

核技术利用建设项目  
核医学科改扩建项目  
环境影响报告表



生态环境部监制

核技术利用建设项目  
核医学科改扩建项目  
环境影响报告表

建设单位：北京老年医院

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：北京市海淀区温泉路 118 号

邮政编码：100095

联系人：王晓东

电子邮箱：xdwang010@163.com

联系电话：010-83183532

# 目 录

表 1	项目基本情况 .....	1
表 2	放射源 .....	25
表 3	非密封放射性物质 .....	26
表 4	射线装置 .....	27
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物） .....	28
表 6	评价依据 .....	29
表 7	保护目标与评价标准 .....	33
表 8	环境质量和辐射现状 .....	46
表 9	项目工程分析与源项 .....	53
表 10	辐射安全与防护 .....	69
表 11	环境影响分析.....	94
表 12	辐射安全管理 .....	123
表 13	结论与建议 .....	128
表 14	审 批 .....	131

表 1 项目基本情况

建设项目名称		核医学科改扩建项目				
建设单位		北京老年医院				
法人代表	禹震	联系人	王晓东	联系电话	010-83183532	
注册地址		北京市海淀区温泉路 118 号				
项目建设地点		北京市海淀区温泉路 118 号住院一部地下一层西南侧				
立项审批部门		无		批准文号	无	
建设项目总投资 (万元)	2300	项目环保投资 (万元)	300	投资比例 (环保投资/总投资)	13.04%	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m <sup>2</sup> )	850
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类			
	其他					
	<p><b>1.1 单位概况</b></p> <p>北京老年医院 (以下简称“老年医院”或者“医院”) 建立于 1949 年, 地处北京市“三城一区”之一的中关村科学城北区, 是北京市少有的环境优雅的花园式市属公立医院, 占地面积 17 万余平方米, 总建筑面积 8 万余平方米, 编制床位 800 张, 医院为北京市医保 A 类定点医疗机构, 首都医科大学老年教学医院。</p> <p>北京老年医院是一所以老年患者为主要服务对象, 以急性、亚急性综合医疗为核心, 以医疗、康复、护理一体化为特色的, 集临床、科研、教学、预防为一体具有引领和示范作用的三级综合医院。</p> <p>医院设有 34 个临床科室、9 个医技科室和 26 个行政职能处室, 有老年医学基础研究中心、老年健康与医养结合研究室两个专职研究机构。现有职工 1200 余人, 其中 88% 为专业技术人员, 北京市百千万人才、北京市“科技新星”、北</p>					

京市卫生系统高层次卫生技术人员等各级各类人才 13 名。

医院年门急诊量约 35 万人次；年出院人次约 1.6 万；年手术量 2200 台，四级手术占比 28.86%。目前，有出诊科室 37 个，出诊医师近 200 人，其中副高及以上职称专家 80 余人，占比 40%。互联网出诊科室 35 个（医疗类 31 个、咨询类 4 个），互联网出诊医师近 130 人，副高及以上职称近 70 人，占比 53.84%，有认知障碍、老年心血管、失眠、头晕、疼痛等专病门诊近 30 个，已具备日均 3000 份标本检验、500 人次影像检查的服务能力。

## 1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

### 1.2.1 核技术利用现状

北京老年医院已取得了北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[F0333]），有效期至 2028 年 2 月 6 日），许可的种类和范围是：使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。北京老年医院已许可的射线装置情况见表 1.2-1。

表 1.2-1 医院已许可使用的射线装置情况

序号	装置名称	类别	装置数量（台）	活动种类
1	X射线摄影装置（包含碎石机）	III	5	使用；
2	放射诊断用普通X射线机（胃肠）	III	1	使用；
3	放射治疗模拟定位机	III	1	使用；
4	放射治疗用X射线、电子束加速器	II	1	使用；
5	骨密度仪	III	1	使用；
6	乳腺X射线机	III	1	使用；
7	数字减影血管造影装置	II	3	使用；
8	牙科X射线机	III	3	使用；
9	医用X射线CT机	III	4	使用；
10	移动X射线摄影机	III	7	使用；
11	SPECT-CT	III	1	使用；
	合计		28	

北京老年医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1.2-2。

表 1.2-2 医院已许可非密封放射性同位素使用情况

场所名称	场所等级	核素	活动种类	用途	日最大操作量（贝可）	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	备注
第一、第四手术室	丙级	I-125 (粒子源)	使用	放射性药物治疗	2.37E+9	2.37E+6	2.37E+11	

核医学科	乙级	F-18	使用	放射性药物诊断	1.48E+10	1.48E+7	3.70E+11	
		Tc-99m	使用	放射性药物诊断	1.39E+11	1.39E+8	3.5E+12	
		I-123	使用	放射性药物诊断	3.7E+8	3.7E+6	9.25E+10	
		I-131	使用	放射性药物治疗	1.93E+9	1.93E+8	1.04E+11	
		Sr-89	使用	放射性药物治疗	2.22E+9	2.22E+8	3.33E+11	
		P-32	使用	放射性药物治疗	2.22E+9	2.22E+8	3.33E+11	
		Sm-153	使用	放射性药物治疗	7.4E+9	7.400E+8	1.85E+11	

### 1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京老年医院近五年共有 1 个环评报告表项目，均已办理了辐射安全许可证增项手续并完成自主环保验收。具体落实情况见表 1.2-3。

表 1.2-3 建设项目竣工验收落实情况

序号	环评批复文号	项目名称	类别	竣工验收情况
1	京环审[2023]36号	新增使用Ⅱ类射线装置项目	报告表	2024年08月已办理自主验收

### 1.2.3 辐射安全管理情况

#### 1.2.3.1 辐射管理机构基本情况

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进射线装置与同位素合法的使用，北京老年医院专门成立了辐射防护领导小组，由副院长担任组长，医务处处长和医工处处长担任副组长，疾控处、总务处、放射科、核医学科、放疗科等各部门的相关人员担任组员，并由医工处李翔担任辐射防护负责人及专职人员，专职负责辐射安全管理工作，已参加并通过辐射安全和防护考核，取得了考核证。辐射防护领导小组成员名单见表 1.2-4。

表 1.2-4 医院辐射安全防护领导小组成员名单

职位	姓名	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
组长	倪如暘	临床医学	副院长	院办	兼职
副组长	何晓冉	急诊医学	处长	医务处	兼职
	李翔	神经病学	处长	医工处	专职
组员	王静	劳动卫生与环境卫生学	副处长	医务处	兼职
	徐向纯	热能利用与空气调节	处长	规划建设处	兼职
	李影影	药事管理	主任	药学部	兼职
	高卓	法律	处长	人力资源处	兼职

郑曦	临床医学	处长	科教处	兼职
李海芳	护理	主任	护理部	兼职
李东祥	工商管理	处长	保卫处	兼职
汪铮	经济管理	处长	总务处	兼职
纪冬梅	护理	处长	疾控处	兼职
张平	影像医学与核医学	主任	放射科	兼职
李桂英	医学生物工程	主任	核医学科	兼职
张建春	临床医学	主任	肿瘤放疗科	兼职
黄勇军	临床医学	主任	综合介入中心	兼职
张志勇	医学影像与核医学	主任	神经医学中心	兼职
王健	临床医学	主任	老年心血管中心	兼职
马建华	中医骨伤	主任	骨科	兼职

### 1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

北京老年医院结合医院实际情况，已制定了一套《辐射安全与防护管理制度》，有相对完善的管理制度和操作规程，包括辐射防护领导小组及岗位职责、操作规程、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、台账管理制度、辐射安全与培训考核制度、辐射监测方案、废物处置方案、辐射事故应急预案、放射诊疗场所和设备定期检测制度、放射工作人员职业健康检查制度、放射工作人员个人剂量管理制度、防护铅衣的存放保养与检测制度等，并严格按照规章制度执行。

### 1.2.3.3 工作人员考核情况

医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，全院从事辐射相关工作人员共约 106 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

今后，医院将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

### 1.2.3.4 个人剂量监测

医院所有从事辐射工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，每季度 1 次监测一次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数

据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

目前，医院个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频率为每 3 个月检测一次。根据医院最近一年度（2024 年）个人年度剂量检测报告表明，医院辐射工作人员该年度个人剂量最大值为 0.506mSv，所有人员年度个人剂量最大值均未超过医院年剂量管理目标值，满足辐射安全管理要求。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射防护领导小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人和科室负责人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

#### 1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

医院已制定辐射工作场所监测制度和自行监测记录档案，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次等，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。监测记录记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，监测记录随本单位辐射安全和防护年度评估报告一并提交北京市生态环境局。

**（1）委托第三方检测：**根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，医院每年委托有资质单位对射线装置和非密封放射性物质工作场所进行 1 次工作场所环境辐射水平监测和工作场所表面污染水平监测，监测数据记录存档。

医院每年委托有资质的单位对医院已有的辐射场所防护和机器性能检测一次，且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

2025 年 05 月，医院委托深圳市瑞达检测技术有限公司对医院全部在用射线装置工作场所及核医学工作场所进行检测，监测项目为场所周围剂量当量率及  $\beta$  表面污染水平。根据检测结果显示，射线装置机房外的周围剂量当量率均不大于 2.5 $\mu$ Sv/h，满足 GBZ 130-2020、HJ 1198-2021 等标准要求；核医学科工作场所控制区周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h，控制区  $\beta$  表面污染水平不大于 0.13Bq/cm<sup>2</sup>

(小于 40Bq/cm<sup>2</sup>)，均满足 GBZ 120-2020、GB 18871-2002 等标准要求。

(2) **工作场所自行监测：**根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，医院定期开展工作场所环境辐射水平自行监测。核医学科每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台面、手套箱台面、注射台以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测其工作服、体表的表面污染水平。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1.2-5。

**表 1.2-5 医院现有辐射防护监测仪器清单**

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	备注
1	X-γ 辐射剂量率仪	HDR-100	2024-05	正常	1	导管室 2
2	数字式表面沾污仪	Inspector	2016-03	正常	1	核医学科
3	放射性药物注射车	HK-FZC-L-50	2016-03	正常	1	
4	便携式 X-γ 环境剂量率仪	BH3103B	2009-10	正常	1	
5	活度计	CRC-25R	2016-03	正常	1	
6	个人辐射监测及报警装置	RAD-60S	2016-03	正常	5	
7	便携式多功能射线检测仪	BG9611	2018-04	正常	1	
8	x-ray 固定式场所报警仪	BJY-1 型射线报警仪	2016-03	正常	1	
9	个人剂量报警仪	AlokeMYDOSEmini 系列	2016-03	正常	2	
10	辐射监测仪	RJ21-1155	2016-03	正常	1	核医学科

本项目运行后，周围场所的辐射水平监测工作，将继续纳入医院辐射工作场所的监测范围，一并按照现有制度规定的频度开展。

### 1.2.3.6 辐射事故应急管理

北京老年医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故（件）应急预案，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填

写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

医院针对给患者注射药物过程中可能发生药物遗洒等事故/事件，制定了每年一次的演练计划。2025年12月15日，核医学科共同组织了一次放射性药物遗洒安全应急演练，此次演练模拟了药物注射过程中发生放射性药物遗洒事故的处理全流程和过程。经过此次演练实践，核医学科全体医务人员均能按照我院《辐射应急预案》的规定进行及时正确处置，通过此次演练提高了核医学科放射工作人员面对突发事件的应急处置能力，对进一步规范我院放射防护与质控工作管理工作起到了促进作用。

### 1.2.3.7 放射性废物的管理情况

(1) 北京老年医院核医学科已许可 SPECT/CT 使用 A 类核素 F-18、Tc-99m、I-123 开展显像诊断，许可使用核素 P-32、Sr-89、Sm-153 开展门诊治疗（其中 P-32、Sm-153 至今未开展过治疗）；许可 I-131 进行甲功检查和甲亢治疗。

#### (2) 放射性固体废物

医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求，对放射性废物进行管理：将放射性固体废物分类收集于专用的废物桶内，在废物衰变间内暂存。

核医学科已按照要求对废物库内暂存时间和检测结果满足要求的固体废物（为Tc-99m、F-18两种核素）进行了清洁解控，并进行了详细记录。

核医学科含F-18、Tc-99m、I-123（A类）等放射性废物暂存超过30天，剩余P-32、I-131、Sr-89、Sm-153（B类）放射性固体废物暂存时间超过10倍最长半衰期且不少于30天后，使用经检定合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于200nSv/h且β表面污染水平小于0.8Bq/cm<sup>2</sup>，将废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”。

#### (3) 放射性废水

医院现有核医学科放射性废水收集、暂存于现有衰变池进行衰变后排放，核医学科现有槽式衰变池总有效容积为32.58m<sup>3</sup>（16.29m<sup>3</sup>×2池，不含推流池体积）。

根据HJ1188-2021、京环办[2018]13号和辐射函〔2023〕20号文要求，对于

槽式衰变池（罐）暂存方式，A类（半衰期小于 24h）放射性废水注满后，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；B类（半衰期大于 24h）放射性废水注满后，暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后，衰变池废水直接排放，医院现有衰变池容积能够满足暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天要求。

医院于 2025 年 11 月委托普锐赛斯（北京）环境监测技术有限公司对核医学科衰变池废水进行了检测，监测结果显示总  $\alpha$ 、总  $\beta$  放射性浓度小于探测下限，符合要求。

### **1.2.3.8 其他情况**

北京老年医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2025 年度评估报告。

## **1.3 本项目概况**

### **1.3.1 项目建设背景**

我国人口老龄化进程正不断加快，老年人口数量持续增长，随之而来的是老年疾病诊疗需求的日益凸显。老年患者中，肿瘤、心脑血管疾病的发病率较高，医院目前核医学科只有 SPECT/CT 设备 1 台，而 PET/CT 设备凭借其在分子水平的成像能力，对这类疾病的早期诊断、精确分期、疗效评估及复发监测具有不可替代的优势，能极大提升老年患者的诊疗效果与生存质量。然而，现有核医学科的条件完全无法满足该设备的安置与使用需求。海淀区四环外目前尚无市属医院配备 PET/CT 设备，区域内老年患者若需进行相关检查，需跨区域就医，不仅增加了患者的就医成本与不便，也无法及时满足紧急诊疗需求。本次改造也是为了确保 PET/CT 设备顺利落地，设备投用后，将直接填补区域内市属医院 PET/CT 设备的空白，让老年患者在家门口就能享受到精准的核医学诊疗服务，切实解决区域老年医疗服务的短板。

为了解决拟增加的 1 台 PET/CT 安装位置及近年来核医学科布局新理念，对住院一部地下一层西南侧核医学科的布局进行调整。待本项目取得核医学科改扩建批复，停用现有核医学科场所并做好检测解控等相关环保手续后，将地下一层的现有核医学科等相关场所进行改造。

### **1.3.3 项目基本情况**

近年来，多数新建或改建的核医学科场所设计，将高活室、注射室设在入口

一侧，然后按照患者流向分设给药候诊室、检查室、留观室和出口。这样布局优点是，患者进入核医学科控制区后就注射药物，然后沿着患者流动方向，顺序完成候诊和扫描检查工作，最后从另一侧的出口离开，有效减少了患者不必要的折返移动，降低了患者之间不必要的互相照射。

为了解决拟增加的 PET/CT 安装位置及近年来核医学科布局新理念，对住院一部地下一层西南侧核医学科的布局进行调整，基本原则是 SPECT/CT 机房维持不变，高活室、注射室区域从核医学科的南侧调到北侧，负荷室和卫生间改造成 PET/CT 机房，东侧区域调整成相关注射后候诊区，出口调到核医学科的南侧，放射性药物的暂存、分装、注射等活动仍集中于在高活室，衰变池位置不变，并为了减小对楼上门急诊大厅的影响，在核医学科控制区内距楼上底板约 4.2m 处增加铅板防护与混凝土复合防护隔层（隔层上面为设备管道层）。新设计图纸与现状布局对照，具体见图 1-1 和图 1-2，场所布局发生了明显变化，属于项目重大变更，故医院拟对核医学科场所重新履行环境影响评价手续。与现有核医学科控制区比较，本项目改造后的控制区大于现有的，没有控制区调整为监督区或普通场所的情况。

核医学科改扩建后计划开展主要内容概况如下：

(1) 本项目改造后核医学科拟新增使用 1 台 PET-CT 机，拟外购使用 F-18、Ga-68、Zr-89、Cu-64 核素药物开展 PET 显像诊断。

(2) 改造后已许可的 SPECT-CT 仍使用 Tc-99m、I-123 进行 SPECT 显像诊断，使用核素 Tc-99m 锝气进行肺通气检查；

(3) 门诊仍使用 I-131 进行甲功检查和甲亢治疗，同时增加使用 Ra-223 进行门诊治疗，增加使用 Lu-177 进行留观治疗。本次改造期间核医学科门诊显像和治疗患者均停诊。

本项目涉及的 III 类射线装置（1 台 PET/CT）及配套的 V 类校准源方案设计时已考虑储源室和 III 类射线装置的防护和机房面积等要求，根据相关环保法律法规要求，III 类射线装置和 V 类放射源对环境的影响很小，本项目也进行简要的分析。

#### 1.3.4 本项目核素使用量

核医学科启用后将开展一系列核医学检查和治疗，核素使用情况预计如下：

##### (1) PET 显像检查：

① F-18 使用量不大于  $3.70E+08Bq$ /人，每日 PET 检查 20 人次，年工作 250 天。

② Ga-68 使用量约  $1.85E+08Bq$ /人，每日 PET 检查 2 人次，年工作 50 天。

③ Zr-89 使用量约  $1.85E+08Bq$ /人，每日 PET 检查 2 人次，年工作 50 天。

④ Cu-64 使用量约  $1.85E+08Bq$ /人，每日 PET 检查 2 人次，年工作 50 天。

**(2) SPECT 检查：**

① Tc-99m 使用量不大于  $9.25E+08Bq$ /人，每个检查日最多检查 20 人次（不含每周 2 例肺通气患者），年工作 250 天；核医学科 Tc-99m 肺通气检查每名患者使用量一般不大于  $5.55E+08Bq$ ，本次保守按每人按平均用量  $7.40E+08Bq$ /人评价，每日约 2 例病人，年工作 50 天。

② I-123 使用量约  $3.70E+08Bq$ /人，每日最多 SPECT 检查 5 人次，每年最多工作 50 天。

③ I-131 甲状腺摄碘功能测定，每人每粒胶囊约  $3.33E+05Bq$  ( $9\mu Ci$ )，每人每次一粒，每日最多实施 5 人次，每年最多工作 100 天。

**(3) 门诊治疗使用治疗核素如下：**

① I-131 用于甲亢门诊治疗，每人口服活度不大于  $3.70E+08Bq$ （胶囊），最多为 5 名病人/天，每年工作 100 天。

② 门诊治疗 Sr-89 每人口服活度不大于  $1.48E+08Bq$ /人，最多为 2 名病人/天，每周 1 天，年工作 50 天。

③ Ra-223 用于治疗前列腺癌骨转移门诊治疗，患者使用量最多为 5 名病人/天，年工作 50 天，其中每例每次最大注射量为  $6.60E+06Bq$  ( $0.178mCi$ )。

④ Lu-177 用于转移性神经内分泌肿瘤和前列腺癌的门诊留观治疗，使用量最多为 1 人次/天（一周 2 批次），保守全年最多安排 100 人次，最大  $7.40E+09Bq$ /人 ( $200mCi$ )，每名 Lu-177 患者留观时间不小于 6h。

**表 1.3-1 改造后核医学科拟使用的核技术情况**

一、拟使用的射线装置情况							
序号	设备名称	台数	厂家及型号	技术参数	类别	使用场所	备注
1	SPECT/CT	1	Infinia	140kV/2.5mA	III	SPECT室	利旧
2	PET/CT	1	待定	140kV/833mA	III	PET/CT室	新增

备注：本项目暂未确定拟新购1台PET/CT的型号，后期拟根据购置的设备情况，可能选用F-18或Ge-68密封源用于PET/CT设备校准。

二、拟使用的刻度源情况							
序号	刻度源使用情况						备注
1	拟计划配1枚Ge-68V类源（活度不大于1.11E+8Bq）						PET/CT
备注：1）本项目暂未确定拟新购1台PET/CT的型号，后期拟根据购置的设备情况，可能选用F-18或Ge-68密封源用于PET/CT设备校准。 2）本项目拟按需要使用放射源的情况进行评价。							
三、拟使用的核素情况							
使用场所	核素种类	患者最大(平均)使用量(Bq)	预计每日最多诊疗人数	年最大使用天数(天)	日最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途
核医学科门诊影像诊断	F-18	3.70E+08	20	250	7.40E+09	1.85E+12	PET/CT
	Ga-68	1.85E+08	2	50	3.70E+08	1.85E+10	
	Zr-89	1.85E+08	2	50	3.70E+08	1.85E+10	
	Cu-64	1.85E+08	2	50	3.70E+08	1.85E+10	
	Tc-99m	9.25E+08	20	250	1.85E+10	4.63E+12	SPECT/CT 诊断
	Tc-99m 锝气	7.40E+08	2	50	1.48E+09	7.40E+10	
	I-123	3.70E+08	5	50	1.85E+09	9.25E+10	甲功检查
	I-131 (甲功测定)	3.33E+05	5	100	1.67E+06	1.67E+08	
核医学科门诊治疗	I-131 (甲亢治疗)	3.70E+08	5	100	1.85E+09	1.85E+11	门诊治疗
	Sr-89	1.48E+08	2	50	2.96E+08	1.48E+10	
	Ra-223	6.60E+06	5	50	3.30E+07	1.65E+09	
	Lu-177	7.40E+09	1	100	1.48E+10	7.40E+11	门诊留观治疗

### 1.3.5 核素使用量及场所分级

《关于明确核技术辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）相关规定明确了常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取：放射性药品生产中分装、标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用 F-18、Tc-99m 相关活动视为“很简单的操作”，使用 I-131 核素相关活动视为“简单操作”。

依照上述通知精神，对本项目涉及核素的操作方式确定如下：

(1) 本项目使用 F-18 为“很简单操作”，使用 Ga-68、Zr-89 正电子核素为“简单操作”。

(2) 本项目使用液体 Tc-99m 为“很简单操作”，操作修正因子为 10。肺通气检查使用 Tc-99m 气溶胶，操作修正因子取 0.1。

(3) 参照〔2016〕430 号中 I-131 的操作方式，将 Cu-64、I-123 的相关活动也

视为“简单操作”。

(4) 本项目治疗除使用 I-131 外，还使用 Sr-89、Ra-223、Lu-177 等放射性药物。参照 I-131，将其它核素的治疗也视为“简单操作”。

(5) 其它核素的毒性组别修正因子和状态与操作方式修正因子根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关规定给出。

核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1.3-2 所示，都小于非密封放射性物质工作场所的上限（乙级上限  $4 \times 10^9 \text{Bq}$ 、丙级上限  $2 \times 10^7 \text{Bq}$ ）。

表 1.3-2 本项目核素日等效最大操作量

使用场所	核素种类	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级
核医学科门诊诊断	F-18	7.40E+09	0.01	很简单操作 (液体, 10)	7.40E+06	乙级 (日等效最大操作量为 <b>1.32E+09Bq</b> , 保守假设全部在一天内使用)
	Ga-68	3.70E+08	0.01	简单操作 (液体, 1)	3.70E+06	
	Zr-89	3.70E+08	0.01	简单操作 (液体, 1)	3.70E+06	
	Cu-64	3.70E+08	0.01	简单操作 (液体, 1)	3.70E+06	
	Tc-99m	1.85E+10	0.01	很简单操作 (液体, 10)	1.85E+07	
	Tc-99m 锝气	1.48E+09	0.01	很简单操作 (气体, 0.1)	1.48E+08	
	I-123	1.85E+09	0.01	简单操作 (液体, 1)	1.85E+07	
	I-131 (甲功测定)	1.67E+06	0.1	简单操作 (胶囊, 10)	1.67E+04	
核医学科门诊治疗	I-131 (甲亢治疗)	1.85E+09	0.1	简单操作 (胶囊, 10)	1.85E+07	
	Sr-89	2.96E+08	0.1	简单操作 (液体, 1)	2.96E+07	
	Ra-223	3.30E+07	10	简单操作 (液体, 1)	3.30E+08	
	Lu-177	7.40E+09	0.1	简单操作 (液体, 1)	7.40E+08	

### 1.3.6 核医学科建设规划

#### (1) 整体部署

核医学科建设完成并获得相关使用许可证（辐射安全许可证、放射诊疗许可证）并办理相关验收手续后，马上投入使用。核医学科利用 SPECT 和 PET 开展相关核医学诊断，同时使用 I-131、Sr-89、Ra-223 核素药物开展核医学门诊治疗

和使用 Lu-177 开展核医学留观治疗。

(2) **设备配置**: 本项目利旧 1 台 SPECT/CT, 拟新增 1 台 PET/CT。

(3) **实施计划**: 拟安装 PET/CT 已申请《大型医用设备配置许可证》, 医院在获得配置许可后再行购置。

上述设备计划拟在核医学科改造完成后开业 5 年内全部落实到位, 故本项目按照核医学科的最大运行负荷一次性进行环境影响评价, 后续的按项目建设进度按规履行竣工环保验收工作。

**(4) 辐射工作人员配备**

参照《放射诊疗管理规定》、2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》、《国家卫生健康委关于发布“十四五”大型医用设备配置规划的通知》(国卫财务发〔2023〕18 号)和《乙类大型医用设备配置标准指引》的要求, 北京老年医院制定了本项目核医学科的辐射工作人员配置计划, 详见表 1.3-3 所示。

**表 1.3-3 核医学工作人员要求及配置计划**

序号	源项	相关要求	本项目人员配置计划
1	1 台 PET/CT	单台 PET/CT 或 PET 设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名。	医师 2 名、技师 2 名、护士 1 名、物理师 1 名。
2	1 台 SPECT/CT	/	医师 2 名、技师 2 名、护士 1 名。
3	核医学科治疗	/	与 SPECT/CT 共用 1 名医师、1 名护士。
本项目全部场所投入运行后			最终配置医师 4 名、技师 4 名、护士 2 名、物理师 1 名, 共计 11 名。

医院核医学科现有 7 名辐射工作人员, 其中医师 4 名, 技师 2 名, 护士 1 名。本项目启用后, 核医学科需要另外新增 4 人(拟新增技师 2 人, 护士 1 人, 物理师 1 人), 能满足核医学科人员的要求。

改造后核医学科工作人员和分工情况如下表 1.3-4 所示。

**表 1.3-4 核医学科辐射工作人分工情况**

类别	数量	拟从事具体工作
医师	4	PET/CT 检查对象的筛选和确认, PET/CT 和 SPECT/CT 诊断报告编写, 核素治疗计划制定、和负荷室试验和住院患者查房等。
技师	4	门诊 PET/CT 和 SPECT/CT 设备操作、受检者摆位。
护士	2	放射性药物交接、药物分装, 患者药物施用, 放射性废物管理、表面污染监测等。
物理师	1	设备的质量保证和质量控制、以及辐射安全与防护管理。

核医学科的辐射工作人员拟随着设备配置以及诊疗工作的展开配置。具体计划下：

① 核医学科现有1台SPECT/CT投入使用时，配置医师2名、技师2名和护士1名。2名医师负责诊断报告和负荷室试验等，2名技师负责操作1台SPECT/CT设备，1名护士负责药物注射、药物管理和放射性废物管理、预约登记等，根据以往核医学科的工作经验，上述人员数量能够满足实际工作需要。

② 核医学科新增1台PET/CT使用时，将配置医师2名、技师2名、护士1名和物理师1名，人员数量满足北京市卫生健康委员会发布的《乙类大型医用设备配置准入标准》。2名医师负责诊断报告，2名技师负责操作设备进行PET扫描，1名物理师负责设备的质量保证和质量控制，1名护士负责药物注射，人员数量可以满足工作基本需要。

③ 同时在治疗核素投入运行时，将与SPECT/CT共用1名医生、1名护士。医生负责患者给药和Lu-177留观室查房等，护士（核医学科其它不值班的护士）负责留观病房值班，可以满足核医学科运行基本要求。

#### (5) 辐射监测仪器配备情况

目前，医院核医学科现有1台便携式辐射剂量巡测仪、1台表面污染仪。

本项目实施后核医学科拟利用现有的1台便携式辐射剂量巡测仪、1台表面污染监测仪，同时新增1套固定式剂量报警仪，能够满足核医学科常规的监测需求。具体如表1.3-5所示。

表1.3-5 核医学科拟配备的监测仪器一览表

序号	场所	监测设备	备注
1	核医学科	1台便携式辐射剂量巡测仪	利旧
		1台表面污染仪	利旧
		1套固定式剂量报警仪（1探头）	新增

#### 1.3.7 项目建设正当性

我院核医学科建科时间较早，所处建筑建造时间较早，目前科室受限于建筑面积较小，科室现有空间不足，建筑结构老旧等原因，排气设施老旧，增加了科室内交叉污染风险。故本次拟将现有地下核医学科进行改造，包含核医学科门诊显像、治疗辐射工作场所。

此外，本项目建成后，也为医院核医学技术的深入研究和提高提供了支持，

有利于核医学科在临床应用方面积累更丰富的经验，促进核医学技术的发展，从而进一步提高医疗周边地区的医疗水平，可以产生一定的社会效益和经济效益。

为了进一步发展优势学科，满足患者日益增长的就诊需求，同时也考虑核医学未来的发展趋势，本次核医学科建设为比较完善的核医学科诊疗项目，包括常规核素显像和核素治疗区域。

该项目使用的 Tc-99m、I-123 和 I-131 等标记放射性药物，开展核医学影像诊断和治疗，是核医学科成熟的、常用的医疗手段，其使用过程中获得的利益远大于辐射可能造成的损害，符合实践正当性原则的要求。

I-131 治疗甲状腺疾病在国际上已有 60 多年历史，我国开展此项治疗也有 50 余年。外科手术切除、I-131 治疗与甲状腺激素抑制治疗的联合应用是国际上公认治疗甲状腺癌的理想方案。另外，Sr-89 对于恶性肿瘤骨转移患者治疗也是成熟的技术手段；Ra-223 用于治疗去势抵抗性前列腺癌，并伴有骨转移症状和未知原因内脏转移性疾病的病人，且取得药品注册证书。因此，开展核素治疗符合辐射实践正当性的要求。

综上所述，本项目的建设所带来的利益远高于代价，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及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）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

### **1.3.8 本项目产业政策符合性**

本项目药物制备场所属于《产业结构调整指导目录（2024 年）》中“鼓励类”第六项“核能”中第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”类项目。本项目 PET/CT 和 SPECT 等属于“鼓励类”第十三项第 4 条中“高性能医学影像设备”项目。

本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》中禁止和限制项目。因此，本项目的建设符合国家及地方产业政策要求。

### **1.3.9 放射源购置和退役**

本项目拟新增使用的 PET/CT 如需要使用校准源进行校准，拟使用的校准源将委托具有放射源销售资质的专业公司代为购买，医院不直接向厂家购买放射源。

放射源运输由放射源销售公司直接委托具有放射源运输资质的公司承担。放射源运输至医院并书面交接后，医院开始承担放射源安全责任。

医院将及时办理放射源转让备案手续，并承担辐射安全和防护责任。退役的V类放射源不在医院暂存，将及时送交北京市城市放射性废物库。

### 1.3.10 目的和任务的由来

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等相关规定，本项目属于使用乙级非密封放射性物质工作场所项目，应当进行环境影响评价，编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019年生态环境部令第9号）最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受北京老年医院的委托，评价机构环评人员在现场踏勘、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价重点是核医学场所运行过程中产生的X、 $\gamma$ 射线、放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

### 1.3.11 项目选址与周围环境

核医学科位于医院住院一部地下一层西南侧（本项目核医学科场所位置非正北方向，后文中均以东北方向为北、西南方向为南进行描述），核医学科所在的住院一部楼外东侧为医辅楼，南侧、西侧、北侧均为院内绿地。

医院改造前核医学科场所周边关系图见图 1-1，改造后核医学科场所周边关系图见图 1-2、图 1-3，核医学科楼上投影周边关系图见图 1-4、图 1-5。

### 1.3.12 本项目辐射场所的布局

核医学科位于医院住院一部地下一层西南侧，核医学科六至毗邻关系为：东侧、南侧、西侧紧邻均为土层；北侧为资料/登记室、库房、电梯、骨密度检查室等场所；楼上为设备夹层；下方无建筑，为地下土层。

改造后核医学科设注射前候诊室、高活室、负荷室、抢救室、肺通气室、甲功室、源库、废物间、SPECT/CT室、PET/CT室、SPECT注射后候诊室、PET/CT注射后候诊室、控制室、设备间、医护走廊、患者走廊、留观室等。

### 1.3.13 核医学科改造的辐射范围

本次改造内容包括核医学科平面布局改造、排风及排水线路改造，同时在核医学科楼上底板增加铅板防护与混凝土复合防护隔层（隔层上面为设备管道层）。具体改造范围如下：

①场所改造：本次改造期间核医学科停诊。本项目改造区域涉及负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室、注射前候诊室等场所。本次改造后新增 1 台 PET-CT，将负荷室、卫生间等场所改造成 PET-CT 室，将现有的骨密度室、患者走廊灯改造成高活室、源库等；同时将现有高活室、肺通气室、废物间、缓冲走廊改造成 PET 注射后候诊室、留观室等。

②废气管道改造：本次核医学科需要进行全局整体改造，本次改造后拟拆除现有老旧排风管道，重新铺设废气排放管道，将放射性废气引至住院一部高于楼顶排放，拟设置 6 套排风系统排放，废气管道设置止回阀。

③废水管道改造：目前核医学科进入衰变池的集水坑为核医学科东侧污泵间地下的集水坑。本次建成后将核医学科南侧地下集水坑设为放射性废水集水坑，改造后留观室（Lu-177）及污洗间废水排至污洗间地下的集水坑，高活室、注射候诊室等废水排入核医学科抢救室东侧污泵间地下的集水坑，两股废水分别经废水管道排放，合并排入现有放射性废水衰变池，现有衰变池不进行改造。

④本次在核医学科楼上底板增加铅板防护与混凝土复合防护隔层（隔层上面为设备管道层）。

### 1.3.14 本次改造计划

医院计划于 2026 年 10 月开始核医学科进行改造（在取得改造项目批复后开始实施），预计 2027 年 01 月底前完成，制定本项目如下实施方案。

（1）控制区（负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室等）相关场所改造：计划 2026 年 10 月开始将对现有负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室等区域的装饰面层、防护层（拆除墙体、防护门部分）、电气管线、照明灯具、洁具部分建筑墙体等拆除，排风管道相应位置安装止回阀等防护设施等。计划 2027 年 01 月底前完成本区域改造工程，包括完成拆除、加固建设，以及防护施工、安装排风管道等，并在改造前委托有资质单位对现有核医学科相关场所（负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室等）、设备及配套设施（并入现有排水管和排风管区域）进行表面污染水平和剂量率检测，满足要求后才可实施改造，监测报告存档备查。且在改造过程中，核医学科工作人员使用经检定或校准合格的检测仪器对施工的位置及配套设施表面污染和辐射剂量率水平进行自行监测，辐射剂量率满足所处环境本底水平且  $\beta$  表面污染水平小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，才可对相关位置及配套设施拆除，如果多次检测结果都异常时

(辐射剂量大于 200nSv/h 或者表面污染水平不低于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>)，立即停止拆除并做好记录，然后委托有资质单位检测，收集有异常的设施储存于废物库内，暂存一段时间符合清洁解控水平后办理解控，确保是本底水平后才可继续拆除，并详细记录自行检测数值并做好纪录。

(2) 监督区相关场所改造：计划 2026 年 10 月开始将对现有注射前等候区、更衣室、治疗室、处置室、医护走廊，等区域的装饰面层、防护层（拆除墙体部分）、电气管线、照明灯具、洁具部分建筑墙体等拆除，安装相应位置防护设施，安装排风管道、排水管道，在核医学科控制区内楼上增加铅板防护与混凝土复合防护隔层（隔层上面为设备管道层）等。计划 2027 年 01 月底前完成本区域改造工程，包括完成拆除、加固建设，以及防护施工、安装排风管道等。

(3) 管道改造：①核医学科原衰变池利旧，控制区内原有废水排放管道地面以上部分进行拆除，地面以下管道不拆除，重新布设，室外通往衰变池的排水管道利旧，在核医学科南侧增设放射性废水集水坑，增加地下废水排放管道并入衰变池；②控制区内现有的放射性排风管道都拆除，重新布设，室外由核医学科东侧通风井通往楼顶。建成后拟设 6 套排风系统，排风管道延伸至核医学科所在的住院一部楼顶，高度约 20.8m，排风口高于楼顶。

管道处理方法严格按照控制区相关场所改造要求，停诊一个月后委托有 CMA 资质单位对现有排水及排风管道进行表面污染水平和剂量率检测，满足要求后才可实施改造，监测报告存档备查。且在改造过程中，核医学科工作人员使用经检定或校准合格的检测仪器对施工的位置及配套设施表面污染和辐射剂量率水平进行自行监测，辐射剂量率满足所处环境本底水平且  $\beta$  表面污染水平小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>，才可对相关位置及配套设施拆除，如果多次检测结果都异常时（辐射剂量大于 200nSv/h 或者表面污染水平不低于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>），立即停止拆除并做好记录，然后委托有资质单位检测，收集有异常的设施储存于废物库内，暂存一段时间符合清洁解控水平后办理解控，确保是本底水平后才可继续拆除，并详细记录自行检测数值并做好纪录。

(3) 本次在核医学科楼上增加铅板防护与混凝土复合防护隔层（隔层上面为设备管道层），拟将废气排风风机、活性炭过滤装置设置在核医学科顶部设备夹层。

(4) 根据本项目环评报告项目的实施方案和批复的要求，实施场所的改造

工作，建设符合防护要求的场所、机房和配套的辐射安全防护设施及“放射性三废”处置设施。

(5) 由于控制区改造时，核医学科至少停诊一个月以上，核医学科对 A 类放射性固体废物按要求办理解控，并做好记录；核医学科控制区改造前需要委托有资质单位对于剩余的 B 类放射性固体废物进行检测，并办理解控手续。

(6) 场所改造完成后，进行显像设备的安装，各项配套设施和措施均建设安全到位（其中手套箱和铅废物桶监测满足要求后继续使用）

(7) 项目改造完成后，按按要求办理许可和环保验收相关手续。



图 1-1 本项目核医学科地下 1 层周边关系及平面布局图（改造前）

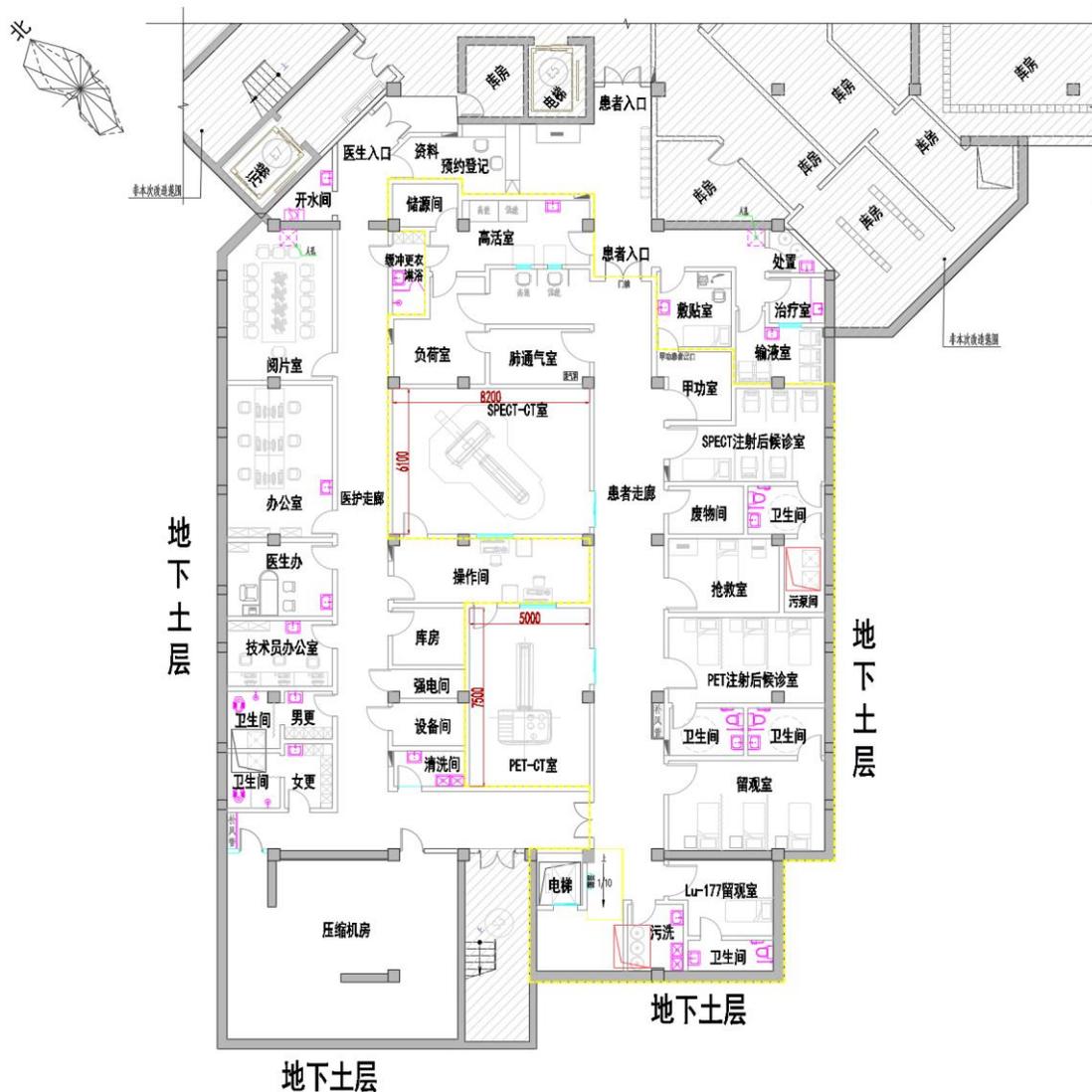


图 1-2 本项目核医学科地下 1 层周边关系及平面布局图（改造后）

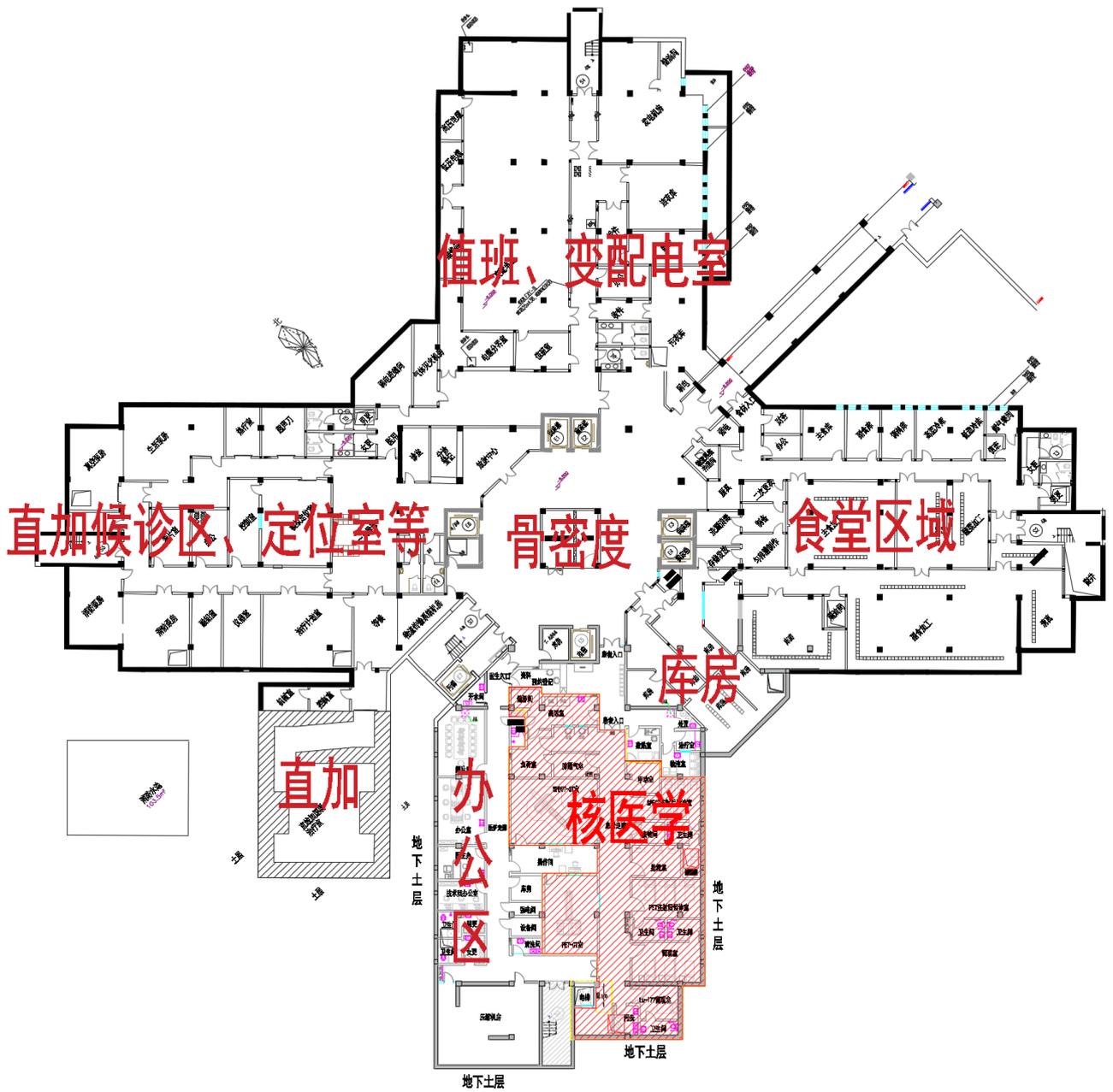


图 1-3 住院一部 B1 层核医学科平面布局及周边关系图（改造后）



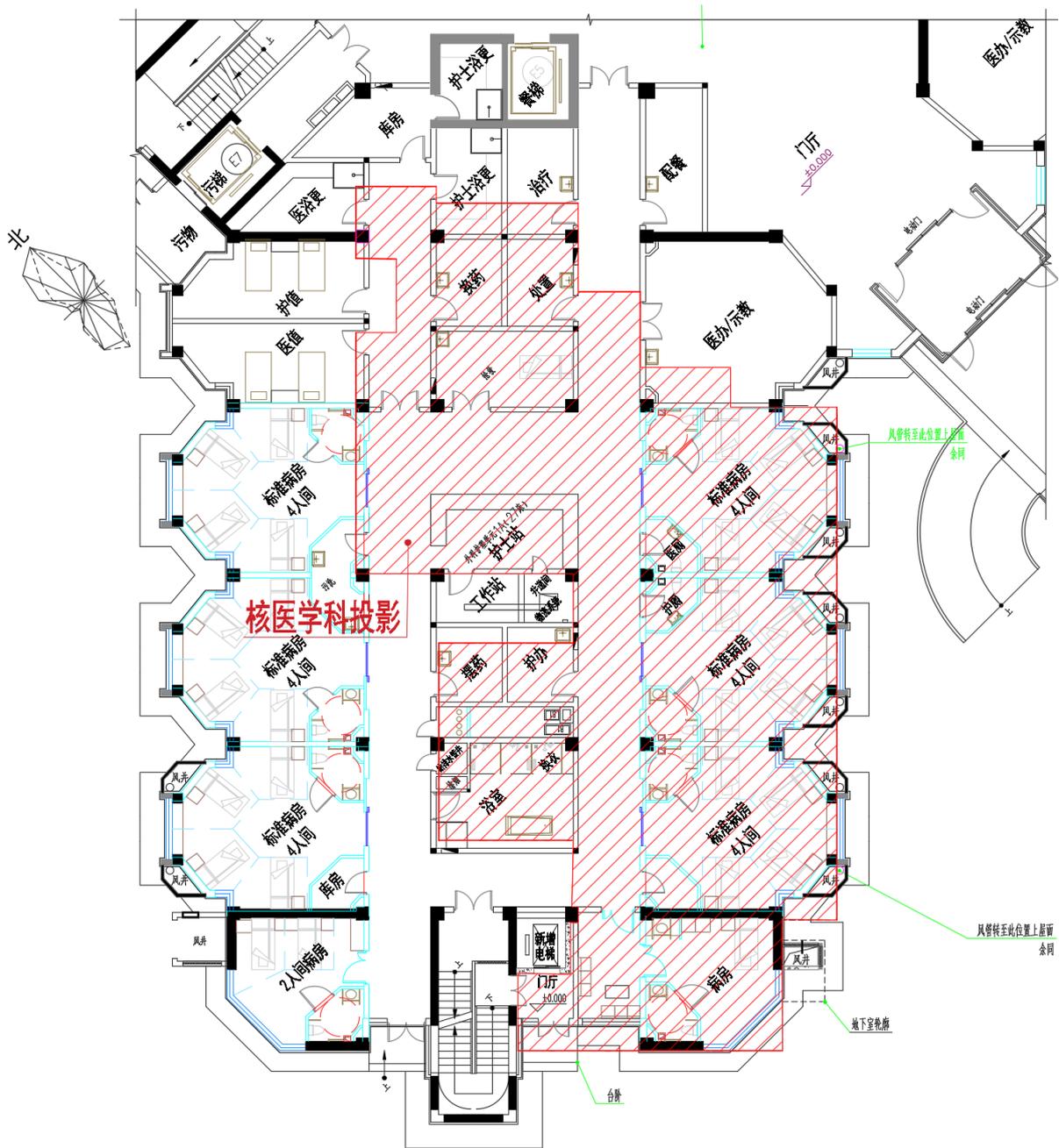


图 1-5 医院住院一部 1 层周边关系图（核医学科楼上投影）

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	Ge-68	1.11E+8 Bq×1	V	使用	质控校准	PET/CT室	核医学科储源间	
	以下无内容							

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

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	F-18	液体	使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	PET诊断	很简单操作	核医学科	核医学科高活室内
2	Ga-68	液体	使用	3.70E+08	3.70E+06	1.85E+10	PET诊断	简单操作		
3	Zr-89	液体	使用	3.70E+08	3.70E+06	1.85E+10	PET诊断	简单操作		
4	Cu-64	液体	使用	3.70E+08	3.70E+06	1.85E+10	PET诊断	简单操作		
5	Tc-99m	液体	使用	1.85E+10	1.85E+07	4.63E+12	SPECT诊断	很简单操作		
6	Tc-99m 锝气	气体	使用	1.48E+09	1.48E+08	7.40E+10	SPECT诊断	很简单操作		
7	I-123	液体	使用	1.85E+09	1.85E+07	9.25E+10	SPECT诊断	简单操作		
8	I-131 (甲功测定)	胶囊	使用	1.67E+06	1.67E+04	1.67E+08	甲功检查	简单操作		
9	I-131 (甲亢治疗)	胶囊	使用	1.85E+09	1.85E+07	1.85E+11	门诊甲亢治疗	简单操作		
10	Sr-89	液体	使用	2.96E+08	2.96E+07	1.48E+10	门诊治疗	简单操作		
11	Ra-223	液体	使用	3.30E+07	3.30E+08	1.65E+09	门诊治疗	简单操作		
12	Lu-177	液体	使用	1.48E+10	1.48E+09	7.40E+11	留观治疗	简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和生态环境行业标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

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 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
	以下无内容									

(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	SPECT/CT	III类	1	待定	Infinia	140kV/2.5mA	医疗诊断	SPECT/CT 室	利旧
2	PET/CT	III类	1	待定	待定	待定	医疗诊断	PET/CT 室	新增
	以下无内容								

(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 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	以下无内 容												

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
退役源	固体	Ge-68	/	/	/	/	不长期暂存	送交北京市城市放射性废物库
核医学科放射性废水	液态	F-18、Ga-68、Tc-99m、I-123、I-131、Sr-89等	/	/	80.65m <sup>3</sup>	总β<10 Bq/L	32.58m <sup>3</sup> 衰变池暂存	依照HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，设槽式衰变池（罐），每池放射性废水暂存至少68d后，排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
核医学科显像放射性固废	固态	F-18、Tc-99m等	/	/	约223kg	<10 <sup>4</sup> Bq/kg	放射性固体废物在废物间内储存。	分类收集，A类暂存30d，B类暂存10倍核素半衰期且不少于30天（其中含Lu-177的放射性废水至少暂存68天、I-131核素治疗产生废物至少暂存180天，Sr-89至少暂存505天）后，经自行检测，符合《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后，对废物办理解控并作为医疗废物处理，并做好台账记录。
核医学科门诊治疗、留观放射性固废		I-131、Sr-89、Lu-177等	/	/	约295kg			
放射性废气	气态	I-131等			<3.7×10 <sup>8</sup> Bq	/	净化过滤后稀释排放	经手套箱自带的高效过滤器和管道活性炭过滤器过滤后，在建筑顶部排放。
气体过滤装置废滤材	固态	I-131等			12kg（每年更换一次）	<10 <sup>4</sup> Bq/kg	放射性废物库内储存。	暂存至少180d，符合HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后解控为普通废物。

表6 评价依据

<p>法规文件</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号，2015年1月1日起实施。</li> <li>2 《中华人民共和国环境影响评价法》，全国人民代表大会常务委员会，2002年10月28日通过，自2003年1月1日起实施；2016年7月2日第一次修正；2018年12月29日第二次修正。</li> <li>3 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起实施。</li> <li>4 《建设项目环境保护管理条例》，1998年11月29日国务院令第253号发布施行；2017年7月16日国务院令第682号修订，2017年10月1日起实施。</li> <li>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日第二次修订版公布并实施。</li> <li>6 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，中华人民共和国生态环境部部令第16号，2020年11月30日公布，2021年1月1日起实施。</li> <li>7 北京市生态环境局关于发布《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉北京市实施细化规定（2022年本）》的通告，通告〔2022〕4号，2022年4月1日起实施。</li> <li>8 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，中华人民共和国生态环境部部令第9号，2019年9月20日公布，2019年11月1日起施行。</li> <li>9 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，中华人民共和国生态环境部部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施。</li> <li>10 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原中华人民共和国环境保护部部令第18号，2011年4月18日公布，2011年5月1日起实施。</li> <li>11 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原中华人民共和国环境保护部、原国家卫生和计划生育委员会公告第66号，2017年12月5</li> </ol>
-------------	--

	<p>日。</p> <p>12 《关于发布放射源分类办法》的公告，原中华人民共和国国家环保总局公告，2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日。</p> <p>13 《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日。</p> <p>14 《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，原北京市环境保护局办公室，京环办[2018]24 号，2018 年 1 月 25 日。</p> <p>15 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告（十五届）第 61 号，2021 年 9 月 24 日修订版公布并实施。</p> <p>16 《产业结构调整指导目录（2024 年）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行。</p> <p>17 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》，北京市人民政府办公厅，京政发办〔2022〕5 号，2022 年 2 月 14 日起施行。</p> <p>18 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函〔2016〕430 号。</p> <p>19 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号。</p> <p>20 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，中华人民共和国生态环境部，2020 年 2 月。</p> <p>21 《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，北京市生态环境局办公室，京环办[2018]13 号，2018 年 12 月 6 日。</p> <p>22 《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》中华人民共和国生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日。</p> <p>23 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》中华人民共和国生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 11 日。</p> <p>24 《国家卫生健康委关于发布“十四五”大型医用设备配置规划的通知》国卫财务发〔2023〕18 号，2023 年 6 月 21 日。</p> <p>25 《关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》，北京市卫生健康委员会，2019 年 8 月。</p>
--	---

	26 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，中华人民共和国生态环境部辐射源安全监管司，辐射函（2023）20号。
技术标准	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）。</li> <li>2 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023），2024年02月01日实施。</li> <li>3 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）。</li> <li>4 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。</li> <li>5 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）。</li> <li>6 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。</li> <li>7 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。</li> <li>8 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）。</li> <li>9 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。</li> <li>10 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）。</li> <li>11 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）。</li> <li>12 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。</li> <li>13 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。</li> <li>14 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）。</li> <li>15 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。</li> <li>16 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）。</li> <li>17 《表面污染测定第一部分<math>\beta</math>发射体（<math>E_{\beta\max}&gt;0.15\text{MeV}</math>）和<math>\alpha</math>发射体》（GB/T14056.1-2008）。</li> <li>18 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）。</li> <li>19 《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测规范》（WS523-2019）。</li> <li>20 《正电子发射断层成像（PET）设备质量控制检测标准》（WS817-2023）。</li> <li>21 《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》（试行版）。</li> </ol>

	22 《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）。
其他	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys.33 (1), January 2006。</li> <li>2 Radionuclide and Radiation Protection Data handbook 2002, Vol.98 No 1, 2002。</li> <li>3 Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd</li> <li>4 《中国环境天然放射性水平》，原国家环境保护局监督管理司，1995年8月。</li> <li>5 国际放射防护委员会第94号出版物：非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑，北京大学医学出版社，2007年7月。</li> <li>6 《辐射安全手册》，科学出版社，2011年。</li> <li>7 《I-131治疗场所放射性废气排放源项调查与评价》，同位素杂志2018年12月第32卷第6期。</li> <li>8 北京老年医院提供的与本项目相关的申请和技术资料。</li> </ol>

表 7 保护目标与评价标准

## 7.1 评价范围

### 7.1.1 评价内容

本项目改造核医学科相关场所，为乙级非密封放射性物质工作场所，同时利用旧使用 1 台 SPECT/CT，增加使用 1 台 PET/CT，1 间 Lu-177 留观室等。

### 7.1.2 评价范围

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）的规定，确定本项目辐射环境影响评价范围为：核医学科控制区场所边界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7.1-1 所示，本项目相关场所控制区周围 50m 范围内，无学校、居民楼等敏感目标，周围 50m 区域除了西南侧部分为院外空地外，其它方向都是医院内部。



图 7.1-1 本项目评价范围示意图

### 7.1.3 关注问题

(1) 核医学科辐射屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。

(2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足法规及相关标准的要求。

### 7.1.4 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 X 射线、 $\gamma$  射线、 $\beta$  射线、 $\alpha$  射线、表面污染、放射性“三废”等。

### 7.2 保护目标

本项目核医学科场所位于院内住院一部西南侧地下一层，核医学科东侧、南侧均为土层；西侧紧邻为医护走廊、医生阅片室、办公室、医生办等场所；北侧紧邻为核医学科注射前候诊室、预约登记室、患者入口、敷贴室等场所；楼上紧邻为设备夹层，再投影至地面一层为病房、护士站等场所；楼下无建筑，为地下土层。

核医学科各场所都充分考虑周围场所的安全，核医学科不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，满足 HJ1188-2021 的选址要求。场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7.2-1 所示。

表 7.2-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离 (m)	数量 (人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
核医学科	/	0~50	0	东侧 (地下 1 层)	地下土层
	公众	0~6	流动人员	东侧 (地面)	院内地面空地、住院一部出入口
	/	0~50	/	南侧 (地下 1 层)	地下土层
	公众	0~50	流动人员	南侧 (地面)	院内地面空地、道路等
	工作人员	0~7	/	西侧 (地下 1 层)	核医学科办公区阅片室、办公室、医生办等
	/	7~50	/		地下土层
	公众	0~50	流动人员	西侧 (地面)	院内地面空地、道路等
	患者/工作人员	0~3	20	北侧 (地下 1 层)	核医学科注射前等候区、预约登记室、资料室、敷贴室、治疗室等
	公众	3~50	>50		地下 1 层电梯、办公室、CT 及 DR 机房等
	公众	0~50	>50	北侧 (地面)	走廊、电梯等场所
	公众	0~2	0	楼上 (设备夹层)	设备夹层
	公众	2~50	>50	楼上 (地面 1~4 层)	病房、办公室等

备注：诊疗后的患者从地下一层南侧患者专用电梯到达一层地面离开，核医学科控制区出口设有单向门禁，可以防止无关人员进入核医学科。

本项目的评价范围内的保护目标主要是医护人员、就诊患者和其它公众。本

项目相关场所周围 50m 范围内，无商超等人员密集区域，也无居民楼、学校、图书馆等敏感目标。核医学辐射工作场所没有毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

本项目改造后核医学科平面布局见图 7.2-1，本项目核医学科给药患者长时间停留或者药物贮存的房间（如 PET/CT 或 SPECT/CT 机房、注射后候诊室、Lu-177 留观室和高活室等）的上方相邻关系见图 7.2-2 和图 7.2-3 所示。相邻关系为：

(1) PET/CT 用药物  $\gamma$  射线能量高，对周围环境影响较大，故特别关注患者候诊和检查场所楼上和楼下房间的用途，上方为设备夹层，无常居留人员，楼下为地下土层。PET/CT 机房以及 PET 给药后候诊区楼上为设备夹层，无常居留人员；楼下为地下土层。

(2) Lu-177 留观室常有患者住院留观，同样需要关注楼上和楼下房间的使用功能。Lu-177 留观室上方为设备夹层，无常居留人员，楼下为地下土层。Lu-177 留观室不接邻产科、儿科、食堂、诊室、收费室、普通病房、办公室等部门以及人员密集和长期驻留的场所，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）规定的剂量限值列于表 7.3-1。

表 7.3-1 工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB18871-2002）

职业工作人员	公众
连续五年平均有效剂量 20mSv，且任何一年有效剂量 50mSv	年有效剂量 1mSv；但连续五年平均值不超过 1mSv 时，某一单一年可为 5mSv
眼晶体的当量剂量 150mSv/a 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a

### 7.3.2 剂量约束值

GB18871-2002 规定了剂量约束值：对于职业照射，剂量约束是一种与源相关的个人剂量值，用于限制最优化过程所考虑的选择范围。对于公众照射，剂量约束是公众成员从一个受控源的计划运行中接受的年剂量的上界。

职业照射，本项目核医学辐射工作人员仍取 5mSv/a 作为剂量约束值；对公众，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

### 7.3.3 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

本项目周围公众除满足上述剂量约束要求外，周围剂量率还要满足以下要求，参照《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《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），并结合本项目实际情况，核医学场所及设施的剂量率控制水平拟从严控制：

（1）在控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

（2）在控制区内人员可达处，屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 10 $\mu$ Sv/h，宜不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

（3）PET/CT、SPECT/CT 在进行给药患者 CT 扫描时，机房外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

（4）手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

（5）固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

（6）固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5  $\mu$  Sv/h。

（7）放射性废液衰变池顶部的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h。

（8）留观患者使用过的被服应先进行存放衰变，暂存衰变时间不少于一个半衰期，经检测被服表面  $\gamma$  剂量率小于 1 $\mu$ Sv/h 且  $\beta$  表面污染水平小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup> 时，方可进行清洗并再次使用。

### 7.3.4 接受Lu-177治疗的患者出院体内放射性活度限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定：接受了 I-131 治疗的患者，其体内的放射性活度降至低于 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当率不大于 25 $\mu$ Sv/h 方可出院。其他门诊治疗核素都满足出院要求。

在《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 7.3.2 条规定“对接受放射性药物治疗的患者，应对其家庭成员提供辐射防护的书面指导。对接受放射性药

物治疗的住院患者，仅当其家庭成员中的成人所受剂量不能超过 5mSv、其家庭成员中的儿童以及其他公众所受剂量不能超过 1mSv，才能允许患者出院”。

相关标准未对 Lu-177 留观治疗患者给出出院限值要求，但 Lu-177 患者治疗后临床上要求短期留观，为了便于患者剂量水平的管理，由于用于 I-131 治疗与 Lu-177 具有相近的物理半衰期和用药剂量，但对防护最重要的  $\gamma$  射线强度、能量及生物半衰期 I-131 都大于 Lu-177，故 Lu-177 离开院区的标准也按照 25 $\mu$ Sv/h 来控制是保守的，距 Lu-177 患者 1m 处的周围剂量当率不大于 25 $\mu$ Sv/h 方可出院，按照实测结果和参考文献，Lu-177 患者给药约 6h 就可达到 25 $\mu$ Sv/h 要求。

### 7.3.5 放射性废水排放控制要求

#### (1) 水污染物排放标准

根据《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）规定，排入公共污水处理系统的水污染物排放要求：总  $\alpha$  排放限值为 1Bq/L，总  $\beta$  排放限值为 10Bq/L。

#### (2) 放射性废水排放管理要求

本项目放射性废水的排放管理依据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）中对于 A 类（半衰期小于 24h）和 B 类（半衰期大于 24h）放射性废水的要求执行。

根据 HJ1188-2021 和京环办[2018]13 号文要求，对于槽式衰变池（罐）暂存方式，A 类（半衰期小于 24h）放射性废水注满后，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；B 类（半衰期大于 24h）放射性废水注满后，暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天）后，应委托有资质（CMA 或 CNAS）的检测机构对拟排放废水中 I-131 核素的放射性活度浓度进行检测，活度浓度与单次排放总活度值均应满足 GB18871-2002 附录 A 表 A1 的规定。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

衰变池（罐）显著位置应设置电离辐射警示标志，池（罐）底、壁应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性和具有防泄漏措施。不同存储池（罐）应进行编号标记，且具有液位显示、超限溢流、入口切换等装置。

医院规定含放射性废水必须经衰变池暂存，废水的总  $\alpha$ 、总  $\beta$  监测结果还需

满足分别小于 1Bq/L、10Bq/L，I-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L，监测结果经审管部门认可并办理相关手续后方可排入下水管道。

### 7.3.6 放射性废气排放管理

(1) 《核医学科辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 通风要求:

① 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

② 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱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。

③ 通风橱应有足够的通风能力。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。

(2) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 关于通风的要求

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。

### 7.3.7 放射性固体废物管理

由于核医学科本项目的放射性核素包含有 A 类(半衰期小于 24h)和 B 类(半衰期大于 24h)核素，因此可以将放射性废物分类收集暂存，待衰变至符合清洁解控水平时，再按医疗废物要求进行处理。

参照 (HJ1188-2021) 和京环办[2018]13 号，核医学科放射性固体废物须设置独立的暂存室。药物操作场所、废物暂存室应分别设置有屏蔽能力并有电离辐射警示标志的废物桶、废物箱，并按照 A 类、B 类废物进行标识。药物操作场所废物桶内应使用不易破损的塑料袋对固体废物进行收集，密封袋口后转移至暂存室废物箱中，并在塑料袋外表面注明废物类别 (A 类、B 类)、重量 (或体积)、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

A类固体废物暂存时间超过30天、B类固体废物暂存时间超过10倍最长半衰期且不少于30天（其中含Lu-177的放射性废水至少暂存68天、I-131核素治疗产生废物至少暂存180天，Sr-89至少暂存505天）后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染水平分别小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

对于那些没法解控的放射性固体废物，如回旋加速器废旧靶膜、真空膜、碳膜、离子源等高活性固废统一收集到铅放射性废物桶，委托有放射性固废处理资质的单位处理。

## 7.4 放射性工作场所分级

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），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见表7.4-1。

表 7.4-1 非密封源工作场所的分级

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

## 7.5 工作场所放射性表面污染控制水平

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染控制水平见表7.5-1。

表 7.5-1 工作场所的放射性表面污染控制水平（ $\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）

类别		$\alpha$ 放射性物质		$\beta$ 放射性物质
		极毒组	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	1	$4\times 10$	$4\times 10$
	监督区	$1\times 10^{-1}$	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	$4\times 10^{-1}$	$1\times 10^{-1}$	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		$1\times 10^{-2}$	$4\times 10^{-2}$	$4\times 10^{-1}$

上表中值包括固定污染和松散污染的总数。对于皮肤、内衣、工作袜的污染应及时清理，尽可能达到本底水平。对设备、墙、地面的污染，应适当去污后，残存的污染可适当放宽，但需有审管部门的同意，并不超过表中值的 5 倍。表面污染可按一定的面积计算平均值：工作服、皮肤取 100cm<sup>2</sup>，地板取 1000cm<sup>2</sup>。

GB18871-2002 附录 B2.2 条款规定：工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到上述表 7-4 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或监管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

## 7.6 操作放射性同位素通风橱（手套箱）及排风口设置要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.3 条要求：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。

《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）通风要求：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。通风橱应有足够的通风能力。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。

本项目核医学科辐射工作场所设置的排风系统的排风口拟设 1 处，排风管道由核医学科东侧通风井引至楼顶，排风口位于住院一部南侧楼顶东侧，排放口高度约 20.8m，高于楼顶。

本项目核医学科 PET 高活室和 SPECT 高活室拟配备手套箱各 1 个，手套箱操作口风速均 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。高活室手套箱设置独立的排风系统，配备高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ）和活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ），过滤器每年更换一次。

### 核医学科设 6 套独立排风系统：

- ① 高活室 2 个通风柜分别设 2 套独立排风系统；
- ② PET/CT 室、SPECT/CT 室设 1 套独立排风系统；
- ③ 高活室、储源间、负荷室、甲功室、废物间、肺通气室（含集气罩）设 1 套独立排风系统；

- ④ PET 和 SPECT 注射后候诊室、抢救室、留观室及患者走廊设 1 套独立排风系统；
- ⑤ PET 和 SPECT 注射后候诊室的卫生间、留观室卫生间及污洗间、污泵间设 1 套独立排风系统。

以上各排风系统的风机和活性炭过滤装置位于设备夹层，经净化处理后的废气由排风管道引至住院一部楼顶排风口排放。活性炭过滤器具体要求：过滤效率大于 90%，每个常用活性炭重量不小于 2kg，更换周期为一年。

## 7.7 核医学相关工作场所的放射性物质污染的防护要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.2 款给出了核医学科工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求，具体见表 7.7-1。

表 7.7-1 核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
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 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

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。

经核算，核医学科按照最大使用量核算 F-18 药物时，放射性的加权活度大于 50MBq、小于 50000MBq，属于 II 类场所，需按照表 7.7-1 要求，采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设分装柜和通风设施，设洗手盆和去污设备。

## 7.8 射线装置机房屏蔽防护基本要求

### 7.8.1 CT 机房屏蔽防护要求

本项目 PET/CT、SPECT/CT 设备机房屏蔽还执行《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）给出的 CT 机房的屏蔽防护要求。

表 7.8-1 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 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5	

### 7.8.2 CT 机房的面积要求

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6.1 条款指出：机房应满足使用设备的空间要求；对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7.8-2 的要求。

表 7.8-2 X 射线设备机房使用面积及单边长度

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



图 7.2-1 本项目核医学科平面布局图（改造后）





表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 辐射环境现状监测

本项目拟将医院核医学科现有场所进行改造，本次现状情况引用现有辐射工作场所常规检测数据进行评价。医院委托深圳市瑞达检测技术有限公司于 2025 年 03 月 17 日对核医学科现有场所进行了现状监测。监测内容如下：

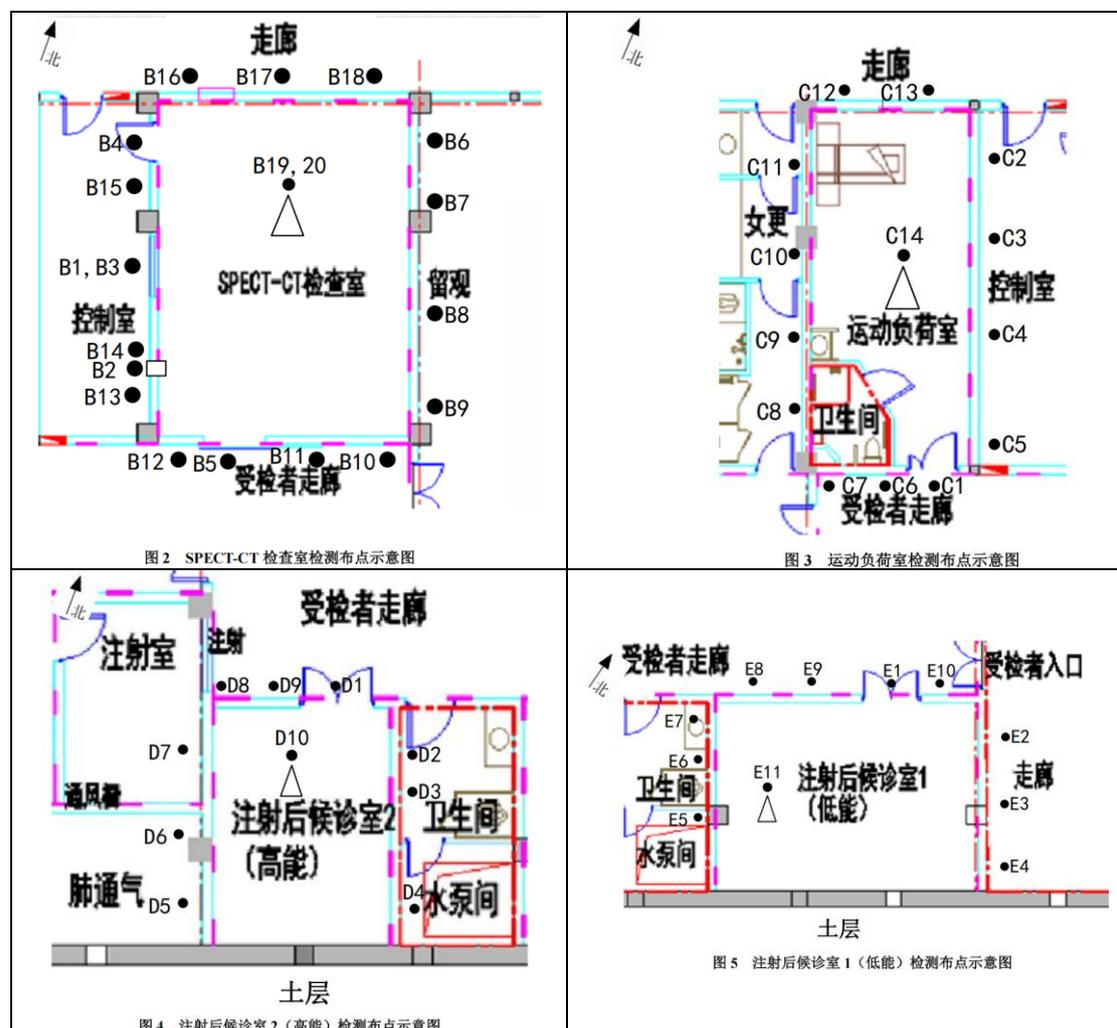
#### 8.1.1 监测项目

周围当量剂量率；表面污染。

#### 8.1.2 监测对象及点位布设

监测对象：本次评价选取本项目拟改造相关场所及周边点位。

监测点位：监测点位布设见图 8.1-1。



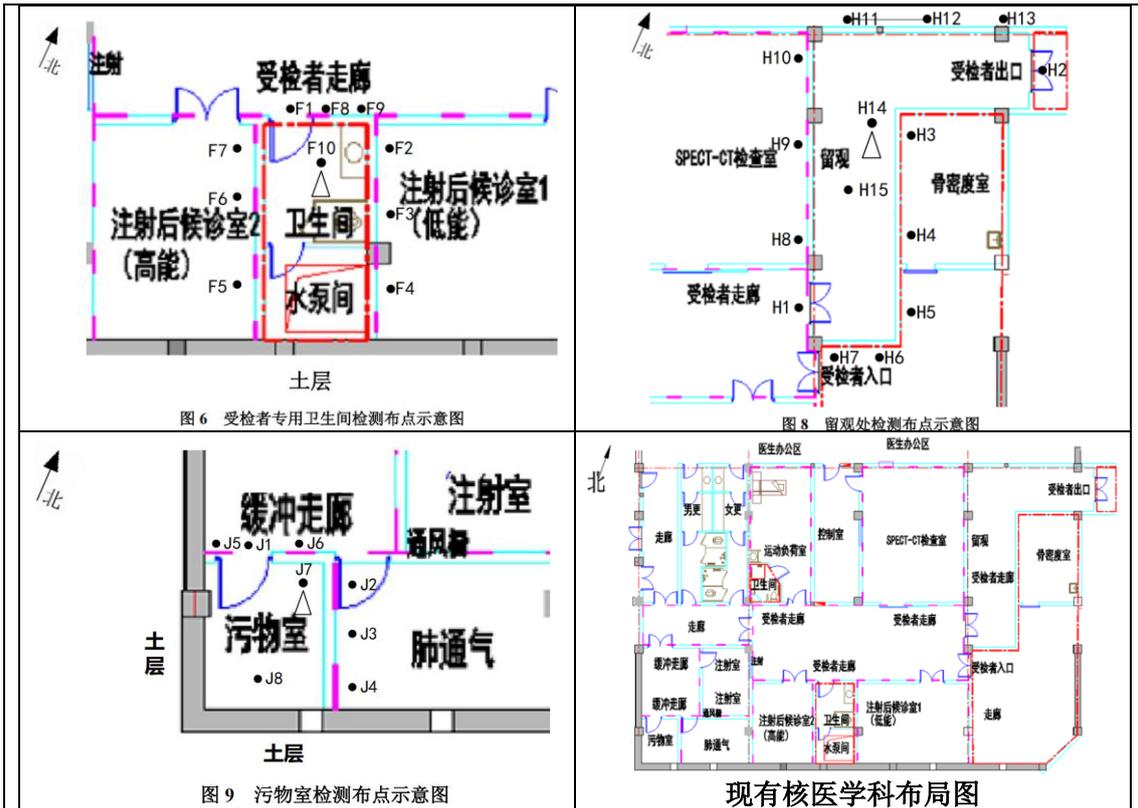


表 8.1-1 现有核医学科辐射工作场所  $\gamma$  辐射剂量率布点示意图

### 8.1.3 监测仪器及方法

#### (1) 监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8.1-1。

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书 编号	检定/校准证书 有效日期	主要技术性能指标
辐射检测仪	AT1121/ 20170421	DLjl2024-12128 DLjl2024-13050	2025.08.07 2025.08.26	测量范围: 0.01 $\mu$ Gy/h~100 $\mu$ Gy/h; 能量范围: 30keV~8MeV; 相对响应之差: $\leq\pm 15\%$ 。
表面污染仪	CoMo170/ 20170407	DLhd2025-0025 6	2025.02.05	测量范围: $\alpha$ : 0.1cps; $\beta/\gamma$ : 15cps~25cps; 探测器尺寸: 170cm <sup>2</sup> ; 探测效率: 37%( $\beta$ )、18%(F-18)、 3% (Tc-99m)、42% (Y-90)

#### (2) 监测方法

周围剂量当量率首先在各点位附近进行巡测，重点对 X- $\gamma$  辐射剂量率较高的位置进行测量，一般为距地面 1m 处，包括防护门四周门缝外 30cm 处、观察窗外 30cm 处、墙体外表面 30cm 处，表面污染检测时表面污染仪灵敏窗与被测表面的距离为 10mm，采取直接测量法，用仪器直接测量出点位上的辐射水平即时值。

### 8.1.4 监测依据

- (1) 《核医学辐射防护与安全要求》（GBZ 1188—2021）；
- (2) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）
- (3) 《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体( $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ )和 α 发射体》（GB/T 14056.1—2008）

### 8.1.5 监测结果

γ 剂量率的监测数据见表 8.1-2、8.1-3。

表 8.1-2 拟建核医学科环境 γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位置	具体检测点位	检测结果(μGy/h)	备注
1	SPECT-CT 检查室 (建成后仍为 SPECT-CT 检查室)	东墙外 30cm 处	0.29	患者注射 约 430MBq <sup>18</sup> F-FDG 候诊约 1 小时后接 收检查
		南墙外 30cm 处	0.19	
		西墙外 30cm 处	0.39	
		北墙外 30cm 处	0.11	
		防护门外 30cm 处	0.32	
		楼上	0.10	
2	负荷室 (拟建 PET/CT 室)	东墙外 30cm 处	0.11	室内放置 1 只约 754MBq Tc-99m 裸 源
		南墙外 30cm 处	0.10	
		西墙外 30cm 处	0.10	
		北墙外 30cm 处	0.11	
		防护门外 30cm 处	0.10	
		楼上	0.10	
3	高能注射后候诊室 (拟建 PET 注射后 候诊室)	东墙外 30cm 处	1.15	内有一名 注射约 430MBq <sup>18</sup> F-FDG 的 患者候诊
		西墙外 30cm 处	2.09	
		北墙外 30cm 处	1.63	
		防护门外 30cm 处	2.11	
		楼上	0.10	
4	低能注射后候诊室 (拟建 SPECT 注射 后候诊室、甲功室、 废物间)	东墙外 30cm 处	0.10	内有一名 注射约 828MBq <sup>99m</sup> Tc-MIB I 的患者候 诊
		西墙外 30cm 处	0.11	
		北墙外 30cm 处	0.10	
		防护门外 30cm 处	0.11	
		楼上	0.10	
5	受检者卫生间 (拟建抢救室)	东墙外 30cm 处	0.11	卫生间内 放置一支 约 754MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源
		西墙外 30cm 处	0.10	
		北墙外 30cm 处	0.11	
		防护门外 30cm 处	0.32	
		楼上	0.10	

6	留观处 (拟建高活室、肺通气室、负荷室)	东墙外 30cm 处 (现有骨密度室)	0.11	留观处放置一支约 754MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源
		南墙外 30cm 处	0.10	
		西墙外 30cm 处	0.10	
		北墙外 30cm 处	0.11	
		楼上	0.11	
7	受检者出口门 (拟建储源室)	防护门外 30cm 处	0.10	
8	受检者入口门 (拟建注射前候诊室)	防护门外 30cm 处	0.11	
9	污物室 (拟建留观室 2)	东墙外 30cm 处 (现有骨密度室)	0.11	正常工况, 铅箱内有 放射性废 物
		北墙外 30cm 处	0.10	
		防护门外 30cm 处	0.11	
		楼上	0.10	
		铅废物桶表面 5cm 处	0.11	

注：1.检测结果未扣除本底值；

2.周围剂量当量率本底范围：0.09~0.12 μSv/h、平均值 0.11 μSv/h；

3.核医学场所分级为乙级。

**表 8.1-3 拟改造的现有场所及周围表面污染检测结果**

序号	检测场所	具体检测点位	检测结果 (μSy/h)	备注
1	SPECT-CT 检查室 (建成后仍为 SPECT-CT 检查 室)	地面	<MDL	控制区
		墙面	<MDL	
		控制室门	<MDL	
		机房门	<MDL	
		SPECT-CT	<MDL	
		准直器放置车	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		注射车	<MDL	
		除颤监护仪	<MDL	
		观察窗	<MDL	
2	注射后候诊室 1 (低能) (拟建 SPECT 注 射后候诊室、甲 功室、废物间)	门	<MDL	控制区
		地面	<MDL	
		墙面	<MDL	
		椅子	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		电视	<MDL	
		微波炉	<MDL	
		桌子	<MDL	
3	注射后候诊室 2	门	<MDL	控制区

	(高能) (拟建 PET 注射 后候诊室)	地面	<MDL	
		墙面	<MDL	
		椅子	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		床	<MDL	
		电视	<MDL	
		铅屏风	<MDL	
4	受检者专用卫生 间(拟建抢救室)	门	<MDL	控制区
		墙面(瓷砖)	<MDL	
		地面(瓷砖)	<MDL	
		洗手池(陶瓷)	<MDL	
		便池(陶瓷)	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		镜子	<MDL	
		清洁工具	<MDL	
5	污物室 (拟建留观室 2)	门	<MDL	控制区
		墙面	<MDL	
		地面	<MDL	
		A 类废物桶	<MDL	
		B 类废物桶	<MDL	
		电源柜	<MDL	
6	负荷室 (拟建 PET/CT 室)	门	<MDL	控制区
		墙面	<MDL	
		地面	<MDL	
		床	<MDL	
		注射准备车	<MDL	
		铅屏风	<MDL	
		桌子(含心电监护仪)	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		甲功仪	<MDL	
		椅子	<MDL	
		马桶(陶瓷)	<MDL	
		清洁工具	<MDL	
		洗手池(陶瓷)	<MDL	
		紫外灯	<MDL	
		注射泵	<MDL	
普通屏风	<MDL			
7	留观处 (拟建高活室、	患者入口门	<MDL	控制区
		患者出口门	<MDL	

	肺通气室、负荷室)	墙面	<MDL	
		地面	<MDL	
		椅子	<MDL	
		铅屏风	<MDL	
8	受检者走廊 (拟建受检者走廊)	墙面	<MDL	控制区
		地面	<MDL	
		铅废物桶	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		椅子	<MDL	
9	水泵间	门	<MDL	控制区
		墙面(瓷砖)	<MDL	
		地面(瓷砖)	<MDL	
		管道	<MDL	
		配电箱	<MDL	
10	工作人员缓冲走廊	门	<MDL	控制区
		墙面	<MDL	
		地面	<MDL	
		桌子	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		柜子	<MDL	
11	控制室	门	<MDL	监督区
		墙面	<MDL	
		地面	<MDL	
		桌子	<MDL	
		椅子	<MDL	
		柜子	<MDL	
		打印机	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		铅衣	<MDL	
12	男更衣室	门	<MDL	监督区
		墙面(瓷砖)	<MDL	
		地面(瓷砖)	<MDL	
		柜子	<MDL	
		洗手池(陶瓷)	<MDL	
		便池(陶瓷)	<MDL	
		清洁工具	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		椅子	<MDL	
13	女更衣室	门	<MDL	监督区

		墙面（瓷砖）	<MDL	
		地面（瓷砖）	<MDL	
		柜子	<MDL	
		洗手池（陶瓷）	<MDL	
		便池（陶瓷）	<MDL	
		清洁工具	<MDL	
		垃圾桶	<MDL	
		衣架	<MDL	
14	工作人员走廊	门	<MDL	监督区
		墙面	<MDL	
		地面	<MDL	

备注：1. 检测结果为各检测位置所测最大值（直接测量法），已扣除表面污染仪现场本底值；  
2. 检测时表面污染仪灵敏窗与被测表面的距离为 10mm；  
3. MDL 指本次检测使用的表面污染仪探测下限，对  $\beta$  为  $0.17\text{Bq}/\text{cm}^2$ （99.9%置信水平）；

## 8.2 监测结果评价

根据表 8.1-2 和表 8.1-3 检测结果显示：本项目现有核医学科控制区、监督区的  $\beta$  放射性物质表面污染检测值不大于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；核医学科门诊场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于  $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足相关标准要求。

表 9 项目工程分析与源项

## 9.1 核医学科门诊显像诊断

### 9.1.1 X 射线诊断装置和密封校验源

本项目配套使用 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT，均属于 III 类射线装置，及拟配套密封源开展 PET 装置的定期校验，一般属于 V 类放射源，III 类射线装置和 V 类放射源对环境影响很小，本评价报告对 III 类射线装置和刻度操作流程、环境影响进行简要分析。

### 9.1.2 放射性同位素显像设备与诊断流程

#### 9.1.2.1 核医学扫描诊断装置

核医学是采用核技术来诊断和研究疾病的一门新兴学科。它是核技术、电子技术、计算机技术、化学、物理和生物学等现代科学技术与医学相结合的产物。核医学可分为两类，即临床核医学和基础核医学。本项目核医学科使用 F-18、Ga-68、Zr-89、Cu-64 核素药物开展 PET 诊断；使用 Tc-99m、I-123 核素药物开展 SPECT 诊断。

##### (1) PET/CT 显像

PET 作为一种先进的核医学影像手段，对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势，被称为“生化显像”或“分子成像”，利用核素示踪原理，在分子水平上，通过动态、定量的监测人体内部的生化变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变。所以 PET 又称之为“生化显像”或“分子显像”。PET 正电子药物显像技术的应用实现了医学影像领域的功能显像和定量分析，而且具有灵敏度高，核素半衰期短，成像速度快等特点，为生物、基础研究、疾病的诊断、治疗预后的判断和保健提供了超前或提前信息，对推动生命科学、现代医学和其他学科的发展具有重要的意义。

正电子药物 PET 显像剂按功能大致分为脑功能显像剂、心功能显像剂、肿瘤阳性显像剂等，其中  $^{18}\text{F}$ -脱氧葡萄糖（FDG）是目前应用最为广泛的正电子药物。FDG 可测定肿瘤、心脏及脑中的葡萄糖代谢，用于肿瘤、冠心病及神经/精神疾病的早期诊断、鉴别诊断及指导治疗。

PET/CT 是由正电子发射型计算机断层显像仪（PET）和计算机断层 X 射线摄影术（CT）融合而成的最新高端分子影像设备，它同时具备 PET 和 CT 的检

查功能，在显示解剖结构、形态和密度等方面具有优势。将两种检查设备的结合起到优势互补、相互配合、互为对照的作用。PET 通过与 CT 结合，提高病灶定位的准确性。还有另一方面的价值，即可以大大缩短 PET 的检查时间，从而提高仪器和正电子药物的使用效率。

PET/CT 显像诊断观察肿瘤代谢异常明显早于其他影像学手段，其探测灵敏度更高，主要有以下几方面的优势及应用：（1）肿瘤的良好鉴别诊断，并为疑难的病灶提供准确的穿刺活检部位；（2）恶性肿瘤的分期和分级；（3）通过采用多种 PET 显像剂来确定肿瘤病灶的多元化代谢特征；（4）为恶性肿瘤的放射治疗（尤其是精准放疗）提供准确的定位；（5）对肿瘤各种治疗的疗效进行评估；（6）早期鉴别肿瘤复发；（7）为不明原因的转移性肿瘤寻找原发病灶；（8）恶性肿瘤的预后判断。

PET/CT 心肌显像是公认评估心肌活力的“金标准”，对梗塞区内的心肌可明确鉴别活性与非活性心肌，还能鉴别血管狭窄、斑块形成、钙化以及供血情况，能为心血管疾病的诊治提供指导，可以明显提高动脉搭桥手术的成功率，此外，还可对术后心功能恢复进行预测。

在肿瘤检查方面，用常规方法发现肿瘤时病变往往已进入临床的中晚期，极大的延误了患者最佳的治疗时机。PET/CT 全身检查，可以一次性明确全身各脏器情况，可实现肿瘤高危人群（肿瘤高发家族、肿瘤标志物异常人员）全身全方位早期肿瘤筛查的目的。此外，也可对肿瘤病人进行复查，有效地发现全身转移情况，了解治疗后肿瘤残留部分的性质等。典型的 PET 装置如下图 9.1-1 所示：



图 9.1-1 PET/CT 机设备外观

## (2) SPECT/CT 显像

SPECT 技术是把标记有发射单光子核素（如 Tc-99m）的重要生命物质（如糖、蛋白质、脂肪等）注射到人体内，然后借助 SPECT 装置进行扫描成像，以观察这些单光子核素在人体全身脏器的分布情况，以研究它们在人体内的代谢过程，该技术已成为生命科学研究的一个有力工具。

SPECT 在癌症骨转移、冠心病、肺动脉栓塞、急性脑梗塞、甲状腺癌诊断和评价等方面，能够发挥不可替代的作用，CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。典型的 SPECT/CT 扫描装置如下图 9.1-2 所示。



图 9.1-2 SPECT/CT 机设备外观

### 9.1.2.2 工作流程

#### (1) 放射性同位素显像工作流程

放射性同位素显像医学检查的工作流程：含示踪核素的放射性药物经由静脉注射方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放  $\gamma$  射线，利用 PET/CT、SPECT/CT 进行扫描和显像，检查工作流程如下：

工作流程按下列流程：①患者预约登记→②订购药物（有资质的单位提供）→③接收、质检→④分装→⑤患者给药→⑥候诊检查（注射后候诊区候诊→摆位→图像采集→图像处理→读片、发报告）→⑦离院。

① 预约登记：根据医生申请项目，需要接受显像诊断的患者提前预约登记，确定用药量。

② 订购药物：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，用核素向药品公司（如原子高科股份有限公司）订购标记的放射性药物（试剂、Tc-99m、I-123

和 I-131 厂家送来时已根据当天使用情况分装好)；PET 用核素 (F-18、Ga-68) 正电子试剂送上来时是整装，使用时需要根据实际情况进行分装。

③ 接收、质检：药物运输至核医学科的高活室门口，质检人员核对放射性药物名称、规格和数量，检查包装和外观质量，在高活室门口的摄像头监控下，由核医学科负责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后暂存于高活室内。

④ 分装：将需要分装的放射性药物在手套箱内进行分装。

⑤ 患者给药 (注射、口服或吸入)：在注射室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器或口服胶囊，给患者注射或口服标记放射性药物，然后将废注射器装入铅屏蔽盒，放回高活室，当放射性固体废物处理。其中镓气制备内容见以下章节。

⑥ 候诊检查：病人在给药后病人候诊区等候 (如 F-18 候诊时间约 40min~90min，短半衰期的无需候诊)，待药物有一定程度的代谢后，进行 PET 扫描检查 (PET/CT 检查一般不超过 20min)；Tc-99m 骨扫描候诊时间 3~4h、心脏 1.5h，甲状腺 20min~30min，肾显像不用候诊。

⑦ 离院：受检者在扫描检查后，一般不用留观，患者可直接从专用通道离开核医学科。

## (2) 镓气制备操作步骤和工艺流程

核医学科镓气发生器操作步骤和工艺流程为：①订货→②质检→③设备充电→④连接氙气→⑤气体制备→⑥施给气体→⑦清除残余气体。

① 订货：提前一天根据预约的肺通气病人人数，向药品公司订购 Tc-99m 放射性药品。

② 质检：在高活室手套箱取 Tc-99m 淋洗液 (用量为 370~740MBq，厂家已按每人份分装好)。

③ 设备充电：镓气发生器插入电源输入端，打开电源主开关为设备电池充电。

④ 连接氙气：在镓气体制备前插上与镓气发生器相连的气体输出管，并确保自锁机构锁定，转动主调节器阀直到低压表指示在绿区。

⑤ 气体制备：首先打开抽屉，将坩埚固定在接触器上，再将不大于 740MBq Tc-99m 液体注入，关闭抽屉后按下开始按钮，在充满氙气的密闭装置内通电加

温，在 2550°C条件下加热 15s 蒸发得到 Tc-99m 气体，产生碳包裹的 Tc-99m 纳米颗粒（technegas），气体制备完成后断开主电源。气体制备过程中约有 30%Tc-99m 液体转化为 Tc-99m 气体，其中患者吸入体内的活度大约 37MBq，其余沉积在石墨坩埚。

⑥ 锝气的施用：向患者说明检查的整个过程，以取得患者的配合。将 PAS 的管道开端接到发生器上，让患者用嘴咬住口管，用鼻夹夹住鼻子，通过雾化器回路进行正常呼吸，按下给气按钮施给病人 Tc-99m 气体，在所要求的放射性计数达到要求（一般 3~5 个呼吸周期）后松开给气按钮，嘱咐病人进行 5~6 个呼吸周期的呼吸，以清除管道和病人气道中的 Tc-99m 气体，病人呼出的少许气体由 PAS 过滤装置收集后按放射垃圾处理。

⑦ 残余 Tc-99m 气体清除：病人 Tc-99m 气体施给完成后，再次接上氩气和电源，发生器内过滤器装置清除残余锝气体。核医学科肺通气检查每周约 2 例病人，每个病人操作量不大于 740MBq，每次制备的 Tc-99m 放射性气体施给一位病人，施给过程均在核医学科锝气室内集气罩下进行。

### （3）甲状腺摄碘功能测定

① 医生开申请单；

② 受检者到核医学登记台预约，医生询问病史，告知注意事项；

③ 确定检查日期后，订药：131-碘胶囊（统一规格，活度为 0.333MBq），送药时间为检查当日；

④ 检查当日，24 小时甲状腺吸碘率测定步骤如下：

1) 测本底计数和标准源（131-碘胶囊）计数；

2) 受检者口服 0.333MBq 后，随后离开核医学科，2 小时后、4 小时后、6 小时后和 24 小时（第 2 日）后返回核医学科，分别进行甲状腺摄碘功能测定（检查时间 60s）；

3) 测完后打印报告，上级医生审核签字后发报告。

### （4）PET 刻度源质控流程

本项目拟搬迁的 1 台 PET/CT 为原有设备，不采用密封源校准。本项目暂未确定拟新购 1 台 PET/CT 的型号，后期拟根据购置的设备情况，可能选用 F-18 或 Ge-68 密封源用于 PET/CT 设备校准。本项目拟按需要使用放射源的情况进行评价。保守按新增的 1 台 PET/CT 拟配备 1 枚活度为 1.11E+08Bq 的 Ge-68 密封

源，为 V 类放射源，由物理师每周或两周一次质控使用，质控时物理师把密封源从源库按要求取出放到 PET 检查床指定位置后回到控制室按规定程序进行扫描，扫描结果都通过后结束质控，把密封源取下运回源库。平常不使用时都储存在储源室内，并至少配有 20mmPb 的铅桶屏蔽。

### 9.1.2 放射性核素使用量

#### (1) PET 显像检查：

① F-18 使用量不大于  $3.70E+08Bq/人$ ，每日 PET 检查 20 人次，年工作 250 天。

② Ga-68 使用量约  $1.85E+08Bq/人$ ，每日 PET 检查 2 人次，年工作 50 天。

③ Zr-89 使用量约  $1.85E+08Bq/人$ ，每日 PET 检查 2 人次，年工作 50 天。

④ Cu-64 使用量约  $1.85E+08Bq/人$ ，每日 PET 检查 2 人次，年工作 50 天。

#### (2) SPECT 检查：

① Tc-99m 使用量不大于  $9.25E+08Bq/人$ ，每个检查日最多检查 20 人次（不含每周 2 例肺通气患者），年工作 250 天；核医学科 Tc-99m 肺通气检查每名患者使用量一般不大于  $5.55E+08Bq$ ，本次保守按每人按平均用量  $7.40E+08Bq/人$  评价，每日约 2 例病人，年工作 50 天。

② I-123 使用量约  $3.70E+08Bq/人$ ，每日最多 SPECT 检查 5 人次，每年最多工作 50 天。

③ I-131 甲状腺摄碘功能测定，每人每粒胶囊约  $3.33E+05Bq$  ( $9 \mu Ci$ )，每人每次一粒，每日最多实施 5 人次，每年最多工作 100 天。

### 9.1.3 放射性核素特性

(1) F-18、Ga-68 半衰期分别为 109.6min、68.3min，衰变方式是 EC 和  $\beta^+$ ， $\beta^+$ 粒子在体内经湮灭辐射产生两个方向相反和能量均为 511keV 的  $\gamma$  光子。

(2) Tc-99m 半衰期为 6.02h，衰变方式是 IT，发出能量为 140keV 的  $\gamma$  射线；I-123 半衰期为 13.13h，衰变方式是 EC，发出主要能量为 159keV 的  $\gamma$  射线；I-131 半衰期为 8.04d，发生  $\beta$  衰变时伴随发射 364.5keV 的  $\gamma$  射线。本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 9.1-1。

表 9.1-1 本项目使用的显像放射性核素主要参数

序号	核素名称	毒性	半衰期	衰变类型	主要能量/平均能量 (keV)
1	F-18	低毒	109.8min	$\beta^+$ 、EC	$\beta^+$ 635, $\gamma$ 511

2	Ga-68	低毒	68.3min	$\beta+$ 、EC	$\beta+1899$ , $\gamma511$
3	Zr-89	中毒	3.27d	$\beta+$ 、EC	$\beta+396$ , $\gamma908$
4	Cu-64	低毒	12.7h	$\beta+$ 、 $\beta-$	$\beta+655$ 、 $\beta-573$
5	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	$\gamma141$
6	I-123	低毒	13.13h	EC	$\gamma/159$
7	I-131	中毒	8.03d	$\beta-$ 、 $\gamma$	$\beta-606$ 、 $\gamma364/360$

## 9.2.5 使用放射性核素污染途径分析

### 9.2.5.1 正常工况的污染途径

(1) 贯穿辐射。在进行药物交接、质检、分装、注射（服用）、观察病人和摆位等操作时，操作人员及注射区、候诊区和扫描机房周围等停留的公众可能受到核素释放出的 $\beta$ 射线、 $\gamma$ 射线的影响。因此，核素诊疗项目的污染因素主要是产生 $\gamma$ 射线和 $\beta$ 射线。Tc-99m气体制备过程施用中，工作人员吸入Tc-99m气溶胶造成内照射。

(2) 使用放射性物质过程中，会产生一定量的放射性废水和放射性固体废物。放射性废水主要来自于卫生间冲厕废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水、应急废水。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、棉棒、一次性个人防护用品和垫布等物品。项目产生含放射性废物收集于高活室铅桶内暂存。

(3) 本项目使用的 F-18、Tc-99m 等放射性药物都是向专业公司购买，诊断显像药物中，只有 PET 检查的正电子药物需要在注射前进行分装。药物分装和质检在手套箱内进行。F-18 等放射性药物为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

本项目使用的 I-131 属于挥发性核素，但是本项目甲功测定和甲亢治疗均使用的是 I-131 胶囊，挥发性相对较低。其它核素的挥发性更小，如  $^{18}\text{F}$ FDG（脱氧葡萄糖的氟代衍生物）为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

### 9.2.5.2 非正常工况的污染途径

操作放射性药物时发生容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，污染清除将产生少量的放射性固体废物。

放射性表面污染：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。此外，给

药患者呕吐或者排泄，也可能导致局部环境的放射性污染。

放射性药物保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染。核医学科场所高活室暂存的放射性同位素，采用视频监控和门禁管理，储源室采用双人双锁进行管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盗和丢失事件的发生。放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

操作不当或患者不配合引起的Tc-99m气溶胶弥散：患者在吸气时与工作人员配合较差，导致Tc-99m气体泄漏或逸出，或者吸药结束后工作人员未要求患者继续呼吸以清除管道和患者气道中的Tc-99m气体，造成Tc-99m气体弥散，吸气发生器装置或阀门泄露造成Tc-99m气体泄露或逸出。工作人员应嘱咐患者正确的吸气方式，严格遵守操作规程，吸入管道或面罩连接好患者之前，不能开启病人通气开关，停止吸气吸入后，继续连接吸入器并在传送开关开启状态至少呼吸5次，以清除管道和病人气道中的放射性气体，石墨坩埚易碎，要谨慎安装并确保接触良好。

## 9.2 核医学科门诊治疗

### 9.2.1 工作原理

核医学门诊治疗涉及的放射性核素治疗包括：I-131甲亢治疗、Sr-89、Ra-223门诊治疗和Lu-177留观治疗。主要利用放射性核素参与人体代谢自动在特定组织内聚集，对其周围病变细胞造成杀伤。核素治疗是利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞紧密结合。

(1) 甲状腺具有高度选择性摄取I-131的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。I-131在甲状腺内停留的时间较长，未被甲状腺摄取的I-131多在48h内由肾脏代谢排出，机体内残留的活度约为给药量的10%~20%。在甲亢病人甲状腺内的有效半衰期约3~5天。I-131衰变时主要发射 $\beta$ 粒子，且射程短，仅约2~3mm， $\beta$ 粒子对周围正常组织一般无影响。因此，大剂量I-131进入功能亢进的甲状腺组织，这些组织在粒子集中且较长时间的作用下将遭受部分抑制或破坏取得类似部分切除甲状腺的效果。

(2) Sr-89是一种亲骨性放射性核素，用于治疗骨转移瘤骨痛，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的2~25倍，并滞留在癌灶中，发射平均能量为1.463MeV的 $\beta$

射线，半衰期为50.5天，其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

(3) Ra-223 ( $\alpha$ 放射性核素) 用于治疗晚期去势抵抗性且有骨转移的前列腺癌。在内照射时具有极强的细胞毒性，对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用，而其短射程对正常组织影响较小 ( $\alpha$ 粒子的射程仅43微米)，并能够模拟钙的作用，并与羟基磷灰石形成复合物以加快一些部位骨质更新，例如骨转移灶部位。这种强有力的药物的 $\alpha$ 粒子的穿透范围短，不会伤害附近的健康组织和关键的骨髓。对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微。

(4) Lu-177是神经内分泌肿瘤和前列腺癌的治疗临床治疗的一个重要手段，目前多肽受体放射性核素治疗 (Peptide Receptor Radionuclide Therapy, PRRT) 已成为核医学专业以及肿瘤临床的新宠。PRRT目前应用最广泛的就是以治疗用的放射性核素Lu-177等标记生长抑素类似物奥曲肽来治疗神经内分泌肿瘤 (NET)，多数神经内分泌肿瘤均过度表达生长抑素受体，这是临床诊断和治疗的病理生理基础，可利用核素的内照射对阳性原发灶和转移灶进行治疗。给药Lu-177后1天(24h)，患者体内残余Lu-177量约为1000MBq，给药7.4GBq的Lu-177留观时间约6h。

预计全年治疗病人数量不大于100人次 (每批次最多收治1例，一周2批次)。厂家送来时每个Lu-177西林瓶外还有不低于10mmPb铅罐进行辐射防护。

接受<sup>177</sup>Lu核素治疗的患者提前预约，工作人员根据患者预约情况订购药物，患者来院后，经患者入口进入核医学控制区，之后在留观室接受静脉点滴注药 (计划每周患者分2批次进行Lu-177核素治疗，与显像患者和其他治疗患者错时进行)，注射完成后，需在留观室留观6~12h，之后根据医师要求经核医学科患者出口离开该场所。

### 9.2.2 放射性药物治疗流程

#### (1) 门诊治疗 (Sr-89、Ra-223 治疗及 I-131 甲亢治疗)

放射性药物经由静脉注射或口服方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放  $\beta$  射线，从而抑制或破坏病变组织，达到治疗目的。治疗工作流程如下：  
①预约登记→②订购药物 (向有相应资质厂家订购 Sr-89、Ra-223 注射液或 I-131 胶囊) →③接收、质检→④分装→⑤患者给药 (在注射区注射或口服) →离院。

① 预约登记：提前制定核素治疗工作计划，通知患者。目前拟计划将 Sr-89、

Ra-223 治疗的患者定在每周五下午进行。

② 订够药物：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，用核素向药品公司订购标记的放射性药物。

③ 接收、质检：外购药物由药品公司负责把药品送至地下一层，沿通道，经缓冲间运至门诊高活室门口，质检人员核对放射性药物名称和活度，检查包装和外观质量，在高活室门口的摄像头监控下，由核医学科负责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后暂存于高活室内。

④ 分装：Sr-89 药物不分装，由供药公司已按照人份分装。Ra-223 药物在高活室手套箱内按患者体重进行分装，患者给药量为每千克体重 55kBq (1.49  $\mu$  Ci)，每瓶总活度为 6600kBq (0.178mCi)，每次注射前，护士在手套箱内按患者体重抽取相应活度的 Ra-223，使用后的药瓶将放回铅容器后存入废物间。

⑤ 患者给药（注射或口服）：在注射窗口防护下，给受检人员注射 Sr-89、Ra-223 治疗药物。在治疗室窗口，患者口服 I-131 胶囊。

⑥ 离院：门诊治疗的患者无异常反应可经核医学科患者出口离开医院（门诊治疗核素都满足出院要求，无需留观）。

## (2) 门诊留观 (Lu-177) 治疗

### 1) 病例选择：

- ① 病理学明确诊断为分化好的神经内分泌肿瘤；
- ② 经多学科讨论确定治疗方案；
- ③ Ga-68 PET/CT 显像阳性；
- ④ 基线血常规、肝功能及肾功能指标符合治疗标准。

### 2) 治疗方法

① 患者停用长效生长抑素类似物 4~6 星期。若为了控制症状，停用短效生长抑素类似物 8 小时，长效 7~10 天。

② 止吐：托烷司琼 5mg，地塞米松磷酸钠注射液 5mg 入壶。

③ 肾保护：9AA 复方氨基酸溶液 500ml，盐酸精氨酸注射液 20g，共计 2000ml 液体，自注射  $^{177}\text{Lu-Dotatate}$  前 30min 开始滴注。

④ 药物注射： $^{177}\text{Lu-DOTATATE}$  静脉滴注，时间 >15min。

⑤ 每 6~12 周一个周期（平均 8 周一个周期），共 4~6 次，总量不超过 37GBq (1000mCi)。

⑥接受  $^{177}\text{Lu-PSMA}$  治疗的患者，治疗后距离患者体表周围剂量当量率不大于  $25\mu\text{Sv/h}$  方可出院。

药物的订货、接收药物、质检等环节都与核医学科现有的流程一致，核素供货厂家运输工作人员将储存核素的专用  $10\text{mm}$  铅罐容器，由一层患者专梯运至地下层核医学科，沿患者通道运至高活室贮存。给患者输注的  $\text{Lu-177}$  无需要分装， $\text{Lu-177}$  供药公司已按照人份分装。

$\text{Lu-177}$  药物注射过程中工作人员穿戴铅衣， $\text{Lu-177}$  药物通过静脉注射方式给药，通过自动化注射泵法将药物推注入患者体内，其过程是首先在高活室铅手套箱内手动将西林瓶中的药品抽取到注射器中，而后将注射器放在铅屏蔽套中转移至留观室，把注射器取出注射到药瓶中，而后进行自动滴注给药。

治疗用药前，进行“三查五对”，治疗内容必须执行医嘱，核对患者姓名、性别、年龄、剂量、治疗时间，检查治疗项目、治疗核素、治疗内容。入院时给治疗患者发放牛奶袋、面包；出院前医护人员发放治疗患者告知书，告知患者出院后注意事项（例如与家庭成员距离，出行、上班避免与他人长时间接触等）。患者出院前，确保距患者  $1\text{m}$  处的周围剂量当率不大于  $25\mu\text{Sv/h}$  方可出院，出院前医护人员发放治疗患者告知书，告知患者出院后注意事项（例如与家庭成员距离，出行、上班避免与他人长时间接触等）。

### 9.2.3 放射性核素使用量

#### (1) 门诊治疗（ $\text{Sr-89}$ 、 $\text{Ra-223}$ 治疗及 $\text{I-131}$ 甲亢治疗）

①  $\text{I-131}$  用于甲亢门诊治疗，每人口服活度不大于  $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ （胶囊），最多为 5 名病人/天，每年工作 100 天。

② 门诊治疗  $\text{Sr-89}$  每人口服活度不大于  $1.48\text{E}+08\text{Bq}/\text{人}$ ，最多为 2 名病人/天，每周 1 天，年工作 50 天。

③  $\text{Ra-223}$  用于治疗前列腺癌骨转移门诊治疗，患者使用量最多为 5 名病人/天，年工作 50 天，其中每例每次最大注射量为  $6.60\text{E}+06\text{Bq}$ （ $0.178\text{mCi}$ ）。

#### (2) 门诊 $\text{Lu-177}$ 留观治疗

$\text{Lu-177}$  主要为神经内分泌肿瘤和前列腺癌的治疗，用量不大于  $7.40\text{E}+09$ （ $200\text{mCi}$ ）。根据《放射防护期刊》中（*Journal of Radiological Protection J. Radiol. Prot.* 36 (2016) 269–278）的结论，距给药  $7.4\text{GBqLu-177}$  治疗患者 6h 后  $1\text{m}$  处剂量率为  $15\pm 4\mu\text{Sv/h}$ 。 $\text{Lu-177}$  治疗患者留观 6h 后，就可以满足出院标准要求。

本次核医学科设 1 间  $\text{Lu-177}$  留观室，采用预约方式入院，预计，使用量最

多为 1 人次/天（一周 2 批次），保守全年最多安排 100 人次，最大 7.40E+09Bq/人（200mCi），每名 Lu-177 患者留观时间不小于 6h。

#### 9.2.4 主要放射性核素特性

①Sr-89 为  $\beta$  核素，半衰期为 50.5d，衰变方式是  $\beta^-$ ，发出主要能量为 1.49MeV 的  $\beta$  射线；

②Ra-223 为  $\alpha$  核素，半衰期为 11.4d，主要发射  $\alpha$  射线（能量主要为 5.54MeV~5.75MeV），同时还有不同能量和比例的  $\beta$  射线（能量主要为 3keV~56keV）和  $\gamma$  射线（能量主要为 11.7~269.5keV）；

③I-131 半衰期为 8.04d，发生  $\beta$  衰变时伴随主要发射 364.5keV 的  $\gamma$  射线；

④Lu-177 半衰期为 6.65d，主要发射  $\beta$  射线，平均能量为 0.149 MeV（最大能量 0.497 MeV），组织内射程 2mm，发生  $\beta$  衰变时伴随主要发射 113keV（6.4%）和 208keV（11%）的  $\gamma$  射线。本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 9.2-1。

表 9.2-1 本项目使用的治疗放射性核素主要参数

序号	核素名称	毒性	半衰期	衰变类型	主要能量 (keV)
1	I-131	中毒	8.03d	$\beta^-$ 、 $\gamma$	$\beta$ 606、 $\gamma$ 364/360
2	Sr-89	中毒	50.5d	$\beta^-$	$\beta$ 1495.1
3	Ra-223	极毒	11.43d	$\alpha$	11.7/83.8/269.5
4	Lu-177	中毒	6.65d	$\beta^-$ 、 $\gamma$	$\beta$ 497、 $\gamma$ 208

### 9.3 核医学科改造方案

#### 9.3.1 核医学科改造前的工作流程

(1) 由于控制区改造时，核医学科至少停诊一个月以上，核医学科对 A 类放射性固体废物按要理解控，并做好记录；核医学科控制区改造前需要委托有资质单位对于剩余的 B 类放射性固体废物进行检测，并办理解控手续；

(2) 委托有资质单位对拟改造的区域（监测位置：核医学科各功能场所区域；拆除过程中监测 1 次）及配套设施（并入现有排水管和排风管区域）进行辐射环境  $\gamma$  射线率、表面污染进行监测；

(3) 控制区（负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室等场所）内相关设施，废气及废水管道改造拆除前除了委托有资质单位检测外，还需要由核医学科技师使用手持多功能监测仪进行检测，辐射剂量率满足所处环境本底水平且  $\beta$  表面污染水平小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup> 后，才开始拆除设施，确保实施过程中处于无污染状态，如果多次检测结果都异常时（辐射剂量大于 200nSv/h 或者表面污

染水平不低于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>），立即停止拆除并做好记录，然后委托有资质单位检测，收集有异常的设施储存于废物库内，暂存一段时间符合清洁解控水平后办理解控，确保是本底水平后才可继续拆除；

(4) 按照环评文件及环评审批批复要求实施改造。

### 9.3.2 改造原则

根据辐射工作场所的运行情况和项目特点，为安全实施该工作场所改造工作，医院制定的改造总体原则如下：

(1) 辐射工作场所（负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室、注射前候诊室等场所）达到无限制开放使用要求后才可进行核医学科改造工作。

(2) 改造过程中产生的放射性废物尽可能做到最小化、减量化、无害化。

(3) 改造辐射工作场所涉及的放射性污染物全部进行妥善处理，避免对人员造成健康危害。

(4) 改造辐射工作场所内其它相关设施、物品再利用严格执行相关的控制标准（工作场所中的设备、设施、物品等的表面污染解控水平为 0.8Bq/cm<sup>2</sup>）。

(5) 对参与改造的工作人员尽可能做到辐射防护最优化。

### 9.3.3 改造工作流程及时间规划

对于本项目改造工作，医院拟划分准备阶段、实施阶段、验收阶段等三个阶段完成相关工作。改造各阶段的工作流程及时间规划见表 9.3-1。

表 9.3-1 本项目改造各阶段的工作流程及时间规划

阶段划分	工作流程	时间规划
准备阶段	①制定改造方案，制定放射性污染事件应急预案，建立改造组织机构，并明确构成和职责分工。组织改造工作人员放射防护知识培训，开展改造前的准备工作，准备防护用品、检测仪器，准备放射性废物贮存（包装）用品等。	2026年10月前完成
	②开展源项调查，确定放射性物质和有毒有害物质的存量和分布；	
	③清理清查，清除可能积存的物料、运行期间产生的废物等，结合运行期间的台账和记录开展，确保账物相符。	
	④核医学科辐射环境现状检测；	
	⑤如发现改造场所存在表面污染，制定去污方案，进行去污并实施监测；	
	⑥开展改造项目的环境影响评价，出具环境影响报告表，并报生态环境部门审批；	
实施阶段	⑦按照环评文件及环评批复要求分期实施改造，改造过程中做好改造工作人员的安全和防护工作，改造前产生的固体废物先转移至废物间暂存，对改造过程中产生的放射性废物妥善处置；	2027年01月底完成
	⑧改造施工人员严格按照核医学科管理要求，核医学科停诊改造，	

	进出现场需要登记和检测；	
验收阶段	⑨核医学科辐射工作场所改造工作完成后，办理辐射安全许可证手续，并开展竣工环保验收手续。	2027年02月底完成

### 9.3.4 改造工作实施方案

#### (1) 任务分工

此次改造项目，根据工作安排，医院医务处、总务处、基建处、安全保卫处和核医学科等相关科室各指派一名负责参与本项目，随时沟通协调各项工作，保障改造项目顺利实施。

医务处负责根据方案及时间节点，组织各参与人员安全有序开展各项工作，并组织人员对改造场所展开监测，确保现场辐射环境安全；核医学科负责组织专业人员对项目改造工作进行指导，确保施工人员充分了解改造场所的安全状况和安全隐患；总务处负责组织施工人员对设备进行拆卸、搬运，利旧设备设施的存放工作；安全保卫处负责现场的安全保障工作；基建处负责配合组织施工人员对报废场所排风、排水管道的拆卸和处理工作。

#### (2) 改造过程

##### ①准备工作

医院取得改造项目环评批复后，将根据改造方案分期施工，确定相关部门负责人，提前准备个人剂量报警仪、辐射巡检仪、施工工具等改造所需物资。整个改造实施全过程中的监测数据须存档保存。

②工作人员在现状监测数据指导下，对场所污染区、清洁区进行识别和标识等；

③分类规划整理改造设施和物品，将放射性固体废物转移至废物间内存储；

④利旧设备及物品拆卸迁出工作

施工人员进入控制区改造场所前按照要求佩戴个人剂量报警仪，穿戴一次性防护服、帽子、口罩、手套、鞋套等个人防护用品。

改造施工人员严格按照核医学科管理要求，进出现场需要登记和检测。

进入辐射工作场所控制区前，首先由核医学科工作人员手持表面污染仪和辐射剂量巡测仪对将要拆卸的利旧设备及物品展开巡测，待确定表面无污染后，由施工人员携带拆卸工具对设备及物品开展拆卸工作。利旧设备及物品拆除后，由核医学科工作人员再一次开展监测，确定设备及物品拆卸接口或仪器内侧无污染

后,由总务处组织人员将利旧设备及物品,在无检查患者期间(如周末或节假日)经过核医学科患者出口运出,将利旧设备及物品搬入核医学科库房。如果拆卸过程中,施工人员个人剂量报警仪发生报警情况,则立即停止拆卸,并由核医学科组织人员排查辐射水平异常原因,并及时对污染区域展开去污,去污完成后,经过监测,确保无污染,方可进行下一步拆卸工作。

#### ⑤报废设备及物品拆卸处置工作

施工人员进入辐射工作场所控制区前按照要求佩戴个人剂量报警仪,穿戴一次性防护服、帽子、口罩、手套、鞋套等个人防护用品。进入辐射工作场所后,首先由核医学科人员手持表面污染仪和辐射剂量巡测仪对报废设备及物品展开巡测,确定无辐射污染后,由施工人员将报废设备进行拆除,报废设备和物品搬出改造场所之前,由医务处人员对该物品展开巡测,确定无污染之后,由总务处组织人员将报废物品运往报废物品库或医院医疗垃圾处理场所。

#### ⑥报废管道拆除及处置工作

施工人员进入辐射工作场所控制区前按照要求佩戴个人剂量报警仪,穿戴一次性防护服、帽子、口罩、手套、鞋套等个人防护用品。进入辐射工作场所后,基建处根据改造场所施工图纸,指导施工人员对部分排风、排水管道进行部分改造工作。改造前需要由核医学科人员对管道展开巡测,确保表面无污染后,方可由施工人员进行拆除工作,当管道内侧暴露时的第一时间停止拆卸工作,并由核医学科人员对管道内壁污染情况展开监测,确保管道内侧无残留污染物,方可继续开展管道拆卸工作。如果存在放射性污染,采取封存衰变或擦拭去污等措施,最终使其表面污染水平符合解控要求,作为普通物品继续使用或处置。拆卸下来的管道,须经过监测,无污染的部分,由总务处组织人员运往医院废物处理场所,如果部分管道内存在残留污染物,则储存于核医学科放射性废物储藏室内,暂存一段时间符合清洁解控水平后办理解控。

### 9.4 使用放射性核素污染途径分析

治疗过程的主要污染因素是放射性药物释放 $\gamma$ 射线、 $\alpha$ 射线和 $\beta$ 射线对环境的辐射影响,以及产生含放射性的废水、废气和固体废物。本项目使用I-131(甲亢治疗)、Sr-89、Ra-223核素的门诊治疗,患者接受治疗后无需留观随即离开,正常情况下辐射影响很小。

#### 9.4.1 正常工况的污染途径

①贯穿辐射。I-131发生 $\beta$ 衰变时伴随发射364keV的 $\gamma$ 射线，其他核素 $\alpha$ 、 $\beta$ 衰变时发射 $\gamma$ 射线，因此，在进行药物接收、活度检查、分装、服用和处理放射性废物等操作时，工作人员及病区周围停留的公众可能受到I-131等核素释放出的 $\gamma$ 射线的影响。

②放射性废水。清洗器皿，局部去污和洗手时，会产生放射性废液。患者体内的放射性碘主要通过尿液和粪便排出。患者使用卫生间而产生的冲厕废水含有大量的放射性物质。据文献资料，大约55%施予活度的I-131在最初24h排出体外，22%在第2个24h排出，总量的85%在最初5d内排出体外（引自北京大学医学出版社《ICRP第94号出版物：非密封放射性核素治疗后患者出院考虑》）。达标后排入医院污水处理站，再次处理后排入市政下水管网。

③放射性固体废物。包括：a.放射性药物剩余残液；b.盛装药物的药品、药杯、水杯；c.操作过程使用的防护服、手套、吸水纸和托盘等；d.服药患者使用过的各类物品，如纸巾等。除治疗剩余药物外，一般属于低放废物。剩余放射性药物由供应商回收处置；其他放射性废物暂存后，达到解控水平后办理清洁解控，之后按普通医疗废物处置。

④放射性废气。使用的I-131属于挥发性核素，但是本项目均为碘 $^{131}\text{I}$ 化钠胶囊，挥发性相对较低。其它核素的挥发性更小，都为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

#### 9.4.2 异常情况下的污染途径

①放射性药物保管不善，发生遗失或被盜。放射性物品失控可能造成环境放射性污染。

②由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；放射性物质从患者吐出导致放射性污染。放射性物质污染工作场所、衣物、手和皮肤，增加外照射危险程度，还有可能被食入或吸入体内形成内照射。

③错误给药。包括放射性活度不正确，导致I-131治疗剂量错误；弄错患者，导致不必要的照射；授乳期妇女受到不必要的照射。

④放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

⑤服药患者体内核素活度未降至出院水平以下，即离开隔离病房，对公众造成不必要照射。

表 10 辐射安全与防护

## 10.1 核医学科辐射安全与防护

### 10.1.1 项目选址与合理性分析

本项目改造核医学科相关场所，为乙级非密封放射性物质工作场所，同时利用旧使用 1 台 SPECT/CT，增加使用 1 台 PET/CT，1 间 Lu-177 留观室等。本项目相关场所控制区周围 50m 范围内，无学校、居民楼等敏感目标，周围 50m 区域除了西南侧部分为院外道路区域外，其它方向都是医院内部。

本项目核医学科场所位于院内住院一部西南侧地下一层，核医学科东侧、南侧均为土层；西侧紧邻为医护走廊、医生阅片室、办公室、医生办等场所；北侧紧邻为核医学科注射前候诊室、预约登记室、患者入口、敷贴室等场所；楼上紧邻为设备夹层，再投影至地面一层为病房、护士站等场所；楼下为地下土层。

患者从北侧电梯厅进入核医学科，病患出口位于核医学科的南侧，通过患者专梯直通一层地面。外购核素入口从北侧电梯厅运入核医学科高活室，使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响很小。

项目选址充分考虑了周围场所的安全，不邻接产科、儿科、食堂等部门等及人员密集区，尽可能做到了集中设置，出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域，总体认为该项目核医学科选址合理。

### 10.1.2 场所平面布局与分区

#### (1) 核医学科场所布局

核医学科有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施。设计时考虑了以下因素：

① 核医学科布置根据诊疗流程，合理设计各功能房间的布局，PECT/SPECT 等扫描设备的控制区集中布置，高活室设在核医学科的北端，可防止交叉污染。

② 核医学科设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。患者路径单向设计，从地面一层北侧患者入口楼梯/患者电梯进入地下一层核医学 SPECT 区域和 PET 区域，依次完成注射、候诊、检查和留观活动后，从南侧患者电梯/楼梯上到地面一层离开核医学科。给药后患者与给药前患者不交叉。医护人员设有专用的通往高活室、控制室的通道，和给药后患者路径不交叉。医护人员进入控制区的出入口设立了缓冲区，用来更换工作服和工作鞋，防止放

放射性污染扩散至控制区外。放射性废物都是每周一早晨（患者检查前）转移至废物间，可避开与患者间的影响。

③ 核医学科工作人员办公场所设在地下一层核医学科西侧，与核医学科显像、治疗场所之间设有通道，医护人员可以方便到达。

从功能分区来看，患者候诊、工作人员办公、放射性操作等区域划分明确，且相对隔离，满足了核医学科分区管理的要求，尽可能避免公众和医护人员受到不必要的辐射照射。

在放射性操作场所内部设计了辐射防护门、铅玻璃观察窗，排风设施和放射性废水收集及暂存设施。此外，还配备有热室、铅玻璃观察窗、防辐射实体屏蔽、铅罐、铅屏蔽注射窗、废物桶等安全防护设施、器材，以及配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅手套、铅眼镜等工作人员防护用品。

综上所述，核医学科工作场所布局考虑了相对独立、避免交叉，便于使用和分区管理等因素，布局设计基本合理。

## （2）核医学科分区

核医学科使用核素 F-18、Tc-99m 等核素开展核素显像检查，使用 Sr-89、Ra-223 及 I-131 等核素开展门诊治疗，使用 Lu-177 核素开展门诊留观治疗。核医学科布局与分区见图 10.1-1。按照使用功能区划分为非辐射区域（接诊及办公区，含注射前候诊区）、辐射工作场所区域（控制区和监督区）。

① 接诊区及办公区：接诊区位于核医学科的北侧，包括预约登记室、注射前候诊室等；办公区位于核医学科西侧，包括阅片室、办公室等。

② 控制区（核素显像、治疗工作区）：包括负荷室、抢救室、肺通气室、甲功室、高活室、储源间、PET/CT 室、SPECT/CT 室、2 间注射后候诊室、废物间、给药后患者通道、Lu-177 留观室等。该区出入通道拟安装单向门禁系统。

③ 监督区：包括医护走廊、预约登记室、注射前等候区、资料室、操作间、设备间、库房、输液室等。

场所布局考虑了放射性工作场所与非放射性工作场所分开，不同放射性操作或污染水平的工作场所分开，工作人员区域与病人区域分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

核医学科按照尽可能减少对周围辐射影响，以及满足临床工作便捷性的原则进行布局设计。从功能分区来看，清洁办公区、监督区和控制区划分明确，且相

对隔离，满足了核医学门诊诊断与治疗的辐射安全管理的要求。

监督区和控制区拟设有有多道门禁隔离或物理隔离，加强病人的管理，防止病人到处走动，可有效减少对周围公众和职业人员受到不必要的照射。

高活室配套有手套箱，废气有组织在楼顶排放。核医学科域配套使用衰变池，诊断患者的排泄物及控制区产生的其它废水、应急淋浴废水进入衰变池暂存后排放，可有效减少放射性废液对环境的影响。控制区配套建设放射性废物间，所有放射性废物暂存后，达到解控水平后办理清洁解控，可有效减少放射性固体废物对环境的影响。平面布局及辐射分区见图 10.1-1 所示。

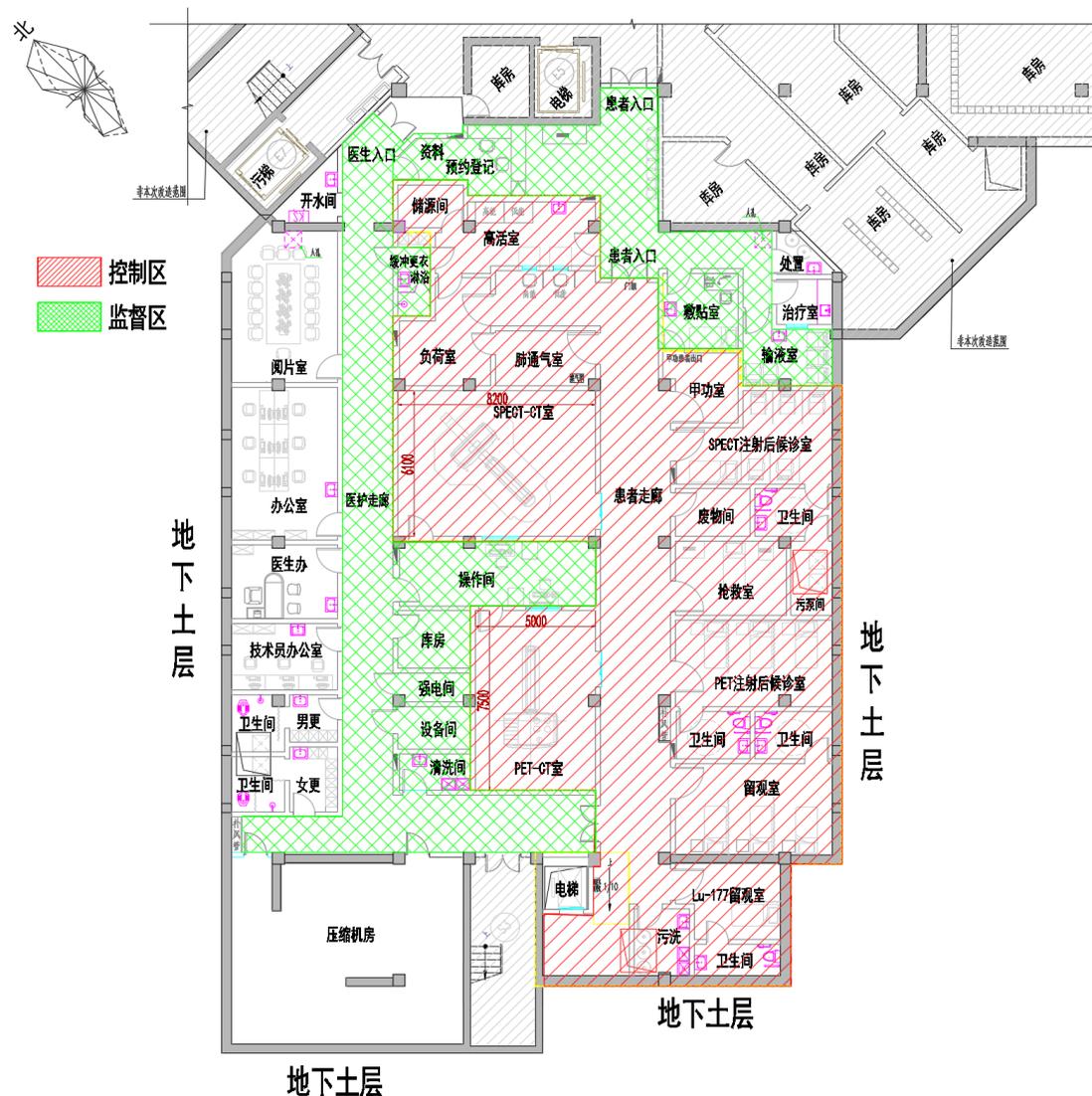


图 10.1-1 核医学科布局与分区示意图

### 10.1.3 工作流程及路径合理性分析

核医学科设置受检者检查区入口和出口，均设有门禁系统。只有本科室工作人员有授权。核医学科人流、物流示意图见图 10.1-2。



→在注射窗口接受药物注射（PET 检查患者在高能注射窗口进行注射）→分别在 PET/CT 注射后候诊室休息候诊→按医嘱要求排尽小便→候诊结束后，进入相应 PET/CT 室进行扫描检查→检查完成后，之后根据医师指示，无异常反应一般无需留观，可从南侧患者出口（设单向门禁）离开。

③ 甲状腺摄碘功能测定患者路径：患者在候诊区登记室进行登记→在注射前候诊室候诊→由患者入口（设单向门禁）进入检查区→在甲功室接受药物注射→甲功室测量→检查完毕→根据地面引导由南侧患者出口离开核医学科。

④ 核素门诊治疗（Lu-177 留观治疗）患者路径：患者走楼梯/乘电梯到达地下一层→在注射前候诊室候诊→由门诊治疗检查入口（设单向门禁）进入检查区→在注射窗口口服或者注射→无明显症状后，根据地面引导从南侧患者电梯/楼梯离开核医学科（对于 Lu-177 治疗患者在留观室进行推注，留观约 6h→并在出口出院剂量监测点处监测剂量率低于  $25 \mu\text{Sv/h}$  时，根据地面引导从南侧患者电梯/楼梯离开核医学科）。

## （2）核医学科工作人员工作路径

① 核医学科控制室操作人员：工作人员从核医学科东北侧电梯入口进入核医学科医护走廊→工作人员在缓冲间更换鞋和工作服后进入→由医护走廊到达操作间，操作设备进行扫描检查，经操作间进入相应机房对患者进行摆位操作，摆位后返回操作间对患者进行扫描检查，完成工作后从原路离开。

② 药物分装、注射工作人员：工作人员从核医学科北侧电梯入口进入核医学科医护走廊→在缓冲间进入高活室，在通风柜处进行药物分装、活度测量等工作，药物分装后→工作人员在注射窗口对患者进行注射→工作结束后，在缓冲间进行表面污染检测，若有沾污则通过紧急冲淋进行冲洗，冲洗后再次进行表面污染检测，检测合格后可离开该场所。

## （3）放射性药品转移流转路径

放射性药物由供药公司从患者入口电梯运至地下一层核医学科（与患者进入核医学科时间错开）→经过医护走廊→再经缓冲间进入高活室。在高活室内，核医学科药品管理员与送货人员办理“点对点”交接验收手续，并记录药品规格、批次、数量以及收货时间→在储药室暂存，后续开展显像工作。

## （4）放射性废物转移路径

注射窗旁设置 2 个废物桶（20mm 铅当量和 5mm 铅当量各 1 个），存放注

射器、包装物、棉棒、一次性用品等放射性药物，5mm 铅当量的铅废物存放 I-131 的包装物等→每周一早晨转移至各自场所内的废物间并标注日期→废物间设置 4 个 5mm 铅当量的废物桶（20L），轮流暂存 A 类和 B 类放射性废物→A 类放射性废物放置一个月后解控为医疗废物处置、B 类放射性废物暂存 10 倍核素半衰期（其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天、I-131 核素治疗产生废物至少暂存 180 天，Sr-89 至少暂存 505 天）后解控为医疗废物处置→详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括废物分类、所含核素名称，重量，暂存起止时间，表面污染和辐射剂量自测结果，废物处置日期，处置操作人员，废物去向，部门审核人员等内容。

#### **（5）放射性废水暂存和排放**

①高活室废水、缓冲更衣淋浴废水、应急淋浴废水、PET/CT 及 SPECT/CT 注射后候诊室的卫生间冲厕废水、留观室卫生间废水等→引入污泵间地下一层专用集水坑；

②Lu-177 留观室卫生间废水、污洗间清洁废水等→引入污洗间地下一层专用集水坑。

以上两股集水坑废水均由放射性废水管道引入放射性废水衰变池暂存衰变→废水暂存 68 天后，经检测达标后排至医院污水处理站处理→市政污水管网。核医学科放射性废水排放路由图见 10.3-2。

#### **（6）放射性废气收集与排放**

肺通气检查时，患者吸入钨气在肺通气室的集气罩下进行。给药时开启集气罩，外泄的少量钨气气溶胶可及时抽走。

诊断显像药物中，只有 PET 检查的正电子药物需要在注射前进行分装。药物分装和质检在手套箱内进行。Tc-99m 和 I-123 等核素，由供药公司根据每人份订药量直接分装在注射器或药瓶内，无需再次分装。上述需要分装的药物中，均为液体且物理性质稳定，在正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少。在出现放射性物质泼洒的异常情况时，废气经活性炭过滤并经排风系统排放至楼顶处，经大气扩散后浓度会更低，对周围公众的剂量贡献很小。医院委托设备厂家定期检查维护手套箱和集气罩的吸附过滤装置，确保过滤效率满足设计要求。

核医学科设置 6 套通风系统，废气经管道组织，由管道井延伸至设备夹层，经设置的活性炭过滤后，经净化处理后的废气由排风管道引至楼顶排风口排放。

具体如下：

- ① 高高活室 2 个通风柜分别设 2 套独立排风系统；
- ② PET/CT 室、SPECT/CT 室设 1 套独立排风系统；
- ③ 高活室、储源间、负荷室、甲功室、废物间、肺通气室（含集气罩）设 1 套独立排风系统；
- ④ PET 和 SPECT 注射后候诊室、抢救室、留观室及患者走廊设 1 套独立排风系统；
- ⑤ PET 和 SPECT 注射后候诊室的卫生间、留观室卫生间及污洗间、污泵间设 1 套独立排风系统。核医学科放射性废气排放路由图见 10.4-2。

## 10.2 核医学科辐射安全防护设施

### 10.2.1 辐射屏蔽设计

核医学科控制区外墙都是混凝土砖（楼板主要为砼）结构。场所根据辐射防护要求，设计了含混凝土砖、砼、铅防护门、铅玻璃，专用手套箱，放射性废水衰变池和固体废物间。此外，还配备有防辐射注射窗、铅制废物桶，药品盛装铅盒等防护器具等，以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品。实体屏蔽方案见表 10.2-1 所示，核医学科辐射安全防护设施见表 10.2-2。

表 10.2-1 核医学科主要场所的屏蔽设计

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽厚度	毗邻关系
1	PET/CT 室 (37.5 m <sup>2</sup> , 有效尺寸为 5.0m×7.5m)	东墙	20cm 混凝土砖+2mmpb 铅板	患者走廊
		南墙	20cm 混凝土砖+2mmpb 铅板	患者走廊
		西墙	20cm 混凝土砖+2mmpb 铅板	库房、强电间、设备间、清洗间
		北墙	20cm 混凝土砖+2mmpb 铅板	操作间
		顶棚	11cm 混凝土楼板+2mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		患者防护门	8mmpb 铅门	患者走廊
		工作人员防护门	8mmpb 铅门	操作间
		观察窗	8mmpb 当量铅玻璃	操作间
2	SPECT/CT 室 (50.0 m <sup>2</sup> , 有效尺寸为 6.1m×8.2m)	东墙	20cm 硅酸盐砖+1mmpb 铅板	患者走廊
		南墙	20cm 硅酸盐砖+1mmpb 铅板	操作间
		西墙	20cm 硅酸盐砖+1mmpb 铅板	医护走廊
		北墙	20cm 硅酸盐砖+1mmpb 铅板	负荷室、肺通气室
		顶棚	11cm 混凝土楼板+2mmpb 铅板	设备夹层

		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		患者防护门	3mmpb 铅门	患者走廊
		工作人员防护门	3mmpb 铅门	操作间
		观察窗	6mmpb 当量铅玻璃	操作间
3	PET/CT 注射后候诊室	东墙	40cm 混凝土	地下土层
		南墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板	卫生间
		西墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板	患者走廊
		北墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板	抢救室、污泵间
		顶棚	11cm 混凝土楼板+4mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门	6mmpb	患者走廊
4	SPECT/CT 注射后候诊室	东墙	40cm 混凝土	地下土层
		南墙	20cm 混凝土砖+1mmpb 铅板	废物间、卫生间
		西墙	20cm 混凝土砖+1mmpb 铅板	患者走廊
		北墙	20cm 混凝土砖+1mmpb 铅板	甲功室、输液室
		顶棚	11cm 混凝土楼板+1mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门	2mmpb 铅门	患者走廊
5	高活室	东墙	20cm 混凝土砖+1mmpb 铅板	注射前等候区、患者走廊
		南墙	20cm 混凝土砖+1mmpb 铅板	注射区、通过间
		西墙	20cm 混凝土砖+1mmpb 铅板	缓冲间、储源间
		北墙	20cm 混凝土砖+1mmpb 铅板	预约登记室、注射前等候区
		顶棚	11cm 混凝土楼板+1mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门（东）	6mmpb 铅门	患者走廊
		防护门（缓冲）	6mmpb 铅门	缓冲更衣淋浴间
		防护门（南）	2mmpb 铅门	负荷室
		注射窗	高能：40mmpb 当量铅玻璃 低能：20mmpb 当量铅玻璃	注射区
		手套箱	高能：50mmpb；低能：20mmpb	/
6	甲功室	东墙	20cm 混凝土砖	输液室、SPECT/CT 注射后候诊室
		南墙	20cm 混凝土砖	SPECT/CT 注射后候诊室
		西墙	20cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	20cm 混凝土砖	敷贴室

		顶棚	11cm 混凝土楼板+1mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门	2mmpb 铅门	患者走廊
7	肺通气室	东墙	20cm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	20cm 混凝土砖	SPECT/CT 室
		西墙	20cm 混凝土砖	负荷室
		北墙	20cm 混凝土砖	高活室
		顶棚	11cm 混凝土楼板+1mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门（东）	2mmpb 铅门	患者走廊
		防护门（西）	2mmpb 铅门	负荷室
8	负荷室	东墙	20cm 混凝土砖	肺通气室
		南墙	20cm 混凝土砖	SPECT/CT 室
		西墙	20cm 混凝土砖	医护走廊
		北墙	20cm 混凝土砖	缓冲间、高活室
		顶棚	11cm 混凝土楼板+1mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门（东北）	2mmpb 铅门	注射区通过间
		防护门（东南）	2mmpb 铅门	肺通气室
		防护门（北）	2mmpb 铅门	高活室
9	储源间	东墙	20cm 混凝土砖	高活室
		南墙	20cm 混凝土砖	缓冲间、高活室
		西墙	20cm 混凝土砖	医护走廊
		北墙	20cm 混凝土砖	预约登记室、资料室
		顶棚	20cm 混凝土楼板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防盗门	/	高活室
10	缓冲间（更衣、淋浴）	东墙	20cm 混凝土砖	高活室
		南墙	20cm 混凝土砖	负荷室
		西墙	20cm 混凝土砖	医护走廊
		北墙	20cm 混凝土砖	储源间
		顶棚	11cm 混凝土楼板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门（东）	2mmpb 铅门	高活室
		防护门（西）	2mmpb 铅门	医护走廊
11	废物间	东墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板防护	SPECT/CT 注射后

				候诊室卫生间
		南墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板防护	抢救室
		西墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板	患者走廊
		北墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板	SPECT/CT 注射后候诊室
		顶棚	11cm 混凝土楼板+2mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门	6mmpb 铅门	患者走廊
12	抢救室	东墙	20cm 混凝土砖	污泵间
		南墙	20cm 混凝土砖	PET/CT 注射后候诊室
		西墙	20cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	20cm 混凝土砖	废物间
		顶棚	11cm 混凝土楼板+4mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门	6mmpb 铅门	患者走廊
13	留观室 2 (PET/SPECT)	东墙	40cm 混凝土	地下土层
		南墙	20cm 混凝土砖	留观室 (Lu-177)
		西墙	20cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	20cm 混凝土砖	卫生间
		顶棚	15cm 混凝土楼板+2mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门	6mmpb 铅门	患者走廊
14	留观室 1 (Lu-177)	东墙	40cm 混凝土	地下土层
		南墙	40cm 混凝土	卫生间
		西墙	20cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	20cm 混凝土砖	留观室 1
		顶棚	15cm 混凝土楼板+2mmpb 铅板	设备夹层
		地板	45cm 混凝土+80cm 回填土	地下土层
		防护门	6mmpb 铅门	患者走廊
15	患者走廊	东墙	20cm 混凝土砖+3mmpb 铅板防护	候诊室等
		顶棚	11cm 混凝土楼板+4mmpb 铅板	设备夹层
		患者入口门	6mmpb 铅防护门	注射前等候区
		患者出口门	6mmpb 铅防护门	电梯

备注：砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，混凝土砖、硅酸盐砖密度不低于 2.0g/cm<sup>3</sup>，铅密度约 11.34g/cm<sup>3</sup>，墙面厚度未考虑水泥砂浆抹灰（密度不低于 2.0t/m<sup>3</sup>），覆土密度约 1.65g/cm<sup>3</sup>。

表 10.2-2 核医学科辐射安全防护设施表

序号	项目	内容	是否拟设置	备注
1*	A 场所 设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	场所标注控制区和监督区,地面设置引导文字和标线。
2*		电离辐射警告标志	√	出入口、显像室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志
3*		独立的通风设施	√	高活室设带屏蔽设计的手套箱,配有负压手套箱。场所也设有通风系统。
4*		治疗病房病人之间防护	√	无治疗病房
5*		给药操作人员屏蔽	√	配备两个给药铅防护窗口
6		易去污的工作台面	√	采用不锈钢台面
7*		病人专用卫生间	√	专用卫生间及排水管线
8*		放射性核素暂存场所或设施	√	同位素在高活室、贮源室暂存,设闭路监控。
9*	B 监测 设备	表面污染监测仪	√	利用现有 1 台表面污染监测仪
10*		便携式辐射水平监测仪	√	利用现有 1 台辐射剂量巡测仪,新增 1 台辐射剂量巡测仪 (1 探头)
11*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
12		个人剂量报警仪	/	不配备
13*	C 放射性 废物和 废液	放射性废液处理排放系统及标识	√	槽式衰变池 32.58m <sup>3</sup> (16.29m <sup>3</sup> × 2 池, 不含推流池体积)
14*		放射性固体废物暂存场所或设施	√	设废物间, 贮存放射性废物
15*	D 防护 器材	个人防护用品	√	铅玻璃, 配备一次性医用口罩和手套等
16*		放射性表面去污用品和防污染材料	√	洗涤灵、酒精和棉球

注: 加\*的项目是重点项, 有“设计建造”的划√, 没有的划×, 不适用的划/。

### 10.2.2 辐射防护措施

(1) 实行控制区和监督区分区管理。在控制区患者出、入口分别拟安装单向门禁系统, 防止无关人员进入控制区。控制区出、入口上张贴电离辐射警告标识, 警示无关人员不要在出、入口长久停留。工作人员入、出口均设有工作人员门禁系统。SPECT/CT 室、PET/CT 室等机房防护门上方设置工作状态指示灯, 安装门灯连锁装置, 控制室防护门关闭, 警示灯自动亮起。

(2) 放射性表面污染控制措施: 注射区、高活室、扫描室、储源间、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊等场所地面用无缝隙、防渗, 且容易清洗和去污的材料覆盖 (如地胶等), 墙面 1.5m 高度张贴防渗的墙面 (如铝塑面板或釉面砖) 等, 便于去污。手套箱和工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。工作人员进入辐射工作区, 穿工作服, 涉及放射性药物的操作佩戴乳

胶手套。工作人员相关操作后应使用仪器及时监测个人防护用品外表面、操作用品和操作场所的表面污染。

(3) 外照射防护：高活室注射区设 2 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗（40mmPb/20mmPb 当量）和 1 个 5mmPb 可移动铅屏蔽注射车（负荷室注射时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量。候诊室、显像室均为实体屏蔽，至少配备 14 个铅废物桶、1 个贮存放射性药物的铅屏蔽盒、2 个钨合金注射防护套和 3 套铅衣、铅围裙、铅围脖（SPECT/CT 使用）（详见表 10.2-4）。核医学科控制区边界、核素操作、受检人员候诊和扫描场所外围墙体采用实体屏蔽措施，顶棚和底板为混凝土浇筑，患者进、出通道门安装铅制防护门。检查机房安装铅制防护门（具有防夹功能），观察窗安装铅玻璃。保证核医学科控制区边界外的辐射剂量率不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 内照射的防护：高活室配备 2 个具有防护功能的手套箱（高能 40mmPb/低能 20mmPb 当量）；在肺通气室配备 1 套集气罩，并都带有活性炭过滤器，手套箱设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。在手套箱内分装放射性药物。手套箱设置专用排风管道，排风口引至住院一部楼顶。手套箱的风量满足要求（风速大于  $0.5\text{m/s}$ ）。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，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。此外，在高活室、留观区、PET/CT 室、SPECT/CT 室、储源间、废物间等其它场所均设置排风口，排风同样由专用排风管道引至住院一部楼顶，经活性炭过滤后排放。

(5) 妥善收集固体放射性废物。注射窗旁设 20mmPb 和 5mmPb 的废物桶各 1 个（容积 10L），暂存废弃的放射性药物注射器、诊断试剂盒、包装物、棉棒、一次性用品等，每周星期一早上转移至核医学科放射性废物间。核医学科废物间设置 4 个 5mm 铅的废物桶（容积 20L），2 个用来轮流贮存 A 类废物，2 个用来轮流贮存 B 类废物。2 间候诊室、2 间留观室、负荷室、肺通气室、甲功室各配 1 个 5mmPb 的废物桶（共 7 个，每个容积 5L）。放射性固废依照 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求了解控处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。在患者给药候诊室拟配备普通废物桶。

(6) 放射性废水收集处置设施：核医学科高活室内洗手池废水，污洗间废水，给药后患者专用卫生间的冲厕废水以及应急产生的废水等，通过专用管道一并进入的衰变池。放射性废水排放管道路线在建筑面层内敷设时有混凝土垫层，或者在管道层、管道井，没人员活动区，放射性废水专用管道外表面拟采用至少20cm 砼厚度的防护。衰变池采用槽式设计，衰变池总容积约 32.58m<sup>3</sup>（16.29m<sup>3</sup> ×2 池，不含推流池体积）。核医学科解控排放的废水，排入医院污水处理站，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。

(7) 储源间将采取安保措施，安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等，落实放射源和放射性药品的三级安全防范措施，安装火灾报警器，配备灭火器材，以及必要的警示标志，活度高的放射源平常储存在铅桶内。

(8) 在核医学科患者通道入口处、留观室、给药后候诊区等处均拟设置视频监控系統，便于观察和管理给药患者的活动。在控制室和机房、留观室、待检患者候诊区等处安装对讲装置。淋浴水采用刷卡控制器进行控制，磁卡由核医学科主任保管，刷卡才能出水。

(9) 按需要量制备或订购同位素，到货同位素，核医学科专门人员负责点对点接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。在核医学科内登记交接后贮存在高活室手套箱内，注射后的注射器立即放回屏蔽包装内，防止被盗和污染，由放射性药品供货公司取回。

(10) 全部辐射工作人员须通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗，所有人员开展个人剂量监测。

(11) 核医学科拟利用旧现有的便携式辐射剂量巡测仪和表面污染仪各 1 台，同时新增 1 套固定式剂量报警仪（1 探头，位于患者出口走廊墙上），用于表面污染和剂量率水平的检测。工作人员进入辐射控制区，穿工作服，涉及放射性的操作佩戴乳胶手套，工作结束后，离开控制区前进行体表和相关场所的表面污染监测。

(12) 定期开展工作场所和环境辐射监测。每月自行对辐射工作场所卫生通过间、工作人员操作位、走廊等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区域进行常规的 X/γ 剂量率。每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及肺通气设备表面等进行表面污染监测，监测

数据记录存档β表面污染监测。每年委托有能力的检测单位对辐射场所的剂量率水平和表面污染水平监测。

(13) 候诊室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断，其中 SPECT/CT 注射后候诊室患者间设 4 个 2mm 铅当量铅屏风，PET/CT 注射后候诊室患者之间配备 2 个 6mm 铅当量的铅屏风，同时在防护门一侧配备 1 个 6mm 铅当量的铅屏风；留观室（PET/CT、SPECT/CT 患者留观）患者之间配 2 个 6mm 铅当量的铅屏风，同时在防护门一侧配备 1 个 6mm 铅当量的铅屏风，减少受检者候诊期间的相互照射。

(14) 部分患者因身体不便等原因需要家属陪护检查的，将告知其近距离接触可能受到少量辐射照射的实际。在患者候诊室内设铅屏风，以减少陪护家属的受照剂量。

(15) 在核医学科地面设置受检者导流标志，依次为登记，注射，候检，检查，留观，出口等。

(16) 外单位送药时间一般安排在上午 7:00，科室病患较少的时间，可以减少与送药人员的交汇。核医学科设专门人员负责在高活室内摄像头下“点对点”接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

### 10.2.3 本项目配备的监测仪器和防护用品

本项目投入使用前，医院将新购一批辐射监测设备，本项目检测仪器如表 10.2-3 所示。此外，将配备一些防护用品，具体见表 10.2-4 所示。

表 10.2-3 本项目检测仪器清单

序号	仪器名称	型号	数量	使用场所	备注
1	便携式辐射剂量巡测仪	RJ21-1155	1	核医学	利旧
2	表面污染监测仪	Inspector	1	核医学	利旧
3	固定式剂量报警仪	待定	2	1 个探头：核医学患者出口处	拟新增

表 10.2-4 核医学科配备的防护设施表

名称	数量 (个)	规格	使用场所
手套箱	1	50mmPb ( <sup>18</sup> F)	核医学科高活室
	1	20mmPb ( <sup>99m</sup> Tc)	
注射器防护套	2	1 个 20mmPb 钨合金、1 个 10mmPb 钨合金	核医学科高活室
翻转式铅罐	1	40mmPb	核医学科高活室
转运防护盒	1	1 个 25mmPb	核医学科高活室

防护注射窗	4	1 个 40mmPb、1 个 20mmPb	核医学科注射窗口
注射车	1	5mmpb	负荷室
储源保险柜	1	型号待定	源库
储源铅桶	1	20mmpb	源库
铅废物桶	4	5mmPb (不低于 20L)	核医学科废物间 4 个
	1	20mmPb (不低于 20L)	核医学科注射窗旁
	1	5mmPb (不低于 20L)	核医学科注射窗旁
	7	5mmPb (不低于 5L)	2 间候诊室、2 间留观室、负荷室、肺通气室、甲功室各配 1 个
	1	10mmPb (不低于 20L)	患者出口处 1 个
铅衣、铅围脖	5	0.5mmPb/0.25mmPb	SPECT 机房和高活室
移动铅屏风	5	2mmPb	SPECT 候诊室
	2	6mmPb	PET 候诊室
	3	6mmPb	留观室 (SPECT、PET)

### 10.3 放射性废水暂存和排放

医院目前废水暂存设置了两组独立的暂存池，每组含 1 个沉淀池(14.64m<sup>3</sup>)，2 个推流式衰变池 (6.07m<sup>3</sup> × 2 池)，1 个槽式衰变池 (16.29m<sup>3</sup>)，放射性废水先进入沉淀池，依次排入推流式衰变池，再排入槽式衰变池暂存。本项目保守按每组 1 个槽式衰变池进行评价。

本项目拟利用现有住院一部楼外西南侧地下的 1 个放射性废水衰变池 (槽式，总容积约为 32.58m<sup>3</sup>，16.29m<sup>3</sup> × 2 池，不含推流池体积)。衰变池平面图见图 10.3-3。衰变池结构及控制管理如下：

#### (1) 衰变池结构

池体采用 C30 抗渗混凝土建造，池壁厚不小于 300mm 砼 (四周都是地下土层)，槽与槽之间隔板厚 200mm，底板厚 300mm 砼，顶板厚 200mm 砼。采取防渗措施。

#### (2) 衰变池控制和管理

- ① 医院针对衰变池设置了液位监控系统，液位达到最高液位时，两池采用室外手动阀门切换，两个衰变池独立工作，各自独立运行模式。分别按照最长衰变时长放置后，互换使用，避免放射性废液提前进入污水站，发生放射性污染。
- ② 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”方式，各衰变池互换运作。

- ③ 内置设备泵体采用切割式潜水泵，可将固体杂质粉碎成颗粒排除，阀门采用电/手动双控制球阀，为后续设备维护检修提供保障。
- ④ 放射性区域废水流入衰变区域，衰变池进水管设手动阀，出水采用潜水泵压力排出。
- ⑤ 每组衰变池工作模式：先运行第一组衰变池，将废水排入 A1 池进行沉淀，当废水水位达到 A1 与 A2 之间的推流导管液面高度时，废水自动通过导管推流进入 A2 池，当废水水位达到 A2 与 A3 之间的推流导管液面高度时，废水自动通过导管推流进入 A3 池，当废水水位达到 A3 与 A4 之间的推流导管液面高度时，废水自动通过导管推流进入 A4 池进行暂存衰变，在放射性废水暂存时间已超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天）后，检测达标后开动潜水泵排放。B 组衰变池工作模式与 A 组一致。
- ⑥ 两组衰变池工作模式：运行时先开启 A 组衰变池进水管电动阀，关闭 B 组衰变池进水管电动阀，待 A 组衰变池水位达到设计液位后，关闭 A 组衰变池进水管电动阀，打开 B 组衰变池进水管电动阀，使排水进入 B 组衰变池。待 B 组衰变池开始进水时，A 组衰变池放射性废水暂存时间已超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天）后，检测达标后开动潜水泵排放。待 B 组衰变池水位达到设计液位后，重复向 A 组衰变池进水（此时为排空状态）完成进水一个循环。
- ⑦ 池壁和池底采取防渗措施。施工单位要进行严格的渗漏检测，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

本项目核医学科产生的放射性废水排放情况如下：

核医学科产生的废水高活室缓冲更衣间产生的废水、给药后候诊室患者专用卫生间产生的废水、控制区污洗间废水、应急淋浴水、抽湿机冷凝水和留观室废水。这些放射性废水经独立的排水管道排入衰变池，衰变池的废水排出前，至少经 68 天衰变并检测合格后将经医院污水管网，排至市政污水处理厂。衰变池收集排放系统示意图见图 10.3-1，核医学科放射性废水路由图见图 10.3-2，核医学科放射性衰变池平、剖面布局见图 10.3-3。

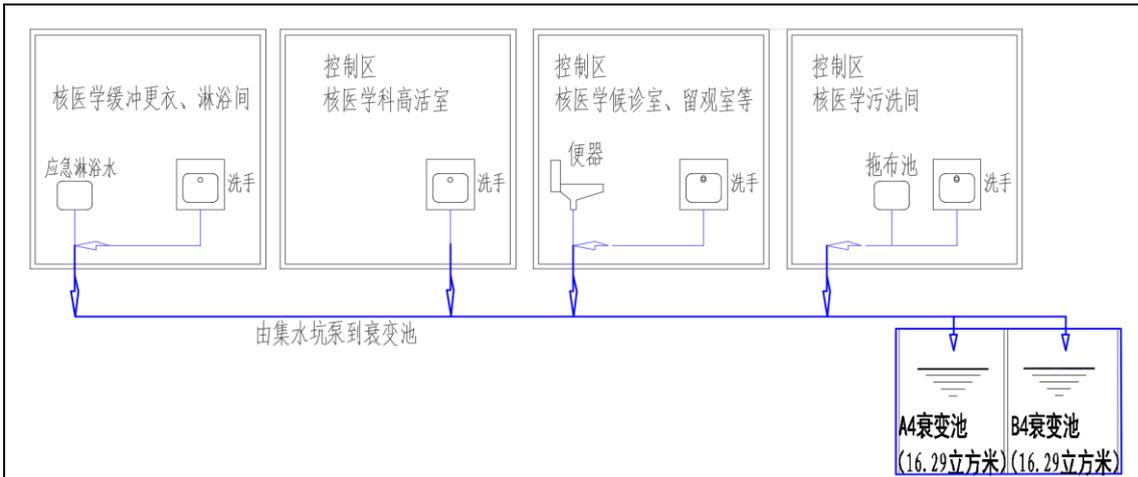


图 10.3-1 衰变池收集排放系统示意图

### 10.4 核医学科排风系统

建成后核医学科排风共设为 6 套独立排风系统。各排风系统的风机和活性炭过滤装置位于设备夹层，经净化处理后的废气由排风管道引至住院一部楼顶排风口排放。具体如下：

核医学科排风简化图见图 10.4-1，核医学科排风图见图 10.4-2，楼顶排风口位置图见图 10.4-3（楼顶 6 个排风口），排风口屋面走向剖面图图 10.4-4。

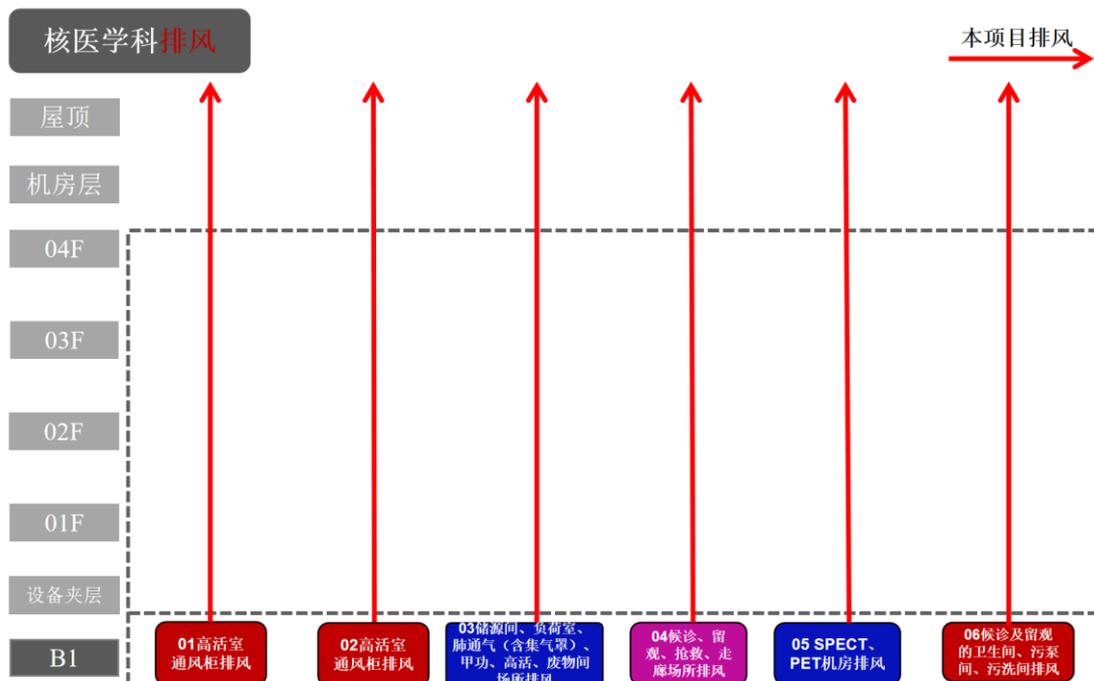


图 10.4-1 核医学科排风简化图

### 10.5“三废”的治理

核医学科产生放射性“三废”。放射性废气经通风系统的活性炭过滤后，在住

院一部顶部排放。放射性废水汇入放射性废水衰变池，暂存后解控处置。放射性固体废物分类贮存于废物间内，定期进行解控处置。

核医学科废旧校验源，送交北京市城市放射性废物库。

## 10.6 法规符合情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，现对医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10.6-1 和表 10.6-2。

### 10.6.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10.6-1 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

**表 10.6-1 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表**

序号	应具备条件	落实情况	是否符合要求
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了辐射防护和安全管理委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理的工作，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确，本项目是已有科室改扩建项目，相关部门负责人不变。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。 医院拟为本项目配置至少新增 4 人辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源贮存库或设备。	储源间拟安装视频监控和红外报警系统和公共安全管理部门要求的防盗门，落实放射性同位素安全保卫措施。	落实后符合
4	放射性同位素与射线装置，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	在核医学科场所控制区入口处，机房门口、患者候诊区门口等位置拟设置放射性警告标识和中文警示说明。机房拟安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。	落实后符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	本项目核医学科利旧现有的便携式辐射剂量巡测仪、表面污染仪各 1 台，同时新增 1 套固定式剂量报警仪（1 探头），能够满足现在工作的需要。	落实后符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善和制定规章制度、操作规程、岗位职责及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、监测方案等。	落实后符合
7	产生放射性废气、废液、固体废	高活室内配备手套箱，设置专用排风管道，	落实后

	物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	排风引至本建筑物顶部排放。核医学科场所高活室内产生的废水，以及给药后患者专用卫生间产生的废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池，排放前委托有资质的检测机构。妥善收集固体放射性废物。废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入专用铅制储存箱，依照HJ1188-2021和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》作为医疗废物处理。	符合
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据本项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	落实后符合

### 10.6.2 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

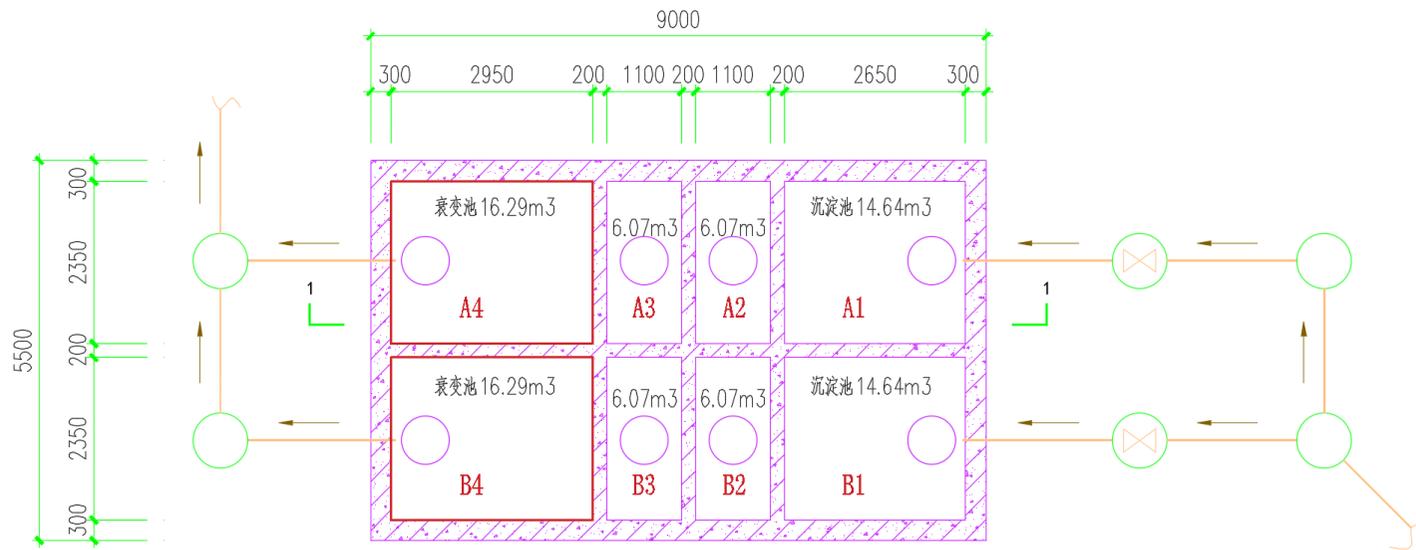
《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10.6-2 所示。

**表 10.6-2 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表**

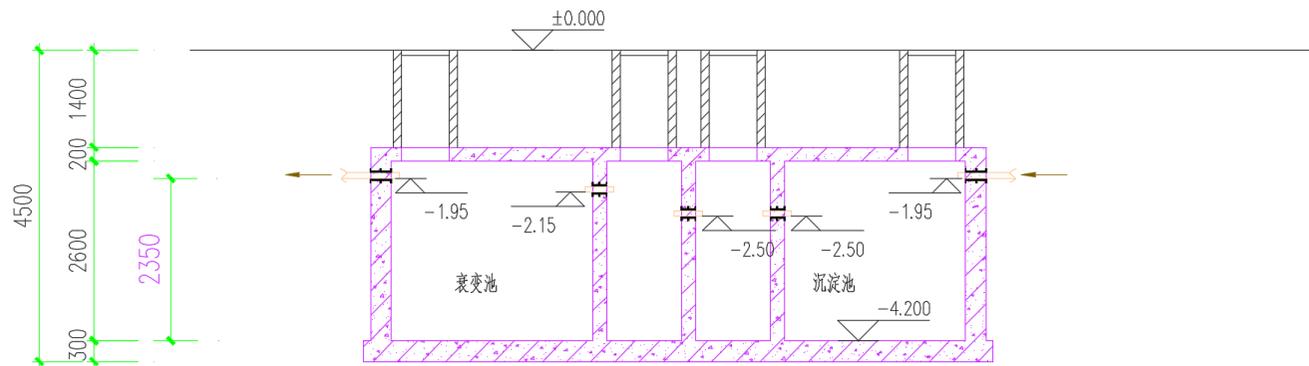
序号	安全和防护管理办法要求	落实情况	是否符合要求
1	<b>第五条</b> 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	机房外拟设置醒目的电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明。机房安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。储源间出入口拟设工作人员专用门禁、防盗门、入侵报警、视频监控等安全防范设施、技术防范系统等。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统等。	落实后符合
2	<b>第九条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每半年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。每天对高活室、注射区、候诊区的表面污染进行自行监测，并做好记录。	落实后符合
3	<b>第十二条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	医院在每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	落实后符合
4	<b>第十七条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从	医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。医院拟为本项目配置至少4人辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核	落实后符合

	事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	合格后持证上岗。	
5	<b>第二十三条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	将为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。	落实后符合
6	<b>第二十四条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合





北京老年医院衰变池平面图



1-1剖面图 (现状)

图 10.3-3 核医学科放射性废水衰变池平、剖面图



图 10.4-2 本项目核医学科排风图

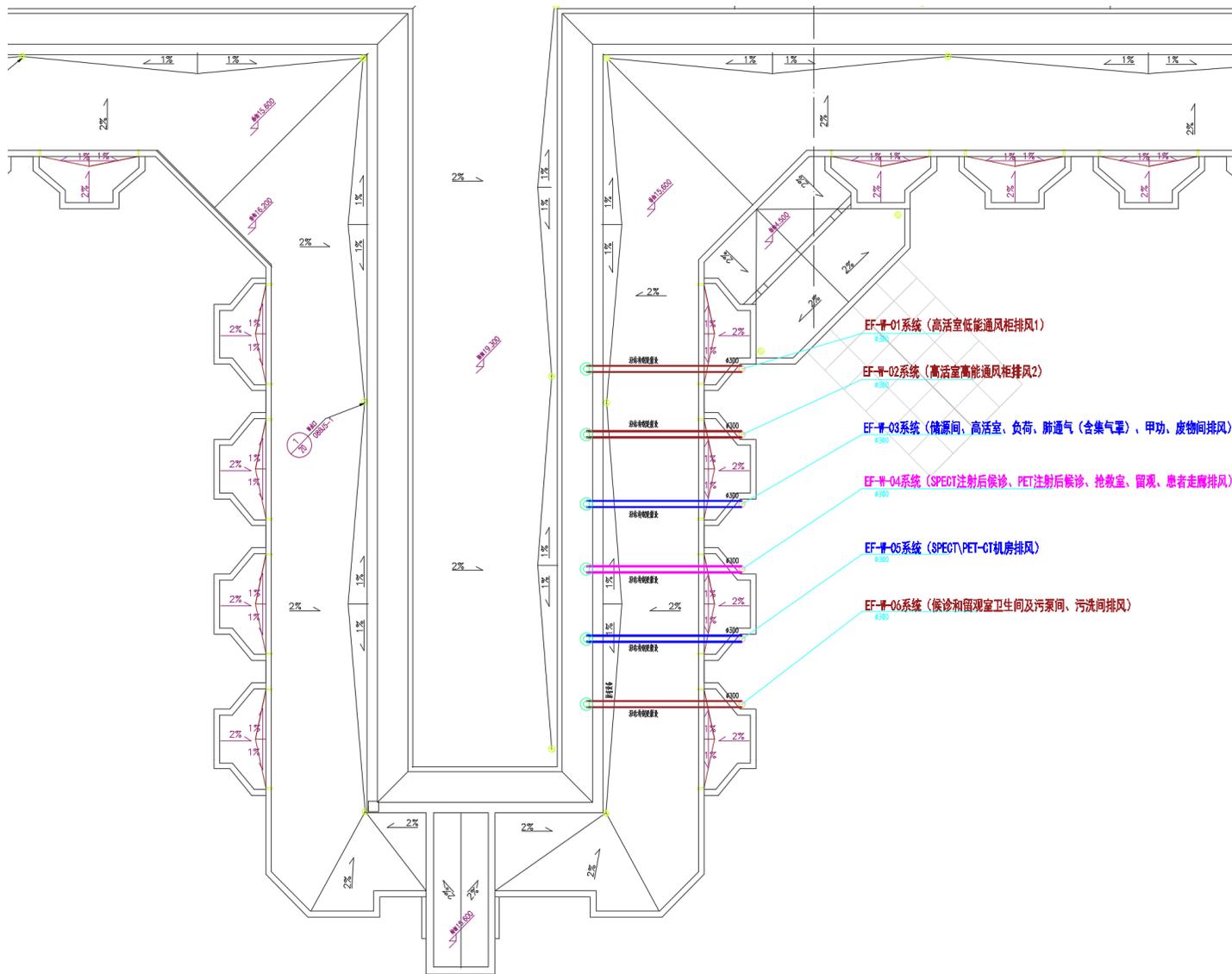


图 10.4-3 住院一部楼顶排风口平面位置图

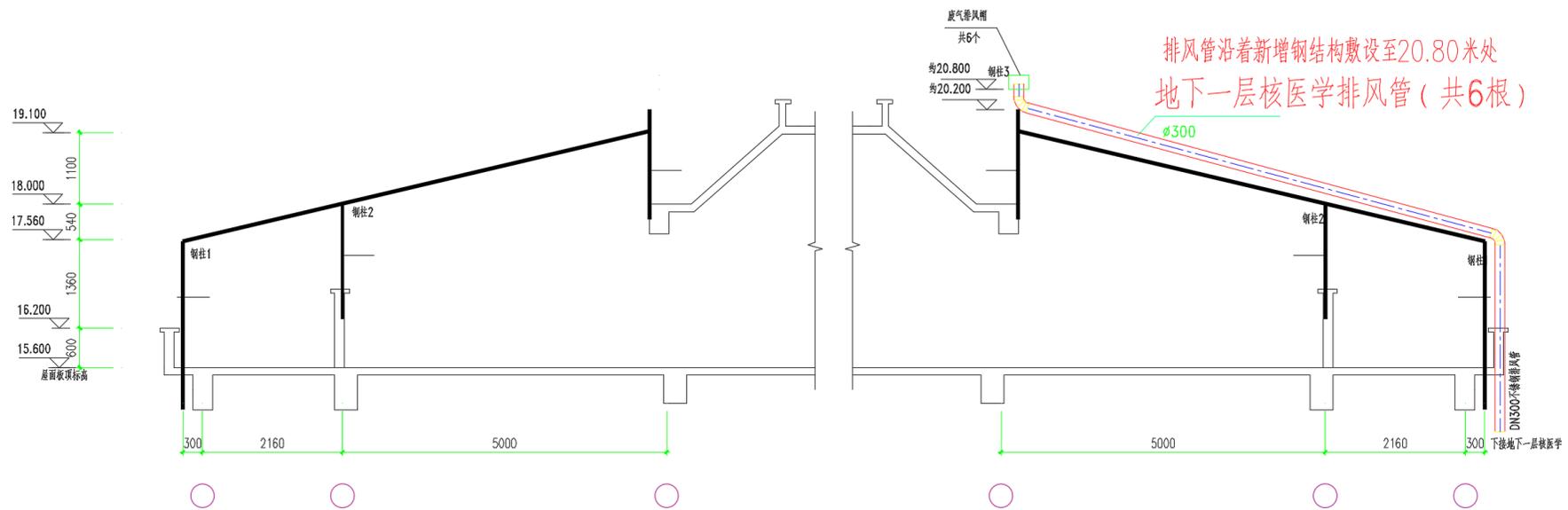


图 10.4-4 排风口屋面走向剖面图

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设或安装过程的环境影响

对于本项目而言，项目建设过程主要是在楼内进行改造施工活动，故本次对现有负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室等改造期间的影晌进行简单评价如下：

本次改造前核医学科停诊。改造前委托有资质单位对现有核医学科相关场所（现有负荷室、肺通气室、高活室、废物间、注射后候诊室等）、设备及配套设施（排水管和排风管区域）进行表面污染水平和剂量率检测，且在改造过程中，核医学科工作人员使用经检定或校准合格的检测仪器对施工的位置及配套设施表面污染和辐射剂量率水平进行自行监测，辐射剂量率满足所处环境本底水平且 $\beta$ 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，才可对相关位置及配套设施拆除改造，因此改造时，可以忽略辐射影响。

（1）改造场所内部分遗留设施在改造期间满足解控要求后可作为普通物品继续使用或处置。

（2）改造工作人员及周边公众成员在改造实施阶段，基本不会受到来自拟改造区域的辐射照射，其改造阶段的有效剂量可忽略。

（3）改造实施阶段拆解的设施基本不会存在放射性污染，拆解并经监测后可作为普通废物进行处理，基本不会对周边环境产生辐射影响。

综上所述可知，本项目改造期间的辐射影响基本上可以忽略，本项目主要关注设备投入运行后的环境影响。

### 11.2 核医学科门诊显像运行（使用）后对环境影晌

#### 11.2.1 辐射环境影响预测

##### 1. 核医学科的使用规划

医院根据核医学科目前诊疗使用的核素现状，结合核医学科的新药物发展，给出了本项目辐射工作场所核医学科使用规划，表 11.2-1 给出了拟使用的放射性核素种类、用途以及最大工作量等信息。

表 11.2-1 核医学科的使用规划

序号	核素种类	类别	最大工作量			用途 (年总人次)
			人次/天	天数/年	用量/年 (Bq)	
1	F-18	A	20	250	1.85E+12	PET/CT 诊断 (5300)
2	Ga-68	A	2	50	1.85E+10	
3	Zr-89	B	2	50	1.85E+10	
4	Cu-64	B	2	50	1.85E+10	
5	Tc-99m	A	20	250	4.63E+12	SPECT/CT 诊断 (5350)
6	Tc-99m 锝气	A	2	50	7.40E+10	
7	I-123	B	5	50	9.25E+10	
8	I-131 (甲功测定)	B	5	100	1.67E+08	甲功检查 (500)
9	I-131 (甲亢治疗)	B	5	100	1.85E+11	门诊治疗 (850)
10	Sr-89	B	2	50	1.48E+10	
11	Ra-223	B	5	50	1.65E+09	
12	Lu-177	B	1	100	7.40E+11	门诊留观治疗 (100)

根据使用规划，每天使用 PET/CT 开展影像诊断最多 26 人次；核医学科每天使用 SPECT/CT 开展影像诊断最多 27 人次；甲功检查最多 5 人；每天开展核素门诊治疗最大 12 人次；门诊留观治疗每天最多 1 人次。

## 2. 剂量估算源强

(1) 骨扫描最大用量为  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，心肌、甲状旁腺显像最大用量为  $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ ，甲状腺、肾动态、肝脾、肺灌注、下肢静脉及颌下腺等各种脏器扫描用量相对较小，用量为  $1.85 \sim 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，锝气用量一般不超过  $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ 。保守按照最大注射  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$  的 Tc-99m 药物估算其辐射影响。注射  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$  Tc-99m 药物病人，其注射后 0、1、3h 后 1m 处的辐射剂量率分别为  $11.3 \mu\text{Sv/h}$ 、 $7.9 \mu\text{Sv/h}$ 、 $4.4 \mu\text{Sv/h}$  (Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd)。核素 Tc-99m 源的  $K_\gamma$  常数为  $0.0303 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，距  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$  ( $25 \text{mCi}$ ) Tc-99m 1m 处的裸源剂量率为  $28.0 \mu\text{Sv/h}$ 。

(2) PET 扫描中 F-18 使用量  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ /人次估算其辐射影响。根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的  $K_\gamma$  常数为  $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，给患者注射  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$  的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为  $34 \mu\text{Sv/h}$  (考虑患者自吸收因子 0.36)；注射时裸源 1m 处剂量率  $52.9 \mu\text{Sv/h}$  (不考虑患者自吸收因子 0.36)。

(3) F-18 需要在高活室再次分装，每次转运防护罐盛装最大量一般不超过

3.7GBq（保守按 7.4GBq 估算），操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 1058 $\mu$ Sv/h，储存在手套箱内有 40mmPb 的铅罐和 50mmPb 手套箱屏蔽（90mmPb 的衰减因子为 3.79E-06），屏蔽后剂量率为 6.26E-03 $\mu$ Sv/h（手套箱外 0.3m，取 0.8m 估算）。假设分装时铅罐盖打开（即朝斜上方没有铅罐屏蔽），源距手套箱上表面至少 1m 以上，则距手套箱上表面外 30cm 处的剂量率不大于 6.09E-01 $\mu$ Sv/h，但铅罐储存时基本都是盖屏蔽，因此在储存状态对环境的影响可忽略。考虑到抽取药液时，短时存在屏蔽盖打开的情况，分装操作在正面 50mmPb 当量的手套箱进行，手套箱外表面 30cm 处（人员操作位，约 0.8m）的周围剂量当量率约为 1.61 $\mu$ Sv/h。分装过程中每次最多只有 10mCi 在铅罐外（其他都储存在铅罐里），操作位也经过 50mmPb 手套箱屏蔽（衰减因子为 9.73E-04），屏蔽后剂量率为 8.04E-2 $\mu$ Sv/h（距离取 0.8m，距手套箱正面外 0.3m 处），则放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率能保证小于 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求，因此在储存分装状态对环境的影响可忽略。

（4）PET/CT 注射后候诊室最多 3 名受检者同时候诊，SPECT/CT 注射后候诊室最多 6 名受检者同时候诊，一般注射后无需留观，留观室最多同时停留 3 名检查后留观片刻的受检者。留观室（Lu-177 患者）最多 1 名患者同时留观治疗。考虑到候诊床或者座椅间隔布置，在计算楼上附加剂量率时，考虑叠加效果。

（5）PET/CT 设备使用密封校验源开展设备校验，使用的 1 枚 Ge-68 活度分别为  $1.11 \times 10^8$ Bq，Ge-68 的衰变子体为 Ga-68。根据 AAPM Task Group 108 报告和辐射安全手册，核素 Ga-68 的  $K\gamma$  常数为  $0.134 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，距离质控源 1m 处的最大剂量率为 14.87 $\mu$ Sv/h，在储源室存储时有 20mm 铅桶屏蔽，经过屏蔽后 1m 处剂量率约为 9.28E-01 $\mu$ Sv/h。

（6）注射窗口废物桶铅当量不低于 20mm 铅当量（相对 F-18 的衰减因子为 6.24E-02），保守每次注射器中残留  $3.70 \times 10^6$ Bq，则距废物桶 30cm 处（约 0.5m）的附加剂量率为 0.13 $\mu$ Sv/h，假设上午有 20 个患者，考虑到时间的衰减，剂量率约 2.6 $\mu$ Sv/h；废物间废物桶铅当量不低于 5mm 铅当量，放射性废物周一上班时转移至废物间，废物的放射性活度大大降低，废物桶 30cm 处的剂量率一般低于 0.5 $\mu$ Sv/h，能够满足距废物桶 30cm 处 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求。

根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、90min）后的活度衰减因子为 0.68、0.57，每人候诊或检查期间（60min、40min、20min）

平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.88、0.94。

### 3. 关注点的选取

参考 AAPM108 号报告, 给出了计算关注点的原则, 即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处, 屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处, 同时也增加楼上和楼下 30cm 处剂量水平。

### 4. 估算方法

PET/CT 诊断以 F-18 核素评价 PET/CT 相关区域周围剂量率水平并进行受照剂量估算。SPECT/CT 诊断以 Tc-99m 核素评价 SPECT/CT 相关区域周围剂量率水平并进行受照剂量估算。

剂量估算中, 将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的注射器近似作为点源, 依照剂量率和距离成平方反比衰减的关系, 同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用, 估算高活室、扫描室、候诊区等有代表性场所周围的辐射剂量率和对职业人员、公众的附加照射剂量, 以及职业人员在患者摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

#### (1) 辐射剂量率估算公式

$$D_{\gamma} = D_0 \times r^{-2} \times 10^{-d/TVL} \quad (\text{公式 11.2-1})$$

式中:  $D_{\gamma}$ —关注点的  $\gamma$  剂量率  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$D_0$ —距源 1m 处的  $\gamma$  剂量率  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$r$ —关注点距源中心的距离, m;

$d$ —屏蔽厚度, cm;

$TVL$ — $\gamma$  射线 1/10 值层厚度, cm。对 F-18 来讲, 铅中  $TVL$  为 16.6mm, 混凝土中  $TVL$  为 176mm。对于 Tc-99m 来讲, 铅中  $TVL$  为 1mm, 混凝土中  $TVL$  保守取 110mm。其中 F-18 的估算考虑衰减因子的影响。

#### (2) 年有效剂量

附加年有效剂量计算公式:  $E = H \times t \times T$  (公式 11.2-2)

式中:  $E$ —年有效剂量,  $\mu\text{Sv}$ ;

$H$ —计算点附加剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$T$ —人员的居留因子;

$t$ —年曝光时间, h/a

## 11.2.2 场所周围不同位置的附加剂量率水平

### 1. 场所周围不同位置的附加剂量水平

基于上述源项，依照公式 11.2-1、公式 11.2-2，估算高活室、PET/CT 室、SPECT/CT、注射后候诊室、留观室等场所周围（含楼上、楼下）不同位置的最大附加剂量率。估算结果见表 11.2-2，估算点位示意图见图 11.2-1 和图 11.2-2。

表 11.2-2 核医学科周围不同位置的剂量率

场所名称	编号	估算点位	屏蔽材料与厚度	距离/m	衰减因子 B	屏蔽后附加剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	备注
PET/CT 室 (1 名 F-18 患者, $33.9 \times 0.68 = 23 \mu\text{Sv/h}@1\text{m}$ )	a1	东墙外患者走廊	20cm 混凝土砖 +2mmPb 铅板	3.3	8.20E-02	1.73E-01	控制区
	a2	南墙外患者走廊	20cm 混凝土砖 +2mmPb 铅板	3.5	8.20E-02	1.54E-01	控制区
	a3	西墙外清洗间	20cm 混凝土砖 +2mmPb 铅板	3.3	8.20E-02	1.73E-01	监督区
	a4	西墙外设备间	20cm 混凝土砖 +2mmPb 铅板	2.8	8.20E-02	2.40E-01	监督区
	a5	西墙外强电间	20cm 混凝土砖 +2mmPb 铅板	3.2	8.20E-02	1.84E-01	监督区
	a6	西墙外库房	20cm 混凝土砖 +2mmPb 铅板	4.5	8.20E-02	9.31E-02	监督区
	a7	北墙外操作间	20cm 混凝土砖 +2mmPb 铅板	5.1	8.20E-02	7.25E-02	监督区
	a8	东墙患者门外患者走廊	8mmPb	3.9	3.30E-01	4.99E-01	监督区
	a9	北墙工作人员门外操作间	8mmPb	5.4	3.30E-01	2.60E-01	控制区
	a10	北墙观察窗外操作间	8mmPb 当量铅玻璃	5.1	3.30E-01	2.92E-01	监督区
	a11	楼上（设备夹层）	11cm 混凝土楼板 +2mmPb 铅板	4.7	1.80E-01	1.87E-01	公众/人员不可达
	/	楼上（设备夹层）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +2mmPb 铅板	4.5	1.80E-01	2.04E-01	公众/人员不可达
	a12	楼上一层（浴室、换衣）	11cm 混凝土楼板 +2mmPb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	1.71E-02	9.28E-03	公众
/	楼上一层（浴室、换衣）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +2mmPb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	1.71E-02	9.88E-03	公众	
SPECT/CT 室 (1 名 925MBq Tc-99m 患者, $11.3 \mu\text{Sv/h}@1\text{m}$ )	b1	东墙外患者走廊	20cm 硅酸盐砖 +1mmPb 铅板	5.5	2.85E-03	1.06E-03	控制区
	b2	南墙外操作间	20cm 硅酸盐砖 +1mmPb 铅板	4.2	2.85E-03	1.82E-03	监督区
	b3	西墙外医护走廊	20cm 硅酸盐砖 +1mmPb 铅板	3.7	2.85E-03	2.35E-03	监督区
	b4	北墙外负荷室	20cm 硅酸盐砖 +1mmPb 铅板	3	2.85E-03	3.58E-03	控制区
	b5	北墙外肺通气室	20cm 硅酸盐砖 +1mmPb 铅板	3.1	2.85E-03	3.35E-03	控制区
	b6	东墙患者门外患者走廊	3mmPb	6.1	1.00E-03	3.04E-04	控制区
	b7	南墙工作人员门外操作间	3mmPb	4.9	1.00E-03	4.71E-04	监督区
	b8	南墙观察窗外操作间	6mmPb 当量铅玻璃	4.3	1.00E-06	6.11E-07	监督区
	b9	楼上（设备夹层）	11cm 混凝土楼板 +2mmPb 铅板	4.7	1.00E-03	5.12E-04	公众/人员不可达

	/	楼上（设备夹层）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板	4.5	1.00E-03	5.58E-04	公众/人员 不可达
	b10	楼上一层（护士站、走廊）	11cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	2.31E-05	6.18E-06	公众
	/	楼上一层（护士站、走廊）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	2.31E-05	6.58E-06	公众
PET/CT 注射 后候诊室 （1 名注射 10mCi F-18 患者， 34 $\mu$ Sv/h@1m ）	c1	东墙外地下土层	40cm 混凝土	1.8	5.34E-03	5.60E-02	地下土层
	c2	南墙外留观室 2 卫生间	20cm 混凝土砖 +3mmpb 铅板	3.1	7.13E-02	2.52E-01	控制区
	c3	西墙外患者走廊	20cm 混凝土砖 +3mmpb 铅板	2.2	7.13E-02	5.01E-01	控制区
	c4	北墙外抢救室	20cm 混凝土砖 +3mmpb 铅板	1.6	7.13E-02	9.48E-01	控制区
	c5	北墙外污水泵间	20cm 混凝土砖 +3mmpb 铅板	1.6	7.13E-02	9.48E-01	控制区
	c6	西墙防护门外患者走廊	6mmpb+西侧 6mmpb 移动铅屏风	2.6	1.89E-01	9.52E-01	控制区
	c7	楼上（设备夹层）	11cm 混凝土楼板 +4mmpb 铅板	4.7	1.36E-01	2.10E-01	公众/人员 不可达
	/	楼上（设备夹层）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +4mmpb 铅板	4.5	1.36E-01	2.29E-01	公众/人员 不可达
	c8	楼上一层（病房）	11cm 混凝土楼板 +4mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	1.29E-02	1.04E-02	公众
	/	楼上一层（病房）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +4mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	1.29E-02	1.11E-02	公众
SPECT 注射 后候诊室 （6 名 25mCi Tc-99m 患者 叠加， 11.3*6=67.8 $\mu$ Sv/h@1m）	d1	东墙外地下土层	40cm 混凝土	3.8	2.31E-04	1.08E-03	地下土层
	d2	南墙外废物间	20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	1.4	2.85E-03	9.85E-02	控制区
	d3	西墙外患者走廊	20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	4	2.85E-03	1.21E-02	控制区
	d4	北墙外甲功室	20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	2.3	2.85E-03	3.65E-02	控制区
	d5	北墙外输液室	20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	3.6	2.85E-03	1.49E-02	监督区
	d6	西墙防护门外患者走廊	2mmpb	4.1	1.00E-02	4.03E-02	控制区
	d7	楼上（设备夹层）	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.7	1.00E-02	3.07E-02	公众/人员 不可达
	/	楼上（设备夹层）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.5	1.00E-02	3.35E-02	公众/人员 不可达
	d8	楼上一层（病房）	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	2.31E-04	3.71E-04	公众
	/	楼上一层（病房）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	2.31E-04	3.95E-04	公众
高活室 （1 名 F-18 患 者裸源 52.9 $\mu$ Sv/h@1 m； 1 名 925MBq	e1	东墙外患者入口走廊	20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	3.3	9.42E-02	4.57E-01	监督区
			20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	1.9	2.85E-03	2.21E-02	监督区
	e2	南墙外肺通气室	20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	2.4	9.42E-02	8.65E-01	控制区

Tc-99m 患者, 裸源 28 $\mu$ Sv/h@1m )	e3	北墙外注射前 等候区	20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板	3	9.42E-02	5.53E-01	监督区
	e4	东墙防护门外 注射前等候区	6mmpb 防护门+保 守按 20mm 铅玻璃	3.6	2.71E-02	1.32E-01	监督区
			6mmpb 防护门+ (20cm 混凝土砖 +1mmpb 铅板)	2.6	2.85E-09	1.81E-08	监督区
	e5	西墙防护门外 缓冲更衣室	6mmpb 防护门	4.3	4.10E-02	1.23E-01	监督区
	e6	楼上(设备夹 层)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.7	2.06E-01	4.94E-01	公众/人员 不可达
	/	楼上(设备夹 层) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.5	2.06E-01	5.39E-01	公众/人员 不可达
	e7	楼上一层(换 药、处置室)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	1.96E-02	2.45E-02	公众
/	楼上(换药、处 置室) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	1.96E-02	2.61E-02	公众	
甲功室 (1 名 925MBq Tc-99m 患者, 11.3 $\mu$ Sv/h@1 m)	f1	东墙外输液室	20cm 混凝土砖	2	2.85E-02	8.05E-02	监督区
	f2	南墙外 SPECT/CT 注射 后等候室	20cm 混凝土砖	2.4	2.85E-02	5.59E-02	控制区
	f3	西墙外患者走 廊	20cm 混凝土砖	2.1	2.85E-02	7.30E-02	控制区
	f4	北墙外敷贴室	20cm 混凝土砖	1.5	2.85E-02	1.43E-01	监督区
	f5	西墙防护门外 患者走廊	2mmpb	2.0	1.00E-02	2.83E-02	控制区
	f6	北墙防护门外 敷贴室	2mmpb	2.1	1.00E-02	2.56E-02	监督区
	f7	楼上(设备夹 层)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.7	1.00E-02	5.12E-03	公众/人员 不可达
	/	楼上(设备夹 层) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.5	1.00E-02	5.58E-03	公众/人员 不可达
	f8	楼上一层(病 房)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	2.31E-04	6.18E-05	公众
/	楼上一层(病 房) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	2.31E-04	6.58E-05	公众	
肺通气室 (1 名 925MBq Tc-99m 患者, 11.3 $\mu$ Sv/h@1 m)	g1	东墙外患者走 廊	20cm 混凝土砖	3.2	2.85E-02	3.14E-02	控制区
	g2	南墙外 SPECT/CT 室	20cm 混凝土砖	1.2	2.85E-02	2.23E-01	控制区
	g3	西墙外负荷室	20cm 混凝土砖	2	2.85E-02	8.05E-02	控制区
	g4	北墙外患者注 射区	20cm 混凝土砖	2.1	2.85E-02	7.30E-02	控制区
	g5	东墙防护门外	2mmpb	3.3	1.00E-02	1.04E-02	控制区
	g6	西墙防护门外	2mmpb	2.3	1.00E-02	2.14E-02	控制区
	g7	楼上(设备夹 层)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.7	1.00E-02	5.12E-03	公众/人员 不可达
	/	楼上(设备夹 层) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	4.5	1.00E-02	5.58E-03	公众/人员 不可达
	g8	楼上一层(抢救 室)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	2.31E-04	6.18E-05	公众

	/	楼上一层(抢救室) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	2.31E-04	6.58E-05	公众
负荷室 (1名 925MBq Tc-99m 患者, 11.3μSv/h @1m)	h1	东墙外肺通气室	20cm 混凝土砖	h1	2.85E-02	2.96E-02	控制区
	h2	南墙外 SPECT/CT 室	20cm 混凝土砖	h2	2.85E-02	6.65E-02	控制区
	h3	西墙外医护走廊	20cm 混凝土砖	h3	2.85E-02	1.26E-01	监督区
	h4	北墙外缓冲更衣间	20cm 混凝土砖	h4	2.85E-02	1.26E-01	监督区
	h5	东墙防护门外	2mmpb 铅门	h5	1.00E-02	1.10E-02	控制区
	h6	东北墙防护门外注射区	2mmpb 铅门	h6	1.00E-02	9.22E-03	控制区
	h7	北墙防护门外高活室	2mmpb 铅门	h7	1.00E-02	1.04E-02	控制区
	h8	楼上(设备夹层)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	h8	1.00E-02	5.12E-03	公众/人员 不可达
	/	楼上(设备夹层) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板	/	1.00E-02	5.58E-03	公众/人员 不可达
	h9	楼上一层(抢救室、走廊)	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	h8a	2.31E-04	6.18E-05	公众
	/	楼上一层(抢救室、走廊) 30cm 处	11cm 混凝土楼板 +1mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	/	2.31E-04	6.58E-05	公众
储源间 (1枚 Ge-68 刻度源, 20mm 铅屏蔽 后 1m 剂量率 0.93μSv/h)	i1	东墙外预约登记/资料室	20cm 混凝土砖	2.5	1.08E-01	1.61E-02	监督区
	i2	南墙外高活室	20cm 混凝土砖	1.5	1.08E-01	4.47E-02	控制区
	i3	西墙外医护走廊	20cm 混凝土砖	1.3	1.08E-01	5.95E-02	监督区
	i4	北墙外预约登记/资料室	20cm 混凝土砖	1.3	1.08E-01	5.95E-02	监督区
	i5	南墙防盗门外高活室	0mmpb	2.1	1.00E+00	2.11E-01	控制区
	i6	楼上(设备夹层)	20cm 混凝土楼板	4.7	7.31E-02	3.08E-03	公众/人员 不可达
	/	楼上(设备夹层) 30cm 处	20cm 混凝土楼板	4.5	7.31E-02	3.36E-03	公众/人员 不可达
	i7	楼上一层(浴更衣室)	20cm 混凝土楼板 +18cm 混凝土楼板	6.5	6.93E-03	1.53E-04	公众
/	楼上一层(浴更衣室) 30cm 处	20cm 混凝土楼板 +18cm 混凝土楼板	6.3	6.93E-03	1.62E-04	公众	
留观室 2 (1名 F-18 患者, 23μSv/h@1m)	k1	东墙外地下土层	40cm 混凝土	1.8	5.34E-03	3.79E-02	地下土层
	k2	南墙外留观室 1	40cm 混凝土	1.8	5.34E-03	3.79E-02	控制区
	k3	西墙外患者走廊	20cm 混凝土砖	2.2	1.08E-01	5.14E-01	控制区
	k4	北墙外 PET 注射后等候室卫生间	20cm 混凝土砖	3.2	1.08E-01	2.43E-01	控制区
	k5	西墙防护门外患者走廊	6mmpb 铅门	2.9	4.35E-01	1.19E+00	控制区
	k6	楼上(设备夹层)	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板	4.7	1.06E-01	1.11E-01	公众/人员 不可达
	/	楼上(设备夹层) 30cm 处	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板	4.5	1.06E-01	1.21E-01	公众/人员 不可达

k7	楼上一层(病房)	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.5	1.01E-02	5.50E-03	公众
/	楼上一层(病房) 30cm 处	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	1.01E-02	5.86E-03	公众

注：①四周墙体距离为患者到屏蔽体外 30cm 处估算点，楼上为 30cm 处、50cm 处估算点。②砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，混凝土砖、硅酸盐砖密度不低于 2.0g/cm<sup>3</sup>，铅密度约 11.34g/cm<sup>3</sup>，墙面厚度未考虑水泥砂浆抹灰（密度不低于 2.0t/m<sup>3</sup>）。③混凝土砖、硅酸盐砖按密度折算为砼厚度估算，表中估算点均未考虑斜射屏蔽厚度。④PET/CT 注射后候诊室、留观室 2 按最近的距离进行保守估算。

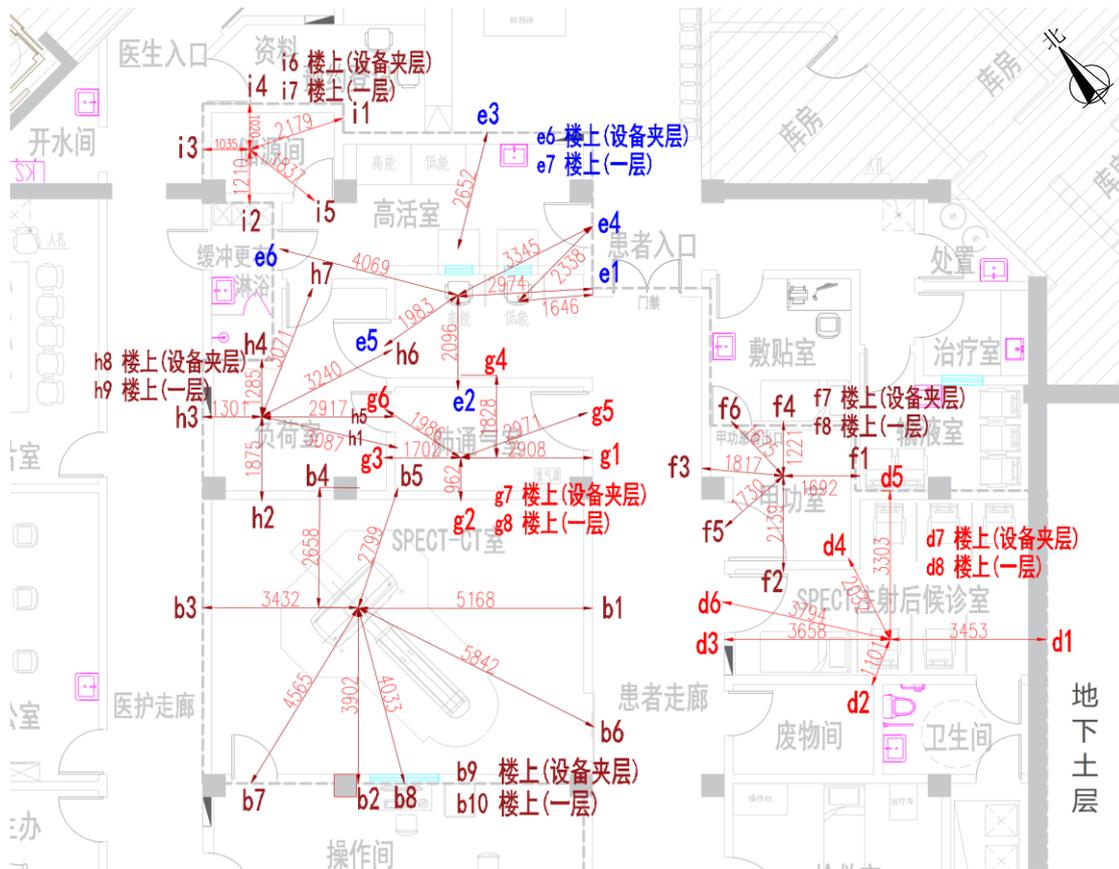


图 11.2-1 核医学场所估算点位置图（1）

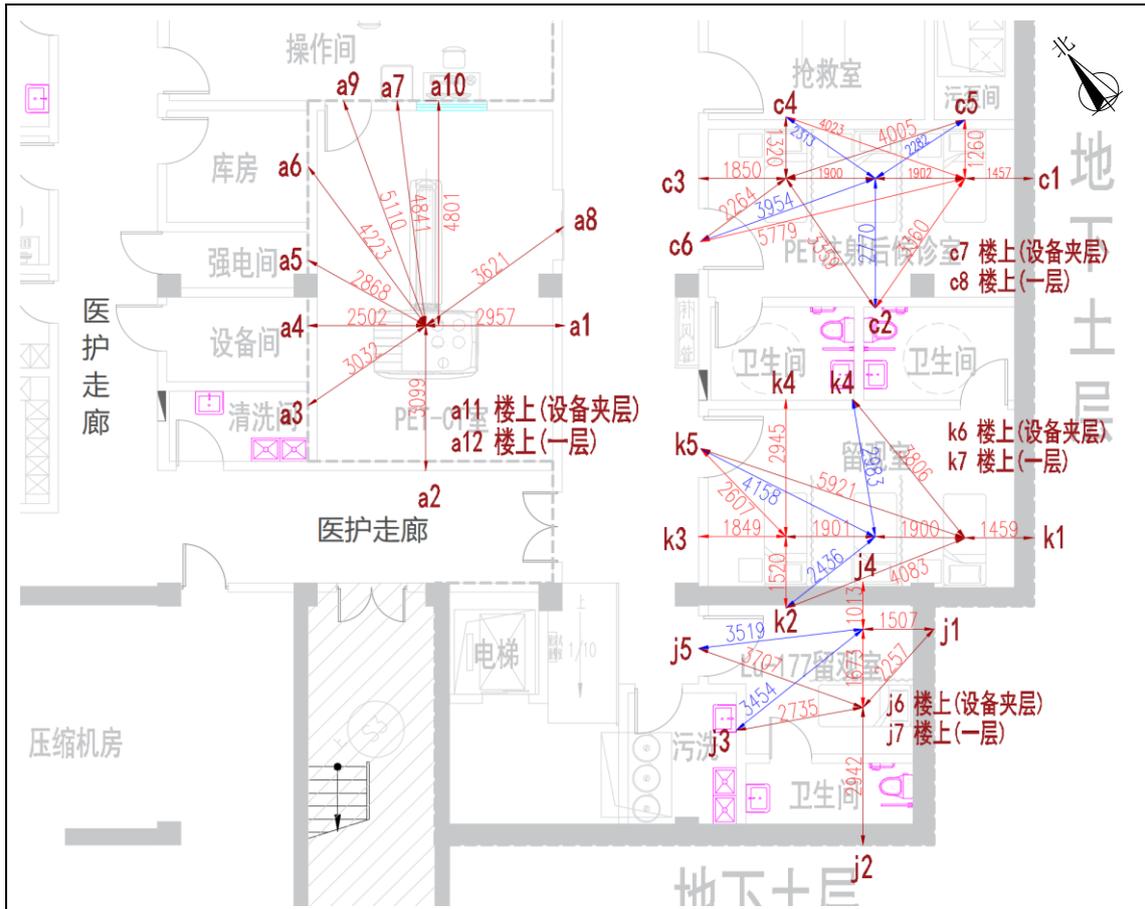


图 11.2-2 核医学场所估算点位置图 (2)

## 2. 周围不同位置的附加剂量叠加情况

上表中 SPECT 相关场所已保守按多名患者进行估算，PET 注射后候诊室、留观室同时存在多名注射后患者情况，主要位置剂量率叠加最大附加剂量率见表 11.2-3，核医学科主要位置剂量率叠加估算点位置见图 11.2-2。

表 11.2-3 主要位置剂量率叠加情况

场所名称	编号	估算点位	屏蔽材料与厚度	距离/m	衰减因子 B	屏蔽后附加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	累加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
PET/CT 注射后候诊室 (3 名注射 10mCi F-18 患者, $34 \times 3 = 102 \mu\text{Sv/h@1m}$ )	c1	东墙外地下土层	40cm 混凝土	1.8	$5.34\text{E-}03$	$5.60\text{E-}02$	<b><math>7.50\text{E-}02</math></b>
				3.7	$5.34\text{E-}03$	$1.33\text{E-}02$	
				5.6	$5.34\text{E-}03$	$5.79\text{E-}03$	
	c2	南墙外留观室 2 卫生间	20cm 混凝土砖 +3mmpb 铅板	3.1	$7.13\text{E-}02$	$2.52\text{E-}01$	<b><math>6.07\text{E-}01</math></b>
				3.7	$7.13\text{E-}02$	$1.77\text{E-}01$	
				3.7	$7.13\text{E-}02$	$1.77\text{E-}01$	
	c3	西墙外患者走廊	20cm 混凝土砖 +3mmpb 铅板	2.2	$7.13\text{E-}02$	$5.01\text{E-}01$	<b><math>7.13\text{E-}01</math></b>
				4.1	$7.13\text{E-}02$	$1.44\text{E-}01$	
				6	$7.13\text{E-}02$	$6.74\text{E-}02$	
	c4	北墙外抢救	20cm 混凝土砖	1.6	$7.13\text{E-}02$	$9.48\text{E-}01$	<b><math>1.44\text{E+}00</math></b>

	室		+3mmpb 铅板	2.6	7.13E-02	3.59E-01	
				4.3	7.13E-02	1.31E-01	
	c5	北墙外污泵间	20cm 混凝土砖 +3mmpb 铅板	1.6	7.13E-02	9.48E-01	<b>1.44E+00</b>
				2.6	7.13E-02	3.59E-01	
				4.3	7.13E-02	1.31E-01	
	c6	西墙防护门外	6mmpb 铅门+西侧 6mmpb 移动铅屏风	2.6	1.89E-01	9.52E-01	<b>1.14E+00</b>
			6mmpb 铅门+西侧 6mmpb 移动铅屏风 +患者间 6mmpb 移 动铅屏风	4.3	8.23E-02	1.51E-01	
			6mmpb 铅门+西侧 6mmpb 移动铅屏风 +患者间 6mmpb 移 动铅屏风*2	6.1	3.58E-02	3.27E-02	
c7	楼上（设备夹层）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +4mmpb 铅板	4.5	1.36E-01	6.86E-01	<b>6.86E-01</b>	
c8	楼上一层（病房）30cm 处	11cm 混凝土楼板 +4mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	6.3	7.66E-03	1.97E-02	<b>1.97E-02</b>	
留观室 2 (3 名注射 10mCi F-18 患者, 33*3=102μS v/h@1m)	k1	东墙外地下 土层	40cm 混凝土	1.8	5.34E-03	5.60E-02	<b>7.50-02</b>
				3.7	5.34E-03	1.33E-02	
				5.6	5.34E-03	5.79E-03	
	k2	南墙外留观 室 1	40cm 混凝土	1.8	5.34E-03	5.60E-02	<b>9.03-02</b>
				2.7	5.34E-03	2.49E-02	
				4.4	5.34E-03	9.37E-03	
	k3	西墙外患者 走廊	20cm 混凝土砖	2.2	1.08E-01	7.60E-01	<b>1.08+00</b>
				4.1	1.08E-01	2.19E-01	
				5.6	1.08E-01	1.02E-01	
	k4	北墙外 PET 注射后候诊 室	20cm 混凝土砖	3.3	1.08E-01	3.38E-01	<b>8.94E-01</b>
				3.3	1.08E-01	3.38E-01	
				4.1	1.08E-01	2.19E-01	
	k5	西墙防护门外	6mmpb 铅门+西侧 6mmpb 移动铅屏风	2.9	1.89E-01	7.65E-01	<b>9.35E-01</b>
			6mmpb 铅门+西侧 6mmpb 移动铅屏风 +患者间 6mmpb 移 动铅屏风	4.5	8.23E-02	1.38E-01	
6mmpb 铅门+西侧 6mmpb 移动铅屏风 +患者间 6mmpb 移 动铅屏风*2			6.2	3.58E-02	3.17E-02		
k6	楼上（设备夹层）30cm 处	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板	5.1	1.06E-01	5.36E-01	<b>5.36E-01</b>	
k7	楼上一层（病房）30cm 处	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板 +18cm 混凝土楼板	5.1	1.01E-02	2.60E-02	<b>2.60E-02</b>	

备注：①四周墙体距离为患者到屏蔽体外 30cm 处估算点，楼上为 30cm 处、50cm 处估算点。②砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，混凝土砖、硅酸盐砖密度不低于 2.0g/cm<sup>3</sup>，铅密度约 11.34g/cm<sup>3</sup>，墙面厚度未考虑水泥砂浆抹灰（密度不低于 2.0t/m<sup>3</sup>）。③混凝土砖、硅酸盐砖按密度折算为砼厚度估算，防护门处估

算点未考虑斜射。

由表 11.2-2 和表 11.2-3 可见：

(1) 本项目运行后，核医学科的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平不大于  $9.52\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （PET/CT 注射后候诊室西墙防护门外患者走廊 c6），对楼上的附加剂量最大为  $2.04\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （PET/CT 室楼上设备夹层 a11，人员不可达），对楼上的附加剂量最大为  $2.61\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ （高活室楼上一层病房，投影换药、处置室 e7）。

(2) PET/CT 室周围的附加剂量率低于  $4.99\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （东墙患者门外患者走廊 a8），SPECT/CT 室周围的附加剂量率低于  $3.58\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ （北墙外负荷室 b4），均满足  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制要求。

(3) 控制区内候诊室、留观室 2 周围的附加剂量率最大为  $9.52\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （PET/CT 注射后候诊室西墙防护门外患者走廊 c6），也满足不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制要求。

### 3. PET/CT、SPECT/CT 中 CT 的剂量叠加分析

本项目 SPECT/CT 和 PET/CT 机房墙体、顶棚、地板、观察窗和防护门采取的辐射屏蔽措施均不低于 3mm 铅当量，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）给出的 2.5mm 铅当量防护要求，机房面积和单边长度也分别满足  $30\text{ m}^2$  和 4.5m 的要求。

参照西门子厂家 140kVp 工况下普通 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为  $0.052\mu\text{Gy/mAs}$ （垂直）和  $0.051\mu\text{Gy/mAs}$ （水平），CT 扫描通常不超过 300mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约  $56.16\text{mGy/h}$ ，故以此为例评价 CT 运行时叠加辐射影响。

根据本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房的屏蔽设计，相对于 CT 的铅当量不小于  $3.0\text{mmPb}$ （SPECT 机房防护门），透射系数小于  $1.28\text{E-}04$ ，按照关注点距散射点的最近距离 2.8m 估算，CT 运行所致周围的附加剂量率约为  $0.91\mu\text{Sv/h}$ 。保守假设全部 PET/CT、SPECT/CT 检查人员做 CT 扫描，SPECT/CT、PET/CT 全年运行扫描时间分别为 44.2h（30s/人）、44.6h，对 SPECT/CT、PET/CT 机房周围全居留人员的最大附加剂量贡献不大于  $38.6\mu\text{Sv}$ 、 $40.4\mu\text{Sv}$ 。

患者检查时 PET/CT 机房周围最大附加剂量率为  $4.99\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （东墙患者门外患者走廊 a8）、SPECT/CT 机房周围最大附加剂量率为  $3.58\text{E-}03$ （北墙外负

荷室 b4)，即使叠加上 CT 运行所致剂量率 0.91 $\mu$ Gy/h，也满足 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求，且 SPECT/CT、PET/CT 中 CT 运行时工作条件低于放射科诊断 CT，可以预计，SPECT/CT 和 PET/CT 设备的 CT 装置运行时，机房周围剂量率水平将保持在正常本底水平，对给药患者发射的  $\gamma$  射线和刻度源的叠加效果可以忽略，主要是要关注施工过程中防护材料的搭接问题（如门体与门框、铅玻璃与墙面的搭接等），如果能保证施工工艺的情况下，可以忽略 SPECT/CT、PET/CT 中 CT 的影响。

### 11.2.3 周围公众受照剂量估算

核医学科实行每日一班制，全年工作 250d。根据表 11.2-1 所列最大工作量进行剂量估算。假设：

(1) 每年 SPECT/CT 检查最大人数为 5350 人次，扫描时间平均约为 20min/人次，受检者在每间机房内的停留时间约为 1783.3h。SPECT/CT 注射后候诊室内人员的停留时间保守取 2000h（候诊室周围剂量率水平按 6 人累加估算）。

(2) 按照 10% 的 SPECT 检查患者做负荷室试验，年负荷室患者约 535 人，每人次约 15min 左右，负荷室兼抢救室患者的停留时间为 133.8h。

(3) 以每年最多开展 5300 人次 PET 检查，每次 PET/CT 平均扫描时间为 20min 计，则每台 PET/CT 室显像时间为 883.3h，每间候诊室停留时间保守取 2000h（PET/CT 注射后候诊室、留观室 2 周围剂量率水平分别按 3 人累加估算，一般注射后无需留观）。

(4) PET/CT 扫描患者采用预置针方式注射，每人次的药物注射时间为 30s/人。SPECT/CT 患者采用直接静脉注射的方式注射，注射时间按 60s/人计。注射室全年注射 SPECT 药物总时间为 89.2h，注射 PET 药物总时间为 44.2h。

(5) 手套箱内每天进行 PET 药物分装时间 1min/人次，全年累计分装时间为 88.3h（保守按每种正电子核素都要分装估算）。

核医学科场所分区管理，病人给药、候诊和检查区域等属于控制区，通常只有受检病人停留，不按公众区域考虑，患者及其陪同人员，仅在机房外围有一定的驻留，他们不是机房的主要防护对象（年居留因子 T 很小， $T < 1/40$ ）。本项目楼上紧邻为设备夹层，公众估算以楼上一层投影场所估算公众年附加剂量。

表 11.2-4 核医学主要位置的公众年附加剂量估算

场所名称	编号	估算点位	附加剂量率 $\mu$ Sv/h	居留因子	全居留时间 (h/a)	年附加剂量 ( $\mu$ Sv/a)
PET/CT 室	a6	西墙外库房	9.31E-02	1/16	883.3	4.83E+00

(1名F-18患者, 23μSv/h@1m)	a12	楼上一层(浴室、换衣)30cm处	9.88E-03	1/16	883.3	5.13E-01
SPECT/CT室 (1名Tc-99m患者, 11.3μSv/h@1m)	b10	楼上一层(护士站、走廊)30cm处	6.58E-06	1/16	1783.3	7.33E-04
PET/CT注射后候诊室(3名F-18患者, 102μSv/h@1m)	c8	楼上一层(病房)30cm处	1.97E-02	1	2000	3.27E+01
SPECT/CT注射后候诊室(6名Tc-99m患者叠加, 67.8μSv/h@1m)	d8	楼上一层(病房)30cm处	3.95E-04	1/16	2000	7.89E-01
留观室2(3名F-18患者, 102μSv/h@1m)	k7	楼上一层(病房)30cm处	2.60E-02	1	2000	4.31E+01
高活室(10mCi F-18, 52.9μSv/h@1m)	E7	楼上(换药、处置室)30cm处	2.61E-02	1/16	133.4	2.18E-01

备注：其中F-18年附加剂量考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减，由公式  $D(t) = DI \times T \times t \times R_{II}$  算出，其中  $t$  为时间， $R_{II}$  为每人检查期间平均活度相对检查初始的活度因子（60min、40min、20min 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.88、0.94），其中高活室、SPECT/CT室、SPECT/CT注射后候诊室周围未考虑  $R_{II}$  的影响。

由表 11.2-4 给出了的公众可能受照剂量估算结果可见，检查对公众的辐射照射剂量最大不超过 32.7μSv/a(PET/CT注射后候诊室楼上一层病房30cm处 a12)，满足本项目设定的 0.1mSv/a（100μSv/a）的剂量约束值要求。

#### 11.2.4 工作人员显像环节年受照剂量

##### 1. 工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

该场所一般只有 F-18 正电子核素需要分装，放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率保守按照 2.5μSv/h 估算。药物分装时间 1min/人次，分装操作时间全年保守按 88.3 估算（5300 人次/年），则工作人员所受的年附加剂量约为 220.83μSv。

##### 2. 工作人员为药物转运环节工作人员的受照剂量

本项目中正电子核素采用药物转运防护罐（40mmPb）或注射器转运防护箱（25mmPb）运输，1m 处剂量率低于 2.5μSv/h，运输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算（剂量率不大于 10μSv/h 估算）。每次从手套箱转移到注射窗口按 10s 估算，则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 10μSv/h×10s/人×5300 人次×1/3600s/h≈147.22μSv。

##### 3. 工作人员为患者进行药物注射环节的受照剂量

据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radionuclide And Radiation Protection Data Handbook 2002]给出：距活度为 1MBq 的 F-18 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为  $1.81 \times 10^{-3}$  mSv/h，注射 370MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 670μSv/h。注射时采用了具有 40mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护，

剂量率可以降低两个量级（在约 340MBq 的注射量情况下，北京肿瘤医院工作人员腹部位的实测值为 6.6 $\mu$ Sv/h），本项目衰减后值取 10 $\mu$ Sv/h。注射操作时间短，每人每次的注射时间为 30s，年总操作时间约 44.2h，则工作人员所受的年附加剂量为 441.67 $\mu$ Sv。

手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5ml Tc-99m 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 2.6 $\times 10^{-4}$ mSv/h。所以，注射 925MBq（25mCi）的 Tc-99m，距 30cm 处人的深部当量剂量率为 240 $\mu$ Sv/h。注射时采用具有防护功能的铅玻璃窗屏蔽（20mm 铅当量的铅玻璃），若注射窗完全屏蔽时衰减因子小于 1.0E-20，5mmPb 注射车衰减因子为 1.0E-05，操作时注射窗口可能不能完全屏蔽人体的所有部位，剂量率按降低两个量级 2.4 $\mu$ Sv/h 估算，年总操作时间约 44.6h（SPECT/CT 检查 5350 人次），则工作人员所受的年附加剂量为 107.04 $\mu$ Sv。

尽量减少手部直接接触，注射可采用“三通”装置或使用带有屏蔽套的注射器等措施。

#### 4. 工作人员指导病人摆位环节的年受照剂量

（1）PET/CT 摆位：注射 370MBq（10mCi）的 F-18 药物的病人，1m 处的剂量率约为 23 $\mu$ Sv/h。PET/CT 摆位（1m 处）时间 30s/人，医院制度规定 PET/CT 患者都是广播指导摆位，每台 PET/CT 扫描和摆位工作由 2 名技师完成，则 PET/CT 累计摆位时间不大于 44.2h，则每名摆位工作人员所受到的年附加剂量 23 $\mu$ Sv/h $\times$ 44.2h/2 $\approx$ 507.92 $\mu$ Sv。

（2）SPECT/CT 摆位：注射 925MBq（25mCi）的 Tc-99m 药物的病人，1m 处的剂量率约为 11.3 $\mu$ Sv/h。假设摆位人员距离病人距离 100cm，保守按全年进行 SPECT 检查的最大人数（5350 人次）进行剂量估算。假设每个病人的平均摆位时间 60s，则年总操作时间为 89.2h，摆位时工作人员穿 0.5mmPb 当量的铅衣（衰减因子为 0.316），总剂量为：11.3 $\mu$ Sv/h $\times$ 89.2h $\times$ 0.316 $\approx$ 318.4Sv，则每位摆位工作人员所受到的年附加剂量为 318.4 $\mu$ Sv/2 $\approx$ 159.2 $\mu$ Sv。

#### 5. 控制室操作工作人员的年受照剂量

控制室内工作人员（技师）本项目的附加剂量主要有两部分：患者显像时对工作人员在控制室操作位操作时的附加剂量和给患者摆位时的附加剂量叠加。考虑到周围场所对控制室内工作人员剂量叠加后的年附加剂量见表 11.2-5。

表 11.2-5 控制室工作人员受照剂量统计

场所		附加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	人均操作时间 (h)	年附加剂量 ( $\mu\text{Sv/a}$ )	合计 ( $\mu\text{Sv/a}$ )
PET/CT 室	观察窗 a10	2.92E-01	441.7	128.75	636.67
	机房内摆位	/	/	507.92	
SPECT/CT 室	观察窗 b8	6.11E-07	891.7	0.0005	318.4
	机房内摆位	/	/	318.4	

备注：其中 F-18 年附加剂量考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减，由公式  $D(t) = DI \times T \times t \times R_{ti}$  算出，其中  $t$  为时间， $R_{ti}$  为每人检查期间平均活度相对检查初始的活度因子（40min、20min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.88、0.94。

SPECT/CT 和 PET/CT 中 CT 机为 III 类射线装置，根据以上估算，PET/CT、SPECT/CT 检查人员做 CT 扫描，对机房周围全居留人员的最大附加剂量贡献不大于  $79.0\mu\text{Sv}$ 。因此 SPECT/CT 和 PET/CT 隔室操作的工作人员附加剂量可忽略。

### 6. 质控时工作人员的年受照剂量

根据《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》（试行版）和《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测规范》WS523-2019 中的相关规定，医院需自行或委托有能力机构进行定期质控检测，故需对进行质控检测的工作人员进行附加剂量估算：

#### (1) SPECT

本次假设工作人员每年应稳定检测共需操作含 Tc-99m 药物活度为  $740\text{MBq}$ （包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需），操作距离为  $30\text{cm}$ ，操作时间为  $1\text{h/a}$ ，由  $1\text{MBq}$  Tc-99m 药液时对距  $30\text{cm}$  处人的深部当量剂量率为  $0.26\mu\text{Sv/h}$ ，则  $740\text{MBq}$  对应  $30\text{cm}$  处剂量率为  $192.4\mu\text{Sv/h}$ ，工作人员一般穿  $0.50\text{mmPb}$  当量铅围裙操作，对应透射系数 0.316，即操作位附加剂量率约为  $21.89\mu\text{Sv/h}$ （ $50\text{cm}$  处），则工作人员附加剂量为  $21.89\mu\text{Sv/a}$ 。

#### (2) PET

##### ①使用密封源

工作人员至少每周使用 1 次密封源进行均匀度等质控检测，该环节需将带有铅屏蔽的刻度源从储源室运到机房，取出源放于 PET 扫描床上，并在控制室进行操作，完成后需将密封源送回储源室。Ge-68 质控源产生光子平均能量仅约  $9.2\text{keV}$ ，但其子体 Ga-68 将发生正电子衰变产生湮灭辐射并发射  $511\text{keV}$  光子，故该环节主要考虑 Ga-68 的影响，GBZ120-2020 表 H.1 中给出其周围剂量当量率

常数为  $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$ ，保守按最大活度  $111\text{MBq}$  考虑，操作距离取  $50\text{cm}$ ，操作位剂量率为  $59.5\mu\text{Sv/h}$ （不考虑铅屏蔽桶），每次操作时间约  $2\text{min}$ ，一台 PET 设备质控操作时间为  $1.67\text{h/a}$ ，则工作人员附加剂量约为  $99.37\mu\text{Sv/a}$ 。

## ②稳定性

本次假设工作人员每年应稳定检测共需操作含 F-18 药物活度为  $37\text{MBq}$ （包括 SUV、灵敏度、空间分辨力等各项指标所需），操作距离为  $50\text{cm}$ ，一台操作时间为  $10\text{min/a}$ （年  $0.17\text{h/a}$ ）， $37\text{MBq}$  F-18 药液距  $50\text{cm}$  处人的深部当量剂量率为  $21.16\mu\text{Sv/h}$ ，则工作人员附加剂量约为  $3.60\mu\text{Sv/a}$ 。

## 7. 铊气发生器致工作人员年受照剂量

### (1) 加样

制备 Tc-99m 气体前，工作人员需向铊气发生器舟型坩埚中注入不超过  $7.40\times 10^8\text{Bq}$  高铊酸钠注射液，操作时间约 1 分钟，据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radionuclide And Radiation Protection Data Handbook 2002]给出：手持注射器注射活度为  $1\text{MBq}$ 、容量为  $5\text{ml}$  Tc-99m 药液时，对距  $30\text{cm}$  处人的深部当量剂量率为  $2.6\times 10^{-4}\text{mSv/h}$ 。所以，注射  $740\text{MBq}$  的 Tc-99m，距  $100\text{cm}$  处人的深部当量剂量率为  $17.32\mu\text{Sv/h}$ 。按照每天 2 例病人（年工作  $50\text{d}$ ），一年 100 例病人，年操作时间为  $1.67\text{h}$ ，则工作人员加样环节所受年附加剂量为  $115.67\text{Sv}$ （按  $50\text{cm}$  距离估算）。

### (2) 患者施用过程

Tc-99m 气体制备好后，由工作人员指导患者吸入 Tc-99m 气体。病人吸气后约  $20\text{MBq}$  的 Tc-99m 气体被吸收（主要在肺部），另有约  $20\text{MBq}$  的 Tc-99m 气体吸附在 PAS 过滤装置。病人和过滤装置会对工作人员产生外照射。施用过程中工作人员距患者和过滤装置约  $100\text{cm}$ ，吸入气体及观察过程用时约  $5\text{min}$ ，则患者施用过程对工作人员的外照射剂量为  $0.26\mu\text{Sv/h}\times 20\times 2\times 0.3^2\times 5/60\times 100$  名  $=7.8\mu\text{Sv}$ ，计算中未考虑患者身体的衰减作用。

本次理论估算出一次 Technegas 制备和给药过程操作者受到的外照射累积剂量是  $0.936\mu\text{Sv}$ 。根据李蓓蕾等“Technegas 肺通气显像中医务人员的辐射剂量水平监测与评价”，在整个 Technegas 制备和给药过程中，操作者受到的外照射累积剂量是  $0.38\sim 1.0\mu\text{Sv}$ ，与检测结果一致。操作者在实际工作中应规范操作，熟练操作，尽量缩短照射时间。

### (3) 内照射剂量

Technegas 制备和给药过程中会有少量的 Tc-99m 气体逸散到空气中, JJ.LLOYD 等对场所的 Tc-99m 气溶胶浓度做了检测评价分析, 根据“Contamination levels and doses to staff arising from the use of Technegas”检测数据, 不考虑通风情况下制备和给药场所中 Tc-99m 气溶胶的浓度为 17~195kBq/m<sup>3</sup>。一次 Technegas 制备和给药过程按 10min 考虑, 一年 100 位受检患者, 工作人员在高活室内照射的时间为 1000min, 根据《辐射安全手册》单位活度 Tc-99m 致人有效剂量约 10μSv/MBq, 则工作人员内照射剂量为 195×10<sup>-3</sup>MBq/m<sup>3</sup>×0.02m<sup>3</sup>/min×1000min×10μSv/MBq=39μSv。制备施给过程均在核医学科高活室手套箱或集气罩边进行, 手套箱和集气罩工作中有足够风速(一般不小于 0.5m/s), 工作人员实际内照射剂量要远小于理论估算值。

综上所述, 使用锝气发生器制备和施用药物对工作人员的年附加剂量为 115.67+7.8+39=162.47μSv。

### 8. 甲功检查致工作人员年受照剂量

甲功检查每粒活度为 0.333MBq (0.9μCi), 则距 0.333MBq (0.9μCi) I-131 胶囊 100cm 处人的剂量率约为 1.98×10<sup>-2</sup>μSv/h, 则 I-131 胶囊对工作人员增加的附加剂量可忽略。

### 9. 核医学科门诊显像、检查环节工作人员受照剂量总结

根据以上估算, 核医学科环节工作人员的附加有效剂量如表 11.2-6。

表 11.2-6 核医学科环节工作人员各环节附加有效剂量 (μSv/a)

环节	分装	转运	注射	摆位	控制室	锝气	质控
PET/CT	220.83	147.22	441.67	636.67		/	124.9
SPECT/CT	/	/	107.04	318.4		162.47	
备注	由护士完成			由技师完成			物理师完成

本项目 PET、SPECT 都由不同的护士和技师操作, 由此核医学科环节每名护士、技师和物理师年受照附加剂量分别不大于 0.64mSv、0.32mSv、0.12mSv, 由于本项目估算按工作人员全职工作量进行估算, 可不考虑辐射工作的累加情况。

## 11.3 核医学科门诊治疗核素环境影响分析

核医学科门诊核素治疗使用 I-131 核素开展甲亢治疗, Sr-89 用于骨转移治

疗，Ra-223 用于前列腺癌骨转移治疗，Lu-177 用于神经内分泌肿瘤留观治疗。

除了使用 Lu-177 治疗的患者需要在留观室留观 6h 外，其余使用核素在核医学科门诊接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就可离开。除给药期间病人辐射对周围环境有短暂影响外，通常不会产生排泄物等废水和固体废物，病人呼出气可能含有的少量放射性物质，其中 Sr-89 为  $\beta$  核素，且每天治疗病人较少，对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微，其它核素影响分析如下：

### 1. I-131 甲亢治疗的辐射影响

使用 I-131 治疗甲亢的病人约 500 名/年，不大于  $3.70E+08Bq$ /病人，I-131 的操作方式为口服（从铅罐里取出胶囊），假设从病人口服到离开，工作人员接触病人的时间为 2min/病人，一年的接触时间为  $16.7h[2min \times 500（人/年）/60（min/h）]$ ，I-131 $\gamma$  辐射能量为 0.36MeV， $K_{\gamma}$  值为  $0.0595\mu Sv \cdot m^2/h \cdot MBq$ ，距离患者（施用量 370MBq）1m 处的剂量率约为  $22.0\mu Sv/h$ ，则 I-131 核素对工作人员增加的附加剂量约为  $367.4\mu Sv$ 。

### 2. Ra-223 的辐射影响

（1）本项目运行后预期每年治疗患者 100 人次，其中每例每次最大注射量为  $6.60E+06Bq$ （0.178mCi）。

（2）根据本项目工作流程和各环节主要内容，正式运行后，对各岗位的健康影响主要为：

①工作人员负责本项目的药物订购、接收、暂存、分装和活度检测，操作时在手套箱后，以及患者药物注射，操作时在注射车后，体部距药物 30cm，保守假设单次操作时长约 2min，年总操作时长为 3.33h。

②点源 Ra-223 剂量率常数为  $1.32E-11\mu Gy/Bq \cdot s$ [换算得  $0.04752\mu Sv \cdot m^2/(MBq \cdot h)$ ]，本项目单次最大操作活度为  $6.6MBq$ （0.178mCi），距离该活度药物 1m 处的剂量率为  $0.31\mu Gy/h$ ，根据反平方定律，50cm 为  $1.24\mu Gy/h$ 。

③由于 Ra-223 仅 1.1%发射  $\gamma$  射线（能量为 11.7~269.5keV），为保守估算，本次假设所有操作均无防护条件下进行。

#### （3）外照射附加剂量估算

根据以上相关内容，本项目运行时，主要是辐射工作人员外照射附加年剂量约为  $4.1\mu Sv$ （ $1.24\mu Sv/h \times 3.33h$ ）。

#### （4）内照射附加剂量估算

在正常工作条件下，护士通过手套箱操作药物，使用注射器抽取一定体积的药物，并将注射器转移到注射台，由护士完成注射，氯化镭注射液为稳定溶液，且在药罐或注射器内存放，基本无挥发，一般不会引起内照射，工作人员内照射附加剂量可忽略。

### 3. Lu-177 门诊留观治疗辐射影响分析

#### (1) 剂量估算源强

Lu-177 治疗药物的剂型通常为  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE 或  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA 溶液，采用注射给药方式。Na<sup>131</sup>I 口服液或胶囊事先由供药公司根据病人用量储存药瓶内，之后存放在铅罐（不低于 10mmPb）中，送抵医院。

放射性药物包装为 A 型，运输类别为 II 级（黄）。根据《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）要求：对于 II 级（黄）运输类别，外表面任何一点处的剂量率不得高于 0.5mSv/h。罐体直径按照 10cm 估算，预计距 Lu-177 铅罐 1m 处的剂量率低于 0.1  $\mu\text{Sv/h}$ 。可见，放射性药物在包装容器内储存时，对周围环境的影响是很轻微的。放射性药品使用前，直接从高活室转运到留观室，对周围环境影响也较小。

Lu-177 什值层 2.11mmPb 取自《EXPOSURE RATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUES FOR OVER 1,100 RADIONUCLIDES》（健康物理学会 2012 年版）。根据《放射防护期刊》中（Journal of Radiological Protection J. Radiol. Prot. 36 (2016) 269–278）表 1 数据，施用 7.4GBq Lu-177 药物后不同时间所致不同距离的剂量水平见表 11.3-1。

表 11.3-1 施用 7.4GBq Lu-177 药物后不同时间 1m 处剂量水平

用药后时间 (h)	0	1	2	4	6	18	24
1m处剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	48 $\pm$ 13	38 $\pm$ 7	33 $\pm$ 9	23 $\pm$ 6	15 $\pm$ 4	11 $\pm$ 3	7 $\pm$ 2

将接受药物治疗的人员近似作为点源，依照剂量率和距离平方成反比衰减的关系，同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用，估算留观室 1 周围的附加辐射剂量率，结合可能照射时间，估算职业人员和公众的受照剂量。

本项目 Lu-177 患者按每个患者施药活度 7.4GBq（1 名患者注射 200mCi，即 1m 处初始剂量率为 61  $\mu\text{Sv/h}$ ），估算其周围的附加剂量率和对环境的辐射影响。

#### (2) 留观室周围不同位置的附加剂量率水平

核素治疗项目运行对周围环境影响的估算点及参数选取和估算结果见表 11.3-2 所示，估算点位见图 11.2-2。

表 11.3-2 注射 Lu-177 后患者在留观室周围不同位置的附加剂量率

场所名称	编号	估算点位 (见图 11.3-5)	屏蔽厚度	距离/m	衰减因子 B	附加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	备注
留观室 1 (1 名患者 注射 Lu-177 时 $61\mu\text{Sv/h}@$ 1m)	j1	东墙外地下土层	40cm 混凝土	1.8	$3.59\text{E-}05$	$6.77\text{E-}04$	地下土层
	j2	南墙外地下土层	40cm 混凝土	3.2	$3.59\text{E-}05$	$2.14\text{E-}04$	地下土层
	j3	西墙外污洗间	20cm 混凝土砖	3.0	$1.29\text{E-}02$	$8.75\text{E-}02$	控制区
	j4	北墙外留观室 2	20cm 混凝土砖	1.3	$1.29\text{E-}02$	$4.66\text{E-}01$	控制区
	j5	西墙外防护门外	6mmpb 铅门	3.8	$1.43\text{E-}03$	$6.06\text{E-}03$	控制区
	j6	楼上(设备夹层)	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板	4.7	$2.43\text{E-}03$	$6.71\text{E-}03$	公众/人员 不可达
	/	楼上(设备夹层) 30cm 处	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板	4.5	$2.43\text{E-}03$	$7.32\text{E-}03$	公众/人员 不可达
	j6a	楼上一层(病房)	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板+18cm 混凝土楼板	6.5	$2.43\text{E-}05$	$3.51\text{E-}05$	公众
/	楼上一层(病房) 30cm 处	15cm 混凝土楼板 +2mmpb 铅板+18cm 混凝土楼板	6.3	$2.43\text{E-}05$	$3.73\text{E-}05$	公众	

备注：①四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处，楼上为 30cm 处、50cm 处估算点。②注射 Lu-177 铅屏蔽的 TVL=2.11mm，砼(混凝土)的 TVL=90mm ( $\rho=2.35\text{t/m}^3$ )。

由表 11.3-2 可见：留观室 1 控制区边界外的最大附加剂量率为  $4.66\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$  (j4 北墙外留观室 2)，满足本项目辐射场所控制区边界和控制区内辐射剂量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的要求。

### (3) 留观期间 Lu-177 平均剂量率水平

表 11.3-1 列出了服用 Lu-177 的治疗患者周围辐射剂量率变化情况，从表 11.3-1 中可得 24h 内对周围公众 1m 平均剂量率的影响约为  $19.4\mu\text{Sv/h}$  (取 6h 内对周围公众 1m 平均剂量率的影响约为  $28.75\mu\text{Sv/h}$ )，本项目保守以初始剂量水平进行估算。

### (4) 场所周围停留公众的附加剂量

场所周围公众受照主要来自  $\gamma$  射线外照射。按照 Lu-177 年治疗 100 人，留观室 1 周围相关场所全年总工作时间取 600h (每名 Lu-177 患者留观时间约 6h))。表 11.3-2 给出了对留观室周围的环境可能产生影响。可见，留观室 1 周围公众受到的年有效剂量最大值约为  $0.02\mu\text{Sv}$  ( $3.73\text{E-}05 \times 600$ ，楼上一层病房)，低于设定的剂量约束目标值  $100\mu\text{Sv/a}$ ，考虑到留观期间平均剂量水平，周围公众的附加剂量更低。

#### (5) 工作人员的附加剂量

每位 Lu-177 治疗患者接受剂量 7.4GBq，每年预计治疗患者 100 名。按照表 11.3-1 中数据，1m 处的剂量率约为 61 $\mu$ Gy/h，工作人员接触病人的时间按 5min/病人，一年的接触时间为 8.3h，保守考虑在不采取防护措施的情况下，工作人员年附加剂量为 506.3 $\mu$ Sv。

#### 4. 门诊治疗工作人员受照剂量总结

使用 I-131、Sr-89、Ra-223 和 Lu-177 开展门诊治疗对辐射工作人员的附加剂量为 877.8 $\mu$ Sv (367.4 $\mu$ Sv+4.1 $\mu$ Sv+506.3 $\mu$ Sv)。

### 11.4 核医学科放射性废物产生及排放情况

#### 11.4.1 放射性废气

核医学科的高活室设计有手套箱，肺通气室也设计有集气罩，废气由专用管道分别引至住院一部楼顶排放（排放口总高度20.8m），高于住院一部顶部。

核医学科放射性药物分装、活度测定均在通风橱内进行，使用量较大、使用次数较多的含Tc-99m、F-18显像药物，物理性质稳定，均为液体，口服或注射环节挥发到空气中的份额可以忽略不计。主要所涉及的同位素操作除I-131和I-123以外的标记药物物理性质稳定，该场所只做I-131甲状腺功能检查和门诊甲亢治疗，I-131和I-123虽然具有一定的挥发性，但是I-131都是胶囊、I-123为液体溶液，且I-131按照人份定购不分装，故在正常操作过程中，只可能有极少量挥发进入大气形成气溶胶。该两种核素的使用频次较低。此外，通风系统设置有活性炭过滤器，会进一步过滤净化，对周围环境的影响十分轻微，故本项目不予详细评价。

在正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少，不会造成工作环境的空气污染，即使出现放射性物质泼洒情况时，废气经过排风系统排放至楼顶处，经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的剂量贡献很小。

考虑到Ra-223属于极毒组核素，且以发射 $\alpha$ 射线为主，若由于操作不当，造成药物遗洒，污染工作人员体表或工作台面，工作人员未及时采取监测、去污措施，继而被工作人员不慎吸入，可能会造成严重的内照射。假设药物操作时有 $6.6 \times 10^2$ Bq的Ra-223（药物不易挥发，保守取操作量的0.01%）挥发进入空气中，在高活室空气中的平均浓度不大于44Bq/m<sup>3</sup>（高活室体积不小于15m<sup>3</sup>），高活室的通风速率大于1000m<sup>3</sup>/h，大约1.2min高活室换一次通风，保守假设按5min估算Ra-223的内照射，则 $Hh \cdot i = 44 \times 1.2 \times 4.13 \times 5/60 \approx 18.17 \mu$  Sv，因此工作人员内

照射附加剂量较小。

排放系统过滤器过滤效率一般不低于99%，预计排风口处的排放浓度为 $0.44\text{Bq}/\text{m}^3$ ，经过空气稀释后最大落地浓度更小，废气对周围环境和公众的影响是十分轻微的。若操作放射性物质发生意外泼洒情况时，短时间进入空气的份额较多，经过滤器吸附处理后高空排放，放射性物质经大气扩散后浓度会进一步降低，故偶发排放对周围公众的辐射剂量贡献很小。

工作期间每个月至少检查一次通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不得超过厂家推荐的使用时间（每年更换一次）。更换下来的过滤器应按放射性固体废物进行收集及处理。

#### 11.4.2 放射性液体废物

本项目核医学科高活室缓冲更衣间产生的废水、给药后候诊室患者专用卫生间产生的废水、控制区污洗间废水、应急淋浴水和留观室废水，将通过专用管道一并汇入位于住院一部西侧的放射性废水衰变池，废水通过衰变后排放至医院污水处理站进一步处理后，最终进入市政污水管网。

衰变池收集的放射性废液中主要的放射性核素来源于核医学受检患者的排泄物，门诊显像检查使用的核素包括 F-18、Ga-68、Zr-89、Cu-64 用于 PET 检查用核素，以及 Tc-99m、I-123、I-131 用于 SPECT 检查用核素，门诊治疗使用 I-131、Sr-89、Ra-223、Lu-177 核素。

##### 1. 核医学科放射性废液产生量：

（1）显像患者废水：核医学科设置受检患者专用卫生间。核医学卫生间按坐便器大档水位 4L、小档水位 2.8L，5s 洗手、水嘴流量 0.1L/s 设计患者用水量，患者一次入厕用水量不超过 4.5L。①本项目按照所有受检者每人每次如厕产生放射性废水的总量为 6L 考虑；②洗手池和拖布池产生的废水也将排入衰变池，预计产生量为 50L/d；③另外应急淋浴水保守每年按一次 50L。

根据表 11.2-1，核医学科诊疗年显像检查人数不超过 11150 人（含甲功检查患者），年产生废水约  $11150 \text{ 人} \times 6\text{L}/\text{人} + 50\text{L}/\text{d} \times 250\text{d} + 50\text{L}/\text{年} = 79.45\text{m}^3$ 。

（2）治疗患者废水：本项目门诊使用 I-131、Sr-89、Ra-223 治疗的患者，注射药物后即离开核医学科，基本上没有如厕人员，且医院在管理上要求 Sr-89 等治疗患者在注射前进行排便，基本可以杜绝门诊治疗患者在治疗区间排便，故本项目 I-131、Sr-89 等门诊治疗核素治疗患者对放射性废水贡献很小。

据《<sup>177</sup>Lu-Dotatate 治疗的放射防护评估》（中国辐射卫生 2021 年 12 月第 30 卷第 6 期）的结论，Lu-177 在给药后 6h 患者大约给药活度的 46% 排出。留观室主要的放射性废水来源于患者的排泄物、清洁废水和应急淋浴水（此部分废水门诊显像处已核算），患者在留观室时间 6h 左右，保守每人排便 2 次，每人每次如厕产生放射性废水的总量为 6L 考虑。

核医学科留观室年产生含 Lu-177 废水约  $6\text{L}/\text{人} \times 100 \text{ 人次} \times 2 \text{ 次} = 1.2\text{m}^3$ 。

综上，核医学科废水量总计约为  $80.65\text{m}^3$ ，平均每日产生废水量约  $0.22\text{m}^3$ ，核医学科放射性废水均排入放射性废水衰变池（槽式槽式，总容积约为  $32.58\text{m}^3$ ， $16.29\text{m}^3 \times 2$  池，不含推流池体积），每池充满至排放可贮存衰变约 74 天，衰变池从充满至排放可满足贮存衰变 68 天。核医学科的放射性废水含有 A 类和 B 类核素，参照 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》相关规定，衰变池的废水暂存时间需超过 10 倍最长半衰期（按照其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天）后，排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 I-131 核素的放射性活度浓度和总  $\alpha$ 、总  $\beta$  符合排放限值要求的，排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

本项目门诊使用 I-131、Sr-89、Ra-223 治疗的患者，注射药物后即离开核医学科，基本上没有如厕人员，且医院在管理上要求 Sr-89 等治疗患者在注射前进行排便，基本可以杜绝门诊治疗患者在治疗区间排便，故本项目 I-131、Sr-89 门诊核素治疗患者对放射性废水贡献很小。由于衰变池储存时间不能满足 Sr-89（半衰期 50.5d）的 10 个半衰期要求，简要分析核素治疗过程放射性废水排放情况。

据 ICRP 第 94 号出版物《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》给出的数据，实施核素 Sr-89 治疗，大约占 60%~70% 的药物滞留于骨骼组织，其余部分在最初 6h 和最初 48h 随尿液分别排出可排泄部分大约 35% 和 80%~90%。保守估算治疗结束排一次便时，占用药量（ $148\text{MBq}/\text{次}$ ）剩余的 17.5%，则有  $148\text{MBq}/\text{次} \times 40\% \times 17.5\% \approx 1.04 \times 10^7 \text{Bq}/\text{次}$  的核素 Sr-89 随尿液排出体外。

本项目运行后每周最多 2 名患者使用 Sr-89 治疗，保守预计 50% 的患者在治疗期间使用工作区卫生间，则每周排放进入衰变池的 Sr-89 总活度约  $1.04 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每格废水池充满按 63d（9 周）估算（衰变池每个池废水至少可储存 68 天），废水 Sr-89 总活度不大于  $7.01 \times 10^7 \text{Bq}$ （考虑储存期间衰变的影响）。保守假设有一

半活度进入槽式衰变池（槽式衰变池每格为 16.29m<sup>3</sup>，沉淀池和推流池总体积约为 26.78m<sup>3</sup>），每个槽式衰变池贮存周期最少为 68d，则废水中的 Sr-89 在槽式衰变池内经过 68d 贮存后，其总活度和活度浓度将进一步下降，总活度约为 1.38×10<sup>7</sup>Bq（低于放射性核素 Sr-89 的每月排放限值（≤2.7×10<sup>7</sup>Bq）），排放总活度能满足废水排放含放射性核素 Sr-89 污染控制要求。

核医学科总放射性废水暂存衰变超过 68 天后，排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 I-131 核素的放射性活度浓度和总 α、总 β 符合排放限值要求的，排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

## 2. 衰变池辐射防护与安全管理

特别关注池壁和池底的防渗处理。施工单位要进行严格的渗漏检测，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

放射性核素废水在污水收集、暂存设施存留时释放的γ射线可能对周围环境产生影响。在放射性废水衰变池附近拟放置辐射警告标识和设置围挡，提醒公众避免长时间停留受到辐射照射。进行排污管道维修施工和衰变池清淤施工时应采取辐射防护措施，以减少操作人员可能受到辐射照射。医院后勤管理处负责衰变池日常运行管理，每周派人巡视一次。医院将委托有资质单位对放射性废水进行检测，按照环境管理要求进行排放。根据国家放射性废物排放管理要求，排放衰变池废水须满足解控要求，确保废水的放射性水平符合排放标准后，依照相关规定放废水的排放要求排放。

### 11.4.3 放射性固体废物

核医学科按需申请放射性药物，如有剩余的放射性药物，连同包装容器暂存于高活室自行衰变。高活室内拟配置铅质废物桶，将废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等固体放射性废物，暂存于该废物桶内，标注日期于每周一早晨转移至废物间内的废物桶内。留观室配置专用废物桶，患者使用的服药杯子、废弃的包装物、被污染的一次性用品等固体放射性废物，按产生日期分类暂存于废物桶衰变，达到清洁解控要求的废物按照医疗废物处置。

(1) 核医学科诊疗保守按全年开展核素显像人数 11150 人次，平均每人产生含放射性固体废物 0.02kg（含患者注射器每只 4g），则项目满负荷运行年产生量约 223kg。

(2) 核医学科开展门诊核素治疗及 Lu-177 留观治疗患者共计 950 人次, 平均每人产生放射性固体废物 (药瓶、药杯、水杯、吸水纸等) 0.1kg, 则项目满负荷运行年产生量约 95kg。

(3) Lu-177 留观患者使用过的各类物品, 如纸巾、被褥和病号服等, 会有不同程度的放射性污染, 属于低放废物。按产生日期分类收集于废物间衰变。被褥和病号服按照 2kg/人次估计, 则年产生量约 200kg。被褥和病号服在放射性被服间暂存衰变时间不少于一个半衰期, 经检测被服表面  $\gamma$  剂量率小于  $1\mu\text{Sv/h}$  且  $\beta$  表面污染水平小于  $0.8\text{Bq/cm}^2$  时, 方可进行清洗并再次使用。

(4) 此外, 每年更换活性炭过滤器, 预计额外产生约 12kg 活性炭过滤器固体废物, 拆下的废弃滤材将妥善收集, 密封包装暂存于废物间, 按照放射性固体废物进行暂存。

参照 HJ1188 和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》, 本项目使用核素为 A 类和 B 类废物分开储存, A 类固体废物暂存时间超过 30 天、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天 (其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天, 含 I-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天, Sr-89 核素的放射性固体废物暂存超过 505 天) 后, 使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测, 辐射剂量率监测为所处环境本底水平且  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染水平分别小于  $0.08\text{Bq/cm}^2$  和  $0.8\text{Bq/cm}^2$ , 可对废物解控作为医疗废物处置, 并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”, 内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量 (kg)、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向, 每一袋放射性固体废物填写一行记录。

### 11.5 受照剂量总结

根据以上估算, 核医学科场所的附加有效剂量如表 11.5-1, 这几个场所都是不同的工作人员操作, 理论上不存在累加情况。

表 11.5-1 本项目不同环节受照剂量情况表

对象	核医学科门诊显像			核医学科门诊治疗	门诊治疗排放 I-131 废气
	护士	技师	物理师		
辐射工作	0.64mSv/a	0.32mSv/a	0.12 $\mu$ Sv/a	0.88mSv/a	/

人员				
公众	32.7 $\mu$ Sv/a		0.02 $\mu$ Sv/a	<10 $\mu$ Sv/a

可见，本项目工作人员和公众年受照总剂量分别不大于0.88mSv和32.7 $\mu$ Sv，低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a和100 $\mu$ Sv要求。

## 11.6 本项目异常事件分析与防范措施

### 1. 核医学科在运行过程中可能发生以下异常事件：

(1) 放射性药物保管不善，发生遗失或被盗。放射性物品失控可能造成环境放射性污染。

(2) 由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；放射性物质从患者吐出导致放射性污染。放射性物质污染工作场所、衣物、手和皮肤，增加外照射危险程度，还有可能被食入或吸入体内形成内照射。

(3) 错误给药。包括放射性活度不正确，导致I-131 治疗剂量错误；弄错患者，导致不必要的照射；授乳期妇女受到不必要的照射。

(4) 放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

(5) 服药患者体内核素活度未降至出院水平以下，即离开隔离病房，对公众造成不必要照射。

### 2. 为避免上述异常事件发生，应采取以下风险防范措施：

(1) 储源室设置闭路监视和放侵入系统，安装防盗门，依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）落实相关要求，贮源场所通过公安部门验收后投入使用。此外，放射性药品由专业公司送达医院后，核医学科技师与送药人员在摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失和被盗。

(2) 制定相关的操作规程，并对操作放射性药物的人员进行严格培训，通过内部考核后，上岗工作。上述措施可以有效避免因操作失误，导致工作场所发生局部放射性污染的事件发生。

(3) 在高活室入口处设置有缓冲间，工作人员进出控制区需更换工作服和工作鞋，该措施可有效避免放射性污染的扩散。此外，将制定放射性局部污染的处置措施，一旦发生放射性药品遗撒、患者呕吐等意外情况，规范操作及时采取擦拭方法去污，并用表面污染监测仪检测，直至表面污染水平满足GB18871-2002要求，防止放射性污染扩散导致周围环境污染。

(4) 患者注射前，要认真核对患者的姓名、性别、给药量，防止因错误给药导致他人受到不必要的照射，或者因给药活度不准确影响诊疗效果。

(5) 核医学科高活室和留观室，均配置放射性废物桶，收集放射性废物，并在放射性废物贮存室暂存，暂存超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天，I-131 核素产生放射性固体废物至少暂存 180 天，Sr-89 核素的放射性固体废物暂存超过 505 天）后，达到解控水平后办理清洁解控，该措施可有效避免放射性废物对环境造成污染和影响。注射后候诊室和留观室配备有专用厕所，患者的排泄物进入衰变池暂存，达标后排放，该措施可有效防止放射性废水对环境造成污染和影响。

(6) 放射性场所场设置有排风系统，废气有组织在楼顶排放。

(7) Lu-177 治疗留观患者需留观 6h，且出院前，应进行患者剂量检测，确认患者 1m 处剂量率水平不高于  $25 \mu\text{Sv/h}$  才允许出院。上述措施可以避免患者体内活度未降至出院标准而对公众造成不必要照射。

## 11.7 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表 11.7-1。

表 11.7-1 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 $0.1\text{mSv/a}$ 和 $5\text{mSv/a}$ ；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。
电离辐射标志和中文警示	在核医学场所出入口、高活室、扫描机房、患者候诊室门外等场所设置放射性警告标识和中文警示说明。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。高活室和控制区通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	核医学科工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入；注射区、高活室、扫描室、源库、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。在核医学科患者候诊区内设铅屏风。留观室采用实体屏蔽措施，患者出口安装固定剂量探头；高活室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、视频监控系统和防盗报警装置，满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。
监测仪器	配备检测仪器：配备 1 台辐射剂量巡测仪、1 台表面污染监测仪、1 套固定式剂量报警仪（1 探头），辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。

“三废”处置设施	核医学科配置满足需要的放射性废物存贮设施，配备防辐射废物桶 14 个；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；高活室安装手套箱，操作口风速大于 0.5m/s；通风柜配套建设独立排风系统，排放口设置在所在建筑顶部高处，排风速率满足辐射安全需要。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

**表 12 辐射安全管理**

## **12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置**

### **12.1.1 辐射安全管理小组**

医院已经设置了辐射安全管理委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1.2-4 所示。本项目科室相关负责人将继续担任辐射安全管理委员会成员，负责相关科室的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

(1) 在医院辐射安全管理委员会负责人的领导下，负责本医院辐射安全防护的管理工作。

(2) 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本医院相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

(3) 制定、修订本医院辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

(4) 制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全管理委员会主席的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

(5) 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

(6) 建立装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

(7) 对医院从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

(8) 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

### **12.1.2 辐射工作人员**

本项目实施后核医学科拟增加辐射工作人员 4 人，各场所人员配备情况见表 1.3-3，新增人员将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并及时参加每五年一次的重重新考核，同时按照国家相关规定进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健

康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

北京老年医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训考核制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、辐射工作岗位职责、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射事故应急制度等。

本项目实施后，北京老年医院将结合新项目的开展，在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善相关制度，如修订完善操作规程、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

## **12.3 辐射监测**

### **12.3.1 个人剂量监测**

北京老年医院根据制订了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，监测频度为每3个月检测一次，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令18号）要求建立个人剂量档案。辐射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况进行文字记录。

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，本项目投入使用后，所涉及新增辐射工作人员将继续进行个人剂量监测。

### **12.3.2 工作场所和辐射环境监测**

#### **（1）委托监测**

医院每年委托有资质的单位对医院已有的放射性同位素工作场所和所有射线装置机房防护和机器性能检测1次。

#### **（2）本项目自行监测方案**

医院针对本项目启用后，核医学科利用现有的1台便携式辐射剂量巡测仪、1台表面污染监测仪，新增1套固定式剂量报警仪，能够满足医院辐射防护和

环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。本项目实施后，核医学科工作人员使用拟配备的辐射剂量巡测仪、表面污染监测仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

1) 监测项目： $\gamma$  剂量率水平，表面污染水平

2) 检测设备：X- $\gamma$  辐射辐射剂量巡测仪，表面污染监测仪

3) 检测频次：剂量率水平每年不少于 1 次（有代表性点位不少于 1 次/月），表面污染每天工作后检测 1 次。

4) 工作场所  $\gamma$  剂量率水平监测：点位包括点位 PET/CT 室、SPECT/CT 室四周和楼上、楼下，注控制区边界外 30cm 处和衰变池四周的剂量率水平，以及核医学科四周。核医学科场所的剂量率监测点位按照表 12.3-1（如控制室等有代表性点位不少于 1 次/月），监测数据记录存档。监测点位布置见图 12.3-1 和图 12.3-2 所示。

**表 12.3-1 核医学科辐射剂量率监测情况表**

编号	场所名称	监测点位置	检测频次
a1~a12	PET/CT 室	四周及楼上	1 次/年 (其中控制室 1 次/月)
b1~b10	SPECT/CT 室	四周及楼上	1 次/年 (其中控制室 1 次/月)
c1~c7	PET/CT 候诊室	四周及楼上	1 次/年
d1~d7	SPECT 候诊室	四周及楼上	1 次/年
e1~e8	高活室	周围及楼上	1 次/年
f1~f8	甲功室	周围及楼上	1 次/年
g1~g8	肺通气室	周围及楼上	1 次/年
h1~h9	负荷室	周围及楼上	1 次/年
i1~i7	源库	周围及楼上	1 次/年
j1~j6	留观室	周围及楼上	1 次/年
k1~k5	留观室 (Lu-177)	周围及楼上	1 次/年
l1~l2	病房出入口	患者出、入口门外	1 次/年
m1	衰变池	衰变池上方	1 次/年

(5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后（治疗病房是下一批患者住院前），对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及相关设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档。

**表 12.3-2 核医学科表面污染水平监测点位设置**

编号	场所名称	监测点位置	$\beta$ 表面污染 (Bq/cm <sup>2</sup> )
1~5	核医学科高活室 (注射室)	手套箱台面、高活室地面、注射窗、 负荷室、通气室	
6~8	SPCET 候诊室	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
9~11	PET/CT 候诊室	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
12~14	留观室	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
15~17	留观室 (Lu-177)	候诊室地面、候诊椅、卫生间	
18~19	SPECT/CT 室	病人床、地面	
20~21	PET/CT 室	病人床、地面	

#### 12.4 辐射事故应急管理

医院已制定了辐射事故应急预案，依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在应急预案中进一步明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容，能够满足医院实际辐射工作的需要。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

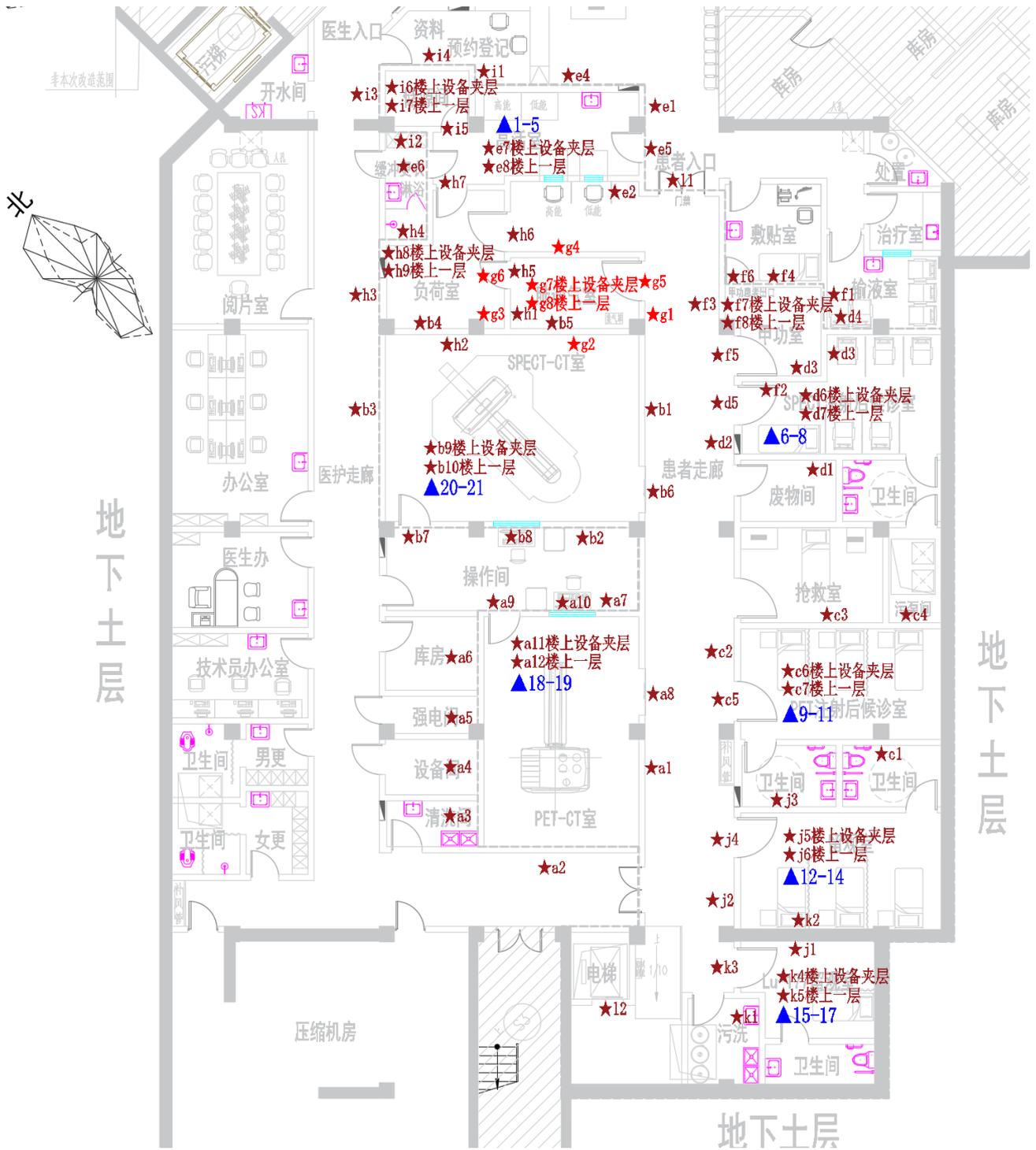


图 12.3-1 拟建核医学科场所自行检测点位图

表 13 结论与建议

## 13.1 结论

### 13.1.1 项目概况

北京老年医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证（京环辐证[F0333]），医院现有核医学科显像和治疗场所布局 and 面积限制，场所和现有 SPECT-CT 设备老旧，无法满足拟增设备安装要求，考虑到医院诊疗发展需要和核医学未来的发展趋势，本次改造核医学科并新增 1 台 PET/CT，建成后核医学科为比较完善的核医学科诊疗项目，包括常规核素显像和核素治疗区域。

### 13.1.2 正当性分析

该项目使用的 Tc-99m、I-123 和 I-131 等标记放射性药物，开展核医学影像诊断和治疗，是核医学科成熟的、常用的医疗手段，其使用过程中获得的利益远大于辐射可能造成的损害，符合实践正当性原则的要求。

I-131 治疗甲状腺疾病在国际上已有 60 多年历史，我国开展此项治疗也有 50 余年。外科手术切除、I-131 治疗与甲状腺激素抑制治疗的联合应用是国际上公认治疗甲状腺癌的理想方案。另外，Sr-89 对于恶性肿瘤骨转移患者治疗也是成熟的技术手段；Ra-223 用于治疗去势抵抗性前列腺癌，并伴有骨转移症状和未知原因内脏转移性疾病的病人，且取得药品注册证书。因此，开展核素治疗符合辐射实践正当性的要求。综上所述，本项目的建设所带来的利益远高于代价，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及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）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

### 13.1.3 选址与布局合理性分析

医院本项目位于院内住院一部西南侧地下一层，本项目相关场所控制区周围 50m 范围内，无学校、居民楼等敏感目标，周围 50m 区域除了西南侧部分为院外空地外，其它方向都是医院内部，项目场址环境辐射本底未见异常，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

核医学科各功能用房有明显的实体分隔，各场所工艺布局流畅，人流物流不交叉，设置了必要的卫生通过间，比较全面的考虑了放射性工作场所与非放射性

工作场所分开，不同放射性操作或污染水平的工作场所分开，工作人员区域与病人区域分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

#### **13.1.4 辐射安全与防护能力分析**

##### **(1) 辐射工作场所功能分区合理性**

本项目核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，分别划分控制区、监督区，划分明确，设置合理，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

##### **(2) 辐射屏蔽措施**

本项目核医学 PET/CT 室、SPECT/CT 室、注射后候诊室、高活室、源库、废物间、负荷室、抢救室、肺通气室，以及核素治疗留观室、高活室等均采取了混凝土或铅的屏蔽措施，根据机房外各关注点剂量率估算结果均满足本次评价提出的剂量率控制水平，符合辐射防护安全的要求。

##### **(3) 安全防护设施**

本项目核医学科核医学场所出入口、高活室、扫描机房、患者候诊室门外等场所设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁等安全设施。配备必要的辐射监测仪器、个人防护用品；核医学科场所墙面、地面均为光滑饰面，高活室配有负压和过滤的手套箱，通过设置废物间、病人专用卫生间等妥善收集放射性废物，工作人员配备必要的防护服等个人防护用品及监测设备，满足安全防护需求。设置了 1 个放射性废水衰变池（总容积 32.58m<sup>3</sup>）收集贮存核医学科产生的放射性废水。通过对核医学科辐射安全防护设施与运行核查项目比较和分析，本项目配备的安全防护设施能够满足要求。与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定对照检查，满足要求。

#### **13.1.5 辐射环境影响评价**

(1) 根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目运行后，预计工作人员和公众的年受照剂量低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a和100μSv/a要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

(2) 本项目涉及的Ⅲ类射线装置，可以预计其运行后对医护人员以及周围公众的影响是十分轻微的。

(3) PET 的刻度源属于 V 类放射源，可以预计其运行后对医护人员以及周围公众的影响是十分轻微的。

(4) 放射性“三废”排放。预计核医学科相关工作场所运行后，放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求；工作场所运行每年产生放射性固体废物约 530kg（包含过滤器等）。放射性沾染物品收集暂存衰变，符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置。将产生极少量的放射性废气从核医学科楼顶排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于到处空气浓度限值。

(5) 辐射安全防护管理：医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责全院的辐射安全管理和监督工作。医院将根据本次所申请项目种类制定健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等，以满足辐射安全管理的要求。

### **13.1.6 结论**

综上所述，北京老年医院核医学科改扩建项目，相应的辐射安全防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

### **13.2 承诺**

为了保护环境，保障人员健康，北京老年医院承诺：

(1) 项目批复许可后，启用前须办理相关辐射安全许可和 PET/CT 等大型设备须取得卫健委同意配置批复。

(2) 严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和辐射工作人员进行监测，并将监测记录保存留档；

(4) 项目竣工后按照生态环境主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并接受生态环境主管部门的监督检查。

(5) 在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院进行调查并报生态环境主管部门备案。



附图、附件（略）