	

综上，项目运营期间产生含放射性废水量约为 0.91m³/d（226.8m³/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，再排入医院总污水处理站进一步处理。

⑤废气

核医学科使用放射性核素过程中，会产生微量的含 18F、99mTc、131I 等核素的废气，放射性废气采取活性炭过滤防护装置处理后，经专用管道引至中医临床培训楼顶部屋面排放，排风口高出屋面。

⑥固体废物

1) 放射性固废

项目产生的放射性固废主要由：⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器淋洗、分装过程中，产生的废钼铯发生器柱、废淋洗真空瓶、手套、消毒棉签、废分装瓶、工作人员操作的一次性手套等；¹⁸F、^{99m}Tc、¹²⁵I 和 ⁸⁹Sr 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；¹³¹I 病人服药过程中产生的废分装废口杯、废纸巾、一次性手套等；使用 ³²P 和 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 开展敷贴治疗自制敷贴器，产生的废弃敷贴器、放射工作人员戴的乳胶手套、台面清洁擦拭采用的吸水纸酒精棉球等；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。

根据医院提供的资料，项目核医学科日接诊人数最多 256 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12.8kg，全年产生量约为3200kg；³²P产生的废弃敷贴器作为放射性废物管理，每次敷贴器制作产生0.5kg，每月制作2-3次，年产生废弃敷贴器18kg。⁹⁰Sr-⁹⁰Y敷贴器为V类放射源，放射源不再使用或活度无法满足校准要求时，产生废旧放射源，由放射源供应单位负责回收处置。清洁时用过的抹布及拖布产生量约为10kg/a。放射性废物分类收集在内置专用塑料袋的污物桶（污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志）内，塑料袋装满后密封并及时运送至废物暂存间内专用容器中。

医院药物制备过程中将产生废核素发生器，废⁹⁹Mo-^{99m}Tc发生器年产生量约100个。废核素发生器在放射性废物间暂存，而后交由生产厂家回收。

核医学科排风系统的活性炭预计每年更换一次，每次填装量为100kg，则废活性炭产生量为100kg/a。

故核医学科年产生放射性固废总量为3328kg。

2) 非放射性固废

核医学科产生的非放射性医疗垃圾和生活垃圾，医疗垃圾运至医院的医疗垃圾暂存间暂存，定期交由有资质的单位处理，一般生活垃圾交由环卫部门处理。

9.2.1.2 事故工况下污染途径

- 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对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；
- ⑥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；
- ⑦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 核医学科

10.1.1 核医学科辐射安全防护措施和设施

10.1.1.1 工作场所布局

项目核医学科位于中医临床培训楼负一层，负一层主要布置中医药库房、设备机房、核医学科及相关配套功能用房。核医学科工作场所自成一区，正上方地面绿化，正下方为土层。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放免室、敷贴间、甲功测定室、储源室、服药间、给药室、制备间、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET 等候室、VIP 等候室、SPECT 等候室、抢救室、固废间、患者通道等；非活性区设置有候诊大厅、登记接诊、问诊室、西侧医务人员卫生间及更衣室、医生通道、楼梯间等。核医学科平面布局图见图 1-8。

核医学科工作场所选址及布局合理性分析见表 10-1。

表 10-1 核医学科工作场所选址及平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	本项目核医学科仅为门诊诊断，不设置住院治疗场所；控制区集中设置在中部，制备间、质控室、注射分装室相邻，与机房、甲功测定室、注射后等候区、留观室分开设置，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	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	符合要求

	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。	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消洗间及缓冲间;项目3间注射后等候室均设置专用卫生间。	
《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。	本项目质控区、给药准备、制备间出口设置缓冲间及消洗间,可进行表面污染检测。	符合要求
	5.1.3a)对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室(可含质控室)、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控(样品测量)室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房。	^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ¹³¹ I诊断区域核医学工作场所设计有给药前候诊大厅、制备间、分装质控给药区域、给药后候诊室、抢救室、机房、固废室、留观室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登记接诊室、办公室、更衣室、卫生间、抢救室等辅助用房。	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,项目核医学科工作场所选址及布局满足《核医学辐射防护与安全

要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

10.1.1.2 工作场所分区

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

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。

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”。

根据GB18871-2002及HJ1188-2021，将制备间、分装质控注射给药区域、PET/CT机房、SPECT/CT机房、患者通道、放免室、敷贴间、吸碘率室、抢救室、运动功能区、注射后等候区、留观室、衰变池等划分为控制区。控制区边界采用辐射防护实体屏蔽，在控制区出入口分别设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限值患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员免受不必要的照射。与控制区相邻的其他区域（包括控制区正上方）划分为监督区，不需要采取专门的防护手段，但要定期检查其辐射水平，对职业照射条件进行监督和评价。核医学科控制区正下方为加速器机房控制区及监督区。

项目核医学科工作场所分区管理示意图详见图10-1。

10.1.1.3 人流、物流路径规划

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。

项目核医学科工作场所内患者及相关工作人员的流动路线如下：

(1) 工作人员路线

①制药、注射、给药工作人员通过一更、二更分别进入制备间和分装质控注射给药区域，药物分装质控完成后进行注射和给药，工作完成后在卫生通过间（包含更衣、冲淋、去污、表面污染检测）检测表面污染，不合格在淋浴间去污清洁，合格后返回非放射工作场所。

②PET/CT、SPECT/CT 设备操作和办公区域工作人员由候诊大厅南侧直接进入机房控制室和相应的工作区域，工作完成后返回非放射工作场所。

③甲功测定工作人员：甲功测定患者服药量非常小，服药后患者体外0.5m处辐射剂量率水平与天然环境辐射本底相当，因此甲功测定室不需要进行专门的辐射防护屏蔽设计，甲状腺功能检查后的患者也不需要进行辐射安全管控。甲功测定工作人员进入吸碘率室，利用甲状腺功能测定仪测定患者甲状腺吸碘率，工作完成后返回非放射工作场所。

④敷贴和放免区域工作人员通过候诊大厅北侧进入相应的工作区域，在工作结束后原路返回。

(2) 患者路线

①放射性核素显像检查患者在候诊区登记、问诊、预约等待，由患者专用入口（单向，只进不出）进入相关工作场所，在注射区窗口进行药物注射；患者进入注射后候诊室进行候诊，等到通知后分别进入 PET/CT 和 SPECT/CT 机房进行显像检查，检查完成后需要留观患者在留观室等候留观，最后经北侧专用通道（单向，只出不进）核医学专用电梯离开。

②甲亢患者、敷贴治疗等放射性核素治疗患者在候诊区登记、问诊、预约等待；通过候诊大厅北侧进入服药间服药、敷贴室和吸碘率室，甲亢治疗和骨转移癌治疗患者（不住院）服药经治疗完成经患者专用走廊从核医学专用电梯离开，敷贴治疗原路返回离开。需进行放免分析的患者在医院医技楼二层检验科进行采血，采完血后可直接离开医院。

(3) 放射性药物路线

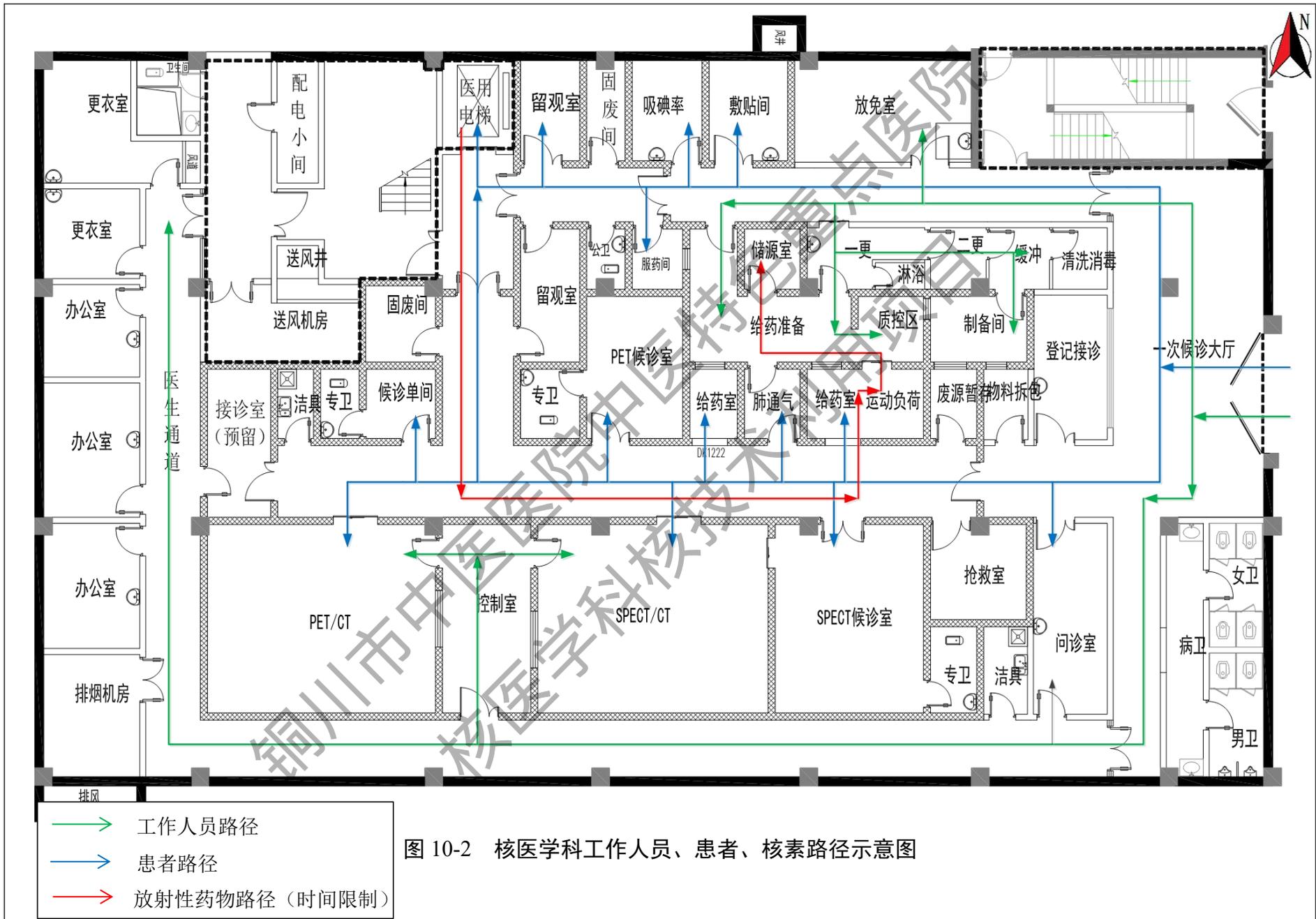
项目使用的 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 核素均为外购，提前一天向供药单位订购所需放射性药物。供药单位按照订购要求，在约定时间（上午上班前7:30、下午上班前12:30）将药物运送至医院，经核医学科患者通道进入储源室，在质控区内完成分装；自制药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 经制备间传递窗口进入质控区，然后进行相应的操作；使用的 ^{32}P 敷贴器需要在使用前进行制作，由供应商按预约用量，在约定时间将放射性 ^{32}P 溶液送至敷贴室暂存，药物密封于专用屏蔽容器中，使用前在敷贴室通风橱中进行简单制作。

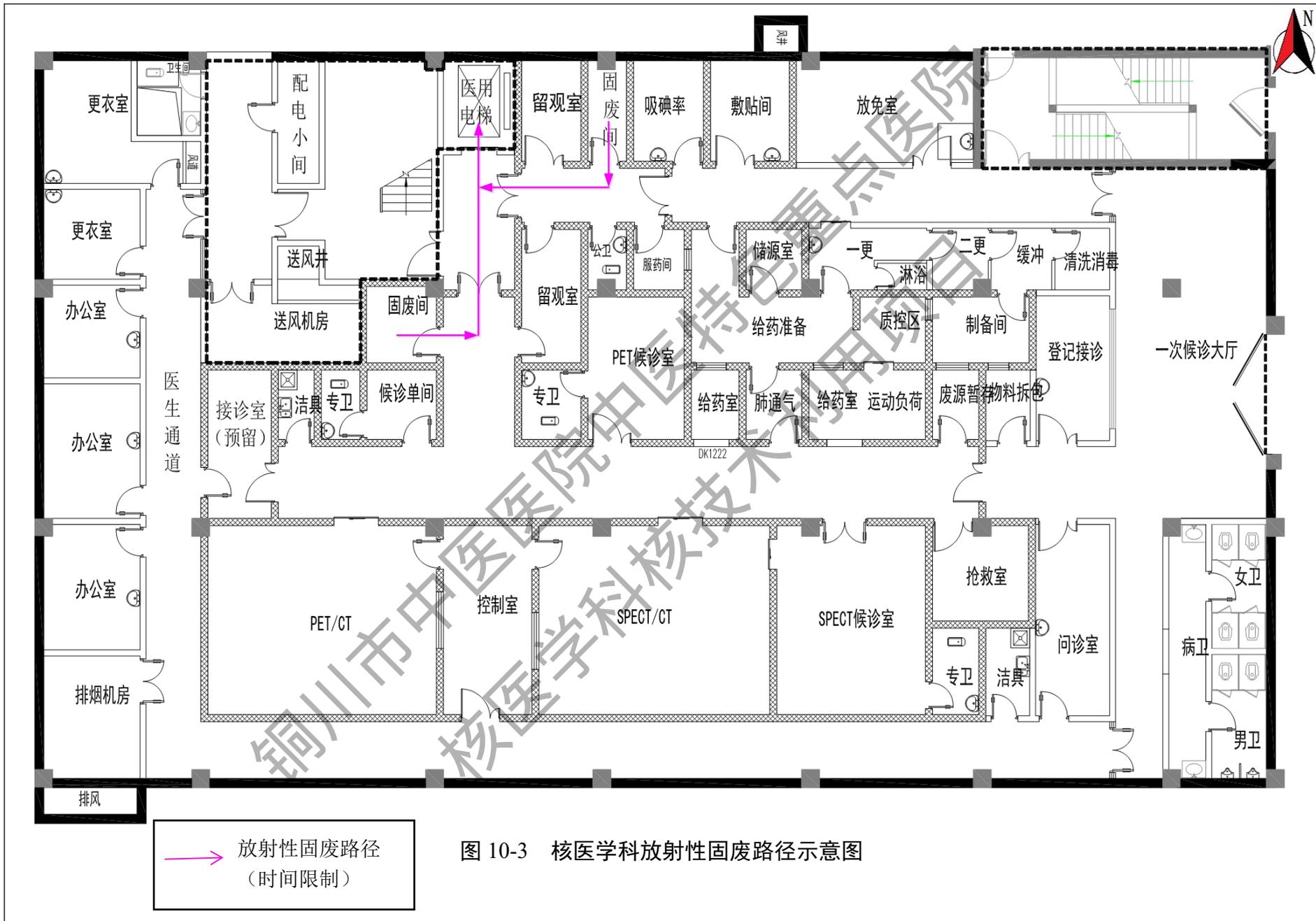
(4) 固废路线

项目放射性固废满足暂存时间要求后由经患者专用走廊从核医学专用电梯运出。放射性固废在医生下班后（19:00后）进行转运，医生上班时间为8:00~18:00，因此通过限制转运时间可保证放射性废物通道与患者通道不交叉。

项目核医学科工作场所医护人员、患者、放射性药物和放射性废物路径见图10-2和图10-3。

综上所述，通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源的活动，使药物注射后患者与注射前患者活动路径不交叉，药物注射后患者与工作人员活动路径不交叉，人员与放射性药物通道、放射性废物通道不交叉，可实现相对独立的工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。





10.1.1.4 非密封放射性物质工作场所分级、分类和分区管理

(1) 工作场所分级

根据《国家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10-4。

表 10-3 非密封源工作场所的分级

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 10-4 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显像	^{18}F	低毒/0.01	很简单操作/10	3.7×10^9	3.7×10^6
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 制备	^{99}Mo	中毒/0.1	源的贮存/100	3.7×10^{10}	3.7×10^7
SPECT-CT显像	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	低毒/0.01	很简单操作/10	$2.00 \times 10^{10*}$	2.00×10^7
	^{131}I	中毒/0.1	很简单操作/10	7.4×10^8	7.4×10^6
放免分析	^{125}I	中毒/0.1	简单操作/1	3.7×10^6	3.7×10^5
甲亢治疗	^{131}I	中毒/0.1	简单操作/1	3.7×10^9	3.7×10^8
甲功测定	^{131}I	中毒/0.1	简单操作/1	1.87×10^7	1.87×10^6
骨肿瘤治疗	^{89}Sr	中毒/0.1	简单操作/1	7.4×10^8	7.4×10^7
敷贴治疗	^{32}P	中毒/0.1	简单操作/1	9.25×10^8	9.25×10^7
合计	/	/	/	/	6.07×10^8

注: 1. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用量为SPECT-CT显像和肺通气患者显像检查日实际最大操作量之和;
2.日等效最大操作量=日实际最大操作量 \times 毒性组别修正因子 \div 操作修正因子。

根据表10-4可知,核医学科工作场所的日等效最大操作量为 $6.07 \times 10^8 \text{Bq}$,在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 之间,属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 工作场所分类

核医学科工作场所分类见表10-5。

表 10-5 核医学科工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度 MBq
I	> 50000
II	50~50000
III	< 50

根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020），项目核医学科不同工作场所分类情况见表10-6。

表 10-6 项目核医学科工作场所分类情况一览表

场所	核素	日实际最大操作量 (Bq)	毒性权重因子	操作修正因子	放射性核素的加权活度 (MBq)	工作场所类别
分装给药质控区	¹⁸ F	3.7×10 ⁹	1	10	5.77×10 ⁵	I
	^{99m} Tc	2.00×10 ¹⁰	1	10		
	¹³¹ I	4.46×10 ⁹	100	1		
	⁸⁹ Sr	7.4×10 ⁸	100	1		
制备间	^{99m} Tc	2.00×10 ¹⁰	1	10	2000	II
服药室	¹³¹ I	4.46×10 ⁹	100	1	4.46×10 ⁵	I
敷贴室	³² P	9.25×10 ⁸	100	1	9.25×10 ⁴	I
放免室	¹²⁵ I	3.7×10 ⁶	100	10	37	III
PET/CT 机房	¹⁸ F	3.7×10 ⁹	1	10	370	II
SPECT/CT 机房	^{99m} Tc	2.00×10 ¹⁰	1	10	2000	II
运动负荷 SPECT 给药	^{99m} Tc	1.85×10 ¹⁰	1	10	1850	II
SPECT/CT 注射后候诊	^{99m} Tc	1.85×10 ¹⁰	1	10	1850	II
肺通气室	^{99m} Tc	1.48×10 ⁹	1	10	148	II
PET/CT 给药室	¹⁸ F	3.7×10 ⁹	1	10	370	II
PET/CT 注射后候诊室	¹⁸ F	3.7×10 ⁹	1	10	370	II
PET/CT 注射后候诊单间	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	1	10	37	III
固废室	¹⁸ F	3.7×10 ⁷ (1%量)	1	1	288.8	II

场所	核素	日实际最大操作量 (Bq)	毒性权重因子	操作修正因子	放射性核素的加权活度 (MBq)	工作场所类别
	^{99m} Tc	2.00×10 ⁸ (1%量)	1	1		
	¹³¹ I	4.46×10 ⁷ (1%量)	1	1		
	⁸⁹ Sr	7.4×10 ⁶ (1%量)	1	1		
抢救室	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	1	10	37	III
	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	1	10	92.5	II
留观室	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	1	10	129.5	II
	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	1	10		

注：①加权活度=计划的日操作最大量×核素毒性权重因子÷操作性质修正因子；
②操作最大量放射性核素的加权活度> 50000MBq时，临床核医学科工作场所分类为I类。

对照《核医学科放射防护要求》(GBZ120-2020)中关于“不同类别核医学工作场所所用室内表面和装备结构的基本放射防护要求”，不同核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表10-7。

表 10-7 不同核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求

工作场所类别	结构屏蔽	地面	表面	分装柜	通风	管道	盥洗及去污
I类	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道	洗手盆和去污设备
II类	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆和去污设备
III类	不需要	易清洗	易清洗	不必须	一般自然通风	普通管道	洗手盆

根据医院提供的资料，核医学科工作场所地面拟采用塑料地坪的方式，保证地面平整光滑易清洗；墙面与地面连接处采用弧形设计，避免缝隙产生，1m以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易清洗的涂料、瓷质面砖等；工作台面拟采用磨光花岗岩板材或不锈钢面板，以保证平整光滑易清洗；药物分装手套箱中进行，手套箱操作台面光滑平整易清洗去污；控制区洗手盆拟采用感应式或脚踏式非接触开关控制；含放射性废液的排水管道尽量缩短管道长度，大水流管道应有标记以便维修检测；患者专用厕所应为感应式或脚踏式非接触开关控制。核医学科设置通风管道，采用机械通风方式；废气经活性炭吸附过滤后排放，排放口

高出地面。

通过上述措施，可满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）规定的要求。

10.1.1.5 屏蔽设计情况

项目辐射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	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	观察窗	8mmPb 铅玻璃
	防护门	受检者门：8mmPb，工作人员门：8mmPb
	屋顶	250mm 混凝土楼板*
	地板	地面为土层，无需增加防护*
SPECT/CT 机房	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	观察窗	4mmPb 铅玻璃
	防护门	受检者门：4mmPb，工作人员门：4mmPb
SPECT 候诊 室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	4mmPb
抢救室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	6mmPb
废源 暂存室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	6mmPb
	传递窗	10mmPb 铅玻璃
制备间	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	传递窗口	10mmPb
	防护门	4mmPb
分装给药质 控区	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门（东侧）	8mmPb
	防护门（西侧）	4mmPb
运动负荷 SPECT 给药 室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	注射窗口	10mmPb 的注射台
	防护门	8mmPb
肺通气	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	4mmPb

PET/CT 给药室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	注射窗口	45mmPb 的注射台
PET 候诊室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	8mmPb
PET/CT 候诊单间	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	8mmPb
固废间 (2 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	6mmPb
留观室 (北侧)	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	6mmPb
留观室 (南侧)	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	8mmPb
服药间	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	10mmPb
	传递窗	20mmPb 铅玻璃
储源室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	8mmPb
放免室	四周墙体	西墙: 240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	/
敷贴间	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	2mmPb
吸碘率室	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆
	防护门	3mmPb
诊断患者入口	防护门(单向门禁系统)	6mmPb
治疗患者入口	防护门(单向门禁系统)	10mmPb
诊断和治疗患者出口	防护门(单向门禁系统)	6mmPb
*核医学科工作场所屋顶均为 250mm 混凝土楼板, 地面均为土层, 无需增加防护。		

10.1.1.6 场所安全措施要求

(1) 工作场所安全防护措施

①核医学科工作场所控制区入口处、出口处需要张贴醒目、规范的电离辐射警示标志及中文警示说明；在手套箱、铅罐、转运注射箱、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给药前候诊区、给药室（注射窗）之间设置叫号系统；碘 131 服药室、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、注射后候诊室、留观室、患者走廊等之间设置视频监控系统 and 双向对讲装置；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、注射后候诊室等处设置病人导向标识或导向提示。

③核医学科诊断区域和核素治疗区域的入口和出口均设计门锁权限控制和单向门禁等安全措施，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；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进行处理。

④本项目放射性药物分装操作在通风橱内进行，并设置单独的排风管道引至建筑物屋顶，经过高效活性炭吸附装置过滤后高空排放，管道内设置止回阀，以防有害气体逆向回流。

⑤分装给药质控区域内设置工作人员专用洗手盆，注射后候诊室设置患者或受检者洗手盆和专用卫生间，其中洗手盆水龙头应采取脚踩式或感应式，患者专用卫生间的便池设为感应式节水马桶。上述所有放射性废水均排入相应衰变池。

⑥核医学科分装给药质控区工作人员入口设卫生通过间（即更衣室、淋浴室、监测区域等），为工作人员提供必要的可更换衣物及铅衣、铅围裙、铅围脖、放射性污染防护服等防护用品，去污清洁用品，冲洗设施和表面污染监测设备；敷贴室为敷贴治疗工作人员配备远距离操作工具，为受检者配备不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板。

⑦妥善处理医用放射性废物。在分装给药质控区域、注射后等候室及卫生间、留观室、敷贴室、吸碘率室、抢救室等位置放置污物桶，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。放射性废物在废物暂存间暂存，达到清洁解控水平后，作为一般医疗废物处理。

⑧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。

⑨核医学分装给药质控区应配备应急及去污用品，包括一次性防水手套、气溶胶防护罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂或喷雾、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、塑料袋、酒精湿巾、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子等。

⑩制定各项规章制度和操作规程，放射工作人员严格遵守规章制度，严格按照操作规程进行操作，禁止放射工作人员在辐射活性区饮水、吃东西。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涉及放射性药物的场所应按要求采用易清洗且不易渗透材料（如PVC卷材等），拐角使用弧线处理；地面要求平整光滑，易于清洗，可铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆；墙面要求平整光滑，1米以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料、瓷质面砖等；工作台面要求平整、光滑、易于清洗，可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

②放射性药物淋洗、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。

(3) 操作过程中的防护要求

①操作放射性药物时，工作人员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。¹³¹I 药物操作过程中宜使用过滤式口罩；敷贴治疗医务人员应戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具，敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

②放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟、化妆，不得进行无关工作及存放无关物品。放射性药物操作在衬有吸水纸的瓷盘内进行；

③从控制区取出任何物品，应进行表面污染检测，杜绝超过 GB18871 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区；

④放射性药物操作完成后，工作人员离开辐射工作场所，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。

⑤敷贴治疗器产品应具有说明书及检验合格证书，外部张贴醒目的电离辐射标志，载明其编号、核素名称、辐射类型能量、活度、源面照射剂量率、表面污染、使用须知等。敷贴治疗器使用前应检定；使用前应登记清点，严禁将敷贴源带出机房外，机房内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽；制定相应的操作规范，严格按照规范进行治疗。

(4) 对患者的防护管理措施

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口接受药物注射，经语音提示注射后到候诊室候诊，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕，扫描完毕留观无异常后，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。

甲亢患者、敷贴治疗等放射性核素治疗患者在候诊区登记、问诊、预约等待；通过候诊大厅北侧进入服药间服药、敷贴室和吸碘率室，甲亢治疗和骨转移癌治疗患者（不住院）服药治疗完成后经患者专用走廊从核医学专用电梯离开，敷贴

治疗原路返回离开。

患者路径上，各出入口均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。注射后候诊室设有独立的卫生间，患者可在专用卫生间如厕，不随意走动。核素治疗区域医院拟在给药前明确告知相关事项，并在墙壁或地面设置醒目的路线标示，配合语音系统，引导病人按照拟定路线行进。

(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 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 药物贮存于铅罐、 ^{32}P 药物贮存在贮源箱、 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗器放于贮源箱中、 ^{68}Ge 放射源贮存于铅罐，然后贮存于核医学储源室内。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，明确放射性药品购置、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/设施配置

项目拟配置 β 表面污染监测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式 X- γ 辐射剂量率仪等。

(7) PET-CT 和 SPECT-CT 机房拟采取以下安全与防护措施

①PET-CT 和 SPECT-CT 机房受检者门和工作人员防护门外设置电离辐射警告标志，防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，指示灯的灯箱上设置“射线有害，灯亮勿入”的警示语句。指示灯与患者进出防护门有效联动。

②候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

③受检者门设置为感应式电动推拉门，并设置光幕式红外防夹装置。

④控制室设置有观察窗，操作人员通过观察窗观察机房内工作人员及患者状态。

⑤机房内设置有动力通风装置，设备运行时应打开以保持良好的通风。

⑥放射工作人员正确佩戴个人剂量计。机房内应为受检者配备铅当量不小于 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围脖（方形）或方巾、铅当量不小于 0.25mmPb 的铅橡胶颈套、0.25mmPb 的铅橡胶帽子等个人防护用品，以避免病人受到不必要的

照射。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），对本项目核医学科工作场所拟采取的安全措施与标准要求对照详见表 10-9。

铜川市中医医院中医特色重点医院
核医学科核技术应用项目

表 10-9 核医学科工作场所拟采取的安全措施符合性分析

法规标准	条目	标准要求	核医学科工作场所拟采取的安全措施	评价
《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021)	6.2.1	核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	操作设备的表面平整光滑；工作台面可铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等；地面可铺设塑料地坪或涂刷油漆；墙面1米以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料、瓷质面砖等；墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接拐角处，以及工作台边缘宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。	符合
	6.2.2	操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。	分装质控注射给药区域和敷贴间内设置通风橱，放射性药物物质控等操作在通风橱内进行，放射性药物操作都在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。	符合
		应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。	工作人员进入辐射工作场所前穿戴放射性污染防护服或者铅橡胶防护衣、围裙、围脖、帽子、眼镜等个人防护用品。	符合
		放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	对放射性药物注射器配置的适当屏蔽的钨合金注射器屏蔽套。注射后候诊室内拟配铅屏风。	符合
	6.2.3	操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染检测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	在缓冲/更衣/淋浴间放置表面污染检测仪，配置清洗去污用品。工作人员离开核医学科时应进行表面污染检测。工作人员需在缓冲/更衣/淋浴间清洗去污后，对皮肤、手部和等体表部位和衣物表面进行表面污染监测，确认未受放射污染，方可离开。从控制区取出物品应进行表面污染检测，超过表面污染控制水平的物品禁止带出控制区。	符合

法规标准	条目	标准要求	核医学科工作场所拟采取的安全措施	评价
《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021)	6.2.4	放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，	放射性药物按需订购，一般情况下不贮存，并设置有储源室。药物送至核医学科场所后，于铅罐中暂存于手套箱内，手套箱、铅罐均具有屏蔽效果。	符合
		定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。	拟安排专人定期对分装质控注射给药区域周围进行辐射水平监测，相关区域禁止无关人员入内。	
		贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	核医学科放射性药物拟建立放射性药品的出入库登记及使用管理。	
	6.2.5	应为核医学科工作场所内部放射性物质运送配有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	拟配备高剂量屏蔽罐、手提式屏蔽箱、装运注射箱、储源铅罐等容器，表面张贴电离辐射标志。	符合
	6.2.7	敷贴治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源表面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。	设有专用敷贴室。敷贴治疗中，医务人员佩戴有机玻璃眼睛或面罩，尽量使用远距离操作工具，对病人使用不小于3mm厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。敷贴器使用过程中注意保护不被损坏。敷贴室配置贮源箱。	符合
6.2.9	扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	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能有效联动。	符合	
5.2.6	控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	核医学科诊断场所和治疗场所入口处均设置电离辐射警告标志。	符合	

法规标准	条目	标准要求	核医学科工作场所拟采取的安全措施	评价
《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)	5.2.7	核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	核医学科工作场所的候诊室、走廊、楼梯等处拟设置醒目的路径指示标志，提示患者或受检者按标志路线行走，规范其在核医学科内的活动范围，尽量减少与其他人员的接触时间。	符合
	5.2.8	给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应……	给药后患者候诊室、PET-CT、和SPECT-CT机房设置观察窗和对讲装置。	符合
	5.2.9	应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。	拟配置储源铅罐、转运注射箱、手提式屏蔽箱、高剂量屏蔽罐等容器，在容器表面张贴电离辐射标志。	符合
	5.2.10	扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯	PET-CT、和SPECT-CT机房防护门外防护门上方设置醒目的工作状态指示灯。	符合
	6.2.1	操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽	药物的合成、分装均在通风橱内进行，药物使用前暂存于通风橱内的铅罐中。	符合
	6.2.2	装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽	拟配置注射器屏蔽套。	符合
	6.2.3	操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品	拟安排药物操作相关人员进行培训学习，熟练操作技能，并规范使用防护用品。	符合
	6.2.4	操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。	拟配置手套箱和过滤式口罩，放射性药物的操作均拟在手套箱内进行；工作人员操作 ¹³¹ I时拟使用过滤式口罩。	符合
6.2.5	控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无	拟按照标准要求执行。	符合	

法规标准	条目	标准要求	核医学科工作场所拟采取的安全措施	评价
《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)		关工作及存放无关物品。		
	6.2.6	操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。	更衣淋浴缓冲间拟放置表面污染检测仪，以供工作人员离开核医学科时检测表面污染；拟设置洗手池、淋浴间和清洗去污用品，以供工作人员清洗去污。	符合
	6.2.7	从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。	拟使用表面污染检测仪对从控制区取出物品应进行表面污染检测，超过表面污染控制水平的物品禁止带出控制区。	符合
	6.2.9	放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。	拟暂存于通风橱的铅罐内，通风橱、铅罐均具有屏蔽效果	符合
	6.2.10	放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。	拟安排人定期对高活室进行放射防护监测；相关区域禁止无关人员进入。	符合
	6.2.11	贮存和运输放射性物质时均应使用专用容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的放射防护措施。	放射性药品放在铅罐内由专人专车送至建设单位后，由建设单位专业人员接收，检查无误后暂存于储源室内。	符合
	6.2.12	贮存的放射性物质应及时建立档案，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	拟建立放射性药品的出入库登记及使用管理。	符合
	6.2.13	所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	拟按照标准要求执行。	符合

10.1.1.7 防护用品配备

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求，结合项目实际情况，项目拟配置的个人防护用品和工作场所防护用品见表10-10。

表 10-10 项目拟配置的防护用品一览表

种类	设置场所	性能要求	数量
PET/CT 注射台	注射、分装室	45mmPb 屏蔽防护，两侧设有手套孔	1 套
SPECT/CT 注射台	注射、分装室	10mmPb 屏蔽防护，两侧设有手套孔	1 套
移动式防护铅屏风	注射后候诊室	10mmPb	2 个
PET/CT 钨合金注射屏蔽套	注射、分装室	10mmPb	1 个
SPECT/CT 钨合金注射屏蔽套	注射、分装室	2mmPb	1 个
锝 99 淋洗铅防护罐	制备间	10mmPb	2 个
储源铅罐	质控室药品柜	40mmPb，可放 10ml/20ml/30ml 用药	2 个
转运注射箱	注射、分装室	20mmPb，存储、转运注射器	1 个
		4mmPb，存储、转运注射器	1 个
手提式屏蔽箱	注射、分装室	5mmPb（配备钨合金手套），用于单支剂量转运	2 个
有机玻璃眼镜	敷贴间	/	1 个
高剂量屏蔽罐	质控室	50mmPb	2 个
除污用品	缓冲间、消洗间	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	4 套
脚踏式铅污物桶	制备间、质控室、注射分装室、注射后候诊室及卫生间、吸碘率室、抢救室、留观室及卫生间等	30mmPb	15 个

远距离取物夹	注射、分装室和敷贴间		方便抓握，有微调按钮，便于抓物品，尖端爪子有橡胶吸头，保证握力，一般为45~90cm	2个
个人防护用品	PET/CT	制备间、质控室、分装注射室	放射性污染防护服	若干
	SPECT/CT		必配：铅橡胶防护衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、放射性污染防护服； 选配：铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	若干
其他辅助用品	/		托盘、长柄镊子、过滤式口罩等	若干
<p>注：①个人防护用品数量应满足工作需要，SPECT/CT工作人员的个人防护用品包括铅橡胶防护衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖，铅橡胶帽（选配）、铅玻璃眼镜（选配）；PET/CT工作人员个人防护用品包括放射性污染防护服；</p> <p>②移动式防护铅屏风仅用于SPECT/CT注射后候诊室。</p>				

10.1.1.8 密闭和通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）6.3 密闭和通风的要求，核医学区域设计有送风和排风管道系统，送风和排风设计图如图10-4和图10-5。核医学区域拟设置7条排风管线：

表 10-11 核医学科区域排风管线连接工作区域用房一览表

排风管线	工作场所区域用房
PF-01	抢救室、SPECT候诊室、患者专卫、SPECT/CT机房、控制室、PET/CT机房
PF-02	候诊单间、留观室、吸碘率室、患者公卫、服药间、PET候诊室、固废间、储源室、给药准备、肺通气室、运动负荷给药室、废源暂存
PF-03	工作人员办公区域、放免室、敷贴间、一次候诊大厅、男卫、女卫、问诊室
PF-04	制备间、敷贴间、分装质控注射给药区通风橱（共5台）
PF-05	物料拆包间、一更、淋浴、二更、缓冲、制备间

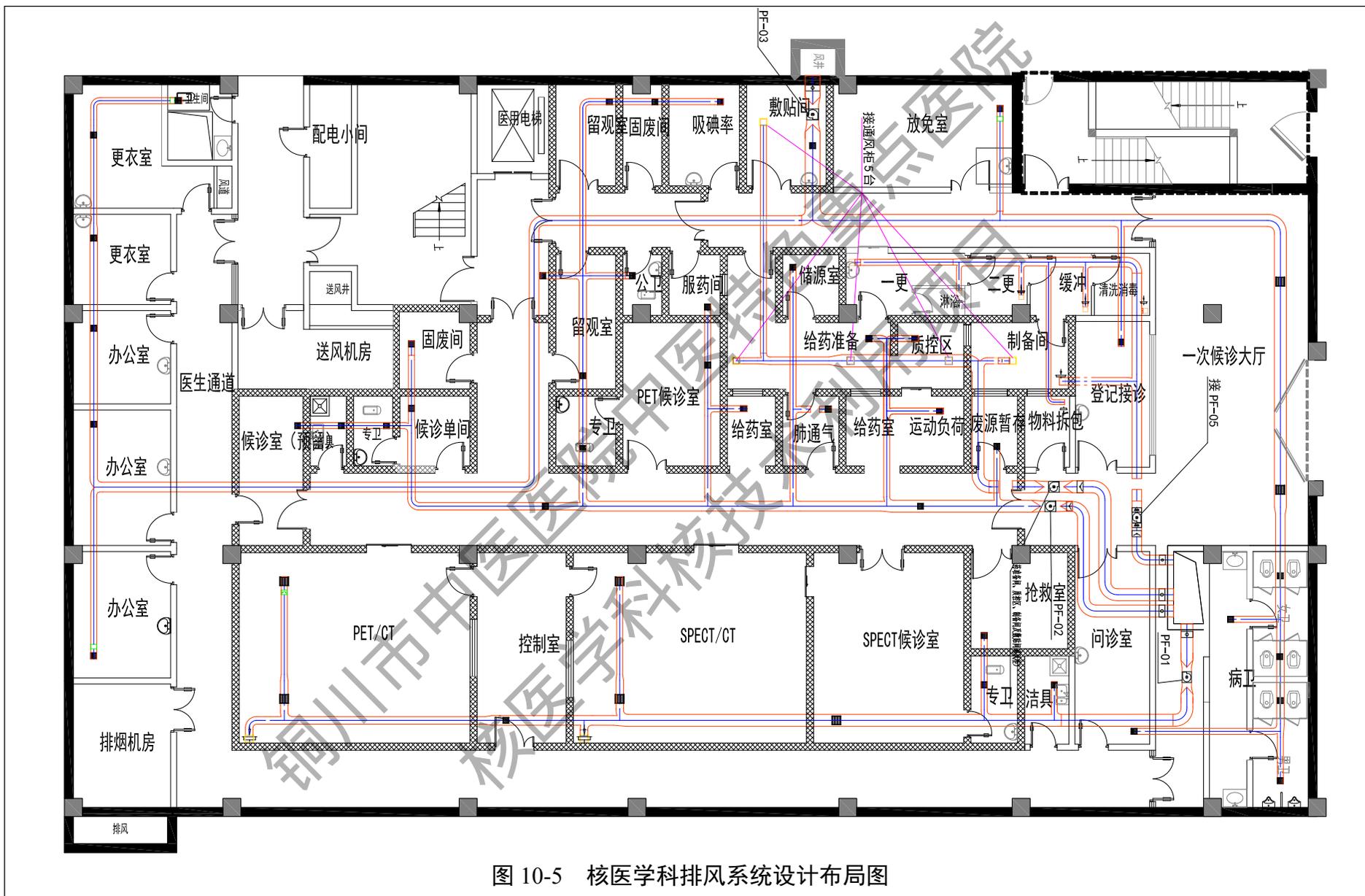


图 10-5 核医学科排风系统设计布局图

本项目核医学科控制区采取独立的排风系统,并根据各功能区的活性高低分别设置排风管道及高效活性炭过滤防护装置,不违背核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。主管道均拟布设于吊顶上方,然后通过支管连接至各个工作区域用房,管道节点处拟设置调节阀门,防止放射性废气倒灌,主管道在吊顶上方至风井或墙外,向上至中医临床培训楼顶部屋面,经活性炭过滤后排至大气。

此外,核医学科每个通风橱均单独专设一路排风管道,管道连接专用防辐射排风管,其风速不小于0.5m/s,并保证通风橱处于负压状态,且均设有活性炭过滤防护装置。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021),对本项目核医学科密闭和通风情况与标准要求进行对照分析,详见表 10-12。

表 10-12 核医学科工作场所密闭和通风情况与 HJ 1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》符合情况对照表

序号	《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 标准要求		核医学科工作场所拟采取的密闭和通风措施	是否符合
1	6.3.1	核医学科工作场所应保持良好的通风,工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计,保持工作场所的负压和各区之间的压差,以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	核医学工作场所在清洁区、监督区和控制区分别设有通风系统,防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。各通风管道均设有止回阀,防止气体回流放射性药物分装操作在通风橱内进行,管道内设止回阀,防止气体回流。	符合
2	6.3.4	放射性药物的合成、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溢出。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。	进行核素 ¹⁸ F分装质控、 ^{99m} Tc制备、分装质控和 ³² P的工作人员均在通风橱内进行操作。通风橱设计有单独的排风系统,并在通风橱顶壁安装有活性炭。	符合
3	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。	通风橱通风速率不小于0.5m/s,设独立排风管道。	符合

10.1.2 核医学科“三废”治理

(1) 固废

项目核医学科产生的固体废物主要为与放射性核素接触过的一次性注射器、棉签、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旧敷贴源、废气处理产生的废活性炭等。核医学科年产生放射性固废总量 3328kg。

①**固体放射性废物收集**：项目拟在分装质控注射给药区域、 ^{99m}Tc 注射后候诊室、抢救室、卫生间、SPECT-CT检查室、留观室内放置专用废物桶；在 ^{18}F 注射后候诊室及卫生间、候诊单间及卫生间、PET-CT检查室、留观室、患者走廊内放置专用废物桶；在服药间、制备间、清洗消毒室、吸碘率室、放免室和敷贴室放置专用废物桶。核医学科废气过滤更换下来的废活性炭装入专用塑料袋中，塑料袋密封后转移至固废间放置衰变。废物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。废物桶应具有屏蔽能力，并在表面张贴电离辐射标志。

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

②**固体放射性废物贮存**：医院将放射性废物贮存在许可的场所（固废间）内，污物间入口处张贴电离辐射警告标志。在污物间放置专用容器盛放放射性废物袋，不同类别的废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素名称、废物类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

③**固体放射性废物处理**：半衰期小于24小时（主要为含 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 核素）的放射性固废暂存时间超过30天；半衰期大于24小时（含 ^{125}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 核素）的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存时间超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， 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 $\leq 1\times 10^1\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{99m}Tc 活度浓度 $\leq 1\times 10^2\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{32}P 活度浓度 $\leq 1000\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{131}I 活度浓度 $\leq 1\times 10^2\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{125}I 活度浓度 $\leq 1000\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{89}Sr 活度浓度 $\leq 1000\text{Bq}/\text{g}$ ）时，可对废物清洁解控作为一般固废医疗废物处理。

不能解控的放射性固体废物应按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过

0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。自制的 ^{32}P 敷贴器弃用时按放射性废物管理。 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器为外购敷贴器，会产生废弃商品敷贴器，按放射性废源管理，由放射源供应单位负责回收处置。

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) 废水

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收到微量污染后进行清洗，受微量放射性核素污染的衣服的清洗，工作场所台面、地面的清洗，以及患者排泄物冲洗用水等。

①放射性废液收集：核医学科工作场所设有槽式放射性废液衰变池，用于收集放射性药物操作间、注射后候诊室卫生间、卫生通过间（医生缓冲/淋浴/更衣室）等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面宜采取向上冲淋的流动水。

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

②放射性废液贮存：经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

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受污染衣服、手部及工作场所时可能带有微量放射性的废水和患者冲洗排便废水，主要含有 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}^{131}\text{I}$ 。根据表 9-11，项目运营期间每天产生含放射性核素的废水量约为 $0.91\text{m}^3/\text{d}$ 。项目放射性废水排放走向详见图 10-6，废水排出中医临床培训楼后统一汇入主管，最终排入衰变池。

医院拟在中医临床培训楼西侧距地面 0.6m 深处新建一座地埋式衰变池，衰变池长 12.7m、宽 7.3m、高 4.2m，采用 300mm 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 4 个衰变池槽体并联组成，每个槽体有效容积为 19.6m³，槽体东西两侧设置有维修空间，维修空间东北角设置有两个降解槽（一用一备），衰变池槽体及降解槽采用不锈钢现场焊接。

经计算，本项目放射性废水日排放量约 0.91m³/d，每个池体储存满需要 21 天（周末两天计入衰变时间），则排放时放射性废水最短衰变时间约为 63 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）中的要求，且其排放浓度活度满足 GB18871 标准要求：一次不超过 1ALImin，一个月内累计不超过 10ALImin，然后排入医院的污水处理站处理达标后，最终排入城市污水管网。

衰变池进水方式为间歇式，降解槽水位到达高液位时，1#衰变池槽体进水，直到 1#衰变池槽体液位到高液位时，进水电动阀关闭，停止 1#衰变池槽体进水；降解槽水位再次到达高水位时，2#衰变池槽体进水，直到 2#衰变池槽体液位到高液位时，进水电动阀关闭，停止 2#衰变池槽体进水；降解槽水位再次到达高水位时，3#衰变池槽体进水，直到 3#衰变池槽体液位到高液位时，进水电动阀关闭，停止 3#衰变池槽体进水；直到 4#衰变池槽体液位到高液位时，开启 1#衰变池出水管电动阀使废水快速排入医院污水管网（此时已暂存至少 63 天而达标排空），待 1#衰变池排空后，关闭 1#衰变池出水管电动阀和 4#衰变池进水管电动阀，开启 1#衰变池进水管电磁阀，前级过滤池内废水再次进入 1#衰变池衰变，依次循环。

核医学科工作场所给排水走向见图 10-6，衰变池设计见图 10-7~图 10-9。

（3）废气

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

个通风橱均单独专设一路排风管道，管道连接专用防辐射排风管，其风速不小于0.5m/s，并保证通风橱处于负压状态，且均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。

铜川市中医医院中医特色重点医院
核医学科核技术应用项目

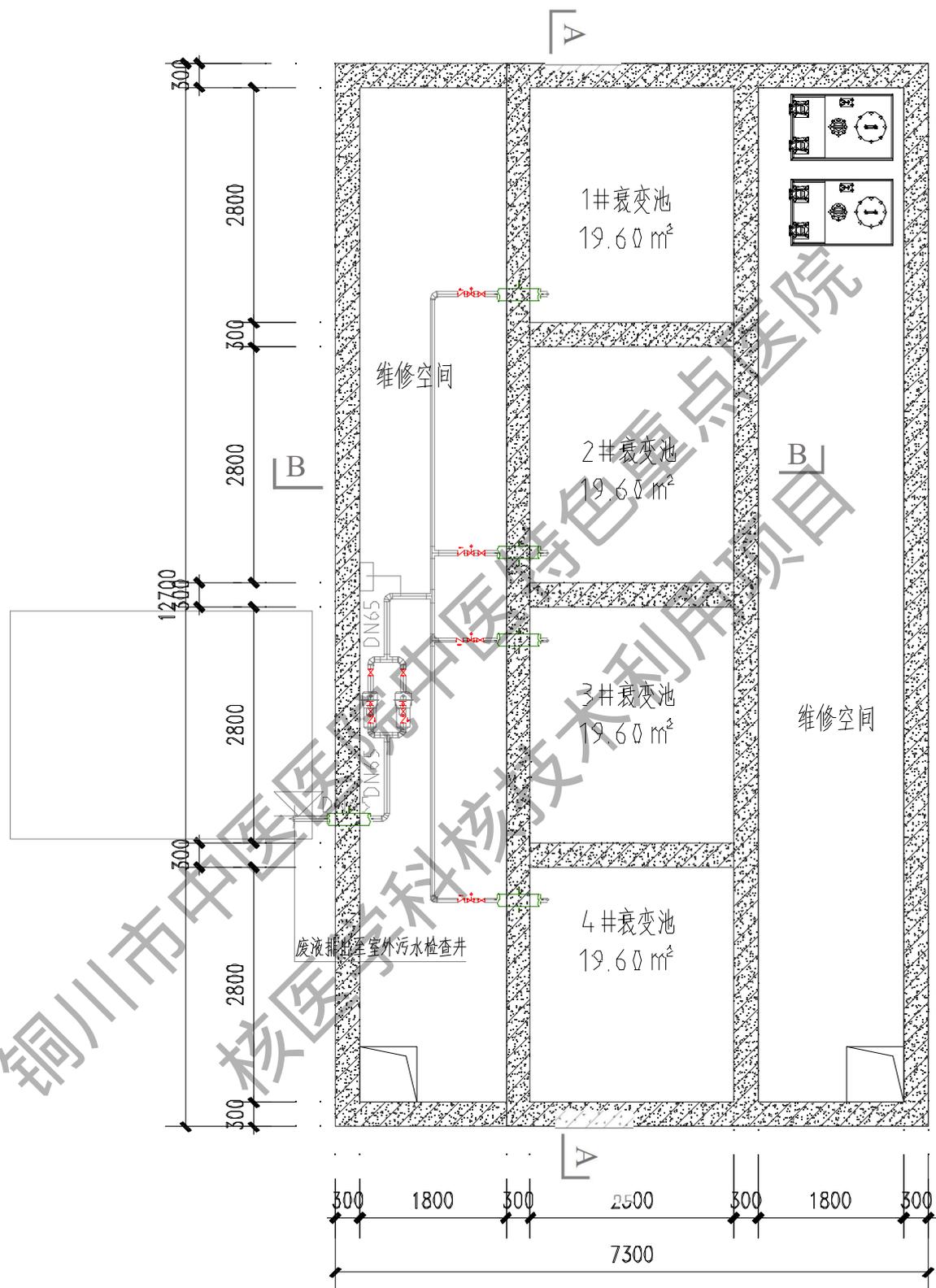


图 10-7 衰变池平面设计图

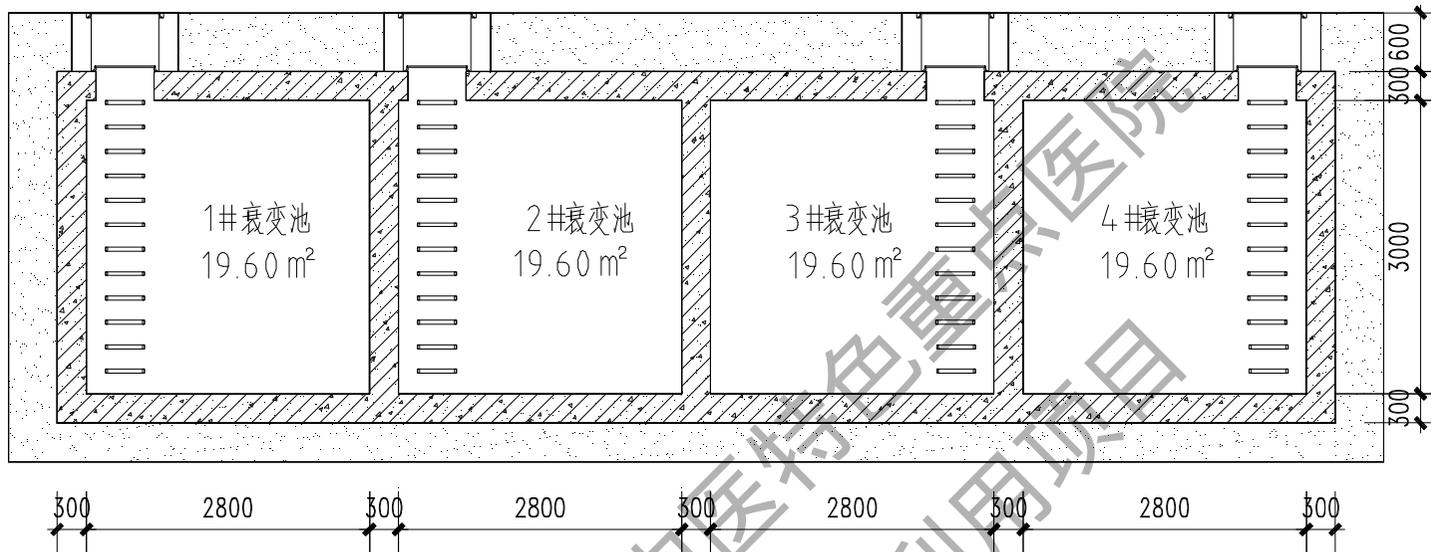


图 10-8 衰变池立面设计图 (A-A 剖面)

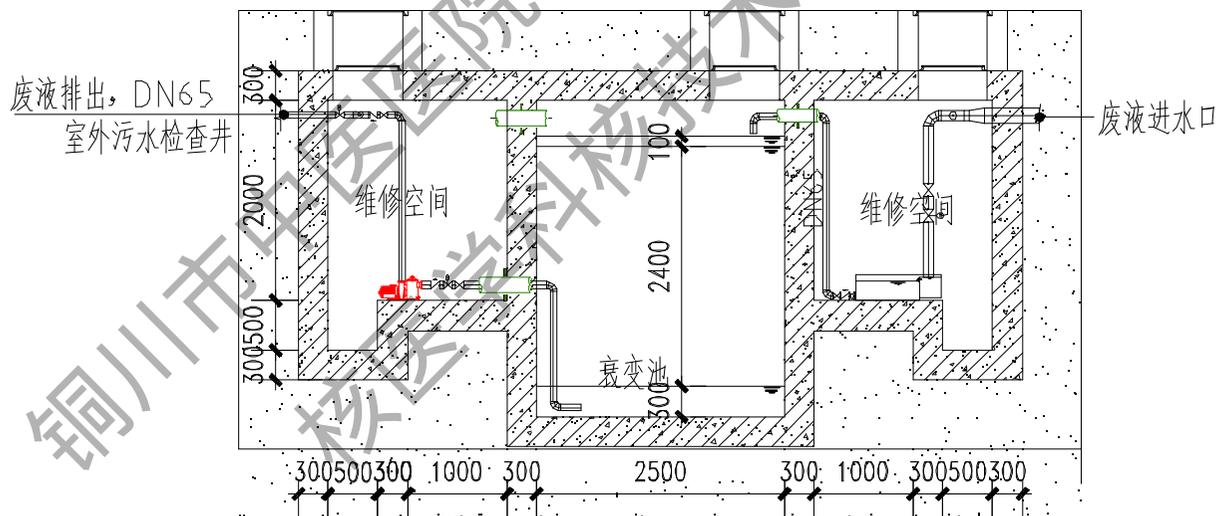


图 10-9 衰变池立面设计图 (B-B 剖面)

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 土建施工阶段

医院计划在南院区中医临床培训楼负一层建设核医学科。中医临床培训楼属于铜川市中医医院中医特色重点医院建设项目的扩建部分，医院已于 2023 年 10 月 9 日对铜川市中医医院中医特色重点医院建设项目进行了环境影响登记备案，备案号为：20236102000100000046。本次评价不再分析项目土建施工阶段的环境影响，仅简要分析项目各科室工作场所后期装修阶段可能引起的环境影响。项目装修阶段的污染因子主要为装修涂料产生的有机废气、物料扬尘、废水、施工噪声、建筑垃圾等。

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

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

(3) 施工期间的生活污水、机械洗刷污水，应严格规定排放去向，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。

(4) 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，且施工期影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

11.1.2 设备安装调试阶段

项目设备安装、调试、检测和维修等均由设备供应商的放射工作人员负责。在安装前设备供应商对机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后再进行设备的安装、调试。在设备安装、调试阶段，医院及设备供应商应加强辐射防护管理，在此过程中应保证机房各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。在设备安装、调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1.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 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 、 ^{99}Mo 、 ^{32}P ）和 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源在使用过程中产生的 γ 射线、 β 射线、 β 表面污染、放射性“三废”等。

11.2.1.1 PET/CT、SPECT/CT 机房（CT 部分）X 射线辐射影响分析

(1) 机房空间符合性分析

PET/CT、SPECT/CT 机房（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 11-1。

表 11-1 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	49.92m ²	≥30m ² （按 CT 评价）	符合
	最小单边长	6.4m	≥4.5m（按 CT 评价）	符合
SPECT/CT 机房	使用面积	49.92m ²	≥30m ² （按 CT 评价）	符合
	最小单边长	6.4m	≥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 11-1 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

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 下，250mm 混凝土等效铅当量约为 3.01mmPb。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未给出砖的拟合参数，根据《放射防护实用手册》P98，“在医用诊断 X 射线范围内，一砖厚（240mm）实心砖墙约为 2mm 的铅当量”，因此本项目 240mm 实心砖墙取 2.0mmPb。

根据《辐射防护手册 第三分册》第 62 页表 3.3，在管电压 150kV 条件下，15mm 硫酸钡水泥（密度 3.2t/m³）相当于 1.0mm 铅当量，33mm 硫酸钡水泥（密度 3.2t/m³）相当于 2.0mm 铅当量，则可推算出 30mm 硫酸钡砂（密度 3.2t/m³）相当于 1.83mm 铅当量。本项目 CT 部分最大管电压 140kV，本次保守按 30mm 硫酸钡水泥相当于 1.83mmPb 估算。

本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房 X 射线防护屏蔽措施符合性分析见表 11-2。

表 11-2 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	240mm 实心砖+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆	3.83mmPb	≥2.5mmPb	符合
	屋顶	250mm 混凝土	3.01mmPb	≥2.5mmPb	符合
	地板	地板下为土层, 无需防护	/	/	/
	观察窗	8mmPb	8mmPb	≥2.5mmPb	符合
	受检者门	8mmPb	8mmPb	≥2.5mmPb	符合
	工作人员门	8mmPb	8mmPb	≥2.5mmPb	符合
SPECT/CT 机房 (按 CT 部分评价)	四周墙体	240mm 实心砖+30mm 高纯度硫酸钡防护砂浆	3.83mmPb	≥2.5mmPb	符合
	屋顶	250mm 混凝土	3.01mmPb	≥2.5mmPb	符合
	地板	地板下为土层, 无需防护	/	/	/
	观察窗	4mmPb	4mmPb	≥2.5mmPb	符合
	受检者门	4mmPb	4mmPb	≥2.5mmPb	符合
	工作人员门	4mmPb	4mmPb	≥2.5mmPb	符合

注: PET/CT 中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 800mA; SPECT/CT 中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 200mA。

根据表 11-2 可知, 项目 PET/CT、SPECT/CT 机房 X 射线的防护屏蔽措施满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中相关要求。

(3) 辐射环境影响分析

本项目拟安装的 PET/CT 设备中 CT 部分拟定最大管电压 140kV、最大管电流 800mA; SPECT/CT 设备中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 200mA。

根据西门子厂家 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 800mA, 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 149760 μ Gy/h; SPECT/CT 扫描取 200mA, 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 37440 μ Gy/h。其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

根据表 11-11 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 11-3 所示。

表 11-3 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)	屏蔽设计厚度等效铅厚度 (mmPb)	透射因子 B	CT 辐射剂量率 (μSv/h)	患者辐射剂量率 (μSv/h) *		患者辐射叠加 CT 辐射剂量率 (μSv/h)	
PET/CT 机房	东墙	4.2	3.83	2.15×10^{-5}	0.183	0.159		0.342	
	西墙	4.2			0.183	0.159		0.342	
	南墙	3.5			0.263	0.229		0.492	
	北墙	3.5			0.263	0.229		0.492	
	观察窗	4.2	8	4.31×10^{-9}	3.66×10^{-5}	0.636		0.636	
	工作人员门	4.5	8	4.31×10^{-9}	3.19×10^{-5}	0.554		0.554	
	受检者门	3.5	8	4.31×10^{-9}	5.27×10^{-5}	0.229		0.229	
	屋顶	5.9	3.01	1.25×10^{-4}	0.538	0.035		0.573	
SPECT/CT 机房	东墙	4.2	3.83	2.15×10^{-5}	4.56×10^{-2}	0.017	0.033	0.063	0.079
	西墙	4.2			4.56×10^{-2}	0.017	0.033	0.063	0.079
	南墙	3.5			6.57×10^{-2}	0.025	0.047	0.091	0.113
	北墙	3.5			6.57×10^{-2}	0.025	0.047	0.091	0.113
	观察窗	4.3	4	1.50×10^{-5}	3.04×10^{-2}	1.04×10^{-4}	0.202	0.031	0.232
	工作人员门	4.4	4	1.50×10^{-5}	2.90×10^{-2}	9.89×10^{-5}	0.193	0.029	0.222
	受检者门	3.5	4	1.50×10^{-5}	4.58×10^{-2}	1.56×10^{-4}	0.305	0.046	0.351
	屋顶	5.9	3.01	1.25×10^{-4}	0.134	2.85×10^{-3}	8.38×10^{-3}	0.137	0.142

*患者辐射剂量率计算见后文表 11-6。

由表 11-3 可知，本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体外同时考虑患者释放的 γ 射线和 CT 扫描散射对周围环境的辐射影响，则 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房各屏蔽体外 30cm 处的瞬时剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

11.2.1.2 γ 射线影响分析

本项目核医学科 PET/CT 主要利用 ^{18}F 正电子湮没产生的 γ 射线（能量为 511keV ）进行显像，其工作场所防护主要考虑 ^{18}F 防护；SPECT/CT 主要利用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 衰变时产生的 γ 射线（ ^{131}I γ 射线能量： 365keV 、 637keV ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ γ 射线能量为 140keV ）进行显像，其工作场所主要考虑 ^{131}I 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的防护，屏蔽体厚度取二者估算结果最大值；甲功测定主要利用 ^{131}I 衰变时产生的 γ 射线（ ^{131}I γ 射线能量： 365keV 、 637keV ）进行吸碘测定，甲功测定服用药量非常小，服药后患者体外 0.5m 处辐射剂量率与自然环境辐射本底相当，因此甲功测定室不需要进行专门的辐射防护屏蔽设计。敷贴治疗拟使用的 ^{32}P 和 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器，主要利用其衰变时产生的 β 射线进行皮肤疾病治疗， β 射线穿透能力较弱，敷贴间设计的屏蔽厚度远大于 ^{32}P 、 ^{90}S 和 ^{90}Y β 射线射程，可完全屏蔽掉 β 射线，不会对周边环境产生外照射辐射影响。运动负荷给药室进行 ^{89}Sr 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素的注射，因 ^{89}Sr 产生的 β 射线穿透能力较弱，其工作场所主要考虑 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的防护。

1、核医学科墙体屏蔽防护效能核算

(1) 计算公式

① $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断、 ^{131}I 治疗、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：

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

式中： d —符合剂量率目标要求的墙体屏蔽厚度，单位 mm；

TVL — γ 射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位 mm；

A —放射源活度，单位 MBq；

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

R —为参考点与放射源间距离，单位 m ；

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

② 经屏蔽后关注点处的剂量率：

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

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

R —为参考点与放射源间距离，单位 m ；

A —放射源活度，单位 MBq ；

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

TVL — γ 射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位 mm ；

X —屏蔽体的屏蔽厚度， mm 。

(2) 周围剂量当量率控制目标值

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

(3) 相关参数选取

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

表 11-4 计算参数

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
^{99m} Tc	0.0303	0.0207	110	160	1
¹³¹ I	0.0595	0.0583	170	240	11

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

(4) 计算结果

① 等效厚度核算过程

对于 γ 射线，由于硫酸钡水泥的质量衰减系数不小于混凝土，硫酸钡水泥密度 3.2g/cm³，混凝土密度 2.35g/cm³，保守起见，将硫酸钡水泥按混凝土考虑。根据 $10^{-X_1/TVL_1} = 10^{-X_2/TVL_2}$ 进行等效厚度计算，部分防护墙体等效铅当量折算过程如下：

表 11-5 防护墙等效铅当量折算

工作场所	设计防护	折算过程 (mm)	等效铅当量
SPECT-CT 检查室 (¹³¹ I)	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥	$(240 \div 240 + 30 \div 170) \times 11 = 12.94$	12.94mmPb
	250mm 砼	$250 \div 170 \times 11 = 16.18$	16.18mmPb
SPECT 区 (^{99m} Tc)	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥	$(240 \div 160 + 30 \div 110) \times 1 = 1.8$	1.8mmPb
	250mm 砼	$250 \div 110 \times 1 = 2.27$	2.27mmPb
PET 区 (¹⁸ F)	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥	$(240 \div 263 + 30 \div 176) \times 16.6 = 17.98$	17.98mmPb
	250mm 砼	$250 \div 176 \times 16.6 = 23.58$	23.58mmPb
吸碘率室 (¹³¹ I)	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥	$(240 \div 240 + 30 \div 170) \times 11 = 12.94$	12.94mmPb
	250mm 砼	$250 \div 170 \times 11 = 16.18$	16.18mmPb

② 距离取值说明

对于 SPECT 工作场所，运动负荷给药室、抢救室、留观室的核算距离，考虑人体源距防护墙内 30cm+墙体/防护门厚度+防护墙外 30cm，以及人体自身占用空间，近似取值 1m；对注射后候诊室，考虑 10 人同时候诊作为 1 个点源，以机房中心作为点源位置距四周墙体距离近似核算；对 SPECT-CT 检查室，以设备摆放位置中心

点距四周墙体和防护门的距离近似取值。

对于 PET 工作场所，给药室、抢救室的核算距离考虑人体源距防护墙内 30cm+墙体/防护门厚度+防护墙外 30cm，以及人体自身占用空间，近似取值 1m；注射后候诊室和留观室考虑 2 人以机房中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值，注射后候诊单间考虑 1 人以机房中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值；对 PEC-CT 检查室，以设备摆放位置中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值。

③控制区各工作场所屏蔽效能核算结果见下表 11-6。

铜川市中医医院中医特色重点医院
核医学科核技术应用项目

表 11-6 核医学科各工作场所屏蔽防护效能核算结果

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 ($\mu\text{Sv/h}$)	计算铅当量 (mmPb)	设计值	是否符合	设计厚度下墙体 外瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)
SPECT工作场所									
抢救室 (考虑 1 人)	925	0.0207 (人体源)	东墙	1.9	2.5	0.33	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 1.8mmPb)	符合	0.084
			其余三面墙体	1.9	10	—	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 1.8mmPb)	符合	0.084
			防护门	1.9	10	—	6mmPb 防护门	符合	5.30×10^{-6}
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砼(等效 2.27mmPb)	符合	2.95×10^{-3}
运动负荷给药室(考虑 1 人)	925	0.0207 (人体源)	北墙	1.5	2.5	0.53	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 1.8mmPb)	符合	0.135
			其余三面墙体	1.5	10	—	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 1.8mmPb)	符合	0.135
			防护门	1.5	2.5	0.53	4mmPb 防护门	符合	8.51×10^{-4}
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砼 (等效 2.27mmPb)	符合	2.95×10^{-3}
注射后候诊室 (考虑 10 人)	9250	0.0207 (人体源)	四周墙体	2.0	10	0.68	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 1.8mmPb)	符合	0.759
			防护门	2.0	10	0.68	4mmPb 防护门 (2 个)	符合	4.79×10^{-3}
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砼 (等效 2.27mmPb)	符合	0.030
SPECT-CT 检 查室 (考虑 1	925	0.0207 (人体源)	东墙	4.2	10	—	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥	符合	0.017
			西墙	4.2	2.5	—		符合	0.017

人)			南墙	3.5	10	—	(等效 1.8mmPb)	符合	0.025
			北墙	3.5	10	—		符合	0.025
			观察窗	4.3	2.5	—	4mmPb 铅防护窗	符合	1.04×10^{-4}
			工作人员防护门	4.4	2.5	—	4mmPb 防护门	符合	9.89×10^{-5}
			患者防护门	3.5	10	—	4mmPb 防护门	符合	1.56×10^{-4}
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砼 (等效 2.27mmPb)	符合	2.85×10^{-3}
SPECT-CT 检查室 (考虑 1 人, ^{131}I)	148	0.0583 (人体源)	东墙	4.2	10	—	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥 (等效 12.94mmPb)	符合	0.033
			西墙	4.2	2.5	—		符合	0.033
			南墙	3.5	10	—		符合	0.047
			北墙	3.5	10	—		符合	0.047
			观察窗	4.3	2.5	—	4mmPb 铅防护窗	符合	0.202
			工作人员防护门	4.4	2.5	—	4mmPb 防护门	符合	0.193
			患者防护门	3.5	10	—	4mmPb 防护门	符合	0.305
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砼 (等效 16.18mmPb)	符合	8.38×10^{-3}
留观室 (考虑 3 人)	2775	0.0207 (人体源)	东墙和西墙	1.0	10	0.759	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥 (等效 1.8mmPb)	符合	0.910
			北墙和南墙	1.5	10	0.407	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥 (等效 1.8mmPb)	符合	0.405
			人员防护门	1.0	10	0.759	8mmPb 防护门 (2 个)	符合	5.74×10^{-7}
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砼 (等效 2.27mmPb)	符合	8.86×10^{-3}
PET工作场所									

抢救室（考虑1人）	370	0.092 （人体源）	东墙	1.9	2.5	9.57	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效17.98mmPb）	符合	0.779
			其余三面墙体	1.9	10	—	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效17.98mmPb）	符合	0.779
			防护门	2.0	10	—	6mmPb 防护门	符合	3.70
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷（等效23.98mmPb）	符合	0.035
给药室（考虑1人）	370	0.092 （人体源）	四周墙体	1.0	10	8.83	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效17.98mmPb）	符合	2.81
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷（等效23.98mmPb）	符合	0.035
注射后候诊室（考虑2人）	740	0.092 （人体源）	四周墙体	1.9	10	4.57	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效17.98mmPb）	符合	1.557
			防护门	1.9	10	4.57	8mmPb 防护门	符合	6.217
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷（等效23.98mmPb）	符合	0.070
注射后候诊单间（考虑1人）	370	0.092 （人体源）	四周墙体	1.0	10	8.83	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效17.98mmPb）	符合	2.81
			防护门	1.5	10	2.98	8mmPb 防护门	符合	4.99
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷（等效23.98mmPb）	符合	0.035
PET-CT 检查	370	0.092	东墙	4.2	2.5	—	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效17.98mmPb）	符合	0.159

室(考虑1人)		(人体源)	西墙	4.2	10	—	钡水泥(等效 17.98mmPb)	符合	0.159
			南墙	3.5	10	—		符合	0.229
			北墙	3.5	10	—		符合	0.229
			观察窗	4.2	2.5	—	8mmPb 铅防护窗	符合	0.636
			工作人员防护门	4.5	2.5	—	8mmPb 防护门	符合	0.554
			患者防护门	3.5	10	—	8mmPb 防护门	符合	0.229
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷(等效 23.98mmPb)	符合	0.035
留观室(考虑 2人)	740	0.092 (人体源)	东墙和西墙	1.0	10	13.83	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 17.98mmPb)	符合	5.62
			北墙和南墙	2.0	10	3.83	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 17.98mmPb)	符合	1.41
			防护门	1.5	10	7.98	8mmPb 防护门	符合	9.97
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷(等效 23.98mmPb)	符合	0.070
吸碘室(考虑 所有用量)	18.5	0.0583 (人体源)	北墙和南墙	2.0	10	—	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥 (等效 12.94mmPb)	符合	0.018
			东墙和西墙	1.5	2.5	—	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥(等效 12.94mmPb)	符合	0.032
			工作人员门	2.0	10	—	3mm 铅门	符合	0.144
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷(等效 16.18mmPb)	符合	1.05×10^{-3}

服药间（考虑1人）	370	0.0595 （裸源）	四周墙体	1.0	10	3.77	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥 （等效 12.94mmPb）	符合	1.467
			防护门	1.0	10	3.67	10mm 铅门	符合	2.714
			服药窗	0.5	2.5	17.0	20mm 铅玻璃	符合	1.338
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷 （等效 16.18mmPb）	符合	0.021
肺通气（考虑1人）	740	0.0207 （人体源）	四周墙体	1.0	10	0.19	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效 1.8mmPb）	符合	0.243
			南侧防护门	1.0	10	0.19	4mmPb 防护门	符合	1.53×10^{-3}
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷（等效 2.27mmPb）	符合	2.36×10^{-3}
制备间（考虑11人）	9990	0.0303 （裸源）	东墙和西墙	1.9	2.5	1.53	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效 1.8mmPb）	符合	1.33
			南墙和北墙	1.4	10	1.19	240mm 砖+30mm 硫酸钡水泥（等效 1.8mmPb）	符合	2.45
			人员进出门	1.0	10	2.08	6mmPb 防护门	符合	3.02×10^{-4}
			通风橱	0.5	2.5	2.69	建议 3mmPb	符合	1.21
			物料拆包传递窗	1.0	10	1.48	8mmPb 铅防护窗	符合	3.03×10^{-6}
			废源暂存传递窗	1.0	10	1.48	8mmPb 铅防护窗	符合	3.03×10^{-6}
			质控区传递窗	2.0	2.5	1.48	8mmPb 铅防护窗	符合	7.57×10^{-7}
屋顶	5.9	10	—	250mm 砷（等效 2.27mmPb）	符合	0.047			
给药准备间	370	0.1430 （裸源）	给药准备间人员进出门	4.0	10	—	4mmPb 防护门	符合	1.90

			储源室门	2.0	10	2.02	8mmPb 防护门	符合	4.36
			PET 注射台	0.5	2.5	32.00	45mmPb 注射台	符合	0.411
	3700	0.1430 (裸源)	PET 通风橱 (10 人)	0.5	2.5	48.60	建议 50mmPb	符合	2.06
	925	0.0303 (裸源)	一更南侧防护门	2.0	10	—	8mmPb 防护门	符合	7.01×10^{-8}
			SPECT 注射台	0.5	2.5	1.65	10mmPb 注射台	符合	1.12×10^{-8}
	19980	0.0303 (裸源)	SPECT 通风橱 (22 人)	0.5	2.5	2.99	建议 4mmPb	符合	0.242
	3700	0.1430 (裸源)	屋顶	5.9	10	3.02	250mm 砷 (等效 23.98mmPb)	符合	0.546
质控区	370	0.1430 (裸源)	北墙	1.4	2.5	17.15	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥 (等效 17.98mmPb)	符合	2.23
			其余三面墙体	1.4	10	7.16	240mm 砖+30mm 硫酸 钡水泥 (等效 17.98mmPb)	符合	2.23
			传递窗	1.5	10	6.16	10mmPb	符合	5.87
			运动负荷北侧防 护门	1.4	10	7.16	8mmPb	符合	8.90
			屋顶	5.9	10	—	250mm 砷 (等效 23.98mmPb)	符合	0.055
注：①因环评通风橱屏蔽厚度尚未设计，本次屏蔽厚度采用环评核算出的最小铅厚度；②对于 PET/CT、SPECT/CT 的 X 射线能量所致的辐射剂量率尚未纳入上表计算。									

根据表 11-3 和表 11-6 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）标准限值，满足辐射防护要求。

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：

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

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) ^{131}I 核素所致工作人员年剂量估算

① 患者服药

甲功测定和甲亢治疗采用自动分装仪进行药物分装，甲功测定每天 100 人，甲功测定病人每次用药量最大 $5\mu\text{Ci}$ (0.185MBq)；甲亢治疗每天 10 人，甲亢病人每次用药量最大为 10mCi (370MBq)。放射工作人员通过服药窗指导患者将服药间内自动分装仪分装好的药物进行服用，每人每次服用药物时间约为 1min，患者服药过程中工作人员距服药窗 0.5m，甲功测定药物经服药窗 (20mmPb) 屏蔽后 0.5m 处的剂量率为 $6.69 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，甲亢治疗药物 0.5m 处的剂量率为 $1.338 \mu\text{Sv/h}$ 。

② 甲功测定

甲状腺吸碘率测定的患者在口服药物后进入吸碘测定室进行相关测定，测定过程按照 5min 估算，测定结束后患者随即离开工作场所，考虑到本项目甲功测定每天最大受检人数 100 人，按照每人 5min，则每年计算最长工作时间约为 2083.3h，在甲功测定过程中，放射性工作人员距离患者距离约 0.5m，甲功测定病人每次用药量最大 $5\mu\text{Ci}$ (0.185MBq)，计算测定过程中放射性工作人员的剂量率约为 $0.044 \mu\text{Sv/h}$ 。故甲功测定过程工作人员受到的剂量为 0.092mSv 。

则 ^{131}I 放射性药物 γ 辐射所致工作人员年剂量见表 11-7。

表 11-7 ¹³¹I 核素操作人员个人剂量估算

操作		工作负荷		最大给药量	距离 (m)	剂量率 (μ Sv/h)	年有效剂量 mSv/a	
药物 传递	甲 功	1min/人·次	416.7h	0.185MBq	0.5	6.69×10^{-4}	2.79×10^{-4}	0.056
	甲 亢	1min/人·次	41.7h	370MBq	0.5	1.338	0.056	
甲功测定 过程		5min/人·次	2083.3h	0.185MBq	0.5	0.044	0.092	

根据表 11-7，考虑甲功测定、甲亢治疗过程中指导患者服药和甲功测定工作均由 1 名放射工作人员完成，则 ¹³¹I 核素治疗区工作人员所受的年有效剂量合计为 0.148mSv，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）职业照射剂量约束值不超过 5.0mSv/a 得要求。

2) 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 ¹⁸F，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 10 人次，年工作 250 天，年治疗病人 2500 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。一般情况下，不进行 ¹⁸F 药物分装，特殊情况下因患者身体情况差异，可能进行少量分装。预估每年出现分装最大人次为 50 人次，每次药物分装时间为 1min，工作人员分装位置处的剂量率保守按 2.5μ Sv/h，则分装过程所致工作人员年附加有效剂量为 2.083μ Sv。

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（45mm 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 0.411μ Sv/h，每次给患者注射药物时间为 30s 计，年工作时间按 20.83h 计，则注射 ¹⁸F 药物所致工作人员年有效剂量为 8.56μ Sv。

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 34.04μ Sv/h，每个病人摆位按 30s 计，PET-CT 显像检查按照

每天 10 人计算，全年累积时间 20.83h，PET-CT 摆位过程所致工作人员年有效剂量均为 709.05 μ Sv。

扫描：PET-CT 分为 PET 部分扫描和 CT 部分扫描，全年检查病人 2500 人次。每人次 PET 扫描时间约 15min，全年累积扫描时间 625h，工作人员操作处剂量率按服药患者所致剂量率 0.636 μ Sv/h 进行计算；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 0.636 μ Sv/h（见表 11-3），CT 部分扫描时间每人次 20s，全年累积 CT 扫描时间 13.89h。

综上，PET 显像检查所致工作人员年附加有效剂量见表 11-8。

表 11-8 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 (μ Sv/h)	全年累积工作时间 (h)	年剂量 (μ Sv/a)	岗位人数 (人)	每人年剂量 (mSv/a)
PET 场所	分装	2.5	0.83	2.083	1	0.011
	¹⁸ F 注射	0.411	20.83	8.56		
	摆位	34.04	20.83	709.05	1	1.12
	PET 扫描	0.636	625	397.5		
	CT 扫描	0.636	13.89	8.83		

由上表计算结果可知，本项目 PET 显像检查所致工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 1.12mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的工作人员的职业照射水平控制限值(20mSv)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)。

3) 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 和 ¹³¹I，其显像检查过程大致可分为药物淋洗、分装、注射/口服、摆位、扫描 4 个过程。根据医院提供的资料，单名患者 ^{99m}Tc 药物用量为 925MBq，肺通气患者 ^{99m}Tc 药物用量为 740MBq（注射和摆位过程中均按照最大药物用量 925MBq 进行剂量估算），碘扫描患者口服 ¹³¹I 药物用量为 148MBq，每天共检查 27 人次（其中包括肺通气患者 2 人，碘扫描患者 5 人），年工作 250 天，年治疗病人共 6750 人次。

淋洗、分装：本项目使用 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器淋洗制备 ^{99m}Tc，根据医院提供的资料，本项目 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器每次淋洗前活度为 1.85 \times 10¹⁰Bq（500mCi）计，每周

约使用 2 个发生器。每天淋洗 2 次, 每年共淋洗 500 次, 每次淋洗、分装时间约 20min, 全年淋洗、分装 ^{99m}Tc 的时间约 166.7h, 发生器淋洗在通风橱内进行, 淋洗过程中工作人员操作位处的剂量率为 $2.24\mu\text{Sv/h}$, 则 ^{99m}Tc 淋洗过程中工作人员的年附加有效剂量为 0.373mSv/a 。

^{99m}Tc 药物由钼铯发生器制备完成后, 需要在通风橱内进行分装, 工作人员分装操作位处剂量率为 $1.21\mu\text{Sv/h}$, 年检查患者 5500 人次 (不包括碘扫描患者), 每人分装时间按 1min 计, 年分装时间为 91.67h, 则分装过程所致工作人员的年附加有效剂量为 0.11mSv/a 。

综上, ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗制备、分装 ^{99m}Tc 药物过程由 1 名工作人员完成, 则所致工作人员年附加有效剂量为 0.484mSv/a 。

注射: 工作人员为患者进行 ^{99m}Tc 药物注射时, 工作人员在一体化注射窗 (10mm 铅当量) 后给患者进行注射, 工作人员距离患者约 0.5m, 工作人员注射操作位剂量率最大为 $1.12 \times 10^{-8}\mu\text{Sv/h}$, 每次给患者注射药物时间为 1min 计, 年工作时间为 91.67h, 则注射 ^{99m}Tc 药物所致工作人员最大年有效剂量为 $1.03 \times 10^{-6}\mu\text{Sv}$ 。

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 925MBq 的 ^{99m}Tc 药物 1m 处的剂量率约为 $19.15\mu\text{Sv/h}$, 每个病人摆位按 1min 计, 全年累积时间 91.67h, 摆位过程所致工作人员年有效剂量为 $1755.48\mu\text{Sv}$; 患者口服 148MBq 的 ^{131}I 药物 1m 处的剂量率约为 $8.63\mu\text{Sv/h}$, 每个病人摆位按 1min 计, 全年累积时间 20.83h, 摆位过程所致工作人员年有效剂量为 $179.79\mu\text{Sv}$ 。

扫描: SPECT-CT 分为 SPECT 部分扫描和 CT 部分扫描, 全年检查病人 6750 人次。每人 SPECT 扫描时间约 15min, 全年累积时间 1687.5h, 工作人员操作处剂量率按服药患者所致剂量率 $0.033\mu\text{Sv/h}$ 进行计算; CT 部分扫描时考虑到 X 射线的叠加影响, 工作人员操作位处剂量率取 $0.056\mu\text{Sv/h}$ (见表 11-3), 扫描时间每人 20s, 全年累计时间 37.5h。

综上, SPECT-CT 显像检查所致工作人员年附加有效剂量见表 11-9。

表 11-9 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 ($\mu\text{Sv/h}$)	全年累积工 作时间 (h)	年剂量 (mSv/a)	岗位人数 (人)	每人年剂量 (mSv/a)
SPECT 场所	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗	2.24	166.7	0.373	1	0.484
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装	1.21	91.67	0.11		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射	1.12×10^{-8}	91.67	1.03×10^{-9}		
	摆位	19.15/8.63	91.67/20.83	1.94	1	2.29
	SPECT 扫描	0.202	1687.5	0.341		
	CT 扫描	0.232	37.5	8.7×10^{-3}		

由上表计算结果可知，SPECT/CT 检查所致工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 2.29mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（ 20mSv ）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 ）。

4) 公众成员剂量估算与评价

本项目建设的核医学科位于中医临床培训楼负一层，设置有专用工作人员通道、患者通道，患者通道入口、出口处设置有单向门禁系统，除放射性诊疗患者或核医学科工作人员能够直接进入外，一般公众难以进入到核医学科控制区内。核医学科运行对公众影响主要考虑屋顶地面绿化可能经过的流动人员

由表 11-10 可知，核医学科工作场所控制区边界外的公众成员受到的年附加剂量最大为 $1.75 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，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 ）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 ）。

此外，核医学科是个相对封闭的区域，公众成员一般不会到达控制区，且公众在控制区边界外停留时间较短，故公众成员受到的附加剂量实际会比环评预测值小。

表 11-10 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 (μSv/a)		居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
			周围剂量当量率 (μSv/h)	年受照射时间 (h)	周围剂量当量率 (μSv/h)	年受照射时间 (h)		
吸碘测定室	楼上	地面绿化	1.05×10^{-3}	吸碘测定每人 5min, 则全年累积时间 2083.3h。	/	/	1/40	5.47×10^{-5}
服药室	楼上	地面绿化	0.021	每人每次患者服药过程在服药室停留时间 1min, 全年累积时间约 1.92h。	/	/	1/40	1.01×10^{-6}
^{99m} Tc 抢救室	楼上	地面绿化	2.95×10^{-3}	考虑 1 名患者抢救时间 30min, 每年最多 20 个患者抢救, 全年累积时间 10h。	/	/	1/40	7.38×10^{-7}
^{99m} Tc 运动负荷给药室	楼上	地面绿化	2.95×10^{-3}	考虑 1 名患者注射药物时间 1min, 运动时间 15min, 全年累积注射+运动时间 =91.67+1375h=1466.67。	/	/	1/40	1.08×10^{-4}
^{99m} Tc 制备间	楼上	地面绿化	0.047	淋洗 166.7+分装 91.67=258.37h	/	/	1/40	3.04×10^{-4}
^{99m} Tc 注射后候诊室	楼上	地面绿化	0.030	考虑 10 人同时候诊, 候诊时间按平均 30min 计, 则候诊时间为 5500 人/年 ÷ 10 人/次 × 30min/次 ÷ 60min/h=275h	/	/	1/40	2.06×10^{-4}
SPECT-CT 检查室 (^{99m} Tc)	楼上	地面绿化	2.85×10^{-3}	摆位 91.67h+SPECT 扫描 1375h=1466.67h	0.134	扫描时间 20s/人次, 每台设备	1/40	2.07×10^{-4}

						扫描 30.56h		
SPECT-CT 检查室 (¹³¹ I)	楼上	地面绿化	8.38×10^{-3}	摆位 20.83h+SPECT 扫描 312.5h=333.33h	0.134	扫描时间 20s/人次, 每台设备 扫描 6.94h	1/40	9.31×10^{-5}
^{99m} Tc 留观室	楼上	地面绿化	8.86×10^{-3}	按 3 人同时留观, 留观时间按最 长时间 10min 计, 则留观时间为 5500 人/年 ÷ 3 人/次 × 10min/次 ÷ 60min/h=305.56h	/	/	1/40	6.77×10^{-5}
¹⁸ F 给药室	楼上	地面绿化	0.035	分装 0.83h+注射 20.83h=21.66h	/	/	1/40	1.90×10^{-5}
¹⁸ F 抢救室	楼上	地面绿化	0.035	考虑 1 名患者抢救时间 30min, 每年最多 20 个患者抢救, 全年 累积时间 10h	/	/	1/40	8.75×10^{-6}
¹⁸ F 注射后候诊室	楼上	地面绿化	0.070	考虑 2 人同时候诊, 候诊时间按 平均 30min 计, 则候诊时间为 2500 人/年 ÷ 2 人/次 × 30min/次 ÷ 60min/h=625h	/	/	1/40	1.09×10^{-3}
¹⁸ F 注射后候诊单间	楼上	地面绿化	0.035	考虑 1 人候诊, 每天 8h 一直有 人候诊, 全年 250 天, 候诊时间 2000h	/	/	1/40	1.75×10^{-3}
PET-CT 检查室	楼上	地面绿化	0.035	摆位 20.83h+扫描 625h=645.83h	0.538	扫描时间 20s/人次, 全年 13.89h	1/40	7.52×10^{-4}

¹⁸ F 留观室	楼上	地面绿化	0.070	考虑 2 人留观, 留观时间按最长时间 10min 计, 则留观时间为 2500 人/年 ÷ 2 人/次 × 10min/次 ÷ 60min/h = 208.33h	/	/	1/40	3.65 × 10 ⁻⁴
肺通气	楼上	地面绿化	2.36 × 10 ⁻³	考虑每名患者摄入药物时间 1min, 候诊时间按平均 30min 计, 则药物摄入 8.33h + 候诊 250h = 258.33h	/	/	1/40	1.52 × 10 ⁻⁵
给药准备	楼上	地面绿化	0.546	分装 0.83h + 注射 20.83 + 91.67h = 111.33h	/	/	1/40	1.52 × 10 ⁻³
质控区	楼上	地面绿化	0.055	每种核素每次质控时间约 1min, 全年共 6 × 1min × 2 次/d × 250d = 50h	/	/	1/40	6.88 × 10 ⁻⁵

5、β剂量率分析

供药单位按照预约时间在接诊前将当日所需药物送到储源室。根据患者用药种类和活度，放射工作人员进行药物分装质控、注射或给药。正常情况下基本不会发生液体药物泄漏，但若放射工作人员操作失误，使针剂或药丸中放射性核素泄漏，将造成工作场所的污染，产生β射线辐射影响。其次，药物注射或口服后患者的体液、排泄物等含有放射性药物，如患者随意吐痰等可造成其停留场所的污染。另外，若密封源破损将可能导致工作场所的β表面污染，可能对周边环境产生辐射影响。

由于β⁺在富含电子的组织内移动大约1mm后会很快与负电子结合发生湮灭反应。为保守起见，本次评价对¹⁸F衰变产生的β⁺射线按β⁻射线进行射程的保守估算，β⁻射线在材料中的射程计算公式如下：

$$d = E_{\beta \max} / 2\rho \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

d——为防护厚度，cm；

ρ——屏蔽材料密度，g/cm³（塑料1.4g/cm³，铅11.34g/cm³）；

E_{βmax}——β粒子最大能量，MeV。

在放射性药物¹⁸F和^{99m}Tc分装及注射环节，β射线对护士的影响主要在手部，核素操作人员利用一次性针筒进行注射，针筒屏蔽材质为钨，其中注射¹⁸F时针筒屏蔽材质等效为15mm厚的铅，注射^{99m}Tc时针筒屏蔽材质等效为5mm厚的铅。在放射性药物¹³¹I发放环节，放射工作人员将待发放的药剂装入40mmPb铅罐。在采取以上措施，药物注射和发放环节可有效屏蔽β射线对放射工作人员的影响。

放射性药物¹⁸F的β⁺粒子最大能量为0.63MeV，经计算，相同能量负电子在塑料中的射程为2.25mm，在铅里的射程为0.28mm；^{99m}Tc每次衰变过程中，K层电子约有9.1%的概率从处于高能态的核获得能量而脱离原子，电子能量约0.119MeV，经计算，在塑料中的射程为0.425mm，在铅里的射程为0.053mm；¹³¹I在衰变过程中释放β⁻射线和γ射线，其中β⁻射线为连续能谱，最大能量为0.602MeV，经计算，负电子在塑料中的射程为2.15mm，在铅里的射程为0.27mm。

根据计算结果可知，药物¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I产生的β射线在塑料和铅中的射程均较短，已有的防护完全能够屏蔽β射线。因此，在正常工作过程中，项目核医学科产生

的β射线对放射工作人员的影响较小。

6、敷贴治疗场所

本项目敷贴治疗场所主要使用 ^{32}P 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 等核素进行治疗， ^{32}P 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 核素为β辐射体，使用过程中会产生β射线。对于 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器， ^{90}Sr 的半衰期为 $28.6\pm 0.3\text{a}$ ， ^{90}Y 的半衰期为 $64.1\pm 0.1\text{h}$ ，两者衰变方式为纯β⁻衰变， ^{90}Y 衰变可放出能量为 2.283MeV 的β射线。 ^{32}P 的半衰期为 $14.26\pm 0.1\text{d}$ ，衰变方式为纯β⁻衰变，衰变可放出能量为 1.710MeV 的β射线。

敷贴器不用时贮存在敷贴间内贮源箱内，贮源箱屏蔽结构分为内外两层，内层为铝或有机玻璃等材料，其厚度大于β辐射在相应材料中的最大射程，外层为适当厚度的铅、铸铁等材料。 0.6MeV 的β射线在皮肤中的射程为 2.46mm ， 1.75MeV 的β射线在皮肤中的射程为 9.5mm ， 2.5MeV 的β射线在皮肤中的最大射程为 14.3mm 。治疗时在不接触患者皮肤的一面用不小于 3mm 厚的橡皮覆盖屏蔽，医务人员佩戴有机玻璃眼镜，尽量使用远距离操作工具，采取上述措施后，对工作人员的影响十分微弱。

7、放射性废气影响分析

本项目核医学科控制区采取独立的排风系统，并根据各功能区的活性高低分别设置排风管道及高效活性炭过滤防护装置，不违背核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。主管道均拟布设于吊顶上方，然后通过支管连接至各个工作区域用房，管道节点处拟设置调节阀门，防止放射性废气倒灌，主管道在吊顶上方至风井后，沿风井向上至屋面，经活性炭过滤后排至大气。此外，核医学科通风橱均单独专设一路排风管道，管道连接专用防辐射排风管，其风速不小于 0.5m/s ，并保证手套箱处于负压状态，且均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，建议采用蜂窝状活性炭，活性炭应每年更换一次，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。

8、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收到微量污染后进行清洗，受微量放射性核素污染的衣服的清洗，工作场所台面、地面的清洗，以及患者排泄物冲洗用水等。

医院拟在中医临床培训楼西侧距地面 0.6m 深处新建一座埋式衰变池，衰变池长 12.7m、宽 7.3m、高 4.2m，采用 300mm 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 4 个衰变池槽体并联组成，每个槽体有效容积为 19.6m³，槽体东西两侧设置有维修空间，维修空间东北角设置有两个降解槽（一用一备），衰变池槽体及降解槽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。放射性废水经污泥池沉淀后进入 1-4#衰变池（2.5m×2.8m×3.0m），1-4#每个衰变池槽体有效容积为 19.6m³，1-4#衰变池总容积为 78.4m³。项目运行期产生废水量约为 0.91m³/d（227.5m³/a），每个池体存满需要 21 天，则排放时放射性废水最短衰变时间为 63 天。故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。

9、放射性固体废物影响分析

项目核医学科产生的固体废物主要为与放射性核素接触过的一次性注射器、棉签、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旧敷贴源、废气处理产生的废活性炭等。¹⁸F 和 ^{99m}Tc 诊断、¹³¹I 核素诊断治疗、³²P 和 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 敷贴治疗年产生放射性固废总量 3228kg。

项目拟在分装质控注射给药区域、^{99m}Tc 注射后候诊室、抢救室、卫生间、SPECT-CT 检查室、留观室内放置专用废物桶；在 ¹⁸F 注射后候诊室及卫生间、候诊单间及卫生间、PET-CT 检查室、留观室、患者走廊内放置专用废物桶；在服药间、制备间、清洗消毒室、吸碘率室、放免室和敷贴室放置专用废物桶。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；半衰期大于24小时（含 ^{125}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 核素）的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存时间超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， 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 $\leq 1 \times 10^2\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{32}P 活度浓度 $\leq 1000\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{131}I 活度浓度 $\leq 1 \times 10^2\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{125}I 活度浓度 $\leq 1000\text{Bq}/\text{g}$ ， ^{89}Sr 活度浓度 $\leq 1000\text{Bq}/\text{g}$ ）时，可对废物清洁解控作为一般固废医疗废物处理。

不能解控的放射性固体废物应按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。自制的 ^{32}P 敷贴器弃用时按放射性废物管理。 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器为外购敷贴器，会产生废弃商品敷贴器，按放射性废源管理，由放射源供应单位负责回收处置。

应安排专人负责管理废物的存储和处理，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养，接触放射性废物的工作人员必须穿放射性污染防护服，并佩戴个人剂量计。

11.3 事故影响分析

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。

特别重大辐射事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。

重大辐射事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

11.3.1 核医学科

1、可能发生的辐射事故

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

(1) 放射性药品或密封放射源丢失、被盗事故

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

(2) 放射性药品洒漏事故

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

(3) 射线装置误照射事故

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

2、辐射事故防范措施

(1) 放射性药品或放射源丢失、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、制备间、分装质控注射给药区）均位于负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、制备间、分装质控注射给药区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、制备间、分装质控注射给药区）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，应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用酒精药棉或纸巾进行擦抹，以防止污染扩散。吸附、擦拭物质作为放射性固体废物，放入带有屏蔽功能的废物桶内。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，成立了辐射安全防护管理领导小组，并以正式文件（铜中医院发〔2021〕8号）明确了小组成员以及相关工作职责。

辐射安全防护管理领导小组主要职责如下：

(一)制定辐射安全与防护工作的计划和总结，对辐射安全控制效果进行评议；定期对突发辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订。

(二)负责对本院辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度及防护措施的贯彻落实情况。

(三)负责本院放射人员的健康体检及档案管理。

(四)组织实施放射工作人员关于辐射安全与防护知识的培训工作。

(五)会同上级有关部门按有关规定调查和处理辐射事故，并对有关责任人员提出处理决定。

医院现有辐射安全防护管理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，本次扩建项目项目，建成投入使用运行后，还应将放疗和核医学等科室成员纳入到辐射安全防护管理领导小组，并制定相应的工作职责；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

根据《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）相关规定，铜川市中医医院已制定了一系列辐射安全管理制度，并认真落实各项规章制度，对规范放射工作的正常运行、防止放射事故发生、保障放射工作人员与公众健康与安全会起到积极作用。

铜川市中医医院已制定的放射防护相关管理制度主要有：《放射事故应急预案》《放射诊断质量保证制度》《个人剂量监测管理制度》《放射防护知识培训制度》《放射工作人员职业健康监护制度》《放射工作场所防护检测管理制度》《小C设备操作规程》《口腔科牙片机安全操作规程》《放射防护安全管理规章制度》《受检者电离辐射危害告知制度》《放射防护档案管理制度》《设备维修保养检查制度》等，仅涉及影像科。

根据本项目的建设内容，医院还应制定核医学科的相关规章制度，将本次环评内容纳入现有的规章安全制度之中，修改并完善医院相关的管理制度，根据密封放射源、非密封放射性物质和射线装置实际使用情况，不断完善操作规程、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，使其具有更强的针对性和可操作性。

医院应按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29号）相关要求，完善各类岗位职责、操作规程，补充《射线装置管理制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射设备检修维护制度》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》《核医学科辐射工作场所监测制度》《PET/CT、SPECT/CT设备维护、维修制度》《PET/CT、SPECT/CT辐射装置修理与维护应急处理措施》《放射性同位素使用登记制度》《监测仪表使用与校准制度》《质量保证大纲和质量控制检测计划》等，医院在今后日常工作中应严格落实各项辐射安全管理制度，并根据实际工作对其进行不断完善，使之更满足辐射安全管理要求。

12.2.2 人员管理

针对本项目新招聘的放射工作人员，放射工作人员到位后，本次评价提出以下要求：

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

12.2.3 辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的相关要求，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。

医院现有的辐射安全管理与标准化建设的具体要求对照情况见表 12-1。

表 12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	有
		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容。	有
		明确辐射安全管理部和岗位的辐射安全职责。	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗，熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求，向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。	有
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	有
		建立辐射环境安全管理档案。	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录。	有
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	有
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。	有
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。	有
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理。	有
	机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。	有
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	需要完善	
	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。	需要完善	
	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，需要完善	
	建立放射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	有	
	建立放射工作人员个人剂量管理制度，每季度对放射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	有	
	建立放射工作人员职业健康体检管理制度，定期对放射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	有	

	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）。	需要完善
	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，需要完善
	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。	需要完善
*应急管理	结合单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	有，需要完善
	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，需要完善

根据表 12-1 可知，医院还应补充《射线装置管理制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射设备检修维护制度》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》等相关制度，使之更满足陕环办发〔2018〕29 号相关要求，并辐射事故应急预案内容应根据本项目新增的核医学科，补充可能发生的辐射事故，完善应急响应措施，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

医院配备有1台X射线防护仪，并每年将自主检测仪器送至具备相应资质的单位进行检定，检定合格后使用。医院每年委托有资质单位对辐射工作场所进行一次定期监测，并按时向生态环境主管部门提交本院的放射同位素与射线装置的安全和防护状况评估报告。医院为现有放射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位每季度对放射工作人员进行个人剂量检测并存档。

项目建成投运后，医院应定期对新建的机房进行监测，监测要求如下：

（1）辐射工作场所环境监测：a、委托有资质单位对本次新建的机房进行监测，监测频次不小于1次/年，监测结果应详细记录并存档；b、利用自主检测设备定期对机房周边环境进行巡检，若发现异常情况，应立即采取应急措施，停止放射工作，并查找原因；c、将本次新建机房的检测结果纳入医院辐射安全和防护状况评估报告

中，并在每年1月31日之前上报发证机关。

(2) 个人剂量监测：a、项目涉及的放射工作人员应配备个人剂量计，每季度委托具有资质的个人剂量监测技术服务机构进行监测，建立个人剂量检测档案；b、在每年的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含放射工作人员个人剂量检测数据及安全评估的内容。项目辐射监测计划见表12-2。

表 12-2 项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
核医学科	防护性能检测	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、分装柜的观察窗、手孔位、操作位、柜身周围 5cm 处；③药物屏蔽容器表面 5cm 处；注射台的观察窗、手孔位、操作位；④放射性废物桶表面 5cm 处。	X- γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
		放射性药物淋洗、分装、给药、注射后候诊等场所：工作台面、地上、洗手池表面、座椅表面、患者卫生间地上、床面、卫生间、废物桶表面	β 表面污染水平	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
		核医学科工作人员手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋表面等	β 表面污染水平	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。	β 表面污染水平	每次人员离开前
	含放射性废水	衰变池出水口	总 β	每次排放前
	个人剂量监测	放射工作人员个人剂量计	个人累计剂量	委托有资质单位每季度监测一次

(3) 年度评估

医院每年应委托有 X- γ 辐射剂量率及 β 表面污染检测资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的年度管理监测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.4 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《铜川市中医医院辐射事故应急预案》，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，并于 2022 年 12 月 9 日在铜川市生态环境局进行了辐射事故应急预案备案。

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。

医院应进一步完善并细化现有辐射事故应急预案，根据前述 11.3 的事故影响分析，结合本项目放射性核素、放射源和射线装置的应用情况，针对本项目运行中可能出现的辐射事故，对医院现有的应急预案进行补充修改、完善，将本项目新增的 PET-CT/SPECT-CT、 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源、新增核素（ ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr ）等纳入医院辐射事故应急预案。补充针对新增放射性核素操作过程和分装药物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、敷贴用放射源丢失，被盗等），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 1627 万元，其中环保投资 480 万元，占总投资的 29.50%。环保投资

主要用于辐射安全防护设施的建设、放射工作人员培训、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。

表 12-3 环保投资估算表

实施时段	类别	污染源	污染防治措施或设施	费用 (万元)	备注	
施工期	废气	施工扬尘等	定期洒水	2	/	
	固体废物	生活垃圾	统一纳入医院生活垃圾清运系统	2	/	
运营期	废气	含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 放射性废气	专用排风管道经活性炭吸附后引至核医学科屋面排放	70	/	
运营期	固体废物	放射性固体废物（空药瓶、废钼铯发生器柱、废注射器、吸水纸、棉签、一次性卫生防护用品、废 ^{32}P 敷贴器等）、废活性炭、废 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源	污物间固废桶存放内按要求存放后处置，废 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源由供应商回收处置。	15	/	
	废水	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者排泄物及冲洗废水	衰变池贮存一定时间后，检测合格后，排入医院污水处理站	298.5	/	
	辐射安全防护设施	γ 射线、X射线	机房防护墙	/	/	计入工程投资
			防护门及观察窗等	20	/	/
		γ 射线、 β 表面污染	移动式防护铅屏风、钨合金注射屏蔽套、铅罐、转运注射箱、手提式屏蔽箱、铅污物桶、手套箱、分装柜、除污用品、个人剂量计等。	36	/	/
			电离辐射警告标志、门灯联锁装置、红外防夹装置、工作状态指示灯、自动闭门装置、对讲装置、个人剂量计等。	5	/	/
环境管理	完善辐射环境管理制度		/	/	/	
	个人防护用品	核医学科	^{131}I ：放射性污染防护服、工作服、乳胶手套、一次性鞋套、过滤式口罩等； PET 场所：放射性污染防护服； 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； CT 机房：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅帽等受检者个人防护用品等	5	/	

环境 监测	X-γ 辐射剂量率监测仪，定期自检	/	利用 现有
	β表面沾污仪，日常监测	2	/
	定期委托监测	3	/
人员 管理	人员培训	0.5	/
	放射工作人员至少每 2 年进行职业健康体检	0.5	/
	放射工作人员配备个人剂量计，定期送检	0.5	/
环境影响评价及竣工环境保护验收费用		20	/
合计		480	/

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 12-4。

表 12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	验收方式
1	辐射安全管理机构	设立辐射安全与环境保护管理委员会并明确成员职责,负责项目辐射安全与环境管理工作。
2	辐射安全管理制度	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,建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对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,完善应急预案,落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。
3	辐射安全防护措施	核医学科辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述一致。经屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。通风设施运行正常,通风能力满足设计要求。药品注射前必须在注射器表面套上满足屏蔽效果的钨合金注射器防护套,在验收时必须监测钨合金注射器防护套(含源)表面剂量率。核医学科辐射工作场所活性区出入口、PET-CT机房、SPECT-CT机房、制备间、分装质控候诊室、注射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活性区出入口安装门禁,其内部场所设置分区标识,地面设置行走路径标识;注射室采用实体屏蔽措施,安装防盗门、电视监控系统和防盗报警装置。核医学科配备满足需要的放射性废物贮存设施(固废室);建设有满足环境管理要求的放射性废水衰变池,且有运行管理记录;有独立排风系统,且有活性炭过滤设施。在核医学科注射室、注射后候诊室、留观室、抢救室等配置带铅防护废物桶,桶外张贴电离辐射警示标识。注射放射性药物患者设置专用卫生间。配套建设衰变池和固废室。放射性固体废物分类收集存放于固废室,废物包装体外注明核素、收集时间、处理时间等相关信息。建立放射性废物管理台账。
4	防护用品	防护用品数量应满足实际工作需求。包括:个人剂量计、个人剂量报警仪, ¹³¹ I:放射性污染防护服、工作服、乳胶手套、一次性鞋套、过滤式口罩等;PET场所:放射性污染防护服;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;PET/CT、SPECT/CT:铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅帽等受检者个人防护用品。
5	环境监测仪器	配备有1台X-γ剂量监测仪器,建议配备1台表面沾污仪,并定期进行检定或校准;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。
6	职业教育培训	放射工作人员应定期参加辐射安全和防护知识培训,经考核合格并取得合格证后方可上岗。
7	个人剂量档案	为每名放射工作人员配备个人剂量计,放射工作时要求佩戴,定期送检并保存放射工作人员个人剂量监测档案。
8	健康档案	定期对放射工作人员进行职业健康体检,并建立职业健康检查档案。

9	剂量管理 限值	<p>PET-CT、SPECT-CT 机房屏蔽体外 0.3m 处辐射剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中规定的屏蔽体外表面 0.3m 处周围剂量当量率不大 2.5μSv/h 的标准限值；核医学科工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 0.3m 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、手套箱、注射窗分装柜、药品柜外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；工作场所表面污染水平满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平；项目公众年有效剂量约束值取 0.1mSv，职业工作人员年有效剂量约束值取 5mSv。</p> <p>表面污染：①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：$\beta < 4 \times 10^4 \text{ Bq/cm}^2$；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：$\beta < 4 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^2$。</p>
---	------------	---

铜川市中医医院中医特色重点医院项目
核医学科核技术应用项目

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为了满足广大患者的诊疗需求和自身发展需要，医院计划在中医临床培训楼负一层建设核医学科。

核医学科主要包括 1 间 SPECT-CT 机房、1 间 PET-CT 机房、敷贴室、吸碘室、放免室及其配套区域（乙级非密封放射性物质工作场所）；拟在 PET-CT 机房内安装使用 1 台 PET-CT（III 类射线装置），使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展显像诊断；拟在 SPECT-CT 机房内安装使用 1 台 SPECT-CT（III 类射线装置），使用非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 开展显像诊断；拟使用非密封放射性物质 ^{131}I 开展甲功测定和甲亢治疗；使用 ^{125}I 开展放免分析；使用 ^{89}Sr 开展肿瘤骨转移治疗；使用 ^{32}P 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 开展敷贴治疗。使用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素发生器制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

13.1.2 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。

13.1.3 辐射环境质量现状

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

13.1.4 辐射安全与防护分析结论

核医学科 SPECT-CT、PET-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、质控区、制备间、抢救室、注射后候诊室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、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，地或墙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）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。

本次对核医学工作场所划分了控制区、监督区，并按照国家相关规定进行分区管理，最大程度减少对工作人员、公众辐射影响。根据诊疗工作需要，为放射性工作场所配备相应的辐射安全防护设施，为工作人员、患者配备足够数量的放射性污染防护服、铅衣、铅围裙、铅围脖等防护用品。

13.1.5 辐射环境影响分析

(1) 辐射环境影响分析

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、通风橱、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) “三废”影响分析

核医学科产生的放射性废水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通风橱内进行，通风橱设计有单独的排风系统，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屋面排放；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。

(3) 项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

项目正常运行期间，核医学科对工作人员所致年有效剂量最大为 3.69mSv，对工作场所周边公众所致年有效剂量最大为 1.95×10^{-3} mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对放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。

13.1.6 辐射安全管理

医院成立了辐射安全防护管理领导小组，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。根据本项目的建设内容，医院还应制定核医学科科室的相关规章制度，修改并完善医院相关的管理制度，根据密封放射源、非密封放射性物质和射线装置

实际使用情况，不断完善操作规程、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，使其具有更强的针对性和可操作性。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。

13.1.7 项目可行性分析结论

综上所述，铜川市中医医院中医特色重点医院核医学科核技术利用项目符合国家产业政策以及辐射防护实践正当性原则，选址合理，项目在严格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，具备辐射活动相适应的核技术应用能力。项目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；运行所致放射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限制要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

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) 结合本项目放射性核素和射线装置应用情况，完善辐射事故应急预案，使之具有针对性、可操作性，加强日常演练，做到有备无患，确保发生事故时，能够及时有效启动辐射事故应急预案。

(4) 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