

核技术利用建设项目  
回龙观院区核医学科改扩建项目  
环境影响报告表

首都医科大学附属北京积水潭医院

2026年03月

生态环境部监制

核技术利用建设项目  
回龙观院区核医学科改扩建项目  
环境影响报告表

建设单位：首都医科大学附属北京积水潭医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市西城区新街口东街31号

邮政编码：100035

联系人：郭朝晖

电子邮箱：1969gzh@163.com

联系电话：010-58516671

## 目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	19
表 3	非密封放射性物质.....	20
表 4	射线装置.....	21
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	22
表 6	评价依据.....	23
表 7	保护目标与评价标准.....	26
表 8	环境质量和辐射现状.....	35
表 9	项目工程分析与源项.....	56
表 10	辐射安全与防护.....	62
表 11	环境影响分析.....	85
表 12	辐射安全管理.....	106
表 13	结论与建议.....	111
表 14	审批.....	114

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	回龙观院区核医学科改扩建项目				
建设单位	首都医科大学附属北京积水潭医院				
法人代表	蒋协远	联系人	郭朝晖	联系电话	010-58516671
注册地址	北京市西城区新街口东街 31 号				
项目建设地点	北京市昌平区回龙观镇回南北路 68 号回龙观院区西楼地下二层核医学科				
立项审批部门	无		批准文号	无	
建设项目总投资（万元）	500	项目环保投资（万元）	50	投资比例（环保投资/总投资）	10%
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> ）	1100
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 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 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					

**1.1 单位概况**

首都医科大学附属北京积水潭医院（以下简称“北京积水潭医院”或“医院”）成立于 1956 年，是以骨科、烧伤科为重点学科的三级甲等综合医院，相继成为北京大学第四临床医学院、清华大学临床教学医院，首都医科大学附属医院和第七临床医学院，牵头建设首都医科大学骨科学院、烧伤与创面修复学系。

医院现有新街口、回龙观、新龙泽三个院区，回龙观院区二期 2024 年 12 月 29 日试运行。医院设有 48 个临床科室、18 个医技科室和 25 个行政职能处室。现有职工 4135 人。拥有高水平领军人才团队，包括正高级职称专家 177 人，副高级

职称专家 398 人。其中，国务院政府特殊津贴专家 6 人、省部级突出贡献专家 3 人、国家级百千万人才 1 人、北京学者 1 人、青年北京学者 1 人等。医院高质量发展战略目标包括建设国际一流的骨科医学中心，以国际诊疗前沿和重大疾病临床需求为导向，以科技创新为动力，建设骨科医学高地，引领我国骨科行业高质量发展；打造高水平的三甲综合医院，强化学科均衡发展，提高精细化管理水平，构建可持续发展格局；推动优质医疗资源扩容下沉，落实非首都功能疏解任务，充分发挥辐射引领作用，建设国家区域医疗中心，提高我国整体医疗技术水平；提升公共卫生应急能力，强化平急结合，医防融合，发挥紧急医学救援基地作用，建设多院区重大传染病防控体系。

## 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

北京积水潭医院已取得了辐射安全许可证（京环辐证[B0064]），有效期至 2028 年 7 月 17 日，许可的种类和范围是使用 V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，北京积水潭医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 北京积水潭医院已许可的射线装置情况

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	3D-C 型臂 X 射线机	III	2	使用
2	3D 移动式 C 型臂 X 射线机	III	5	使用
3	C 形臂（DR）	III	22	使用
4	C 形臂（透增强器）	III	21	使用
5	C 型臂 X 射线机	III	18	使用
6	G 型臂 X 射线机	III	10	使用
7	骨密度 X 射线仪	III	3	使用
8	迷你 C 型臂 X 射线机	III	5	使用
9	迷你动物 CT 机	III	1	使用
10	乳腺 X 射线机	III	1	使用
11	牙科 X 射线机	III	4	使用
12	牙科 X 射线机（曲面断层）	III	2	使用
13	医用 X 射线 CT 机	III	14	使用
14	医用 X 射线摄影机	III	28	使用
15	医用 X 射线碎石机	III	1	使用
16	医用 X 射线胃肠机	III	4	使用
17	移动床旁 X 射线机	III	16	使用
18	PET/CT 机	III	2	使用
19	SPECT/CT 机	III	2	使用
20	血管造影机	II	8	使用
	合计		II 类：8 台；III 类：161 台	

北京积水潭医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1-2。

表 1-2 北京积水潭医院已许可非密封放射性同位素使用情况

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	用途
1	本院核医学科	乙	F-18	7.4E+9	7.4E+6	1.85E+12	使用	诊断
2			Ga-67	9.25E+7	9.25E+6	9.25E+10	使用	诊断
3			Ga-68	1.11E+8	1.11E+6	5.55E+10	使用	诊断
4			I-123	1.85E+9	1.85E+7	1.85E+11	使用	诊断
5			I-131	2.41E+9	2.41E+8	4.6E+11	使用	诊断
6			Sr-89	2.96E+7	2.96E+6	7.4E+10	使用	诊断
7			Tc-99m	2.8E+10	2.8E+7	7.0E+12	使用	诊断
8			Tl-201	9.25E+8	9.25E+5	9.25E+10	使用	诊断
9	回龙观院区核医学科诊疗区	乙	F-18	5.55E+9	5.55E+6	1.11E+12	使用	诊断
10			Tc-99m	2.31E+10	2.31E+7	4.63E+12	使用	诊断
11			Cu-64	1.48E+8	1.48E+6	7.40E+9	使用	诊断
12			Ga-68	5.55E+8	5.55E+6	2.78E+10	使用	诊断
13			I-123	1.85E+9	1.85E+7	9.25E+10	使用	诊断
14			I-131	3.33E+6	3.33E+4	3.33E+8	使用	甲亢检查
15			I-131	1.85E+9	1.85E+7	1.85E+11	使用	甲亢治疗
16			Ra-223	1.32E+7	1.32E+8	6.60E+8	使用	治疗
17	Sr-89	2.96E+8	2.96E+7	1.48E+10	使用	治疗		

北京积水潭医院已获得许可使用放射源见表 1-3。

表 1-3 北京积水潭医院已获得许可证使用的放射源

序号	核素	类别	总活度 (贝可) /活度 (贝可) ×枚数	活动种类
1	Ge-68	V	1.85E+7*×1	使用；
2	Ge-68	V	3.50E+6*×1	使用；

### 1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京积水潭医院近五年以来共开展了 4 个核技术利用报告表项目，均履行了建设项目环境影响评价手续，取得了同意建设的批复。满足竣工验收条件的项目已完成竣工环保验收，具体落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目竣工验收落实情况

序号	项目名称	评审批环复文号/备案号	竣工验收情况
1	使用II类血管造影机	京环审[2021]53 号	2021 年 10 月完成自行验收
2	新增使用II类射线装置	京环审[2023]26 号	2025 年 9 月完成自行验收
3	回龙观院区新建核医学科项目	京环审[2023]81 号	2026 年 2 月完成自

			行验收
4	回龙观院区新增 1 台 DSA 项目	京环审[2025]32 号	正在办理竣工自主验收

### 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，促进放射性同位素和射线装置的安全使用，北京积水潭医院专门成立了辐射安全防护领导小组，辐射安全防护领导小组成员名单见表 1-5。

表 1-5 北京积水潭医院辐射安全防护领导小组成员名单

序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	组长	蒋协远	男	临床医学	院长	院办	兼职
2	副组长	姜春岩	男	临床医学	副院长	院办	兼职
3		鱼锋	男	临床医学	副院长	医务部	兼职
4		程洋	男	临床医学	主任	医务部	兼职
5	成员	郭朝晖	女	卫生管理	副研究员	医务部	专职
6	成员	胡睿	女	人力资源管理	处长	人力资源处	兼职
7	成员	陈绪珠	男	医学影像	主任	放射科	兼职
8	成员	杨芳	女	临床医学	主任	核医学科	兼职
9	成员	贾伟	男	临床医学	副主任	介入治疗中心	兼职
10	成员	杨旭波	男	生物医学工程	处长	总务处	兼职
11	成员	芦铭	男	生物医学工程	主任	医工部	兼职
12	成员	刘阳	男	生物医学工程	副主任	采购中心	兼职
13	成员	王飞	男	/	副处长	保卫处	兼职
14	成员	鲍立	女	临床医学	主任	血液科	兼职
15	成员	吴俊	男	临床医学	主任	医学检验中心	兼职
16	成员	王文海		医学影像	技师	放射科	兼职

#### 1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

北京积水潭医院结合医院实际情况，已制定一套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、放射性同位素与射线装置操作规程、辐射工作人员培训考核计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、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、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射安全事故应急预案等，并严格按照规章制度执行。

#### 1.2.3.3 工作人员考核情况

北京积水潭医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关

工作人员共 303 人（其中核医学科辐射工作人员 23 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**

北京积水潭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辐射安全许可证管理系统中。

目前，个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次，一共开展个人剂量监测人员数量 330 人。医院 2025 年度个人剂量监测结果表明，所有辐射工作人员年剂量均不高于 1mSv，均低于医院规定的管理目标值。开展个人剂量监测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量监测结果的情况。2025 年度个人剂量监测报告见附件 2。

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安全防护领导小组。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**

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。

**工作场所辐射水平监测：**医院每年委托有 CMA 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（包含现有核医学科工作场所），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。

医院 2025 年度对辐射工作场所进行了场所监测，包括同位素和射线装置工作场所，监测项目为场所周围剂量当量率及β表面污染水平。据检测结果，DR 摄影相关设备机房外的周围剂量当量率为 0.10μSv/h~16μSv/h（小于 25 μSv/h），其他射线装置机房外的周围剂量当量率为 0.10~2.4μSv/h（小于 2.5 μSv/h），满足 GBZ130-2020 中限值要求；非密封放射性物质工作场所控制区周围剂量当量率 0.10μSv/h~1.04μSv/h（小于 2.5 μSv/h），控制区β表面污染水平不大于 0.18Bq/cm<sup>2</sup>（小于 40Bq/cm<sup>2</sup>），监督区β表面污染水平不大于 0.18Bq/cm<sup>2</sup>（小于 4Bq/cm<sup>2</sup>），满足 GBZ120-2020 中限值要求。

**表面污染自行监测：**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。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，该项工作由使用科室工作人员自行完成。

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 1-6。

**表 1-6 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	手持多功能监测仪	Inspector	2013-01-28	正常	1	本部设备科
2	手持多功能监测仪	Inspector	2013-01-28	正常	1	回龙观设备科
3	手持多功能监测仪	Inspector	2007-05-08	正常	1	本部核医学科
4	手持式多功能监测仪	Inspector	2004-09-01	正常	1	本部放射科
5	手持式多功能监测仪	Inspector Alert	2021-05-21	正常	1	新龙泽院区
6	手持式多功能监测仪	Inspector	2024-11-12	正常	2	回龙观院区核医学科
7	便携式辐射巡测仪	NT6101	2024-11-19	正常	1	回龙观院区核医学科
8	便携式辐射巡测仪	IA-V2	2025-01-21	正常	1	回龙观院区西楼急诊介入中心
9	便携式辐射巡测仪	IA-V2	2026-01-06	正常	1	回龙观院区心脏大血管外科 DSA

本项目扩建运行后，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

北京积水潭医院依据《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。医院规定科室每年组织一次演练，每年至少组织一次全院应急演练。

2025 年度于 2025 年 4 月 29 日，医院组织核医学科、医务部、保卫处，开展了核医学场所放射物品防盗抢、防破坏应急演练。此次演练的目的是规范医院核医学科和相关部门工作人员应对突发放射性场所外来人员入侵、放射性药物被盗的应急处理程序并强化处理能力，将放射性药物突发事件后果降低到最低程度，最大限度地保障辐射工作人员与公众的安全，维护正常和谐的放射性核素诊疗及秩序。做到放射事故的早发现，及时报告，快速处理，建立快速反应机制。通过此次应急演练，提高了医护人员的应急处理能力和自我防护意识，达到预期效果。

#### 1.2.3.7 放射性废物的管理情况

目前，北京积水潭医院新街口院区及回龙观院区均设有核医学科，其中新街口院区核医学科只使用 F-18 和 Tc-99m 两种诊断核素。北京积水潭医院按照《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。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 天后（含 I-131、Ra-223 和 Sr-89 核素的放射性固体废物暂存超过 505 天），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”。医院核医学科最近的处置管理台账见附件3

医院新街口院区核医学科现有衰变池为槽式衰变池，总体积为 $18\text{m}^3$ ，设有3级池，每级 $6\text{m}^3$ 。最近一次2025年11月委托核工业北京化工冶金研究院分析测试中心对衰变池废水进行了检测，监测结果显示，（1）总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 分别为 $0.0282\text{Bq}/\text{L}$ 、 $0.967\text{Bq}/\text{L}$ ，低于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、 $10\text{Bq}/\text{L}$ 的排放限值的要求；（2）Tc-99m和F-18、I-131的活度浓度分别为 $0.387\text{Bq}/\text{L}$ 、 $0.0624\text{Bq}/\text{L}$ 、 $0.0252\text{Bq}/\text{L}$ ，放射性废水委托检测报告见附件3。回龙观院区核医学科现有衰变池为槽式衰变池，总体积为 $56\text{m}^3$ ，设有4级池，每级 $14\text{m}^3$ 。该槽式衰变池于2025年3月投入使用，暂未进行检测及排放。

#### 1.2.3.8 其他情况

北京积水潭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 建设项目背景

为贯彻落实国家及北京市关于提升区域医疗服务能力、优化医疗资源配置的相关要求，医院承担着区域内居民医疗保健、疾病诊疗及公共卫生服务等重要任务。随着临床诊疗水平不断提升及核医学学科快速发展，核医学影像检查、诊断需求持续增长，新街口院区核医学科受建筑结构、场地空间及既有布局限制，学科发展、设备更新及诊疗能力提升均受到一定制约，已难以满足院内统筹规划与长远发展需要。回龙观院区核医学科建成投入使用时间较短，整体布局合理、防护设施齐全、预留空间充足，具备进一步完善功能、提升服务能力的良好基础条件。

为统筹优化两院区间核医学诊疗资源配置，盘活现有大型医疗设备资源，理顺核医学科建设与发展布局，推动核医学诊疗工作集约化、规范化发展，更好地满足临床诊疗与患者就医需求，医院拟对回龙观院区核医学科实施改扩建。

本次改扩建将新街口院区核医学科现有设备搬迁至回龙观院区安装使用，改扩建完成后，新街口院区不再保留核医学科及相关诊疗设备，对新街口院区核医学科

进行退役处置。全院核医学诊疗业务统一由回龙观院区核医学科承担。

本项目的实施，有利于优化医疗资源配置，改善诊疗环境与工作条件，提升辐射安全与防护水平，确保核技术利用活动安全、规范、有序开展，更好地满足临床医疗与公众健康服务需求。

### 1.3.2 核医学科改扩建内容

本项目拟对回龙观院区西楼地下二层现有核医学科实施改扩建。本次原核医学科控制区平面布局保持不变，仅对功能用房进行优化调整：候诊室 1（PET 等候室 1）增设 1 张候诊椅，将原留观室调整为候诊室 3（PET/CT 等候室 2），房间位置、尺寸、屏蔽墙体等均未发生改变。同时新增两间显像机房，用于满足搬迁的显像设备的安装及使用需求。本项目不涉及控制区场所布局的改造，且将来改造时，将拟改造区域与核医学科现有控制区物理隔离。

项目将新街口院区核医学科现有 1 台 SPECT/CT 及 1 台 PET/CT 整体搬迁至回龙观院区核医学科安装使用，改扩建完成后，核医学科仍维持乙级非密封放射性物质工作场所等级，不增加放射性核素使用种类及单名患者核素使用的最大量，仅在原基础上增加 F-18 及 Tc-99m 显像诊疗人次。核医学科改扩建前后平面布局图见图 1-1、图 1-2。

本次改扩建具体内容如下：

（1）利用核医学科 SPECT/CT 室 1 东侧原有读片室等进行改造，建设为 SPECT/CT 室 2 及配套操作室等相关功能区域，满足搬迁的 SPECT/CT 设备安装、运行及操作使用要求；

（2）利用核医学科北侧原有预留机房进行改造，建设为 PET/CT 室 2 及配套操作室等相关功能区域，满足搬迁的 PET/CT 设备安装、运行及操作使用要求；

（3）结合新增 2 处机房的使用需求，增设该 2 间机房的排风支路，就近并入核医学科现有排风主管及路由，不新增独立排风系统、不新设排风机房及排风井，仅对局部通风管路进行优化调整；

（4）优化科室内部功能用房布局，候诊室 1（PET 等候室 1）增设 1 张候诊椅，将原有留观室调整为候诊室 3（PET/CT 等候室 2），提升患者等候环境；

（5）项目实施过程中，核医学科现有排水路由、衰变池系统及其他配套公用设施均保持不变，不进行拆除、改造或移位；

(6) 1台 SPECT/CT 及 1台 PET/CT 搬迁前均需委托第三方有资质的单位对设备进行监测，满足要求方可搬迁；

(7) 不增加放射性核素种类及单名患者的核素最大使用量，仅在原基础上增加 F-18 及 Tc-99m 显像诊疗人次，即增加 F-18、Tc-99m 两种核素的使用量，其余核素使用量保持不变。

### 1.3.3 本项目核素使用情况

本项目为回龙观院区核医学科改扩建项目，不增加放射性核素种类，仅增加 F-18、Tc-99m 两种核素的使用量，其余核素使用量保持不变。本次改扩建核素新增用量如下：

(1) F-18 不大于 370MBq/人，每个检查日 PET 检查 15 人次，每年最多工作 250 天，年用量每人按平均用量 296MBq/人进行核算；

(2) Tc-99m 不大于 925MBq/人，每个检查日最多检查 20 人次，每年最多工作 250 天，年用量每人按平均用量 740MBq/人进行核算；

(3) 本项目涉及的 III 类射线装置（PET/CT 和 SPECT/CT），PET/CT 配备 2 枚刻度源，回龙观院区核医学科前期已设置有储源室。本次改扩建布局方案设计时已考虑 III 类射线装置的防护和机房面积等要求。

本项目新增的辐射源项使用情况如表 1-7 所示。

表 1-7 拟增加使用的辐射源项情况

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	PET/CT	1	GE 美国通用电气 Discovery PET/CT 710	140 kV/560mA	III 类	PET/CT室2	搬迁
2	SPECT/CT	1	GE 美国通用电气 Discovery NM/CT 670	140kV/440mA	III 类	SPECT/CT 室2	搬迁
二拟使用的刻度源情况							
序号	刻度源使用情况						备注
1	2 枚 Ge-68V 类源：1 枚 1.85E+7Bq，1 枚 3.5E+6Bq						PET/CT 校准
三拟增加用量的核素情况							

核素种类	患者最大使用量 (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	备注
F-18	3.7E+8	15	250	5.55E+09	1.11E+12	PET 诊断	增加用量
Tc-99m	9.25E+8	20	250	1.85E+10	3.70E+12	SPECT 诊断	增加用量

备注：F-18、Tc-99m 年用量分别按平均用量 296MBq/人、740MBq/人进行核算。

### 1.3.4 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：医疗机构使用 F-18、Tc-99m 相关活动视为“很简单的操作”。

毒性组别修正因子和状态与操作方式修正因子根据 GB18871-2002 相关规定给出。

本次核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-8 所示。

表 1-8 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	状态与操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
核医学科诊疗区	F-18	5.55E+9	0.01	很简单操作（液体，10）	<b>5.55E+6</b>
		1.11E+10	0.01	贮存（液体，100）	<b>1.11E+6</b>
	Tc-99m	1.85E+10	0.01	很简单操作（液体，10）	<b>1.85E+7</b>

备注：F-18日等效最大操作量考虑衰减量的影响，当PET检查患者饱和时，厂家为每天两次送药，送药量按最大使用量的2倍。

核算后的本项目对核医学科日等效最大操作量的贡献值为 2.52E+7Bq，累加上现有核医学科的日等效最大操作量 2.35E+8Bq，总日等效最大操作量不大于 2.61E+8Bq，也小于非密封放射性物质工作场所乙级的上限（4×10<sup>9</sup>Bq）。

### 1.3.5 技术能力的配备情况

#### （1）辐射工作人员配备

本项目为核医学科改扩建项目，拟将新街口院区核医学科的 2 台设备搬迁到回龙观院区使用，本次搬迁不涉及人员新增，搬迁完成后启用现有人员开展相关工作，人员规模与搬迁前一致，符合环评相关要求。

本次回龙观院区核医学科改扩建项目，主要对回龙观院区现有核医学科进行升级改造，同步配套将新街口院区核医学科相关设备迁移至回龙观院区，设备迁移后

直接投入回龙观院区核医学科日常运营使用。本次项目仅涉及院区场地改扩建及设备迁移调整，不增加人员配置，依托现有在岗人员，即可完全满足设备启用、院区运营及各项管理工作需求，人员编制与项目实施前保持一致。

医院核医学科现有 23 名辐射工作人员，其中医师 9 名，技师 7 名，护士 6 名，物理师 1 名，能满足改扩建后核医学科运行的要求。

核医学科人员分工如下：

1) 7 名放射技师负责 PET 和 SPECT 设备操作、受检者摆位、核素门诊治疗、甲功检查、放射性废物管理、表面污染监测等操作。

2) 1 名物理师负责剂量测量与校准、治疗计划的设计与监督实施、设备的质量保证和质量控制以及辐射安全与防护管理。

3) 9 名医师负责 PET 检查对象的筛选和确认，PET 和 SPECT 诊断报告编写等。

4) 6 名护士负责药物交接、分装和注射等。

(2) 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后核医学科拟利用现有的 2 台手持多功能监测仪和 1 台便携式辐射巡测仪，能够满足核医学常规的监测需求。

### 1.3.6 任务由来

本项目为医院回龙观院区核医学科改扩建，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》相关规定，本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）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。评价重点是核医学改扩建后场所运行过程中产生的 X、 $\gamma$  射线、 $\beta$  射线，放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

### 1.3.7 项目建设正当性

核医学显像可以得到三维立体信息，即由若干组二维断层图像重建而成三维图像，改变深度信息重叠的脏器方面的空间分辨率。并且能够提供全定量的分析手段，

可测得单位体积的放射性浓度，能反映脏器深度方面的活性差异，提供定量分析的依据。

将新街口院区现有核医学设备搬迁至回龙观院区核医学科扩建场所继续使用，可充分盘活现有医疗资源，提高国有资产使用效率，避免重复投资与资源浪费。本项目的建设将使医院的核医学科有能力接诊更多人次患者，帮助更多患者及时发现疾病、摆脱疾病困扰。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。

该项目使用的 F-18、Tc-99m 等标记放射性药物，开展核医学影像诊断和治疗，是核医学科较成熟的、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。

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 项目选址与周围环境**

本项目位于回龙观院区西楼地下二层，回龙观院区东至风雅园北路，西至周庄西街，北至回南北路，南至风雅园北街。医院地理位置图见附图 1，周边关系图见附图 2。

核医学科东侧为消防水池、生活水泵房等，南侧为机房、办公区、电梯厅等，西侧为核医学科预留、车位、生活垃圾暂存，北侧为消防电梯、患者电梯等，之外为地下土层，楼上一层为支具中心，楼下为库房、换热站等。

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，总体认为该项目选址合理。

### **1.3.9 本项目辐射场所的布局**

本次核医学科改扩建项目，原核医学科内部控制区平面布局保持不变，仅对功能用房进行优化调整，同时新增显像室 3（PET/CT 室 2）及显像室 4（SPCET/CT

室2)两处机房及配套功能用房。

核医学科东侧和南侧作为普通区域,用作给药前问诊区、候诊区、登记处、办公室、诊室等。将受检者入口设在南侧,受检者出口设在北侧,由北侧专用电梯到一层后离开西楼,核医学科患者出入口设置单向门禁系统。沿着注射后患者走廊设置监护观察室(PET VIP 等候)、储源室、候诊室1(PET 等候室1)、显像室1(PET/CT 室1)、候诊室2(SPECT 等候室)、显像室2(SPECT/CT 室1)、候诊室3(PET 等候室2)、显像室4(SPECT/CT 室2)、显像室3(PET/CT 室2)、留观室等。

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。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。

#### **1.3.10 核医学科改扩建方案**

北京积水潭医院计划于2026年7月开始核医学科改扩建安排(取得核医学科改扩建项目批复后开始实施),预计2026年9月底前完成,主要分三个阶段完成,第一阶段新增2间机房的改造,同步推进新增通风系统管线铺设,第二阶段新增通风系统设备安装、单独调试及施工区域清理,第三阶段通风系统并网对接、全面调试、污染检测及验收,确保项目顺利完工,全程不影响现有核医学科正常诊疗运行。制定本项目如下实施方案。

##### **(1) 严格分区隔离**

施工前对改造区域采用密闭围挡进行全封闭物理隔离,设置明显警示标识及施工边界,明确划分施工区与现有诊疗区、控制区,实行分区管理、分区通行。施工人员、材料、机具均从专用施工通道进出,不得进入现有诊疗及放射性工作控制区域,避免人流、物流交叉干扰。

##### **(2) 合理安排施工时间**

施工工序优先安排在夜间、周末及法定节假日等非诊疗时段进行,避开工作日患者集中检查时段。施工前与科室充分对接诊疗计划,合理安排施工内容与进度,不占用现有检查室、不中断现有设备运行、不影响正常诊断流程。

##### **(3) 施工过程管控**

施工期间严格控制噪声、粉尘及建筑垃圾，选用低噪声设备，建筑垃圾日产日清，统一规范转运，不在诊疗区域及通道内堆放，防止对诊疗环境造成污染。施工过程中避免对现有结构、管线、防护墙体造成破坏，确保现有辐射防护体系完整有效。

#### (4) 全过程专人管理

施工期间，安排专人负责现场安全管理及与核医学科的对接工作，实时监控施工进度及施工质量，及时协调解决施工过程中出现的各类问题。同时，安排具备辐射防护知识的专人值守，严禁施工人员违规操作、违规进入辐射控制区，定期对隔离设施进行检查，确保隔离措施到位，杜绝辐射安全隐患及交叉干扰。

(5) 应急处置准备：制定施工期间应急处置预案，针对施工过程中可能出现的突发情况（如施工噪音过大影响诊疗、隔离设施损坏、意外污染等），明确应急处置流程、责任人员及处置措施，配备必要的应急物资（如去污用品、警示标识、应急围挡等），确保突发情况能够及时妥善处置，不影响现有核医学科正常运行。

(6) 为确保通风系统改造及并网过程中，不产生放射性污染、不影响现有核医学科通风安全，结合核医学科辐射防护要求，严格按照以下流程实施，重点落实周末停诊后并网操作：

1) 通风系统单独施工：新增风管、排风装置等均在隔离施工区内独立安装，不触碰、不影响现有在用排风系统，确保现有核医学科诊疗期间通风正常、废气收集与排放稳定运行。为防止废气倒灌、串流及交叉污染，新增通风管道上按规范设置止回阀，确保气流单向流动、运行安全可靠。

2) 施工过程污染防控：风管安装、接口处理等作业均采取密闭、防尘措施，及时清理施工粉尘与废料，防止污染物扩散至诊疗区域；所有风管接口做到密封严密，不漏风、不串风，满足放射性废气排放要求。

3) 并网操作时间及流程：通风系统并网操作，严格选择在周末核医学科停止诊疗后进行。并网前，由核医学科工作人员使用经检定合格的辐射检测仪器，对待接入通风管内壁、外壁、接口部位及周边区域进行表面污染监测与环境剂量率检测，确认无污染、剂量率水平符合辐射防护控制值后，再实施通风管对接与并网作业。并网完成后，再次对通风管接口、连接处及周边区域进行表面污染与剂量率复检，确认无泄漏、无放射性污染残留，排风系统运行稳定、各项指标达标后，方可恢复

正常使用。所有检测数据由专人记录、归档留存，作为辐射安全管理与运行备查依据。

4) 并网后污染排查：通风系统并网完成后，安排专人对通风管线接口、风机、净化装置等部位进行全面排查，检查是否存在泄漏、串风等问题，对排查出的隐患及时整改。同时，对核医学科区域、施工区域进行全面清洁、去污，检测区域内放射性浓度，确保无放射性污染残留，保障后续诊疗工作安全有序开展。

(7) 根据本项目环评报告项目的实施方案和批复的要求，实施核医学场所的改扩建工作，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；

(8) 场所改扩建完成后，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；

(9) 项目试运行后，尽快完成本项目的环保自行验收手续。



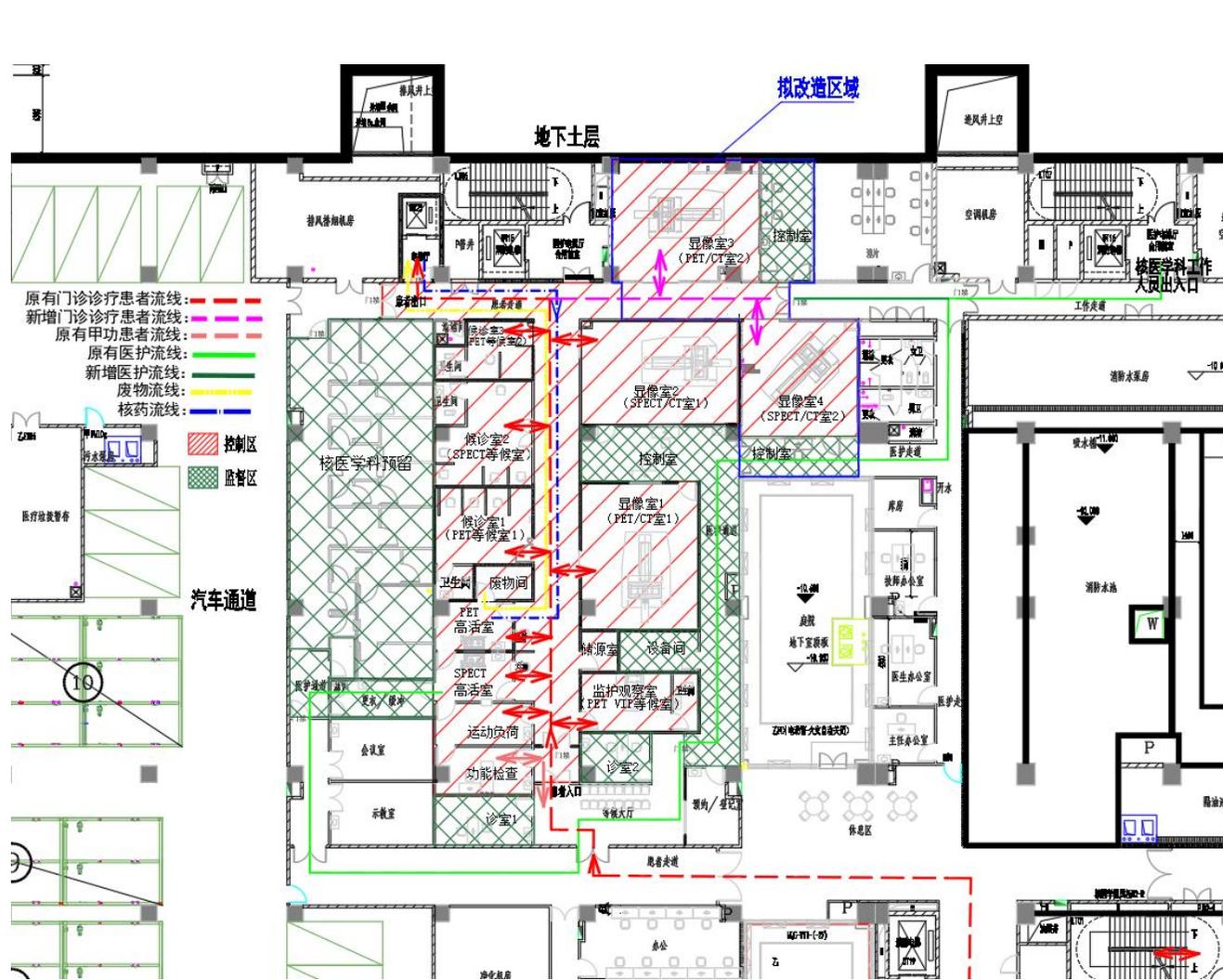


图 1-2 回龙观院区核医学科改扩建之后平面布局

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	1.85E+7Bq	V类	使用	刻度源	PET/CT室2	储源室	搬迁
2	Ge-68	3.5E+6Bq	V类	使用	刻度源	PET/CT室2	储源室	搬迁
无								

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	5.55E+09	5.55E+06	1.11E+12	诊断	很简单操作	核医学科	核医学科高活室
2	Tc-99m	液体	使用	1.85E+10	1.85E+07	3.70E+12	诊断	很简单操作		
无										

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》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	Ⅲ类	1	Discovery PET/CT 710	140	560	医疗诊断	SPECT/CT室2	搬迁
2	SPECT/CT	Ⅲ类	1	Discovery NM/CT 670	140	440	医疗诊断	PET/CT室2	搬迁
/									

(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	
无													

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	Tc-99m、F-18等（A类） I-131（B类）	/	/	约129.8m <sup>3</sup>	按表7-3值控制	56m <sup>3</sup> 衰变池暂存	依照HJ1188-2021、《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》和辐射函[2023]20号，设槽式衰变池（罐），放射性废水暂存至少81d后，经检测达标后排入医院污水处理站，严格记录废水排放台账。
放射性固废（手套、纱布等其他固态物质、一次性注射器）	固态	Tc-99m、F-18等（A类） I-131、Sr-89（B类）	/	/	约399kg	<10 <sup>4</sup> Bq/kg	放射性固体废物在放射性废物库内储存。	分类收集，A类暂存30d后，B类暂存10倍核素半衰期且不少于30天后（其中Sr-89和I-131废物暂存505天），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。
放射性废气	气态	F-18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				8kg（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，经自行检测，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

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，主席令第九号，2015年1月1日起实施。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，主席令第二十四号，2018年12月29日日修订并实施。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第六号，2003年10月1日起实施。</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号修订，2017年6月21日公布，2017年10月1日起实施。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第709号第二次修订，2019年3月2日第二次修订版公布并实施。</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，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。</p> <p>(7) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第九号，2019年9月20日公布，2019年11月1日起施行。</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施。</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第18号令，2011年4月18日公布，2011年5月1日起实施。</p> <p>(10) 《关于发布&lt;射线装置分类&gt;的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告第66号，2017年12月5日。</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法》的公告，原国家环境保护总局公告，2005年第62号，2005年12月23日。</p> <p>(12) 《关于发布&lt;建设项目竣工环境保护验收暂行办法&gt;的公告》，国环规环评[2017]4号，2017年11月20日。</p> <p>(13) 《原北京市环境保护局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24号，2018年1月25</p>
------	--

	<p>日。</p> <p>(14) 《北京市城乡规划条例》，京人常[2021]61号，2021年9月24日。</p> <p>(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函〔2016〕430号。</p> <p>(16) 《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>(17) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020年2月。</p> <p>(18) 《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》，京环办[2018]13号，2018年12月6日。</p> <p>(19) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日。</p> <p>(20) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告2021年第9号，2021年3月11日。</p> <p>(21) 《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>(22) 《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》，2019年8月24日。</p> <p>(23) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20号。</p>
<p><b>技术标准</b></p>	<p>(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），环境保护部。</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）</p> <p>(3) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）</p> <p>(4) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）</p> <p>(5) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）</p> <p>(6) 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）</p> <p>(7) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA</p>

	<p>1002-2012)</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)</p> <p>(9) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)</p> <p>(11) 《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)</p> <p>(12) 《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)</p> <p>(13) 《正电子发射断层成像(PET)设备质量控制检测标准》(WS817-2023)</p> <p>(14) 《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》(试行版)</p>
其他	<p>(1) 原国家环境保护局监督管理司,《中国环境天然放射性水平》,1995年8月。</p> <p>(2) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006</p> <p>(3) Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd</p> <p>(4) 辐射安全手册,科学出版社,2011年。</p> <p>(5) 北京积水潭医院提供的与本项目相关的申请和技术资料,2026.03。</p>

表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价内容、范围和因子

#### 7.1.1 评价内容

本项目为回龙观院区核医学科改扩建项目，原核医学科内部平面布局基本保持不变，仅对功能用房进行优化调整，同时新增 1 间 PET/CT 室及 1 间 SPCET/CT 室，搬迁使用 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT，不增加核医学科现有核素种类及每人核素最大用量，仅在原基础上增加 F-18 及 Tc-99m 显像诊疗人次，即增加 F-18、Tc-99m 两种核素的使用量，该场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

#### 7.1.2 评价范围

本项目为核医学科改扩建项目，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：本次改扩建后核医学科实体屏蔽边界外 50m 区域。本项目评价范围示意图见图 7-1 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，除了北侧回南北路部分区域外，其它都是医院内部，主要为医院西楼内相关诊疗场所和院内区域等。

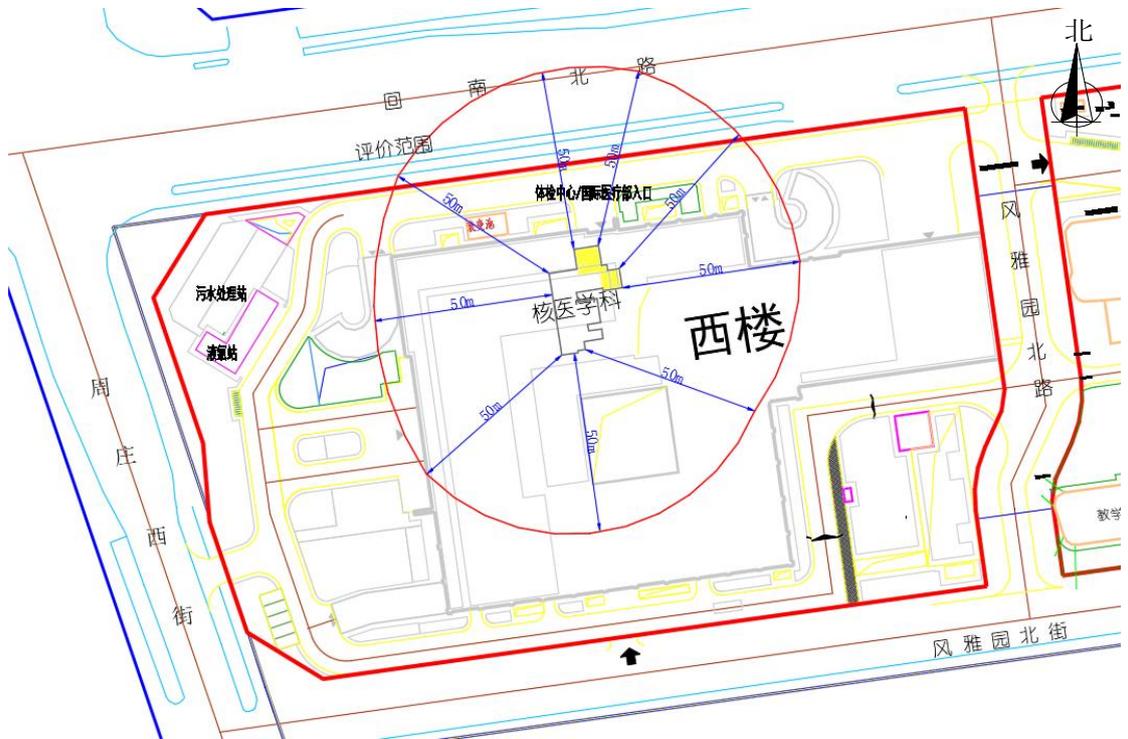


图 7-1 本项目评价范围示意图

#### 7.1.3 关注问题

(1) 改扩建后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、放射性“三废”等。

#### 7.2 保护目标

核医学科位于西楼地下二层，东侧为消防水池、生活水泵房等，南侧为机房、办公区、电梯厅等，西侧为核医学科预留、车位、生活垃圾暂存，北侧为消防电梯、患者电梯等，之外为地下土层，楼上一层为支具中心，楼下为库房、换热站。

上述场所的具体位置见图 7-2~图 7-4 及附图 3~附图 8 所示，都充分考虑周围场所的安全，核医学科不邻接产科、儿科、食堂等部门，并与非放射性工作场所所有明确的分界隔离，满足 HJ1188-2021 和 GBZ120—2020 的选址要求。改扩建区域场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7-1 所示。

表 7-1 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)	常居留人数(人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
核医学科	核医学科工作人员	紧邻	12	/	预登记室、控制室、高活室、办公区、核医学预留等
	其他部门工作人员	16~50	5	东侧	消防水池、生活水泵房等
	其他部门工作人员、电梯工作人员	8~50	20	南侧	机房、办公区、电梯厅等
	停车位管理人员和垃圾清理人员	9~50	5	西侧	车位、生活垃圾暂存
	电梯管理人员	0~7	0	北侧	电梯厅(与核医学科相连门为消防常闭门)
	/	8~50	/		地下土层
	支具中心	紧邻	5	楼上	地下一层支具中心
	库房及换热站管理人员	紧邻	3	楼下	地下三层库房、换热站

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 或 SPECT 机房、给药后候诊室和高活室等)。PET 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。

PET/CT 机房以及 PET 等候室楼上为支具中心组装室、卫生间、灌型室和测

量室、示教室等，楼下为库房、换热站（PET/CT室2楼下目前是库房办公室，项目启动前调整为骨科耗材智能管理中心），不属于固定人员常居留的场所，且楼顶和底板都进行了加厚处理（采用在25cm 砵或者在此基础上再增加6cm 混凝土垫层屏蔽或6cm 硫酸钡水泥）。PET/CT 机房对楼上、楼下的附加剂量率分别为  $4.31E-2\mu\text{Sv/h}$ 、 $4.72E-2\mu\text{Sv/h}$ ，PET 等候室对楼上、楼下的附加剂量率分别为  $7.72E-2\mu\text{Sv/h}$ 、 $8.46E-2\mu\text{Sv/h}$ ，远低于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的要求。综合考虑，本项目核医学科诊疗选址是可行的。

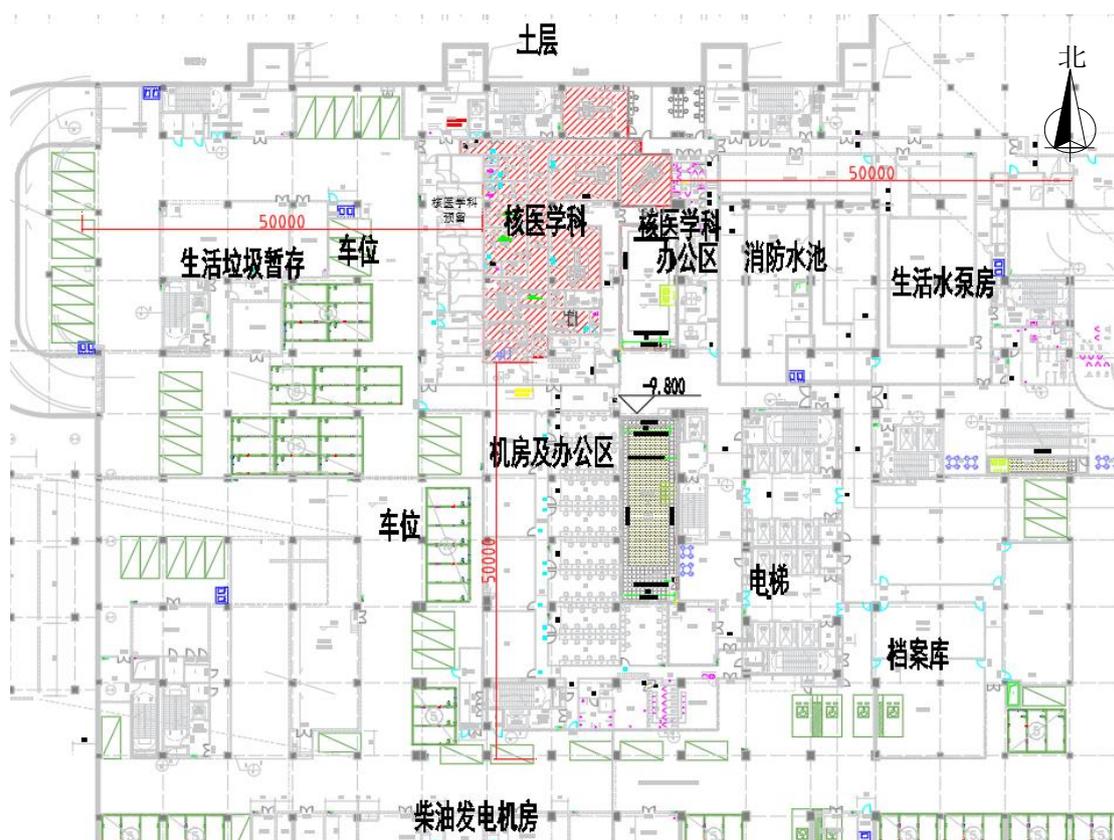


图 7-2 本项目地下二层周围关系图



### 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 7-2。

表 7-2 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

职业照射，本项目所有从事核医学辐射工作人员取 5mSv/a（叠加后仍为 5mSv/a）作为剂量约束值；对公众，本项目取 0.1mSv/a（叠加后仍为 0.1mSv/a）作为剂量约束值。

本次评价所取年剂量约束值与单位核医学科剂量管理目标值一致。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，剂量率水平还要满足以下要求，依照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）并结合本项目实际情况，本项目辐射工作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）PET/CT 室和 SPECT/CT 室外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

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

（4）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。

### 7.3.4 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）等规定，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。

核医学科已许可使用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），故本项目放射性废水按 B 类的放射性废水管理收集。本项目放射性废水根据 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，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 I-131 的放射性废水至少暂存 180 天）后，衰变池废水直接排放；暂存时间不到 180 天，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，活度浓度不大于 10Bq/L 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。

### 7.3.5 放射性固体废物管理

由于核医学科已许可使用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《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》，核医学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天后（含I-131、Ra-223和Sr-89核素的放射性固体废物暂存超过505天），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。

#### 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7-3。

表 7-3 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7-4。

表 7-4 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	4	$4 \times 10$	$4 \times 10$
	监督区	$4 \times 10^{-1}$	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	$4 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-1}$	4

	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-1}$

GB18871-2001 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，尽可能远离邻近的高层建筑，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

本项目核医学科相关辐射工作场所设置的排风系统的排风口都位于西楼楼顶的中部，高度约 69m，高于周围 50m 范围内建筑物。

本项目核医学科 PET 高活室和 SPECT 高活室已配备手套箱各 1 个，操作口风速均  $\geq 0.5\text{m/s}$ 。核医学科共配备 2 套排风系统，核医学科诊疗的手套箱已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；核医学科诊疗控制区设置一套排风系统，各排风机出口处设置活性炭过滤装置。

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（高效过滤器不大于 2 kg），过滤器每年更换一次。

### 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 7-5。

表 7-5 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>
<p>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。</p>			

经核算，核医学科高活室，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 7-5 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 SPECT-CT/PET-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 7-6 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 7-7 的要求。

表 7-7 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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

2025 年 11 月 17 日，由深圳市瑞达检测技术有限公司对核医学科现工作场所进行了场所监测；目前核医学科处于正常运行状态，所以本项目相关场所的现状监测采用核医学科最近一年度的委托第三方有资质的常规监测数据。检测仪器参数见表 8-1，报告见附件 4。

2026 年 3 月 13 日，由深圳市瑞达检测技术有限公司（已取得 CAM 资质并于 2026 年 2 月 26 日完成北京市生态环境监测技术服务机构备案）对核医学科拟改扩建区域现状进行了辐射监测。监测内容为拟改扩建区域 $\gamma$ 辐射剂量率，检测仪器参数见表 8-1，报告见附件 4。

表 8-1 检测仪器参数

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书编号 检定/校准日期	技术参数
辐射检测仪	AT1123/20250702	2025 年 7 月 1 日 (DLjl2025-08472) 2025 年 7 月 28 日 (DLjl2025-09735)	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：< $\pm$ 15%。
辐射检测仪	AT1121/20171220	2026 年 2 月 5 日 (DLjl2026-01593) 2026 年 1 月 16 日 (DLjl2026-00544)	测量范围：50nSv/h~10Sv/h； 能量范围：60keV~3MeV； 相对响应之差：< $\pm$ 25%。
表面污染仪	CoMo170/201704 07	2025 年 2 月 5 日 (DLhd2025-00256)	探测器尺寸：170cm <sup>2</sup> ； cps: $\beta/\gamma$ 15~25 cps； 探测效率：37% ( $\beta$ )、18% (F-18)、3% (Tc-99m)、 42% (Y-90)。

8.1.1 核医学科现工作区域

核医学科现区域 $\gamma$ 剂量率的监测数据见表8-2， $\beta$ 表面污染水平见表8-3。

表 8-2 核医学科场所现工作区域 $\gamma$ 辐射剂量率

表 1 PET 高活室检测结果			
场所代码	A		
场所名称	PET 高活室		
检测条件	A1: 铅罐内约有 90 $\times$ 37MBq <sup>18</sup> F 药物 A2: 由 62.6 $\times$ 37MBq 铅罐中分装 11.7 $\times$ 37MBq <sup>18</sup> F 药物 A3: 铅盒内有 11.3 $\times$ 37MBq <sup>18</sup> F 药物 A4: 工作人员为患者注射 11.7 $\times$ 37MBq <sup>18</sup> F 药物 A5-A17、A19-A20: 11.3 $\times$ 37MBq <sup>18</sup> F 裸源放置于室中央 A18: 内有放射性废物		
检测点编号	检测点位置	周围剂量当量	场所分区

			率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
A1	药物运输铅罐表面 5cm		13.7	控制区
	药物运输铅表面 30cm		4.70	控制区
	药物运输铅表面 50cm		2.34	控制区
	药物运输铅表面 100cm		1.57	控制区
A2	手套箱操作位 (手孔打开, 工作人员分装药物)		2.16	控制区
	手套箱观察窗 5cm (手孔关闭)		0.13	控制区
	手套箱观察窗 30cm (手孔关闭)		0.12	控制区
	手套箱表面 5cm (手孔关闭)		0.11	控制区
	手套箱表面身 30cm (手孔关闭)		0.12	控制区
	左手孔 (手孔打开, 工作人员分装药物)		23.2	控制区
	右手孔 (手孔打开, 工作人员分装药物)		22.9	控制区
A3	注射器运输防护铅盒表面 5cm		23.3	控制区
	注射器运输防护铅盒表面 30cm		3.81	控制区
	注射器运输防护铅盒表面 50cm		2.09	控制区
	注射器运输防护铅盒表面 100cm		0.51	控制区
A4	注射窗口	注射车观察窗	2.19	控制区
		操作位	2.17	控制区
A5	东侧门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.11	控制区
		中部	0.12	控制区
A6	南侧门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中部	0.12	控制区
A7	北侧门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中部	0.12	控制区
A8	东墙	患者走廊	0.12	控制区
A9	东墙	患者走廊	0.12	控制区
A10	南墙	SPECT 高活室	0.12	控制区
A11	南墙	SPECT 高活室	0.12	控制区
A12	南墙	SPECT 高活室	0.12	控制区
A13	西墙	合成高活室 (预留)	0.12	/
A14	西墙	合成高活室 (预留)	0.12	/
A15	西墙	传递箱	0.12	/
A16	北墙	卫生间	0.12	控制区
A17	北墙	废物间	0.12	控制区
A18	铅废物桶	表面 5cm	0.12	控制区
A18	铅废物桶	表面 30cm	0.12	控制区
A19	楼上	支具中心库房	0.12	/
A20	楼下	总务库房	0.12	/



图1 PET高活室检测布点示意图

表2 SPECT高活室检测结果

场所代码	B			
场所名称	SPECT高活室			
检测条件	B1: 内有11只各装有25×37MBq <sup>99m</sup> Tc注射器转运铅罐 B2: 内有25×37MBq <sup>99m</sup> Tc药物 B3: 工作人员测量25×37MBq <sup>99m</sup> Tc药物活度 B4: 为患者注射25×37MBq <sup>99m</sup> Tc药物 B5-B17、B19-B20: 25×37MBq <sup>99m</sup> Tc裸源放置于室中央 B18: 内有放射性废物			
检测点编号	检测点位置	周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区	
B1	药物运输箱表面5cm	0.11	控制区	
	药物运输箱表面30cm	0.12	控制区	
B2	<sup>99m</sup> Tc注射器转运铅罐表面5cm	0.12	控制区	
	<sup>99m</sup> Tc注射器转运铅罐表面30cm	0.11	控制区	
B3	手套箱操作位 (手孔打开, 工作人员测量药物活度)	1.45	控制区	
	手套箱观察窗5cm(手孔关闭)	0.11	控制区	
	手套箱观察窗30cm(手孔关闭)	0.11	控制区	
B3	手套箱表面5cm(手孔关闭)	0.12	控制区	
	手套箱表面30cm(手孔关闭)	0.12	控制区	
	左手孔(手孔打开, 工作人员测量药物活度)	6.98	控制区	
	右手孔(手孔打开, 工作人员测量药物活度)	6.59	控制区	
B4	注射窗口	注射车观察窗	2.09	控制区
		操作位	2.17	控制区
B5	东侧门	上侧	0.12	控制区
B5		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
B6	南侧门	中部	0.12	控制区
		上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
B6	南侧门	右侧	0.12	控制区
		中部	0.12	控制区
B7	西侧门	上侧	0.12	监督区

		下侧	0.12	监督区
		左侧	0.11	监督区
		右侧	0.11	监督区
		中部	0.11	监督区
B8	北侧门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中部	0.12	控制区
B9	东墙	患者走廊	0.12	控制区
B10	东墙	患者走廊	0.12	控制区
B11	南墙	运动负荷室	0.12	控制区
B12	南墙	传递箱	0.12	控制区
B13	南墙	运动负荷室	0.12	控制区
B14	西墙	合成高活室 (预留)	0.12	/
B15	北墙	PET 高活室	0.12	控制区
B16	北墙	PET 高活室	0.12	控制区
B17	北墙	PET 高活室	0.12	控制区
B18	铅废物桶	表面 5cm	0.12	控制区
		表面 30cm	0.12	控制区
B19	楼上	支具中心展示厅	0.12	/
B20	楼下	污衣库	0.12	/



图2 SPECT 高活室检测布点示意图

表3 候诊室1 (PET 等候室) 检测结果

场所代码	C			
场所名称	候诊室1 (PET 等候室)			
检测条件	C1-C7、C11-C13、C15-C17: 30×37MBq <sup>18</sup> F 裸源放置于室内候诊椅上 C8-C10: 注射 <sup>18</sup> F药物的患者在室内候诊 C14: 室内有放射性废物			
检测点编号	检测点位置	周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区	
C1	东侧门	上侧	0.72	控制区
		下侧	0.73	控制区
		左侧	0.71	控制区
		右侧	0.73	控制区
		中缝	0.73	控制区
		左扇中部	0.74	控制区
		右扇中部	0.73	控制区

C2	东墙	患者走廊	0.77	控制区
C3	东墙	患者走廊	0.84	控制区
C4	东墙	患者走廊	0.80	控制区
C5	南墙	废物间	0.94	控制区
C6	南墙	废物间	0.84	控制区
C7	南墙	PET 高活室	0.82	控制区
C8	西墙	清洗室（预留）	0.12	/
C9	西墙	库房（预留）	0.12	/
C10	西墙	阳性对照室（预留）	0.12	/
C11	北墙	SPECT 等候室	0.12	控制区
C12	北墙	SPECT 等候室	0.12	控制区
C13	北墙	SPECT 等候室	0.12	控制区
C14	铅废物桶	表面 5cm	0.12	控制区
		表面 30cm	0.12	控制区
C15	楼上	灌型室	0.12	/
C16	楼上	修型室	0.12	/
C17	楼下	库房	0.12	/

图3 候诊室1（PET等候室）检测布点示意图

**表4 候诊室2（SPECT等候室）检测结果**

场所代码	D			
场所名称	候诊室2（SPECT等候室）			
检测条件	D1-D6、D10-D13、D15-D18：25×37MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源放置于室内候诊椅上 D7-D9：注射 <sup>99m</sup> Tc药物的患者在内候诊 D14：内有放射性废物			
检测点编号	检测点位置	周围剂量当量率(μSv/h)	场所分区	
D1	东侧门	上侧	0.11	控制区
		下侧	0.11	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中缝	0.12	控制区
		左扇中部	0.12	控制区
		右扇中部	0.12	控制区

D2	东墙	患者走廊	0.11	控制区
D3	东墙	患者走廊	0.11	控制区
D4	南墙	PET 等候室	0.11	控制区
D5	南墙	PET 等候室	0.11	控制区
D6	南墙	PET 等候室	0.12	控制区
D7	西墙	阳性对照室 (预留)	0.12	/
D8	西墙	无菌室 (预留)	0.11	/
D9	西墙	固废间 (预留)	0.11	/
D10	北墙	留观室卫生间	0.11	控制区
D11	北墙	留观室	0.11	控制区
D12	北墙	留观室	0.11	控制区
D13	北墙	留观室	0.11	控制区
D14	铅废物桶	表面 5cm	0.11	控制区
		表面 30cm	0.12	控制区
D15	楼上	灌型室	0.12	/
D16	楼上	修型室	0.12	/
D17	楼上	示教室	0.11	/
D18	楼下	库房	0.11	/

图 4 候诊室 2 (SPECT 等候室) 检测布点示意图

**表 5 留观室检测结果**

场所代码	E			
场所名称	留观室			
检测条件	E1-E6、E8-E14: 11.3×37MBq <sup>18</sup> F 裸源、25×37MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源放置于室内座椅上 E7: 留观患者在内留观			
检测点编号	检测点位置	周围剂量当量率(μSv/h)	场所分区	
E1	东侧门	上侧	1.29	控制区
		下侧	1.35	控制区
		左侧	1.92	控制区
		右侧	1.72	控制区
		中缝	1.42	控制区

		左扇中部	1.71	控制区
		左扇中部	1.75	控制区
E2	东墙	患者走廊	0.32	控制区
E3	东墙	患者走廊	0.12	控制区
E4	南墙	SPECT 等候室	0.20	控制区
E5	南墙	SPECT 等候室	1.06	控制区
E6	南墙	SPECT 等候室	0.41	控制区
E7	西墙	动物 PET 实验室 (预留)	0.12	/
E8	西墙	清洁间	0.93	控制区
E9	北墙	清洁间	0.94	控制区
E10	北墙	患者走廊	1.43	控制区
E11	北墙	患者走廊	0.14	控制区
E12	楼上	示教室	0.11	/
E13	楼上	库房	0.12	/
E14	楼下	污水泵房	0.74	/

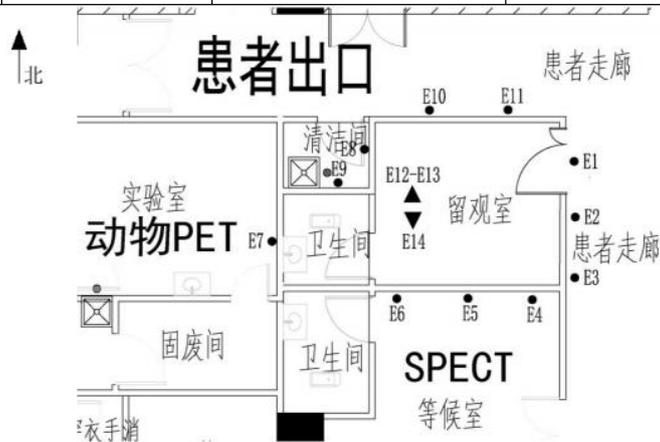


图5 留观室检测布点示意图

表6 显像室2 (SPECT/CT) 检测结果

场所代码	F			
场所名称	显像室2 (SPECT/CT室)			
检测条件	F1~F24: 25×37MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源放置于检查床上, 同时进行 CT 扫描, 扫描参数: 130kV, 200mA, 准直宽度 16×1.2mm F25: 25×37MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源放置于检查床上			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率(μSv/h)	场所分区
F1	操作位	控制室	0.16	监督区
F2	观察窗	上侧	0.16	监督区
		下侧	0.16	监督区
		左侧	0.16	监督区
		右侧	0.16	监督区
		中部	0.16	监督区
F3	西侧门	上侧	0.15	控制区
		下侧	0.35	控制区
		左侧	0.14	控制区
		右侧	0.15	控制区
		中部	0.15	控制区

F4	南侧门	上侧	0.15	监督区
		下侧	0.15	监督区
		左侧	0.27	监督区
		右侧	0.15	监督区
		中部	0.15	监督区
F5	东墙	读片室	0.12	/
F6	东墙	读片室	0.12	/
F7	东墙	读片室	0.12	/
F8	东墙	读片室	0.12	/
F9	南墙	控制室	0.15	监督区
F10	南墙	控制室	0.15	监督区
F11	南墙	控制室	0.15	监督区
F12	西墙	患者走廊	0.15	控制区
F13	西墙	患者走廊	0.15	控制区
F14	西墙	患者走廊	0.15	控制区
F15	西墙	患者走廊	0.28	控制区
F16	北墙	工作人员通道	0.12	监督区
F17	北墙	工作人员通道	0.12	监督区
F18	北墙	工作人员通道	0.11	监督区
F19	北墙	工作人员通道	0.12	监督区
F20	楼上	走廊	0.11	/
F21	楼上	打磨及数码加工中心	0.12	/
F22	楼上	树脂抽真空室	0.12	/
F23	楼下	库房	0.12	/
F24	楼下	污水泵房	0.12	/
F25	距裸源 100cm 处	22	/	

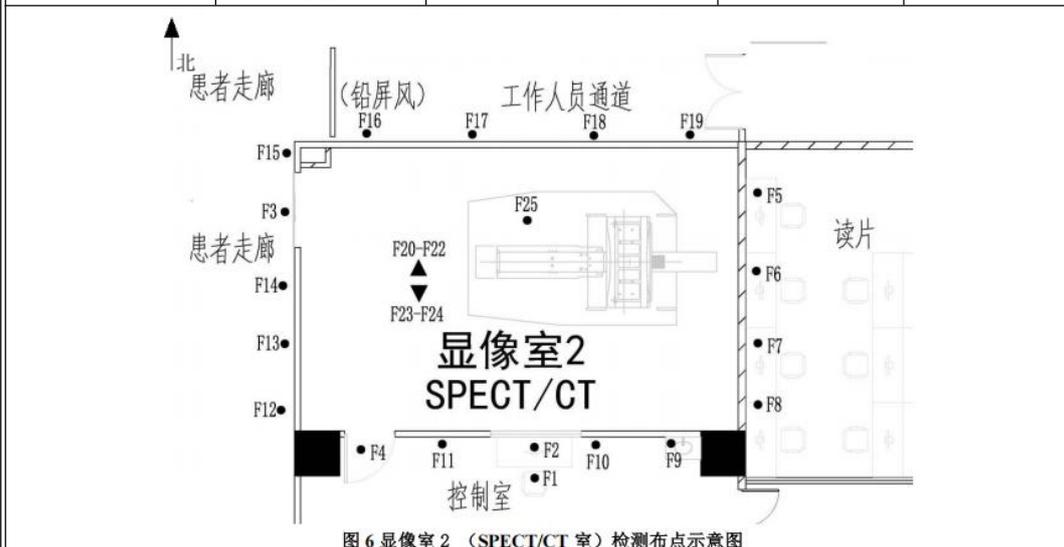


图 6 显像室 2 (SPECT/CT 室) 检测布点示意图

表 7 显像室 1 (PET/CT 室) 检测结果

场所代码	G		
场所名称	显像室 1 (PET/CT 室)		
检测条件	G1~G23: 11.3×37MBq <sup>18</sup> F 裸源放置于检查床上, 同时进行 CT 扫描, 扫描参数: 120kV, 260mA, 准直宽度 64×0.625mm G24: 11.3×37MBq <sup>18</sup> F 裸源放置于检查床上		
检测点编号	检测点位置	周围剂量当	场所分区

			量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
G1	操作位	控制室	0.20	监督区
G2	观察窗	上侧	0.21	监督区
		下侧	0.21	监督区
		左侧	0.24	监督区
		右侧	0.21	监督区
		中部	0.20	监督区
G3	北侧门	上侧	0.65	监督区
		下侧	0.23	监督区
		左侧	0.37	监督区
		右侧	0.34	监督区
		中部	0.42	监督区
G4	西侧门	上侧	0.86	控制区
		下侧	1.72	控制区
		左侧	0.35	控制区
		右侧	0.38	控制区
		中部	0.44	控制区
G5	东墙	工作人员走廊	0.20	监督区
G6	东墙	工作人员走廊	0.21	监督区
G7	东墙	工作人员走廊	0.23	监督区
G8	东墙	工作人员走廊	0.26	监督区
G9	南墙	设备间	0.16	监督区
G10	南墙	设备间	0.16	监督区
G11	南墙	设备间	0.18	监督区
G12	南墙	储源室	0.12	控制区
G13	西墙	患者走廊	0.12	控制区
G14	西墙	患者走廊	0.12	控制区
G15	西墙	患者走廊	0.35	控制区
G16	西墙	患者走廊	0.12	控制区
G17	北墙	控制室	0.12	监督区
G18	北墙	控制室	0.12	监督区
G19	北墙	控制室	0.12	监督区
G20	楼上	组装室	0.12	/
G21	楼上	库房	0.12	/
G22	楼上	车间办公室	0.11	/
G23	楼下	器械库房	0.12	/
G24	距裸源 100cm 处		29	/



表8 监护观察室检测结果

场所代码	H			
场所名称	监护观察室			
检测条件	11.3×37MBq <sup>18</sup> F 裸源放置于室内座椅上			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区
H1	西侧门	上侧	2.17	控制区
		下侧	2.19	控制区
		左侧	2.18	控制区
		右侧	2.29	控制区
		中部	2.27	控制区
H2	东墙	工作人员走廊	0.28	监督区
H3	东墙	工作人员走廊	0.36	监督区
H4	东墙	工作人员走廊	0.22	监督区
H5	南墙	走廊	0.12	/
H6	南墙	诊室2	0.22	监督区
H7	南墙	诊室2	0.12	监督区
H8	南墙	诊室2	0.12	监督区
H9	西墙	患者走廊	0.24	控制区
H10	西墙	患者走廊	0.26	控制区
H11	北墙	储源室	0.12	控制区
H12	北墙	设备间	1.04	监督区
H13	北墙	设备间	0.26	监督区
H14	北墙	设备间	0.15	监督区
H15	楼上	候诊大厅	0.12	/
H16	楼上	数码取型测量室	0.12	/
H17	楼上	步态训练室	0.12	/
H18	楼下	换热站	0.12	/

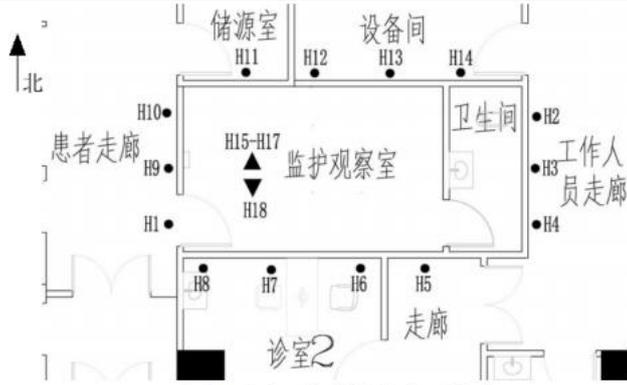


图 8 监护观察室检测布点示意图

表 9 运动负荷室检测结果

场所代码	J			
场所名称	运动负荷室			
检测条件	25×37MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源放置于诊床上			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率(μSv/h)	场所分区
J1	东侧门	上侧	0.11	控制区
		下侧	0.11	控制区
		左侧	0.11	控制区
		右侧	0.11	控制区
		中部	0.11	控制区
J2	南侧门	上侧	0.11	控制区
		下侧	0.11	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中部	0.11	控制区
J3	北侧门	上侧	0.11	控制区
		下侧	0.11	控制区
		左侧	0.11	控制区
		右侧	0.11	控制区
		中部	0.11	控制区
J4	东墙	患者走廊	0.11	控制区
J5	南墙	功能检查室	0.11	控制区
J6	南墙	功能检查室	0.11	控制区
J7	南墙	功能检查室	0.11	控制区
J8	西墙	会议室	0.11	/
J9	西墙	会议室	0.11	/
J10	西墙	更衣缓冲室	0.12	监督区
J11	北墙	SPECT 高活室	0.12	控制区
J12	北墙	传递箱	0.12	控制区
J13	北墙	SPECT 高活室	0.11	控制区
J14	北墙	患者走廊	0.12	控制区
J15	楼上	候诊展示大厅	0.11	/
J16	楼下	换热站	0.11	/
J17	楼下	污衣库	0.12	/

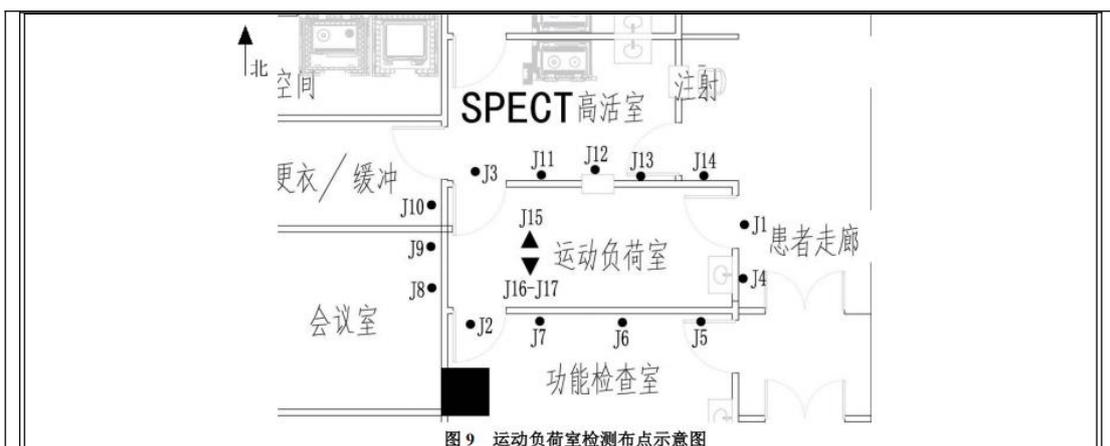


表 10 功能检查室工作场所检测结果

场所代码	K			
场所名称	功能检查室			
检测条件	装有 20 粒胶囊的药盒放置于诊床上，每粒胶囊含 $7.7 \times 37\text{KBq}$ 的 $^{131}\text{I}$ 药物			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	场所分区
K1	东侧门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.11	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中部	0.12	控制区
K2	北侧门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中部	0.11	控制区
K3	东墙	患者走廊	0.11	控制区
K4	东墙	患者走廊	0.11	控制区
K5	南墙	诊室 1	0.12	监督区
K6	南墙	诊室 1	0.12	监督区
K7	南墙	诊室 1	0.12	监督区
K8	南墙	诊室 1	0.11	监督区
K9	西墙	示教室	0.11	/
K10	西墙	会议室	0.12	/
K11	西墙	会议室	0.12	/
K12	北墙	运动负荷室	0.11	控制区
K13	北墙	运动负荷室	0.12	控制区
K14	北墙	运动负荷室	0.12	控制区
K15	北墙	运动负荷室	0.12	控制区
K16	楼上	候诊展示大厅	0.12	/
K17	楼下	换热站	0.12	/
K18	楼下	洗衣库	0.12	/

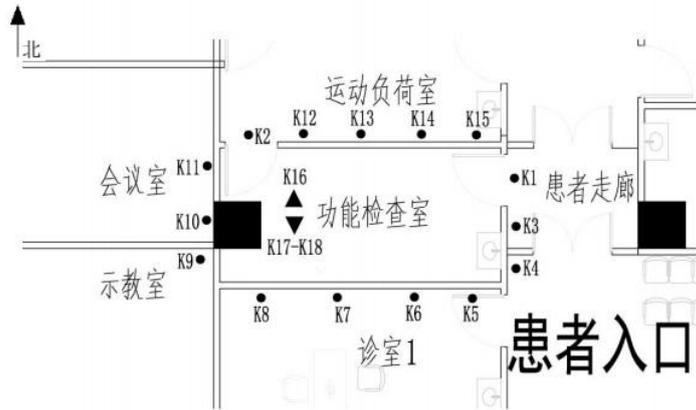


图 10 功能检查室工作场所检测布点示意图

表 11 患者走廊检测结果

场所代码	L			
场所名称	患者走廊			
检测条件	L1: 5×37MBq <sup>18</sup> F 裸源放置于监护观察室门口 L2: 25×37MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源放置于运动负荷室门口 L3、L5: 5×37MBq <sup>18</sup> F 裸源放置于留观室门口北侧 L4、L6: 25×37MBq <sup>99m</sup> Tc 裸源放置于留观室门口北侧			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区
L1	入口门	上侧	2.22	控制区
		下侧	2.12	控制区
		左侧	2.22	控制区
		右侧	2.19	控制区
		中缝	2.23	控制区
		左扇中部	2.20	控制区
		右扇中部	2.13	控制区
L2	入口门	上侧	0.42	控制区
		下侧	0.43	控制区
		左侧	0.43	控制区
		右侧	0.39	控制区
		中缝	0.37	控制区
		左扇中部	0.40	控制区
		右扇中部	0.42	控制区
L3	电梯出口门	上侧	0.13	控制区
		下侧	0.14	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.15	控制区
		中缝	0.19	控制区
		左扇中部	0.20	控制区
		右扇中部	0.15	控制区
L4	电梯出口门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	控制区
		左侧	0.12	控制区
		右侧	0.12	控制区
		中缝	0.12	控制区

		左扇中部	0.12	控制区
		右扇中部	0.12	控制区
L5	出口门	上侧	0.25	控制区
		下侧	0.24	控制区
		左侧	0.28	控制区
		右侧	0.25	控制区
		中缝	0.27	控制区
		左扇中部	0.29	控制区
		右扇中部	0.26	控制区
		L6	出口门	上侧
下侧	0.12			控制区
左侧	0.12			控制区
右侧	0.12			控制区
中缝	0.11			控制区
左扇中部	0.12			控制区
右扇中部	0.11			控制区

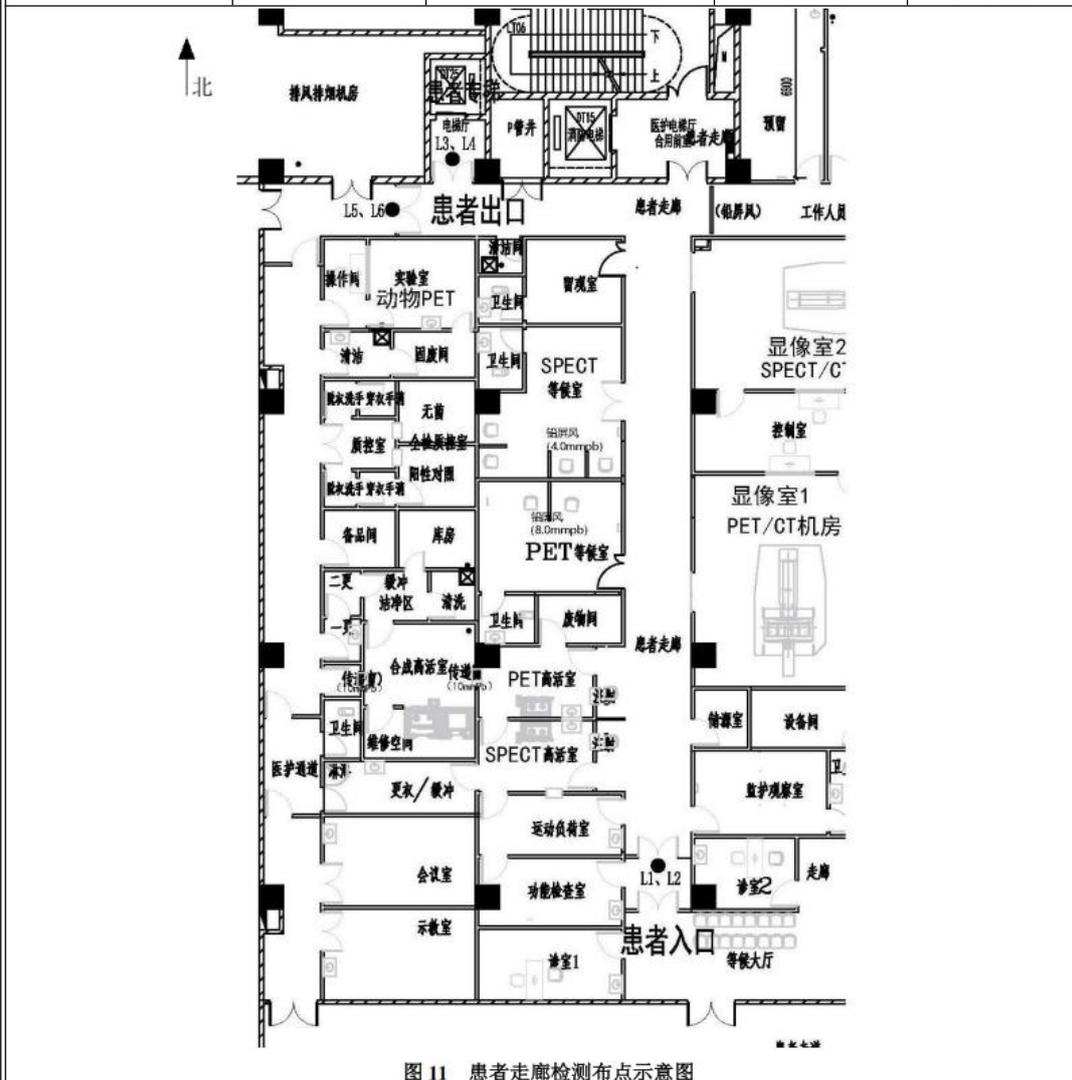


图 11 患者走廊检测布点示意图

表 12 废物间铅废物桶检测结果

场所代码	M
场所名称	废物间铅废物桶

检测条件	铅废物桶内有放射性废物		
检测点编号	检测点位置	周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	场所分区
M1	铅废物桶	表面 5cm	0.13
		表面 30cm	0.11

表 13 衰变池检测结果

场所代码	N		
场所名称	衰变池		
检测条件	衰变池内有放射性废液		
检测点编号	检测点位置	周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	场所分区
N1	衰变池井盖 30cm	0.12	监督区

表 8-3 核医学科现辐射工作区域 $\beta$ 表面污染水平

场所代码	场所名称	点位编号	检测点位置描述	检测结果 ( $\text{Bq/cm}^2$ )	场所分区
A	PET 高活室	A1	地面	<MDL	控制区
		A2	墙面	<MDL	控制区
		A3	东侧门	<MDL	控制区
		A4	南侧门	<MDL	控制区
		A5	北侧门	<MDL	控制区
		A6	注射台	<MDL	控制区
		A7	手套箱	<MDL	控制区
		A8	治疗车	<MDL	控制区
		A9	洗手池（陶瓷）	<MDL	控制区
		A10	镜子	<MDL	控制区
		A11	消毒灯	<MDL	控制区
		A12	柜子	<MDL	控制区
		A13	铅废物桶	<MDL	控制区
B	SPECT 高活室	B1	地面	<MDL	控制区
		B2	墙面	<MDL	控制区
		B3	东侧门	<MDL	控制区
		B4	南侧门	<MDL	控制区
		B5	西侧门	<MDL	控制区
		B6	北侧门	<MDL	控制区
		B7	手套箱	<MDL	控制区
		B8	注射台	<MDL	控制区
		B9	治疗车	<MDL	控制区

		B10	洗手池（陶瓷）	<MDL	控制区
		B11	消毒灯	<MDL	控制区
		B12	椅子	<MDL	控制区
		B13	铅废物桶	<MDL	控制区
C	候诊室 1 (PET 等候室)	C1	地面	<MDL	控制区
		C2	墙面	<MDL	控制区
		C3	东侧门	<MDL	控制区
		C4	长椅	<MDL	控制区
		C5	候诊椅	<MDL	控制区
		C6	床	<MDL	控制区
		C7	铅废物桶	<MDL	控制区
		C8	普通垃圾桶	<MDL	控制区
		C9	卫生间门	<MDL	控制区
		C10	洗手池（陶瓷）	<MDL	控制区
D	候诊室 2(SPECT 等候室)	D1	地面	<MDL	控制区
		D2	墙面	<MDL	控制区
		D3	东侧门	<MDL	控制区
		D4	长椅	<MDL	控制区
		D5	候诊椅	<MDL	控制区
		D6	床	<MDL	控制区
		D7	铅废物桶	<MDL	控制区
		D8	普通垃圾桶	<MDL	控制区
		D9	卫生间门	<MDL	控制区
		D10	洗手池（陶瓷）	<MDL	控制区
E	留观室	E1	地面	<MDL	控制区
		E2	墙面	<MDL	控制区
		E3	东侧门	<MDL	控制区
		E4	长椅	<MDL	控制区
		E5	铅屏风	<MDL	控制区
		E6	椅子	<MDL	控制区
		E7	普通垃圾桶	<MDL	控制区
		E8	卫生间门	<MDL	控制区
		E9	洗手池（陶瓷）	<MDL	控制区
F	显像室 2 (SPECT/CT 室)	F1	地面	<MDL	控制区
		F2	墙面	<MDL	控制区
		F3	西侧门	<MDL	控制区
		F4	南侧门	<MDL	控制区
		F5	长椅	<MDL	控制区
		F6	注射车	<MDL	控制区
		F7	治疗车	<MDL	控制区
		F8	柜式灭火装置	<MDL	控制区
		F9	配电柜	<MDL	控制区
		F10	文件柜	<MDL	控制区
		F11	探测器架	<MDL	控制区
		F12	机架	<MDL	控制区
F	显像室 2 (SPECT/CT 室)	F13	诊床	<MDL	控制区
		F14	观察窗	<MDL	控制区
G	显像室 1	G1	地面	<MDL	控制区

	(PEC/CT 室)	G2	墙面	<MDL	控制区
		G3	观察窗	<MDL	控制区
		G4	北侧门	<MDL	控制区
		G5	西侧门	<MDL	控制区
		G6	长椅	<MDL	控制区
		G7	机架	<MDL	控制区
		G8	诊床	<MDL	控制区
		G9	柜式气体灭火装置	<MDL	控制区
		G10	文件柜	<MDL	控制区
		G11	垃圾桶	<MDL	控制区
		G12	铅衣	<MDL	控制区
		H	监护观察室	H1	地面
H2	墙面			<MDL	控制区
H3	西侧门			<MDL	控制区
H4	沙发			<MDL	控制区
H5	桌子			<MDL	控制区
H6	铅废物桶			<MDL	控制区
H7	普通垃圾桶			<MDL	控制区
H8	卫生间门			<MDL	控制区
H9	洗手池（陶瓷）			<MDL	控制区
H10	镜子			<MDL	控制区
I	运动负荷室	I1	地面	<MDL	控制区
		I2	墙面	<MDL	控制区
		I3	东侧门	<MDL	控制区
		I4	北侧门	<MDL	控制区
		I5	南侧门	<MDL	控制区
		I6	洗手池（陶瓷）	<MDL	控制区
		I7	镜子	<MDL	控制区
		I8	诊床	<MDL	控制区
		I9	注射车	<MDL	控制区
		I10	治疗车	<MDL	控制区
		I11	椅子	<MDL	控制区
		I12	心电图机	<MDL	控制区
		I13	铅屏风	<MDL	控制区
		I14	铅废物桶	<MDL	控制区
J	功能检查室	J1	地面	<MDL	控制区
		J2	墙面	<MDL	控制区
		J3	东侧门	<MDL	控制区
		J4	北侧门	<MDL	控制区
		J5	洗手池（陶瓷）	<MDL	控制区
		J6	镜子	<MDL	控制区
		J7	运动心电踏车	<MDL	控制区
		J8	运动心电监视器	<MDL	控制区
		J9	甲功仪	<MDL	控制区
		J10	桌子	<MDL	控制区
		J11	铅屏风	<MDL	控制区
K	患者走廊	K1	地面	<MDL	控制区
		K2	墙面	<MDL	控制区
		K3	入口门	<MDL	控制区

		K4	出口门	<MDL	控制区
		K5	患者电梯厅出口门	<MDL	控制区
		K6	长椅	<MDL	控制区
L	控制室	L1	地面	<MDL	监督区
		L2	墙面	<MDL	监督区
		L3	北侧门	<MDL	监督区
		L4	北侧观察窗	<MDL	监督区
		L5	南侧门	<MDL	监督区
		L6	南侧观察窗	<MDL	监督区
		L7	桌子	<MDL	监督区
		L8	椅子	<MDL	监督区
		L9	铅衣架	<MDL	监督区
		L10	铅衣	<MDL	监督区
		L11	电脑	<MDL	监督区
		L12	洗手池（陶瓷）	<MDL	监督区
		L13	镜子	<MDL	监督区
		L14	文件柜	<MDL	监督区
		L15	垃圾桶	<MDL	监督区
M	工作人员走廊	M1	地面	<MDL	监督区
		M2	墙面	<MDL	监督区
		M3	西侧门	<MDL	监督区
		M4	东侧门	<MDL	监督区
N	设备间	N1	地面	<MDL	监督区
		N2	墙面	<MDL	监督区
		N3	东侧门	<MDL	监督区
		N4	配电柜	<MDL	监督区
		N5	电能控制器	<MDL	监督区
O	更衣缓冲间	O1	地面（瓷砖）	<MDL	监督区
		O2	墙面	<MDL	监督区
		O3	东侧门	<MDL	监督区
		O4	西侧门	<MDL	监督区
		O5	桌子	<MDL	监督区
		O6	椅子	<MDL	监督区
		O7	文件柜	<MDL	监督区
		O8	洗手池（陶瓷）	<MDL	监督区
		O9	镜子	<MDL	监督区
		O10	淋浴房	<MDL	监督区
		O11	垃圾桶	<MDL	监督区
P	当班药物注射人员	P1	手套	<MDL	/
		P2	手部	<MDL	/
		P3	工作服	<MDL	/
		P4	鞋	<MDL	/
Q	当班设备操作人员	Q1	手套	<MDL	/
		Q2	手部	<MDL	/
		Q3	工作服	<MDL	/
		Q4	鞋	<MDL	/
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  $0.18\text{Bq}/\text{cm}^2$  (99.9%置信水平);

### 8.1.2 核医学科拟改扩建区域

核医学科拟改扩建区域 $\gamma$ 剂量率的监测数据见表 8-4。监测点位布设见图 8-1。

**表 8-4 核医学科拟改扩建辐射工作场所周围 $\gamma$ 辐射环境本底水平监测结果**

序号	检测点位置	检测结果 (nGy/h)
1	预留房间中央 (拟建 PCT/CT 室 2 中央)	91±2
2	预留房间东侧 (拟建 PCT/CT 室 2 东侧)	92±4
3	走廊 (拟建 PCT/CT 室 2 南侧)	92±1
4	医用电梯厅合用前室 (拟建 PCT/CT 室 2 西侧)	96±2
5	读片室中央 (拟建 SPECT/CT 室 2 中央)	95±2
6	女卫生间 (拟建 SPECT/CT 室 2 东侧)	91±3
7	男卫生间 (拟建 SPECT/CT 室 2 东侧)	98±2
8	医护走廊 (拟建 SPECT/CT 室 2 南侧)	95±2
9	显像室 2 (拟建 SPECT/CT 室 2 西侧)	93±4
10	控制室 (拟建 SPECT/CT 室 2 西侧)	92±2
11	走廊 (拟建 SPECT/CT 室 2 北侧)	92±2
12	骨科耗材智能管理中心 (拟建 PCT/CT 室 2 楼下)	93±2
13	库房办公室 (拟建 PCT/CT 室 2 楼下)	94±2
14	AGV 中心库房 (拟建 SPECT/CT 室 2 楼下)	93±2
15	污水泵房 (拟建 SPECT/CT 室 2 楼下)	95±3
16	女卫生间 (拟建 PCT/CT 室 2 楼上)	97±3
17	男卫生间 (拟建 PCT/CT 室 2 楼上)	96±3
18	清洁间 (拟建 PCT/CT 室 2 楼上)	97±1
19	移动通信机房 (拟建 PCT/CT 室 2 楼上)	96±4

注: 检测结果包含检测仪器在检测点处的宇宙射线响应值 ( $30\text{nGy}/\text{h}$ ), 检测仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定/校准参考辐射源, 根据 HJ 1157—2021 第 5.5 条, 该条件下空气比释动能和周围剂量当量换算系数取  $1.20\text{Sv}/\text{Gy}$ ; 检测时仪器探头中心距离地面为  $1\text{m}$ 。



3、拟建PCT/CT室2、SPECT/CT室2区域楼上布局图（图中阴影区域为拟建机房楼上投影）

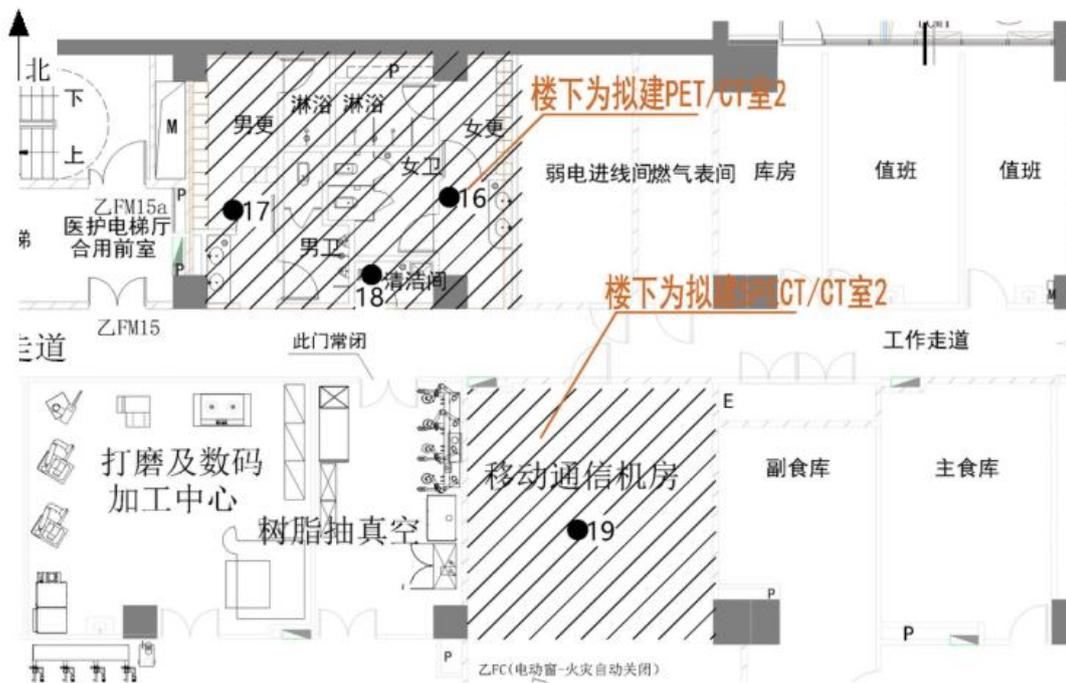


表 8-1 核医学科拟改扩建区域周围 $\gamma$ 辐射环境水平监测点位图

## 8.2 监测结果评价

### 8.2.1 现状监测

由表 8-2~表 8-3 可知，核医学科现工作区域周围剂量当量率都低于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ， $\beta$ 表面污染水平低于探测器的下限 ( $0.18\text{Bq/cm}^2$ )，可见核医学科现辐射工作区域周围剂量当量率及 $\beta$ 表面污染水平均满足标准要求。

### 8.2.2 环境本底监测

根据《中国环境天然放射性水平》（1995），北京市天然辐射水平范围为  $60\sim 123\text{nGy/h}$ （室外，含宇宙射线）和  $69.8\sim 182\text{nGy/h}$ （室内，含宇宙射线）。由表 8-4 中检测结果可知，核医学科拟改扩建辐射工作场所及周围的 X- $\gamma$ 辐射剂量率为  $88\sim 100\text{nGy/h}$ ，为北京市的天然本底范围之内，未发现异常高值。

表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 X 射线诊断装置

本项目核医学科拟搬迁使用 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT 都属于 III 类射线装置，这些 III 类射线装置对环境影响很小，本评价报告对 III 类射线装置操作流程和刻度操作流程的环境影响进行简要分析。

### 9.2 核医学科诊疗

#### 9.2.1 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。本项目使用 Tc-99m 核素药物开展 SPECT/CT 诊断，使用 F-18 等正电子核素药物开展 PET/CT 诊断。

##### (1) 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。



图 9-1 SPECT/CT 机设备外观

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 扫描装置如图 9-1 所示。

## (2) 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，即可以大幅缩短 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) 肿瘤良恶性鉴别诊断，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

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，极大地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 扫描装置如图 9-2 所示：



图 9-2 PET/CT 机设备外观

## 9.2.2 工作流程

### 9.2.2.1 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与核医学科现行工作流程保持一致：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/SPECT 探测成像仪器进行扫描和显像，检查工作流程如下：

工作流程按下列流程：患者预约登记→计划订药（有资质的单位提供）→高活室接药→放射性药物准备（核对、测量）→患者给药→用药后候诊区候诊→摆位→图像采集→图像处理→读片、发报告。

订货：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 厂家送来时已

根据当天使用情况分装好)。

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 PET 高活室的摄像头监控下, 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。

分装: 本场所显像核素只有 F-18 需要分装, 在手套箱内进行分装。

注射: 在高活室内, 打开铅屏蔽盒, 取出一次性注射器, 给患者注射标记放射性药物, 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, 其中外单位送的注射器第二天由放射性药品供货单位收回。

检查: 病人在给药后病人候诊区等候(如 F-18 候诊时间约 40min~90 min), 待药物有一定程度的代谢后, 进行 PET/CT 检查时间 15min~30min, 平均不超过 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。

受检者在扫描检查后, 如显像符合要求即离开核医学科。

#### 9.2.2.2 PET 刻度源质控流程

PET/CT 配备 2 枚 Ge-68 放射源, 活度分别为  $1.85\text{E}+7\text{Bq}$  和  $3.5\text{E}+6\text{Bq}$ 。其中  $1.85\text{E}+7\text{Bq}$  的密封源为设备内置校准源, 集成于设备机架内部, 日常无法取出, 仅原厂授权服务工程师可在维修或退役时拆解取出。每周由设备自动调用, 完成探测器均匀性、归一化及能量校正等常规质控, 使用过程源体始终在设备内部, 无需人工操作与移动。 $3.5\text{E}+6\text{Bq}$  的放射源由物理师每季度质控使用, 用于系统刻度、灵敏度校准及交叉校正。质控时物理师把密封源从储源室按要求取出, 经高活室和患者通道运送至 PET/CT 室 2, 将密封源放置到正确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, 使用完毕后原路放回储源室保险箱锁好。密封源平常不使用时都储存在储源室内。

#### 9.2.3 放射性核素使用量

本项目核医学科仅增加 PET 及 SPECT 检查人次, 其中 PET 检查使用 F-18 药物的用量不大于  $370\text{MBq}/\text{人}$  (一般约为  $222\text{MBq}/\text{人}$ ), 每个检查日最多实施 PET 检查 15 人次, 每年工作 250 天。SPECT 显像检查 Tc-99m 药物的用量最大为  $925\text{MBq}/\text{人}$ , 每个检查日最多实施 SPECT 检查 20 人次, 每年工作 250

天。

### 9.2.4 放射性核素特性

本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 9-1。

表 9-1 本项目使用的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	$\beta^+635$ 、 $\gamma511$
2	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	$\gamma141$

### 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。

(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卫生间冲厕废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水。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废物间铅桶内暂存。

(3) 本场所使用的 F-18、Tc-99m 等放射性药物都是向专业公司购买。在手套箱内主要对 F-18 正电子核素进行分装。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。

#### 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。核医学学科场所在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。

表 10 辐射安全与防护

## 10.1 项目安全设施

### 10.1.1 项目竣工环保验收

项目竣工后，应对辐射防护设施进行竣工环保验收，其中包括辐射屏蔽、安全防护设施和辐射防护用品，这些项目依照设计标准验收合格后，核医学科改扩建区域场所方可正式投入运行。如场所布局发生较大变化，需重新履行环保审批手续。

### 10.1.2 回龙观院区核医学科改扩建方案

核医学科位于西楼地下二层中部北侧，核医学科现状布局如下：

(1) 核医学科东侧和南侧作为普通区域，用作给药前问诊区、候诊区、登记处、办公室、诊室等。

(2) 将受检者入口设在南侧，受检者出口设在北侧，由北侧专用电梯（只在地下二层和一层开门）到一层后离开西楼，核医学科患者出入口均设置单向门禁系统。

(3) 高活室、注射窗口、运动负荷室等设在诊疗区域西南侧，注射室朝东拟设 2 个注射窗口（北侧为 40mmPb 的 F-18 注射窗口、南侧为 20mmPb 的 Tc-99m 注射窗口，患者间设 8mmPb 隔断）。

(4) 沿着注射后患者走廊设置监护观察室（VIP 等候）、储源室、候诊室 1（PET 等候）、显像室 1（PET/CT 室 1）、候诊室 2（SPECT 等候）、显像室 2（SPCET/CT 室 1）、留观室等。

(5) 在西楼北侧绿化区地下已设置 56m<sup>3</sup> 放射性废水槽式衰变池（4×14m<sup>3</sup>），用于收集并处理核医学科产生的放射性废水。

(6) 核医学科控制区配套建设 2 套放射性通风处理设施，其中控制区手套箱有 1 套专用排风管道，控制区场所设有 1 套专用排风管道，排风管道由核医学科东南侧通风井至楼顶，风口高于楼顶，排放口高度约 69m，位于楼顶中部，为最高处，南向排放。手套箱排风管道设有双过滤装置（手套箱高效过滤和排风管道出口前设置活性炭过滤装置，风速≥0.5m/s）。诊疗场所内 PET/CT 室 1，SPECT/CT 室 1，注射后等候室，注射后卫生间，患者通道，高活室，废物间，运动负荷室等控制区场所的放射性废气统一后，经排风管道由楼顶排出，风机

都位于楼顶。

(7) 核医学科分区管理，控制区包括 PET/CT 室 1，SPECT/CT 室 1，运动负荷室，储源室，高活室，废物间，注射后等候室及卫生间，留观室，注射后患者通道、清洁间等。监督区包括 PET/CT 和 SPECT/CT 控制室、诊室等。

本次改扩建原核医学科内部平面布局基本保持不变，仅对功能用房进行优化调整：候诊室 1（PET 等候室 1）增设 1 张候诊椅，将原留观室调整为候诊室 3（PET/CT 等候室 2），房间位置、尺寸、屏蔽墙体等均未发生改变。同时对诊疗区东侧原读片室及北侧预留机房进行改造，新增 SPECT/CT 室 2 与 PET/CT 室 2。改扩建后布局调整如下：

(1) SPECT/CT 室 2 位于 SPECT/CT 室 1 东侧，PET/CT 室 2 位于 SPECT/CT 室 1 隔患者走廊北侧。

(2) 结合新增 2 处机房的使用需求，增设该 2 间机房的排风支路，就近并入核医学科现有排风主管及路由，不新增独立排风系统、不新设排风机房及排风井，仅对局部通风管路进行优化调整。

(3) 新增 SPECT/CT 室 2、PET/CT 室 2 及相关患者走廊纳入控制区进行管理。2 间机房相应控制室作为监督区。

(4) 原留观室调整为候诊室 3（PET/CT 等候室 2）。

除上述内容外，核医学科其余布局、流线、防护及配套设施均保持现状不变。

### 10.1.3 核医学科辐射防护措施

#### 10.1.3.1 核医学科辐射屏蔽设计

核医学科原相关场所已根据辐射防护要求，设计了含混凝土砖、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等。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，地下二层层高为 4.9m，地下三层层高为 5.0m。

本次项目核医学科原场所布局及屏蔽均未发生变动，改扩建区域的实体屏蔽方案见表 10-1 所示，核医学科辐射安全防护设施见表 10-2。

表 10-1 核医学科改扩建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	周围环境
1	PET/CT 室 2(有效面积:	东墙	12cm 混凝土砖+4cm 硫酸钡砂浆抹灰+6cm 硫酸	控制室

	7.8m×5.1m)		钡板	
		南墙	12cm 混凝土砖+3cm 硫酸钡砂浆抹灰层+7.5cm 厚硫酸钡板	患者走廊
		西墙	12cm 混凝土砖+4cm 硫酸钡砂浆抹灰+6cm 硫酸钡板	电梯厅
		北墙	50cm 混凝土 (砵)	土层
		患者门	8mmPb	患者走廊
		控制室门	8mmPb	控制室
		观察窗	8mmPb 当量铅玻璃	控制室
		顶棚	25cm 混凝土 (砵)	淋浴更衣及卫生间
		地板	25cm 混凝土 (砵)	骨科耗材智能管理中心
2	SPECT/CT 室 2 (有效面积: 6.3m×6.2m)	东墙	12cm 混凝土砖+4cm 硫酸钡砂浆抹灰	淋浴更衣及卫生间
		南墙	12cm 混凝土砖+4cm 硫酸钡砂浆抹灰	控制室
		西墙	24cm 混凝土砖+4cm 硫酸钡水泥	SPECT/CT 室 1
		北墙	12cm 混凝土砖+3cm 硫酸钡砂浆抹灰层+1.5cm 硫酸钡板	患者走廊、工作人员走廊
		患者门	4mmPb	患者走廊
		控制室门	4mmPb	控制室
		观察窗	4mmPb 当量铅玻璃	控制室
		顶棚	25cm 混凝土 (砵)	通信机房
		地板	25cm 混凝土 (砵)	AGV 中心库房
3	PET 等候室 1	东墙	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		南墙	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	废物间和 PET 高活室
		西墙	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	核医学科预留
		北墙	12cm 混凝土砖+7cm 硫酸钡水泥+7cm 混凝土	SPECT 等候室
		防护门	6mmPb	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土 (砵)+6cm 硫酸钡水泥	灌型室、修型室、库房

		地板	25cm 混凝土(砵)+6cm 硫酸钡水泥	通用库房
4	PET 等候室 2	东墙	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		南墙	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	SPECT 等候室
		西墙	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	清洁间、核医学科预留
		北墙	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		防护门	6mmPb	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土(砵)+5cm 混凝土垫层	示教室
		地板	25cm 混凝土(砵)	通用库房
5	储源室	东墙	24cm 混凝土砖	设备间
		南墙	24cm 混凝土砖	PET VIP 等候室
		西墙	24cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	24cm 混凝土砖	PET/CT 室 1
		门	防盗门	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土(砵)	车间办公室
		地板	25cm 混凝土(砵)	换热站

备注：混凝土砖密度不低于 2.0g/cm<sup>3</sup>，混凝土(砵)密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡砂浆抹灰、硫酸钡水泥密度均不低于 2.70g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡板的密度不低于 3.20g/cm<sup>3</sup>，铅密度不低于 11.3g/cm<sup>3</sup>。

表 10-2 核医学科诊疗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	√	地面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、检查室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志
3*		独立的通风设施	√	高活室内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	√	门诊场所无治疗病房

5*		给药操作人员屏蔽	√	配备 2 个带铅防护的注射窗口
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、储源室暂存，设闭路监控。
9*	B 监测 设备	表面污染监测仪	√	2 台表面污染监测仪
10*		便携式辐射水平监测仪	√	1 台便携式巡测仪
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	√	56m <sup>3</sup> 槽式衰变池（4 格）
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，核医学科诊疗一共配备 11 个铅废物桶
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/。

### 10.1.3.2 核医学科辐射防护措施

(1) 实行控制区和监督区分区管理。在控制区患者出、入口、工作人员出入口分别安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口外、检查室、废物间门外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。机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯联锁装置，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、检查室、储源室、废物间、等候室及卫生间、废物间、清洁间和控制区走廊地面用无缝隙、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。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。核医学科已配备表面污染仪，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：诊疗区现配有 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 的可移动铅屏蔽注射车（运动负荷室注射时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，配备 11 个铅废物桶（其中 1 个为 20mmPb, 另外为 5mmPb）、2 个钨合金注射防护套和 2 套 0.5mmPb 铅防护用品（每套包括铅衣、铅帽子、铅围脖等）。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 $\mu$ Sv/h。

(4) 内照射的防护：诊疗高活室现配备具有防护功能 50mmPb 当量和 10mmPb 当量的手套箱各一个，并带有活性炭过滤器，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，排风口引至西楼楼顶。手套箱为负压设备，风量满足要求（风速大于 0.5m/s），过滤效率大于 90%，且每个热室排风进主管道前都设有止逆阀，可以防止气体逆流，风机位于楼顶。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 1、SPECT/CT 室 1、源库、废物间等其它场所以及拟新增的 PET/CT 室 2、SPECT/CT 室 2 均已设置或拟设置排风口，排风同样由专用排风管道引至建筑物顶部，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 3 个含铅的废物桶（20mmPb 是存储 F-18，其中 1 个 5mmPb 存储 Tc-99m 等 A 类，另外一个 5mmPb 存储 B 类），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该铅制废物桶，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，运动负荷室配 1 个 5mm 铅的废物桶（容积 20L），3 间等候室

各配 1 个 5mm 铅的废物桶（共 3 个）。放射性固废依照《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。

（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，清洁间废水以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水，缓冲间应急淋浴废水，通过专用管道一并进入下一层设置的放射性废水衰变池（另设有轮流使用的 2 个沉淀池）。放射性废水排放管道路线在降板内（有混凝土屏蔽）、管道井和地下土层，没人员活动区，管道外表面无需铅皮进行包裹防护。衰变池采用槽式设计，衰变池总容积不低于 56m<sup>3</sup>（14m<sup>3</sup>×4 个）。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）在核医学科患者通道入口处、留观室、给药后候诊区等处均设置有视频监控系统，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。

（8）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在 PET 高活室点对点接收同位素，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。

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

（10）核医学科已配置 2 台表面污染监测仪和 1 台便携式巡测仪，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。

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 $\gamma$ 剂量率。每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面等进行表面污染监测，监测数据记录存档 $\beta$ 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。

(11) 等候室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断，其中 SPECT 等候室设 3 个 2mm 铅当量铅屏风（长×高尺寸不低于 1.0m×1.2m）； PET 等候室 1 设 4 个 8mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸不低于 1.5m×1.2m）； PET 等候室 2 设 1 个 8mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸不低于 1.5m×1.2m）； PET VIP 等候室设 1 个 8mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸不低于 1.5m×1.2m）；两个注射口间 1 个 8mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸不低于 1.0m×1.2m），减少受检者候诊和注射期间的相互照射。

(12) 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。在患者等候室内设铅屏风，以减少陪护家属的受照剂量。

(13) 在诊疗场所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。患者出口有地面引导标识，且在墙上有出口箭头提示。送药通道为西楼电梯下地下二层后，通过核医学北侧门进入核医学科内高活室。

(14) 外单位送药时间一般安排在上 7:00 和中午 13:00，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 PET 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。

(15) F-18 每 15min~20min 注射 1 个患者，Tc-99m 按预约时间来一起注射，可通过对讲系统错开给药时间，可以避免同时给药对工作人员的互相辐射影响。

针对本次改扩建新增加的防护措施为：

(1) PET 等候室 1 增设 2 个铅屏风，PET 等候室 2 增设 1 个铅屏风。

(2) 拟新建的 2 间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。

(3) 结合新增 2 处机房的使用需求，增设该 2 间机房的排风支路，就近并入核医学科现有排风主管及路由，并入操作严格选择在周末核医学科停止诊疗后进行，并网前由核医学科工作人员使用经检定合格的辐射检测仪器，对待接入通风管内壁、外壁、接口部位及周边区域进行表面污染监测与环境剂量率检测，确认无污染、剂量率水平符合辐射防护控制值后，再实施通风管对接与并网作业。并网完成后，再次对通风管接口、连接处及周边区域进行表面污染与剂量率复检，

确认无泄漏、无放射性污染残留，排风系统运行稳定、各项指标达标后，方可恢复正常使用。本次改扩建不新增独立排风系统、不新设排风机房及排风井，仅对局部通风管路进行优化调整。

#### 10.1.4 核医学科配备的防护设施

核医学科已配备及拟配备的防护设施见表 10-3。

表 10-3 核医学科已配备及拟配备的防护设施表

名称	数量 (个)	规格	使用场所	备注
手套箱	1	50mmPb	PET 高活室	现有
	1	10 mmPb	SPECT 高活室	现有
注射器防护套	2	1 个 20mmPb 钨合金、1 个 10mmPb 钨合金	PET 高活室	现有
储源铅罐	2	40mmpb	PET 高活室	现有
防护注射窗	2	1 个 40mmPb、1 个 20 mmPb	注射窗口	现有
铅废物桶	4	5mmPb	诊疗废物间	现有
	3	5mmPb	SPECT 等候室、PET 等候室 1、VIP 等候室各 1 个	现有
	1	5mmPb	PET 等候室 1	新增
	1	5mmPb	运动负荷室	现有
	1	20mmPb	PET 高活室	现有
	2	5mmPb	SPECT 高活室	现有
铅衣、铅围脖	2	0.5mmPb	SPECT 机房和高活室	现有
移动铅屏风	3	2mmPb	SPECT 等候室	现有
	3	8mmPb	PET 等候室 1	现有
	1	8mmPb	PET 等候室 1	新增
	1	8mmPb	PET 等候室 2	新增
	1	8mmPb	VIP 等候室	现有
	1	8mmPb	两个注射口间	现有
可移动铅	1	5mmPb	运动负荷室	现有

屏蔽注射车				
-------	--	--	--	--

### 10.1.5 放射性废水暂存和排放

核医学科已配套 1 个放射性废水池，核医学科改扩建后仍利用现有的放射性衰变池进行放射性废水的暂存。项目实施过程中，核医学科现有排水路由、衰变池系统均保持不变，不进行拆除、改造或移位。

核医学科现有衰变池位于西楼楼外北侧（槽式，总容积为  $56\text{m}^3$ ， $14\text{m}^3/\text{池} \times 4$  池），见图 10-1，衰变池前设置 2 个  $0.91\text{m}^3$  容积的化粪池，衰变池的最高水位距地面至少 3.5m，且池子上方四周搭设护栏，防止人员进入。

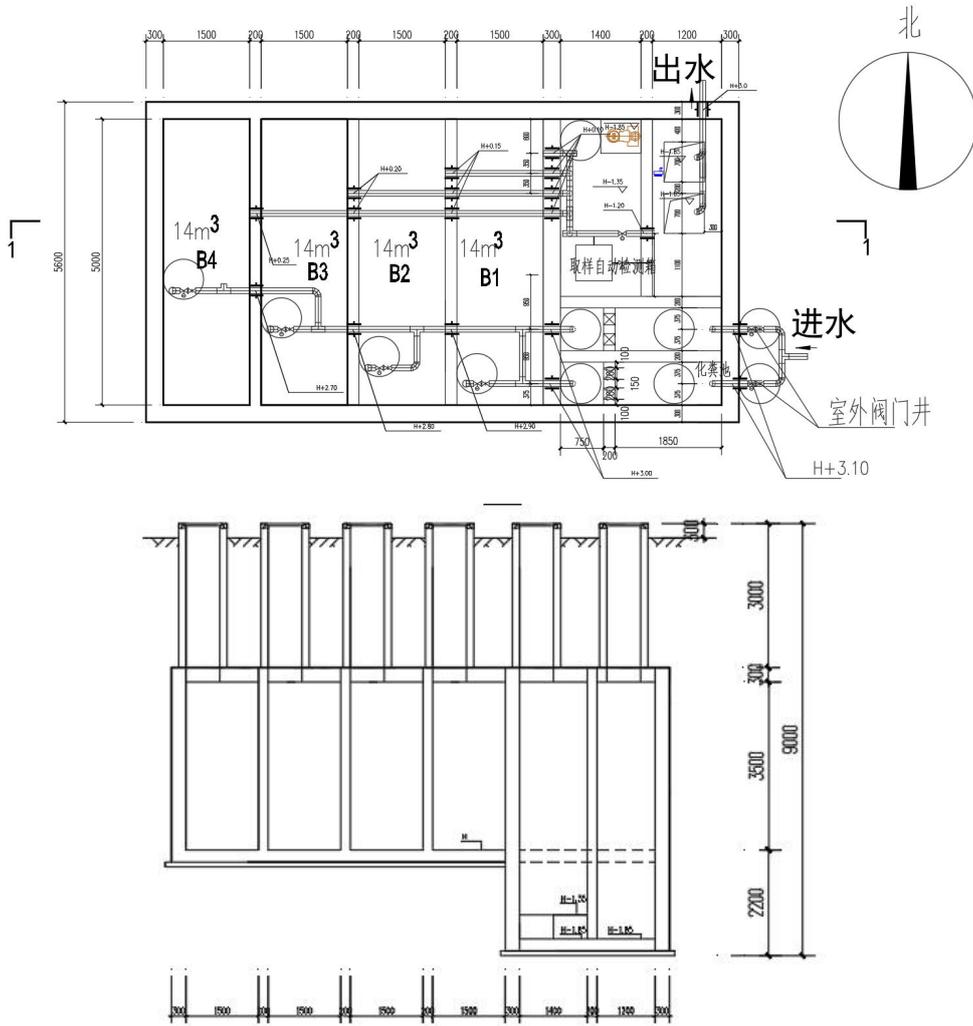


图 10-1 衰变池平剖面图

衰变池结构及控制管理如下：

- (1) 衰变池结构
  - 采用 C30 抗渗混凝土建造，四周池壁厚不小于 300mm 砼（四周都是地

下土层)，槽与槽之间隔板厚 200mm，底板厚 300mm，顶板厚 300mm。衰变池四周采取有防渗措施，且衰变池上井盖增设防水内盖，防止上井盖雨水倒灌。

- 总容积约为 56m<sup>3</sup>（14m<sup>3</sup>/槽×4 槽）。

### （3）衰变池控制和管理

- 设计液位指示装置，自动进、排水阀门。智能控制系统、人性化操作管理、通过PLC 和触摸屏设定工作参数和状态提醒机制。
- 衰变池独立工作，为防止“液位控制装置失灵导致衰变池盛满后不能自动切换”情况发生，在衰变池之间设溢流孔。溢流孔设置在“液位上限”上方 20cm 处。如果衰变池液位控制系统故障，电动阀不能自动切换，废液可以自行溢流到另外一个衰变池内（后续轮流使用的衰变池），避免放射性废液倒灌至核医学科场所，发生放射性污染。
- 所有运行状态自行监控，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行。
- 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”各衰变池循环运作。
- 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。
- 放射性区域废水流入衰变区域，衰变池进水管设电动阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先开启 1 池进水管电动阀，关闭 2-4 池进水管电动阀，待 1 池水位达到设计液位后，关闭 1 池进水管电动阀，打开 2 池进水管电动阀，使排水进入 2 池。按照相同的操作方式。使排水依次进入 3 和 4 池。待第 4 池开始进水时，第 1 池已过 10 个半衰变期（且不低于 180 天），检测达标后开动潜水泵排放。待第 4 池水位达到设计液位后，重复向 1 池进水（此时为排空状态）完成进水一个循环。

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：

地下二层核医学科控制区产生的废水包括给药受检人员专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水、清洁废水和更衣间应急冲洗水。通过专用管道一并进入放射性废水衰变池。放射性废水排放管道路线在降板内（有混凝土屏

蔽)、管道井和地下土层, 设人员活动区, 管道外表面无需铅皮进行包裹防护。衰变池采用槽式设计, 衰变池总容积不低于  $56\text{m}^3$  ( $14\text{m}^3 \times 4$  个), 衰变池达到高液位并自动切换后计时, 并设有报警功能。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。废水衰变池收集排放系统示意图见图 10-2。

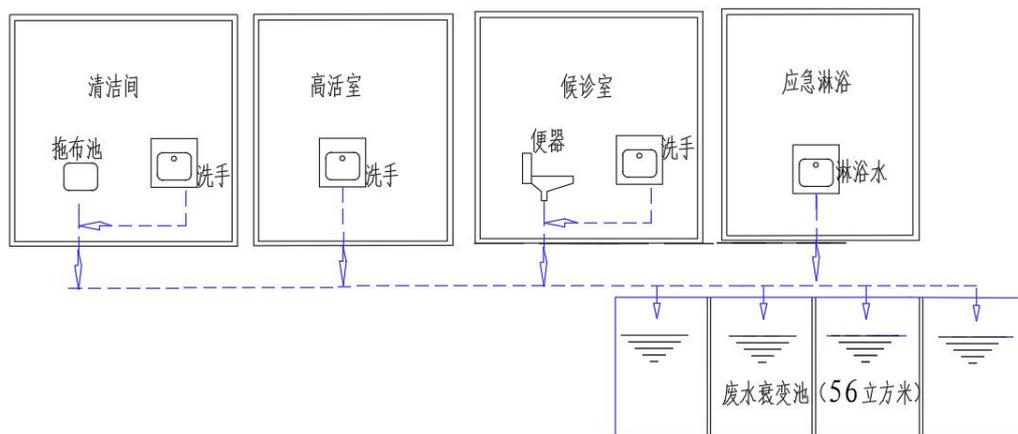


图 10-2 废水衰变池收集排放系统示意图

地下二层核医学科控制区的废水排放图见图 10-3。



图 10-3 地下二层放射性废水排放图

### 10.1.7 核医学科排风系统

核医学科控制区已配套建设 2 套放射性通风处理设施，其中手套箱设有 1 套专用排风管道，控制区场所设有 1 套专用排风管道，排风管道由核医学科东南侧通风井至楼顶，风口高于楼顶，排放口高度约 69m。位于楼顶中部，为建筑物的最高处。放射性管道除了在排风口前安装活性炭过滤器，手套箱还自带有高效过滤设施。采用后端风机提供管道负压。本项目结合新增 2 间机房使用需求，增设对应排风支路，就近并入核医学现有排风主管及路由，不新增独立排风系统、不新设排风机房及排风井，仅对局部通风管路进行优化调整。

核医学科控制区的排风图见图 10-4，排风口楼顶位置图见图 10-5。

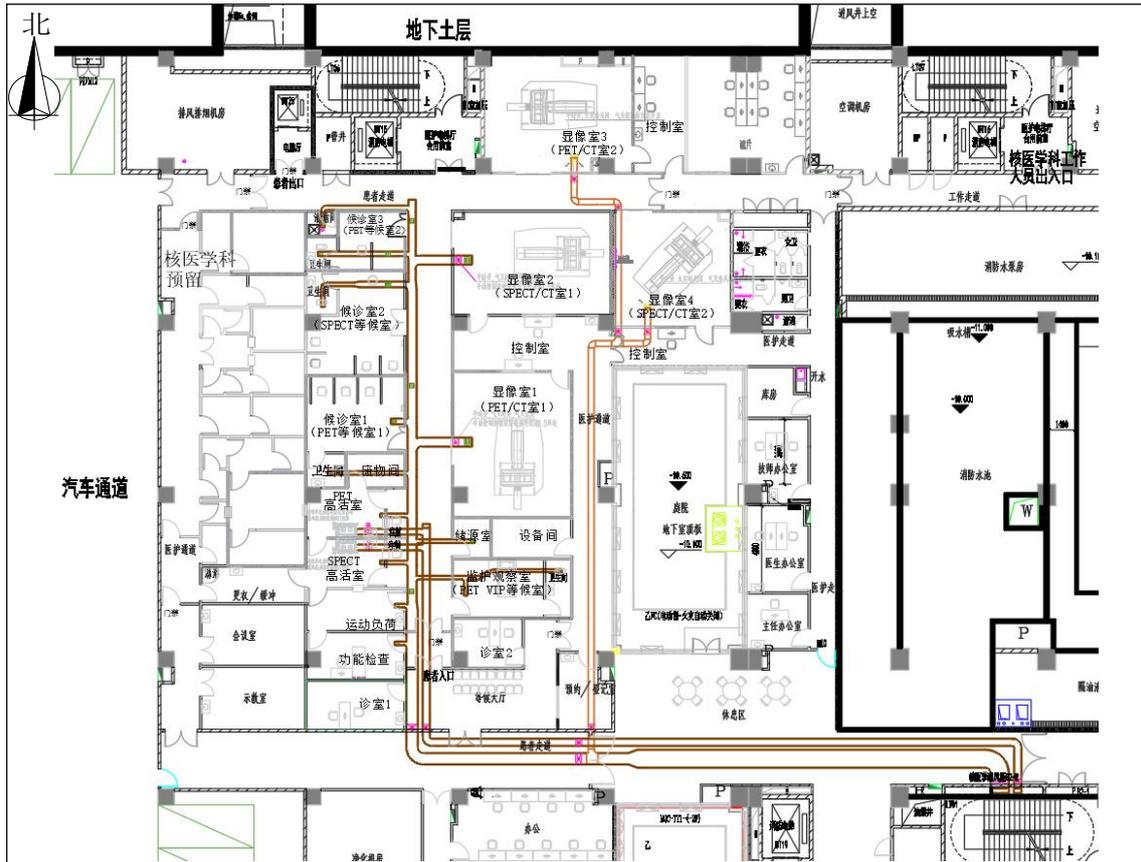


图 10-4 地下二层核医学科排风图

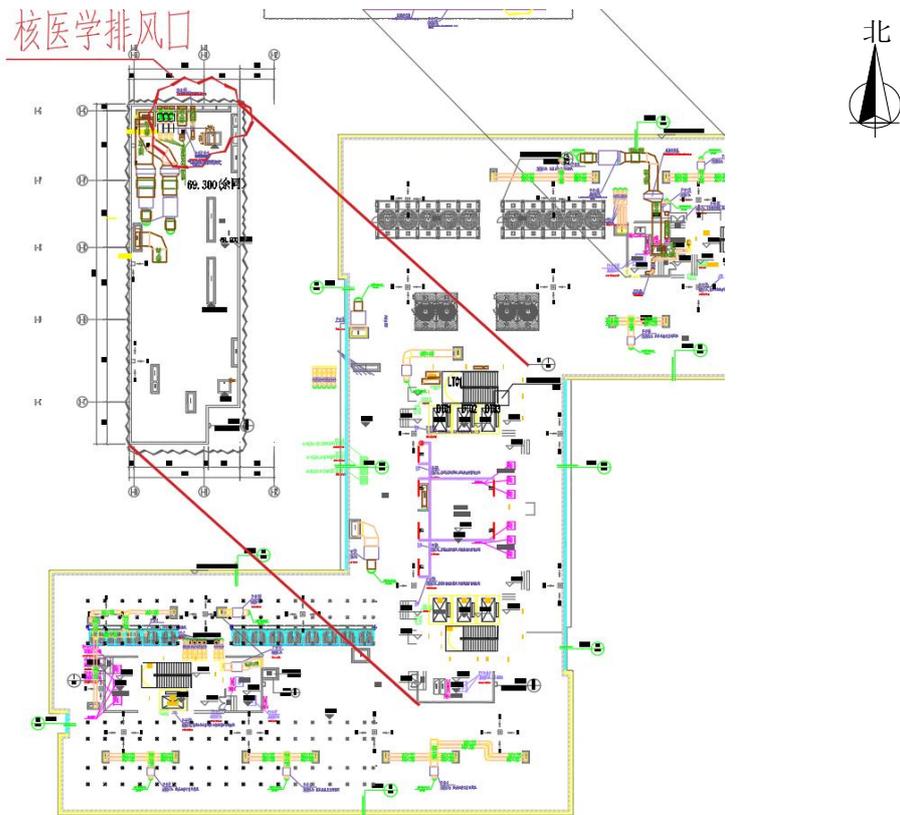


图 10-5 核医学科排风口楼顶位置图

## 10.2 选址与布局合理性

### 10.2.1 本项目核医学科选址与合理性分析

本项目周围 50m 区域除了北侧回南北路部分区域外，其它都是医院内部。核医学科设在西楼地下二层北侧中部，东侧为消防水池等，南侧为机房、办公区、电梯厅等，西侧为核医学科预留、车位、生活垃圾暂存，北侧为消防电梯、患者电梯等，之外为地下土层，楼上一层为支具中心，楼下为库房、换热站等。核医学科患者出口设置在核医学科的北侧，患者出口有地面引导标识，且在墙上有出口箭头提示和患者专梯（核医学科楼上地下一层无出入口），供受检者由此通往地面一层（西楼北侧），满足《核医学放射防护要求》中“出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域”的具体要求。

核医学科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，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 或 SPECT 机房、给药后候诊室和高活室等）。PET 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。PET/CT 机房以及 PET 给药后候诊区楼上为支具中心组装室、卫生间、灌型室和测量室、示教室等，楼下为库房、换热站等，不属于固定人员常居留的场所，且楼顶为 25cm 砼或在此基础上再增加 6cm 硫酸钡水泥或 6cm 混凝土垫层。楼下为库房也无人员常居留房间。选址兼顾了辐射屏蔽、周围科室、场所布局、安全管理等因素。总体认为该项目核医学科选址合理。

### 10.2.2 场所平面布局与合理性分析

核医学科为相对独立的辐射工作场所，有明确的监督区和控制区分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施。

（1）门诊诊疗场所根据诊疗流程，合理设计各功能房间的布局，4 台扫描设备（含本次搬迁 2 台）的控制区集中布置，高活室设在场所的一端，可防止交叉污染。

（2）门诊诊疗场所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，从南侧独立入口分别进入核医学 SPECT 区域和 PET 区域，依次完成注射、候诊、检查（治疗）后，从北侧出口离开核医学科。

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、控制室和办公区的通道，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，防止放射性污染扩散至控制区外。

(3) 核医学科工作人员办公场所设在地下二层核医学科东侧和西南侧，与门诊诊疗场所之间设有通道，医护人员可以方便到达门诊诊疗场所。

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，满足了核医学科布局管理的要求，医护人员通道和患者通道相对独立且没有交叉，有效避免了医护人员受到不必要照射。

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。

### 10.2.3 场所分区

本项目核医学科位于西楼地下二层中部北侧，核医学科改扩建完成后，控制区包括 2 间 PET/CT 室，2 间 SPECT/CT 室，运动负荷室，储源室，高活室，废物间，注射后等候室及卫生间，注射后患者通道、清洁间等。监督区包括 2 间 PET/CT 和 2 间 SPECT/CT 控制室、设备间、缓冲更衣间、核医学科预留区等。

核医学科使用核素 F-18、Tc-99m 等核素开展核素检查和 I-131 等核素门诊治疗，改扩建后不增加核素使用种类，仅增加 F-18 及 Tc-99m 核素的用量。核医学科已按照使用功能区划设计为三个分区：

1) 接诊区：包括注射前候诊区，患者及其陪护人员由南侧人员入口处进出该区域。

2) 核素诊疗工作区（控制区），包括高活室、运动负荷室、甲功室、储源室、2 间 PET/CT 室、2 间 SPECT/CT 室、2 间 PET 等候室、PET VIP 等候室、SPECT 等候室、废物间、注射后患者通、清洁间等。该区出入通道安装单向门禁系统。

3) 辐射工作人员工作区（监督区），包括控制室、设备间、更衣/缓冲间、

核医学科预留、诊室 1 和诊室 2。

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，尽可能地避免了人员受辐射影响，平面布局合理，辐射分区见图 10-6 所示。

核医学科按照尽可能减少对周围辐射影响，以及满足临床和科研工作便捷性的原则进行布局设计。从功能分区来看，监督区和控制区划分明确，且相对隔离，满足了核医学的辐射安全管理的要求。

监督区和控制区设有多道门禁隔离，DT15 号电梯与核医学科相连门为消防常闭门（也设有门禁），核医学科工作人员不从 DT15 号电梯进出，是从核医学科东北角的 DT16 号电梯进出。在注射后候诊区内还设有铅屏风隔断，加强对病人的管理，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。核医学科区域配套使用 1 套槽式废水衰变池，门诊患者的排泄物及控制区产生的放射性废水和应急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。

### 10.3 工作流程及路径

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。本次改扩建原核医学科内部平面布局基本保持不变，不改变设备摆放位置及患者就诊流线，对新建的 2 间机房，增加患者及工作人员进入新建的 2 间机房的的路径。核医学科人流、物流示意图见图 10-7。

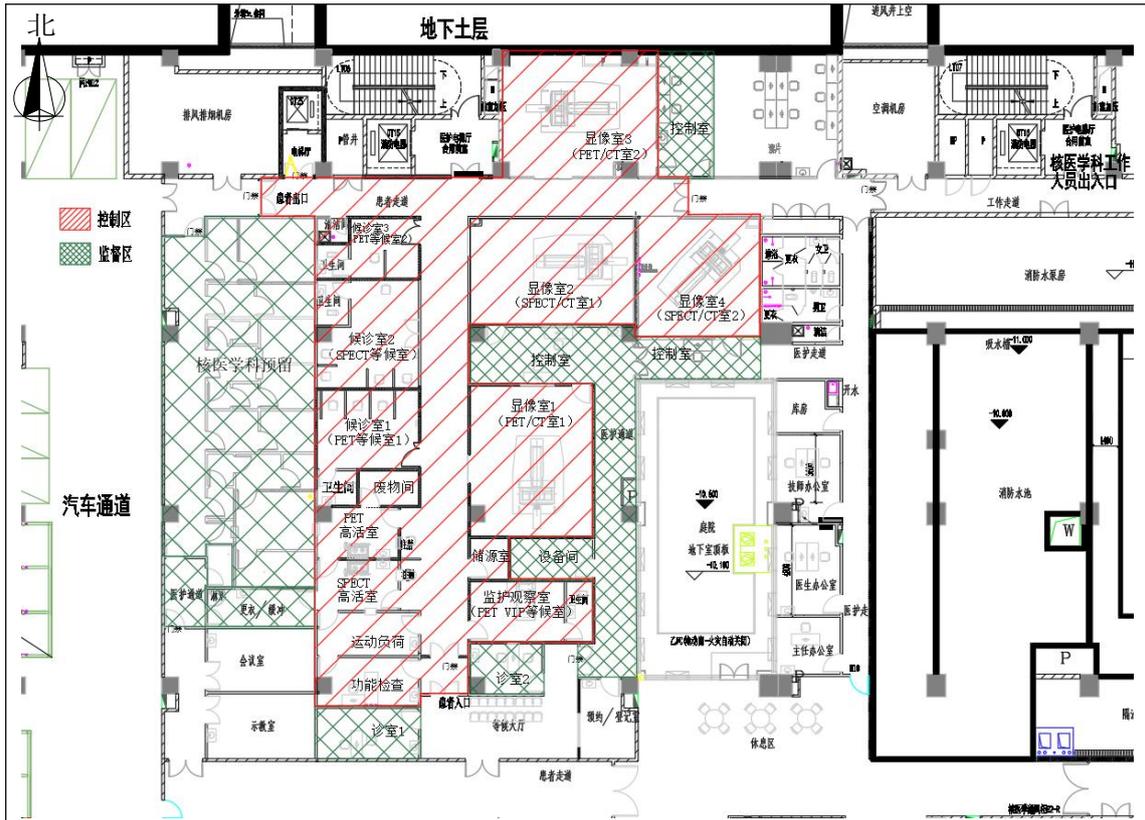


图 10-6 核医学科布局与分区示意图



图 10-7 核医学科路由图

(1) 核素SPECT显像诊断流程

患者乘电梯到达地下二层→在接诊前厅候诊→由患者入口（设单向门禁）进入检查区→在注射室接受药物注射→做运动负荷后或者直接在SPECT候诊室休息→按医嘱要求排尽小便→进行SPECT扫描检查→检查完毕，由核医学科北侧出口离开核医学科。

### **(2) 核素 PET 显像诊断流程**

患者乘电梯到达地下二层→在接诊前厅候诊→由患者入口（设单向门禁）进入检查区→在注射窗口接受药物注射→分别在PET/CT候诊室休息→按医嘱要求排尽小便→分别进行PET/CT扫描检查→检查完毕，由核医学科北侧出口离开核医学科。

### **(3) 核医学科人员工作路径**

#### **➤ 高活室工作人员：**

工作人员从核医学科西南侧进入更衣间→更换鞋和工作服→引导受检者接受药物注射，在指定区域候诊，交待注意事项，或进行药物接收、质检、分装和注射操作→工作结束后在更衣间更换工作服、工作鞋，由更衣间离开。

#### **➤ 控制廊操作人员：**

工作人员由北侧的门进入，完成工作后从北侧离开。

### **(4) 放射性药品转移流转路径**

放射性药物：由供货公司通过核医学科北侧患者出口电梯进入核医学科→由核医学科患者出口走廊进入并送至高活室→在核医学科高活室内药品管理员与送货人员办理验收交接手续→记录药品规格、批次、数量以及收货时间→在高活室手套箱内进行药物分装和注射操作→废弃的放射性污染材料暂存在废物间专用废物桶内→待满足清洁解控环境管理要求后，转移至医院医疗废物间集中进行处理。剩余的放射性药物连同包装容器由供货方在下次送药时收回。

### **(5) 放射性废物转移路径**

注射窗旁设置铅废物桶存放废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，每周一早晨转移至废物间。诊疗区域废物间设置4个铅的废物桶（4个5mmPb），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置至少一个月和10个半衰期后，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，

从控制区出口运出，并详细记录“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。

#### **(6) 放射性废水暂存和排放**

PET/CT 等候室、SPECT/CT 等候室内卫生间的冲厕废水、高活室和运动负荷室洗手废水、清洁间保洁废水，应急淋浴废水等→地下二层专用集水坑→污水泵房→放射性废水衰变池暂存→废水暂存 81d 后，经检测达标后排至医院污水处理站处理→市政污水管网。

#### **(7) 放射性废气收集与排放**

药物分装和质检在手套箱内进行。本项目只有 F-18 需要进行分装。F-18 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的吸附过滤装置，确保过滤效率满足设计要求。

核医学科控制区已配套建设 2 套放射性通风处理设施，其中手套箱设有 1 套专用排风管道，控制区场所设有 1 套专用排风管道，排风管道由核医学科东南侧通风井至楼顶，上述 2 套通风系统的排气口设在楼顶，排放口高度约 69m，位于楼顶中部，为最高处，排风口朝南。

#### **(8) 出入口控制**

**1) 受检人员出入口控制：**在核医学科南侧的患者入口（北侧门）、北侧受检人员出口处各安装 1 道设有单向门禁系统的防护门，并在防护门上张贴辐射标识和中文警示说明，提醒无关人员不要进入，受到不必要的照射。

**2) 医护人员出入口控制：**在医务人员进入更衣间、缓冲间的入口、高活室东侧防护门都拟设置门禁系统，防止患者和其他无关人员误入高活室等工作人员操作区域。

从功能分区来看，工作人员设备操作、药物注射的区域，与受检者给药、候诊区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的交叉照射。同时考虑了放射性“三废”的收集、暂存、排放等措施。

### **10.4 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》等规定，现对北京积水潭医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

#### 10.4.1 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 10-5 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 10-4 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	符合情况
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。	成立了由院长为组长的辐射安全防护领导，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的，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，本项目为核医学科改扩建项目，相关部门负责人继续担任辐射安全管理小组成员。	落实后符合
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。本项目依托核医学科现有在岗人员，医院核医学科现有 23 名辐射工作人员，均已通过辐射安全与防护考核。	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。	储源室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。	本项目拟利用现有的 2 台表面污染监测仪和 1 台便携式辐射剂量巡测仪，能够满足工作的需要。	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、人员考核计划、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。	高活室内配备手套箱，设置专用排风管道，排风引至西楼顶部排放。核医学科场所高活室内产生的废水，给药后患者专用卫生间产生的废水，应急等废水，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。	落实后符合
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	落实后符合

#### 10.4.2 《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 10-5 所示。

表 10-5 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	第五条 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连锁、报警装置或者工作信号。	新增机房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-灯连锁安全装置及工作警示灯。储源室出入口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	第九条 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。医院将安装自行监测频次使用辐射监测仪，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	第十二条	医院在每年1月31日前向生	落实后

	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。	态环境部门提交年度评估报告。	符合
4	第十七条 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。	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。 本项目辐射工作仍由医院核医学科现有的23名辐射工作人员承担，均已通过辐射安全与防护考核。	落实后符合
5	第二十三条 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	第二十四条 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

### 10.5 “三废”的治理

核医学科产生的放射性废气经通风系统的活性炭过滤后，在西楼顶部排放。放射性废水汇入已建设的放射性废水衰变池，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。

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，将会在楼内进行简单的室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

本项目工程建设施工和设备安装过程不产生放射性污染，本次评价主要关注设备投入运行后的环境影响。

**11.2 核医学科改扩建运行（使用）后对环境的影响**

**11.2.1 辐射环境影响预测**

**1 本项目核医学科改扩建新增规模及使用规划**

本项目为回龙观院区核医学科改扩建项目，不增加放射性核素种类，仅增加 F-18、Tc-99m 两种核素的使用量，其余核素使用量及每名患者核素最大使用量均保持不变。本次改扩建核素新增规模见表 11-1。

表 11-1 核医学科改扩建新增核素规模情况表

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	
1	F-18	A	15	250	1.11E+12	PET 诊断（3750）
2	Tc-99m	A	20	250	3.70E+12	SPECT 诊断（5000）

根据使用规划，本次改扩建完成后，核医学科每日增加使用 PET/CT 开展影像诊断最多 15 人次，每日增加使用 SPECT/CT 开展影像诊断最多 20 人次。项目使用诊断放射性核素半衰期都小于 24h（A 类）。

**2 剂量估算源强**

（1）骨扫描最大用量为  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），心肌、甲状旁腺显像最大用量为  $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi），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  $1.85 \sim 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （5~10mCi）。保守按照最大注射 25mCi 的 Tc-99m 药物估算其辐射影响。注射 0.925GBq（25mCi）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  $11.3 \mu\text{Sv/h}$ 、 $7.9 \mu\text{Sv/h}$ 、 $4.4 \mu\text{Sv/h}$ （引用 Handbook of Health Physics and Radiological Health.3<sup>rd</sup>，北京肿瘤医院注射 0h 后 1m 处的辐射剂量率实测值为

9.5 $\mu$ Sv/h)。核素 Tc-99m 源的  $K_{\gamma}$  常数为 0.0303 $\mu$ Sv·m<sup>2</sup>/(h·MBq)，距 925MBqTc-99m 裸源 1m 处的剂量率为 28.0 $\mu$ Sv/h。

(2) PET/CT 一般用量为 222MBq(6mCi)/人次左右，本项目保守以 F-18 使用量 370MBq(10mCi)/人次估算其辐射影响。根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的有效剂量当量剂量率常数为 0.143 $\mu$ Sv·m<sup>2</sup>/(h·MBq)，给患者注射 10mCi 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 34 $\mu$ 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 $\mu$ Sv/h。

(3) F-18 需要在高活室再次分装，按原有诊疗规模，每次转运防护罐盛装最大量一般不超过 7.4GBq（200mCi），工作量饱和时一天最多 2 次供药，本项目保守假设每次最大分装量为 7.4GBq，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 42mmPb 的铅罐和 50mmPb 手套箱屏蔽（92mmPb 的衰减因子为 2.87E-6），屏蔽后剂量率为 4.73E-3 $\mu$ 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 6.1E-1 $\mu$ 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。实际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-4），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。

(4) PET 等候室 1 最多 3 名受检者同时候诊，考虑到候诊床或者座椅间隔布置，在计算周围附加剂量率时，考虑叠加影响。

(5) PET 使用密封校验源开展设备校验，使用的 2 枚 Ge-68 活度分别为 3.5MBq 和 18.5MBq，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 $\mu$ Sv·m<sup>2</sup>/(h·MBq)。其中 1.85E+7Bq 的密封源为设备内置校准源，集成于设备机架内部，日常无法取出，仅原厂授权服务工程师可在维修或退役时拆解取出，且该密封源储存时有

20mm 铅屏蔽，经屏蔽后 1m 处剂量率约为  $0.16\mu\text{Sv/h}$ ，对机房四周影响可以忽略；3.5MBq 的密封源储存于储源室时 1m 处剂量率约为  $0.47\mu\text{Sv/h}$ 。

(6) PET 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  $6.24\text{E-}2$ ），保守每次注射器中残留 0.1mCi，则距废物桶 30cm 处（约 0.5m）的附加剂量率为  $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，按诊疗区原有诊疗规模，假设上午有 15 个患者，考虑到时间的衰减，剂量率约  $1.1\mu\text{Sv/h}$ ，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  $0.5\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足距废物桶 30cm 处  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的要求。

(7) 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

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，楼下关注点在楼板上方 1.7m 处，同时也增加楼上和楼下 30cm 处剂量水平。

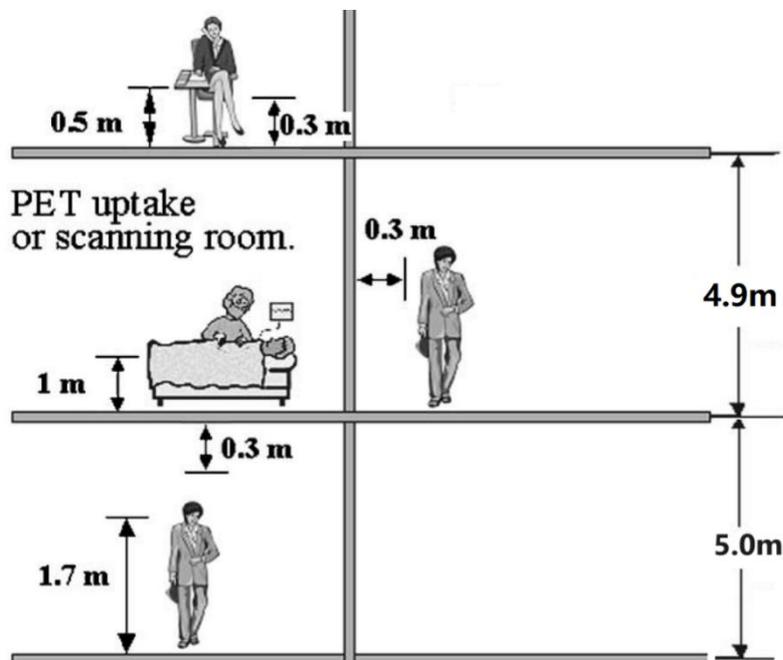


图11-1 核医学科周围关注点位置示意图

### 4. 估算方法

本项目核医学科不新增放射性核素种类，仅增加 F-18、Tc-99m 两种核素使用量，其余核素使用量及每名患者核素最大使用量均保持不变。原有辐射工作场所的位置、布局、屏蔽结构、防护设施、人员停留模式及周边环境功能均未发生改变，核素操作工艺、给药方式、患者候检与检查流程均与原项目一致，仅在原有规模基础上小幅增加年诊疗人次。故原有核素工作场所辐射环境影响及辐射水平，采用原环境影响评价报告的分析结论；本次仅针对 F-18、Tc-99m 核素使用量的新增部分，分析预测新增辐射工作场所在核素显像检查过程中周边贯穿辐射水平，以及叠加新增量后工作人员与周围公众的附加受照剂量。

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，估算注射室、检查室、等候室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

$$\dot{H}_\gamma = \dot{H}_0 \times r^{-2} \times 10^{-d/TVL} \quad (\text{公式 11-1})$$

式中：

$\dot{H}_\gamma$ —关注点的 $\gamma$ 剂量率 $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —距靶 1m 处的 $\gamma$ 剂量率 $\mu\text{Sv/h}$ ；

$r$ —关注点距源中心的距离，m；

$d$ —机房的屏蔽厚度，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；Ga-68 参考 F-18，即铅中  $TVL$  为 16.6mm，混凝土中  $TVL$  为 176mm；其中 F-18 的估算考虑衰减因子的影响。

#### (2) 年有效剂量估算公式

$$E = \dot{H} \times t \times T \quad (\text{公式 11-2})$$

式中： $E$ --年有效剂量， $\mu\text{Sv}$ ；

$\dot{H}$ --计算点附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$T$ 为人员的居留因子；

$t$ 为年曝光时间，h/a

### 11.2.2 核医学科场所周围不同位置的附加剂量率水平

#### (1) 核医学科原辐射工作场所周围不同位置的附加剂量率水平

根据核医学科原环评报告，核医学科原工作场所控制区边界外（四周）的附加剂量率水平最大为  $4.87E-01\mu\text{Sv/h}$ （PET VIP 等候室北墙设备间），楼上、楼下的附加剂量率分别不大于  $1.09E-1\mu\text{Sv/h}$ 、 $7.58E-1\mu\text{Sv/h}$ （高活室楼上及楼下 30cm 处），检查室周围的附加剂量率低于  $4.30E-1\mu\text{Sv/h}$ （机房门外），均满足  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制要求。

#### (2) 新增场所周围不同位置的附加剂量水平

##### 1) 场所周围不同位置的附加剂量水平

基于本项目改扩建项目新增源项，依照公式（11-1）和公式（11-2），估算 PET/CT 室 2、SPECT/CT 室 2、PET 候诊室 1、PET 候诊室 2、储源室周围（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 所示，估算点位示意图见图 11-2 所示。

表 11-2 核医学科改扩建相关场所周围不同位置的剂量率

位置（估算点位见图 11-2）		距离（m）	屏蔽材料与厚度	衰减因子	附加剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	备注
PET/CT 室 2（1 名 F-18 患者， $23\mu\text{Sv/h}$ @1m）	东墙外控制室 a1	5.6	120mm 混凝土砖+40mm 硫酸钡砂浆抹灰层+15mm*4 硫酸钡板	$5.00E-02$	$3.67E-02$	监督区
	南墙外患者走廊 a2	4.1	120mm 混凝土砖+30mm 硫酸钡砂浆抹灰层+15mm*4 硫酸钡板	$4.44E-02$	$6.08E-02$	控制区
	西墙外电梯厅 a3	3.6	120mm 混凝土砖+40mm 硫酸钡砂浆抹灰层+15mm*4 硫酸钡板	$5.00E-02$	$8.87E-02$	公众
	北墙外地下土层 a4	3.6	500mm 混凝土（砼）	$1.44E-03$	$2.56E-03$	/
	观察窗 a5	5.4	8mmPb	$3.30E-01$	$2.60E-01$	监督区
	防护门外 a6	6.0	8mmPb	$3.30E-01$	$2.11E-01$	监督区
	患者门外 a7	4.0	8mmPb	$3.30E-01$	$4.74E-01$	控制区

	楼上 50cm 处淋浴更衣及卫生间 a8	4.5	25cm 混凝土 (砿)	3.80E-02	4.31E-02	公众
	楼下骨科耗材智能管理中心 (距地面 1.7m 处) a9	4.3	25cm 混凝土 (砿)	3.80E-02	4.72E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砿)	3.80E-02	4.72E-02	公众
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砿)	3.80E-02	3.41E-01	公众
SPECT/CT 室 2 (1 名 Tc-99m 患者, 7.9 $\mu$ Sv/h @1m)	东墙外淋浴更衣及卫生间 b1	2.8	120mm 混凝土砖 +40mm 硫酸钡砂浆抹灰层	4.51E-02	4.55E-02	工作人员
	南墙外控制室 b2	4.5	120mm 混凝土砖 +40mm 硫酸钡砂浆抹灰层	4.51E-02	1.76E-02	监督区
	西墙外 SPECT/CT 室 1 b3	4.5	240mm 混凝土砖 +40mm 硫酸钡水泥	5.34E-03	2.08E-03	控制区
	北墙外医护走廊 b4	2.6	120mm 混凝土砖 +30mm 硫酸钡砂浆抹灰层+15mm 厚硫酸钡板	3.74E-02	4.05E-02	监督区
	观察窗外 b5	4.6	4mmPb	1.00E-04	3.73E-05	监督区
	防护门外 b6	4.5	4mmPb	1.00E-04	3.90E-05	监督区
	患者门外 b7	3.8	4mmPb	1.00E-04	5.47E-05	控制区
	楼上 50cm 处通信机房 b8	4.5	25cm 混凝土 (砿)	5.34E-03	2.08E-03	公众
	楼下 AGV 中心库房 (距地面 1.7m 处) b9	4.3	25cm 混凝土 (砿)	5.34E-03	2.28E-03	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砿)	5.34E-03	2.28E-03	公众
楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砿)	5.34E-03	1.65E-02	公众	
PET 等候室 1 (1 名注射 370MBq F-18 患者, 33.8 $\mu$ Sv/h @1m)	东墙外患者走廊 c1	2.3	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+8mmPb	3.52E-02	2.25E-01	控制区
	南墙外 PET 高活室 c2	5.7	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	1.11E-01	控制区
	西墙外核医学科预留 c3	1.3	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+8mmPb	3.52E-02	7.04E-01	监督区
	北墙外 SPECT 等候室 c4	1.2	12cm 混凝土砖+7cm 硫酸钡水泥+7cm 混凝土	3.70E-02	8.68E-01	控制区

	防护门外 c5	3.5	6mmPb (45° 斜射)	3.08E-01	8.49E-01	控制区
	楼上 50cm 处石膏、修型室、库房 c6	4.5	25cm 混凝土 (砼) +6cm 硫酸钡水泥	1.54E-02	2.57E-02	公众
	楼下通用库房 (距地面 1.7m 处) c7	4.3	25cm 混凝土 (砼) +6cm 硫酸钡水泥	1.54E-02	2.82E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砼) +6cm 硫酸钡水泥	1.54E-02	2.82E-02	公众
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砼) +6cm 硫酸钡水泥	1.54E-02	2.03E-01	公众
PET 等候室 2 (1 名注射 370MBq F-18 患者, 33.8μSv/h @1m)	东墙外患者走廊 d1	2.7	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	4.95E-01	控制区
	南墙外 SPECT 等候室 d2	1.5	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	1.60E+00	控制区
	西墙外核医学科预留 d3	3.4	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	3.12E-01	监督区
	北墙外患者走廊 d4	2.5	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	5.77E-01	控制区
	防护门外 d5	3.0	14mmPb (45°斜射)	6.42E-02	2.41E-01	控制区
	楼上 50cm 处示教室 d6	4.5	25cm 混凝土 (砼) +5cm 混凝土垫层	1.97E-02	3.30E-02	公众
	楼下通用库房 (距地面 1.7m 处) d7	4.3	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-02	6.94E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砼) +5cm 混凝土垫层	1.97E-02	3.61E-02	公众
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-02	5.01E-01	公众
储源室 (1 枚 Ge 刻度源, 0.47μSv/h @1m)	东侧设备间 e1	1.3	24cm 混凝土砖	6.93E-02	1.93E-02	监督区
	南侧 PET VIP 等候室 e2	2.0	24cm 混凝土砖	6.93E-02	8.15E-03	控制区
	西侧患者走廊 e3	1.5	24cm 混凝土砖	6.93E-02	1.45E-02	控制区
	北侧 PET/CT 室 1 e4	1.0	24cm 混凝土砖	6.93E-02	3.26E-02	控制区
	防护门外 e5	1.8	防盗门	1.00E+00	1.45E-01	控制区
	楼上 50cm 车间办公室 e6	4.5	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-02	8.81E-04	公众
	楼下换热站 (距地面 1.7m 处) e7	4.3	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-02	9.65E-04	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砼)	2.77E-03	7.05E-05	公众

楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-02	6.97E-03	公众
-----------	-----	--------------	----------	----------	----

注：混凝土砖密度不低于 2.0g/cm<sup>3</sup>，混凝土 (砼) 密度不低于 2.35g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡水泥密度不低于 2.70g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡板密度不低于 3.20g/cm<sup>3</sup>，铅板的密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>。上表估算的剂量率为初始的活度的剂量，距离为外表面外 30cm 处。

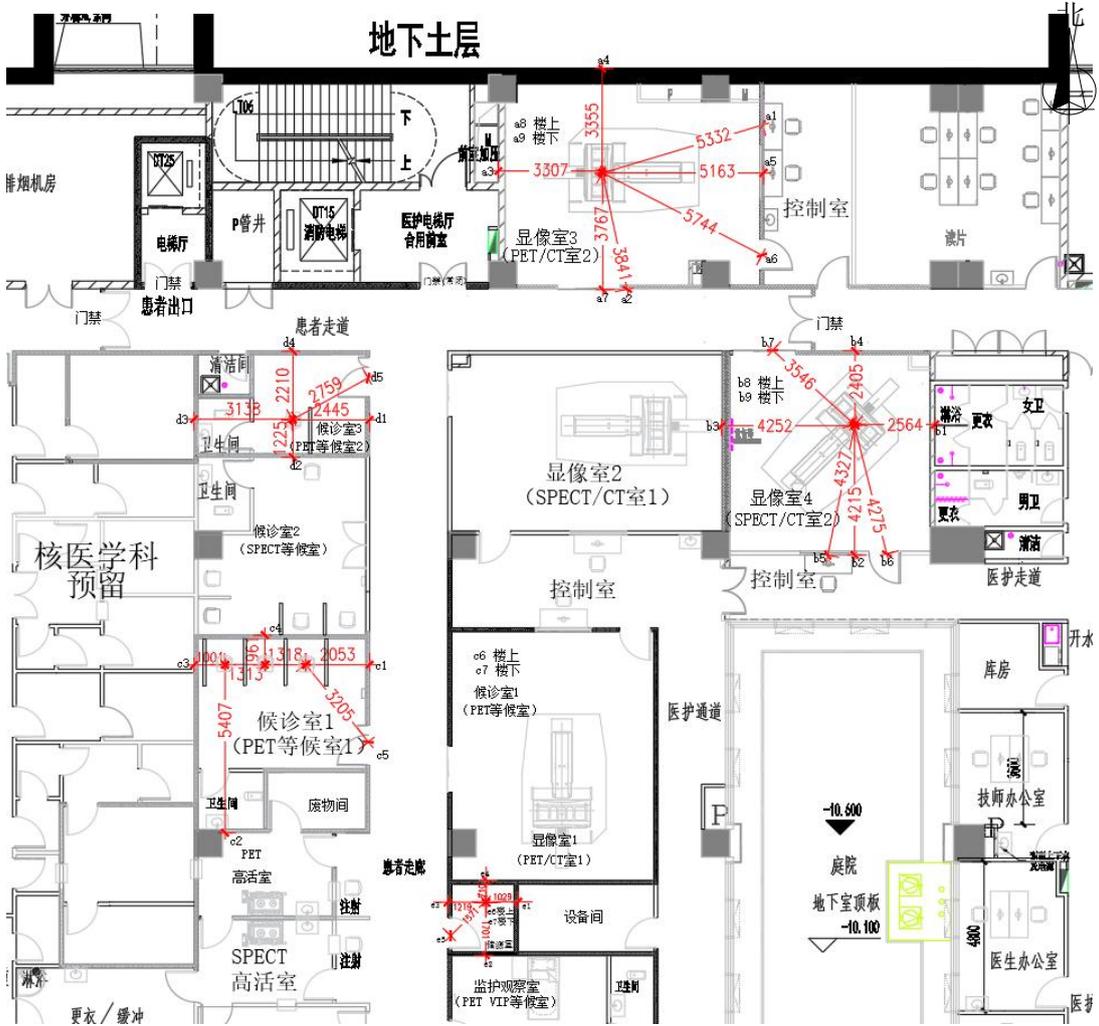


图 11-2 估算点位示意图

## 2) 周围不同位置的附加剂量叠加情况

PET 等候室 1 有 3 名患者候诊，由于 F-18 能量较高，如果叠加只以某个固定点位直接进行 3 名患者叠加情况估算是偏保守的，所以 F-18 的叠加影响进行单独估算。PET 等候室 1 同时存在 3 名注射后患者情况下进行最大附加剂量率见表 11-3，核医学科 PET 等候室 1 相关位置估算点位置见图 11-3。

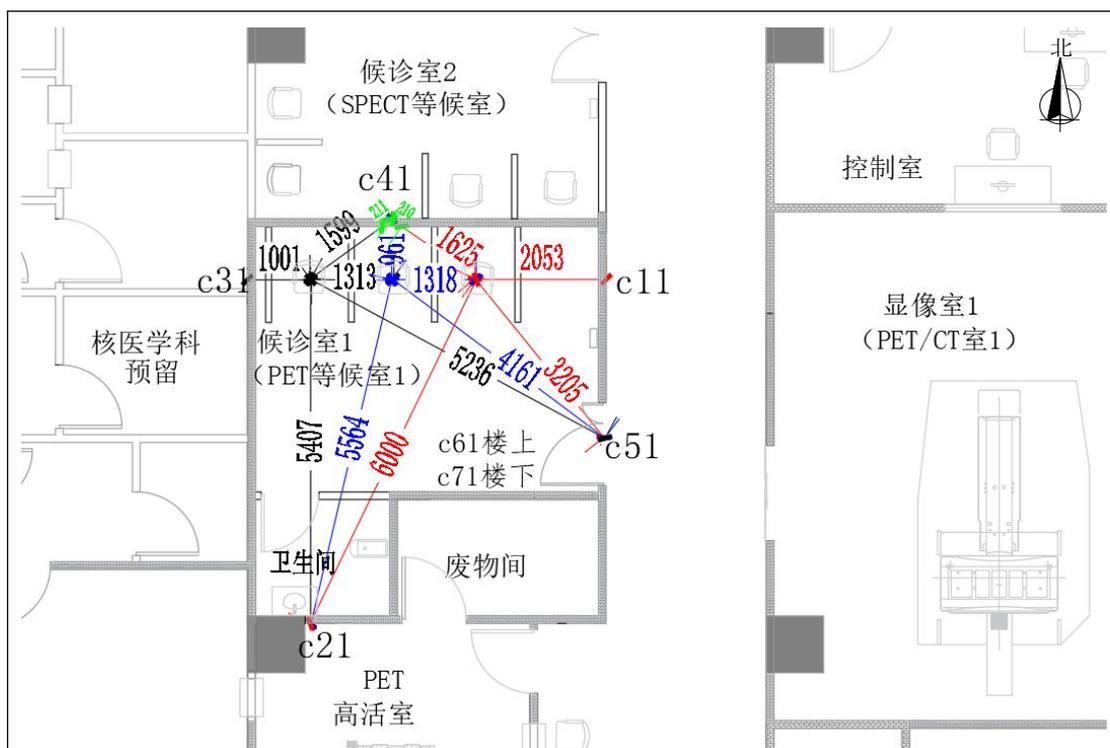


图 11-3 PET 等候室 1 估算点位置图（考虑叠加影响）

表 11-3 主要位置剂量率叠加情况

位置	距离 (m)	有效屏蔽材料与厚度	衰减因子	附加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	累加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
PET 等候室 1 东墙患者走廊 d11 (3 名 370MBq F-18 患者)	2.3	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+8mmPb	3.52E-02	2.25E-01	2.60E-01
	3.6	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+16mmPb	1.16E-02	3.03E-02	
	4.9	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+24mmPb	3.82E-03	5.38E-03	
PET 等候室 1 南墙 PET 高活室 d21 (3 名 370MBq F-18 患者)	6.3	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	9.09E-02	3.90E-01
	5.8	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	1.07E-01	
	5.7	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥	1.07E-01	1.11E-01	
PET 等候室 1 西墙核医学科预留 d31 (3 名 370MBq F-18 患者)	3.9	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+24mmPb	3.82E-03	8.50E-03	7.70E-01
	2.6	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+16mmPb	1.16E-02	5.80E-02	
	1.3	12cm 混凝土砖+6cm 硫酸钡水泥+8mmPb	3.52E-02	7.04E-01	

PET 等候室 1 北墙 SPECT 等候室 d41 (3 名 370MBq F-18 患者)	1.9	21cm 混凝土砖+12cm 硫酸钡水泥+12cm 混凝土+14mmPb	3.38E+01	5.31E-04	8.78E-01
	1.2	12cm 混凝土砖+7cm 硫酸钡水泥+7cm 混凝土	3.38E+01	3.70E-02	
	1.9	21cm 混凝土砖+12cm 硫酸钡水泥+12cm 混凝土+14mmPb	3.38E+01	5.31E-04	
PET 等候室 1 防护门 d51 (3 名 370MBq F-18 患者)	3.5	6mmPb (60° 斜射)	1.89E-01	5.22E-01	7.52E-01
	4.4	14mmPb (45° 斜射)	6.42E-02	1.12E-01	
	5.5	14mmPb (30° 斜射)	1.06E-01	1.18E-01	
PET 等候室 1 楼上 d61 (3 名 370MBq F-18 患者)	4.5	25cm 混凝土(砵)+6cm 硫酸钡水泥	1.54E-2	7.72E-02	7.72E-02
PET 等候室 1 楼下 d71 (3 名 370MBq F-18 患者)	4.3	25cm 混凝土(砵)+6cm 硫酸钡水泥	1.54E-2	8.46E-02	8.46E-02
PET 等候室 1 楼上 30cm (3 名 370MBq F-18 患者)	4.3	25cm 混凝土(砵)+6cm 硫酸钡水泥	1.54E-2	7.72E-02	8.46E-02
PET 等候室 1 楼下 30cm (3 名 370MBq F-18 患者)	1.6	25cm 混凝土(砵)+6cm 硫酸钡水泥	1.54E-2	8.46E-02	6.11E-01

备注：这里未考虑注射后患者时间先后衰减的影响，楼上楼下都没考虑斜射的影响，每个患者保守都按 10mCi 量估算 (33.8 $\mu$ Sv/h@1m)。

由表 11-2 可见，核医学科改扩建运行后，核医学科辐射工作场所的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平最大为 7.70E-01 $\mu$ Sv/h（PET/CT 等候室 1 西侧核医学科预留），楼上、楼下的附加剂量率分别不大于 8.46E-02 $\mu$ Sv/h、6.11E-01 $\mu$ Sv/h（（PET/CT 等候室 1 楼上 30cm 处、楼下 30cm 处），检查室周围的附加剂量率低于 4.74E-01 $\mu$ Sv/h（防护门外），均满足 2.5 $\mu$ 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 室 2、PET/CT 室 2 墙体、观察窗和防护门等六面采取的辐射屏蔽措施均不低于 3.5mm 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 30m<sup>2</sup> 和 4.5m 的要求。

参照普通 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 0.052μGy/mAs（垂直）和 0.051μGy/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 56.16mGy/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 机房的屏蔽设计，机房周围铅当量不小于 3.5mmPb，透射系数小于 3.87E-05，按照关注点的最近距离不低于 2.7m 估算，CT 运行所致周围的附加剂量率不大于 0.3μGy/h。保守假设全部检查人员做 CT 扫描，SPECT/CT、PET/CT 全年运行时间分别为 41.7h（30s/人）、31.3h，对机房周围全居留人员的最大附加剂量贡献不大于 12.5μSv。

患者检查时 PET/CT、SPECT/CT 机房周围最大附加剂量率为 4.74E-1μSv/h（PET 机房患者门外）、4.05E-02（SPECT 机房东墙外），即使叠加上 CT 运行所致剂量率 0.3μGy/h，也满足 2.5μSv/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，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 PET/CT、SPECT/CT 中 CT 的影响。

综上，核医学科改扩建项目建成后，核医学科辐射工作场所控制区周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h。

#### 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。根据核医学科原最大工作量及本次改扩建新增工作量进行剂量估算。假设：

(1) 每年 SPECT 检查最大人数为 6500 人次，扫描时间平均约为 20min/人次，总共扫描时间为 2167h；本次 SPECT 新增检查人数为 5000 人次，则

SPECT/CT 室 2 总扫描时间为 1667h。SPECT 注射后等候室内人员的停留时间保守按 2000h（剂量率是按 5 人叠加后值估算）。

(2) 每年 PET/CT 检查最大人数为 4000 人次。PET/CT 的扫描时间平均按 20min/人次，则 PET/CT 机房内患者停留时间约为 1333h；本次 PET 新增检查人数为 3750 人次，则 PET/CT 室 2 总扫描时间为 1250h。PET 等候室 1 停留时间保守按 2000h（剂量率是按 3 人叠加后值估算），PET VIP 等候室停留时间保守按 1333h，PET 等候室 2 停留时间保守按 1333h。

(3) PET/CT 扫描患者采用预置针方式注射，每人每次的药物注射时间为 30s/人。SPECT 患者采用直接静脉注射的方式注射，注射时间按 60s/人计，口服按 30s 人计。则增加检查人次后注射室全年注射 SPECT 药物时间为 192h，口服 I-131 时间为 4.17h。注射 PET 药物时间为 64.6h。

(4) 高活室手套箱内每天进行 PET 药物分装时间 2min/人次，全年累计分装时间为 258.4h。

表 11-3 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，对公众的辐射照射剂量最大不超过  $1.06E+1\mu\text{Sv/a}$ （PET 等候室 1 楼下通用库房），满足本项目设定的  $0.1\text{mSv/a}$  的剂量约束值要求。

核医学科场所分区管理，病人给药、候诊和检查区域属于控制区，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， $T < 1/40$ ）。

表 11-3 核医学科周围公众年附加有效剂量估算

位置（估算点位见图 11-2）		附加剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留 因子	全居留时 间 (h/a)	年附加剂 量( $\mu\text{Sv/a}$ )
PET/CT 室 1 (1 名 F-18 患者)*	楼上支具中心组装、 车间办公室等	1.97E-2	1/4	1333	6.57E+00
	楼下 AGV 中心库房	2.16E-2	1/16	1333	1.80E+00
PET/CT 室 2 (1 名 F-18 患者)	西墙外电梯厅	8.87E-02	1/16	1250	6.93E+00
	楼上淋浴更衣及卫 生间	4.31E-02	1/16	1250	3.37E+00
	楼下骨科耗材智能 管理中心	4.72E-02	1/16	1250	3.69E+00
SPECT/CT 室 1 (1 名 Tc-99m 患	楼上打磨及数码加 工中心、树脂抽真空 室	7.31E-04	1/4	2167	3.96E-01

者)*	楼下AGV中心库房	8.01E-04	1/16	2167	1.08E-01
SPECT/CT室2(1名Tc-99m患者)	楼上通信机房	2.08E-03	1/16	1667	2.17E-01
	楼下AGV中心库房	2.28E-03	1/16	1667	2.38E-01
PET VIP等候室(1名F-18患者)*	南墙诊室2	1.13E-01	1/16	1333	9.41E+00
	楼上测量室、步态训练	2.90E-02	1/4	1333	9.66E+00
	楼下换热站	3.17E-02	1/16	1333	2.64E+00
PET等候室1(3名F-18患者)	楼上灌型室、石膏修型、库房	7.72E-02	1/16	2000	9.65E+00
	楼下通用库房	8.46E-02	1/16	2000	1.06E+01
PET等候室2(1名F-18患者)	楼上示教室	3.30E-02	1/4	1333	1.10E+01
	楼下通用库房	6.94E-02	1/16	1333	5.78E+00
SPECT等候室(5名Tc-99m患者)*	楼上示教室	4.24E-03	1/4	2000	2.12E+00
	楼下通用库房	1.63E-02	1/16	2000	2.04E+00
高活室(10mCi F-18、25mCi Tc-99m)*	楼上库房、展示	9.92E-02	1/16	261	1.62E+00
	楼下污衣库房	1.09E-01	1/16	261	1.78E+00
储源室	楼上车间办公室	2.04E-03	1	2000	4.09E+00
	楼下换热站	2.24E-03	1/16	2000	2.80E-01

备注：PET/CT室1、SPECT/CT室1、PET VIP等候室、SPECT等候室、高活室的附加剂量率均引用原环评报告。

#### 11.2.4 工作人员各环节年受照剂量

##### (1) 工作人员分装、注射及显像环节的年受照剂量

根据本项目环评报告，原核医学科PET/CT年最大检查量为4000人次，SPECT/CT年最大检查量为6500人次。使用I-131甲状腺摄碘功能测定的病人每年最多1000人，使用I-131治疗甲亢的病人最多500名/年，用于骨转移的Sr-89门诊治疗的病人最多100人/年，用于治疗前列腺癌骨转移的Ra-223病人最多100人/年。

本次改扩建新增规模为：PET/CT年增加检查量3750人次，SPECT/CT年增

加检查量5000人次。其余门诊治疗工作量不做变动。放射性工作负荷与原环评相比呈同比例、等比例增加。

鉴于工作内容、操作方式、辐射源项、屏蔽设计及工作制度均未发生根本性改变，工作人员所受职业照射剂量与放射性工作负荷呈线性正相关，因此工作人员辐射剂量可按新增工作量占原设计最大工作量的同比例相应增加。

## (2) 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》WS 523-2019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 555MBq（包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需），操作距离为 30cm，操作时间为 1h/a，由 1MBq Tc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 0.26 $\mu$ Sv/h，则 555MBq 对应 30cm 处剂量率为 192.4 $\mu$ Sv/h，工作人员一般穿 0.50mmPb 当量铅围裙操作，对应透射系数 0.31，即操作位附加剂量率约为 21.5 $\mu$ Sv/h（50cm 处），则工作人员附加剂量为 21.5 $\mu$ Sv/a。

### 2) PET

#### ①使用密封源

PET/CT 配备 2 枚 Ge-68 放射源，活度分别为 1.85E+7Bq 和 3.5E+6Bq。其中 1.85E+7Bq 的密封源为设备内置校准源，由物理师每周执行一次常规质控校准，校准过程由物理师在设备操作间远程控制完成，全程无需进入扫描间，不直接接触放射源。

工作人员每季度使用 1 次 3.5E+6Bq 的桶源进行系统刻度、灵敏度校准及交叉校正，该环节工作人员将刻度源从储源室运到机房，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 9.2keV，但其子体 Ga-68 将发生正电子衰变产生湮灭辐射并发射 511keV 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 $\mu$ Sv $\cdot$ m<sup>2</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup> $\cdot$ MBq<sup>-1</sup>，操作距离取 50cm，操作位

剂量率为 1.9 $\mu$ Sv/h，每次操作时间约 2min，总操作时间为 8min/a，则工作人员附加剂量约为 0.26 $\mu$ 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 37MBq（包括 SUV、灵敏度、空间分辨力等各项指标所需），一般都委托厂家和第三方检测机构完成，其中 SUV 指标是每半年一次，灵敏度、空间分辨力每年一次，主要就是把 F-18 药物输入模体，然后模体摆好位置后人员就回到控制室进行隔室操作，保守假设操作时间为 10min/a，操作距离取 50cm，37MBq F-18 药液距 50cm 处人的深部当量剂量率为 21.16 $\mu$ Sv/h，则工作人员附加剂量约为 3.5 $\mu$ Sv/a。

按照环评报告及本次增加核素用量情况，核医学科核素诊疗区工作人员的附加有效剂量如表11-4。

**表11-4 改扩建后工作人员各环节附加有效剂量（ $\mu$ Sv/a）**

环节	PET		SPECT		门诊治疗		合计	备注
	原有	增加	原有	增加	原有	增加		
分装	333	312.2	/	/	/	/	2715	护士完成
运转	111	104.1	/	/	/	/		
给药	333	312.2	260	200.0	749.5	/		
摆位	770	721.9	193	148.5	/	/	2360	技师完成
控制室	272	255.0	/	/	/	/		
质控	109.3	3.8	21.5	21.5	/	/	156.1	物理师完成

本项目显像环节每名护士、技师和物理师年受照附加剂量分别不大于 2.715mSv、2.36mSv、156.1 $\mu$ Sv，由于本项目为核医学科改扩建项目，都是专职人员，不存在辐射工作的累加情况，且护士和技师的工作环节也不存在剂量累加的情况。

**11.2.10 核医学科受照剂量总结**

**(1) 工作人员受照剂量**

根据以上估算，核医学科附加剂量不大于2.715mSv，由于核医学科至少配

有2名护士或技师，则本项目核医学科工作人员受照总剂量不大于1.36mSv (2.715/2)，低于本项目设定的年剂量约束值2mSv/a要求。

## (2) 公众

根据以上估算，公众年受照总剂量不大于10.6 $\mu$ Sv，低于本项目设定的年剂量约束值100 $\mu$ Sv/a要求。

### 11.3放射性废物产生及排放情况

#### 11.3.1 放射性废气

本项目仅增加PET/CT、SPECT/CT诊断检查工作量，仅涉及原有核素F-18、Tc-99m的使用量增加，不新增放射性核素种类，亦不涉及其他核素的使用、产生与排放，项目实施前后放射性废气源项与原环评保持一致。

核医学科手套箱和控制区已安装独立的排风系统，在排风管道出核医学科前安装活性炭过滤器（手套箱还自带有过滤器）净化后，由高于西楼楼顶排放。核医学科诊断区域主要所涉及的同位素操作主要都是一些很简单的湿法操作，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。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。

#### 11.3.2 放射性液体废物

核医学科高活室内产生的废水、给药后患者专用卫生间产生的废水、控制区清洁废水、应急淋浴水，将通过专用管道一并汇入位于核技术医学中心楼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。

衰变池收集的主要的放射性核素来源于核医学门诊受检患者的排泄物、洗手池、拖布池产生的废水、应急淋浴水等，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按照超过81天，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、处置管理台账”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。

核医学科诊疗设置受检患者专用卫生间。核医学门诊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，患者一次如厕用水量不超过 4.5L，本项目按照所有受检者每人次如厕产生放射性废水的总量为 6L 考虑；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 40L/d；另外应急淋浴水保守每年按一次 50L，每年质控废水 50L（每次 1L）。

核医学科原年显像和门诊治疗人数不超过 11200 人，本次增加显像人数 8750 人次，则核医学科达到饱和运行时，年显像和门诊治疗人数不超过 19950 人，诊疗区年产生废水约  $6\text{L}/\text{人} \times 19950 \text{人} + 40\text{L}/\text{d} \times 250\text{d} + 50\text{L} + 50\text{L} = 129.8\text{m}^3$ 。

衰变池的总容积为  $56\text{m}^3$ （ $14\text{m}^3/\text{槽} \times 4 \text{槽}$ ），则废水开始存满到排放大约经历 118 日历天衰变，满足 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中放射性废水暂存衰变满 10 个半衰期的要求，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、处置管理台账”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。

### 11.3.3 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废物间自行衰变。高活室内配置 4 个铅质废物桶，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。

#### （1）一般放射性固体废物

试剂废弃的药瓶、放射性药物注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品按类别、日期放入废物间内。本场所按全年开展核素诊疗 19950 人次，平均每次产生含放射性固体废物 0.02kg（含患者注射器每支 4g），则项目满负荷运行年产生量约 399kg。依据 HJ1188 和《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（B 类核素 I-131 与 Sr-89 存放超过 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  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$  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。

#### （2）过滤器废物

放射性药物标记实验室场所每年更换热室和楼顶活性炭过滤器，预计额外产生 8kg 固体废物（每个活性炭过滤器不小于 2kg，每个高效过滤器不大于 2kg），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，放射性固废放置至少 10 个半衰期（含 I-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天），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。

### 11.4 本项目异常事件分析与防范措施

#### 11.4.1 核医学科诊疗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，导致给药剂量错误；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。

放射性废水未经足够时间的暂存而超标排放，可能对环境或人体造成一定危害；放射性固体废物未经足够时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（5）屏蔽措施不当

如果对操作放射性核素的场所屏蔽措施不利，可能对环境造成污染和对人员造成不必要的照射。

#### **11.4.2 风险防范与事故应急处理措施**

针对在工作场所运行过程中可能出现的事故，应采取一系列预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

(1) 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PET高活室内摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失恶化被盗。

(2) 建立放射性药物使用管理制度，制定放射性同位素操作技术规程和事故应急处理预案。辐射安全管理小组定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正，工作人员须熟练掌握放射性药物操作技能和辐射防护基本知识的培训，正确处置意外情况，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。

在控制区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，依照程序处置，规范操作，防止放射性污染扩散导致周围环境污染。

(3) 病人注射或者给药前，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。在热室内分装、标记放射性药物，实验台操作同位素。一旦发生撒漏导致台面和地面污染的情况，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，工作人员离开控制区，在缓冲间更换工作鞋和工作服，防止放射性污染扩散至控制区之外。

(4) 核医学科高活室，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 天后（含I-131、Sr-89核素的放射性固体废物暂存超过505天），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。候诊场所配备有专用厕所，病人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。

放射性场所设置有排风系统，废气有组织在排风管道内设置有过滤器，可有效减少放射性的排放和对环境的影响。

(5) 发现意外事件与事故的当场人员应当立即向部门负责人、上级各管理部门以及辐射安全管理小组负责人和专职人员报告，启动事故应急预案。辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，负责保护现场，控制范围。发生该类事故后，应在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。如果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。

### 11.5 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11-5。

表11-5 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 0.1mSv/a 和 2mSv/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 2.5μSv/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、病人等候室等场所门外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、检查室、储源室、废物间、等候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。采用实体屏蔽措施，安装视频监控系统等装置；储源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。在候诊区和留观室内设铅屏风。
监测仪器	配备检测仪器：核医学科利用现有的 1 台辐射剂量仪、2 台表面污染监测仪。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 11 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；手套箱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	辐射工作人员通过辐射安全与防护考核。
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防护领导小组，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 1-5 所示。辐射安全防护领导小组的职责：

1. 在医院辐射安全防护领导小组组长、副组长的领导下，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，在辐射安全防护领导小组组长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利用现有的 23 名辐射工作人员（医师 9 人、技师 7 人、护士 6 人、物理师 1 人），均已通过辐射安全与防护考核。单位将定期组织辐射工作人员每 5 年一次的重考核，考核合格后方可继续从事辐射工作，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

北京积水潭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，北京积水潭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**

北京积水潭医院根据制定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，并建立相应的个人剂量监测档案。

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贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，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，并将有关情况文字记录。

### **12.3.2 工作场所和辐射环境监测**

北京积水潭医院已配置必要的辐射监测仪器，详细清单见表 1-6。本场所拟利用现有的 1 台辐射剂量巡测仪和 2 台表面污染监测仪，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。

#### **（1）委托监测**

医院每年委托有 CMA 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**

本项目实施后，核医学科工作人员使用拟配备的辐射剂量仪、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：X/γ剂量率水平，表面污染水平

(2) 检测设备：X-γ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γ剂量率水平监测点位：显像机房四周和楼上，注射后等候室周围、以及控制区边界外 30cm 处等位置的剂量率水平，衰变池上方的剂量率水平。监测数据记录存档，监测点位布置见图 12-1 所示。

**表 12-1 核医学科场所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
1~4	核医学科患者出入口	控制区出入口处	1 次/年
5~6	高活室	西侧核医学科预留，西侧更衣及缓冲	1 次/年
7~8	运动负荷室	南侧功能检查室，西侧会议室	1 次/年
9	功能检查室	南侧诊室 1	1 次/年
10	PET 等候室 1	西侧核医学科预留	1 次/年
11	SPECT 等候室	西侧核医学科预留	1 次/年
12	PET 等候室 2	西侧核医学科预留	1 次/年
13~15	PET VIP 等候室	东侧走廊，南侧诊室 2，北侧设备间	1 次/年
16~21	PET/CT 室 1	四周及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
22~29	SPECT/CT 室 1	周围及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
30~36	PET/CT 室 2	四周及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
37~44	SPECT/CT 室 2	周围及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
45	废物间	防护门外	1 次/月
46	储源室	西侧门外	1 次/年
47	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，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，表面污染水平监测点位布置见图 12-1 所示。

**表 12-2 表面污染水平监测点位设置**

编号	场所名称	监测点位置	表面污染 (Bq/cm <sup>2</sup> )
1~3	PET 高活室	手套箱台面、高活室地面、注射窗	
4~6	SPECT 高活室	手套箱台面、高活室地面、注射窗	
7~8	运动负荷室	地面、台面	
9~10	甲功室	地面、台面	
11~13	PET 等候室 1	等候室地面、候诊椅、卫生间	
14~16	SPECT 等候室	等候室地面、候诊椅、卫生间	
17~19	PET 等候室 2	等候室地面、候诊椅、卫生间	
20~22	PET VIP 室	病人床、地面、卫生间	
23~24	PET/CT 室 1	病人床、地面	
25~26	SPECT/CT 室 1	病人床、地面	
27~28	PET/CT 室 2	病人床、地面	
29~30	SPECT/CT 室 2	病人床、地面	
31~	其他必要点位	废物桶、包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	

#### 12.4 辐射事故应急管理

北京积水潭医院制定了《北京积水潭医院辐射事故应急制度》，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 12-1 核医学科场所自行检测点位图

(标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置)

表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

北京积水潭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[B0064]），其种类和范围为：使用V类放射源，使用II类、III类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。

由于医院新街口院区核医学科受建筑结构、场地空间及既有布局限制，学科发展、设备更新及诊疗能力提升均受到一定制约，已难以满足院内统筹规划与长远发展需要。为统筹优化两院区间核医学诊疗资源配置，盘活现有大型医疗设备资源，理顺核医学科建设与发展布局，推动核医学诊疗工作集约化、规范化发展，更好地满足临床诊疗与患者就医需求，医院拟对回龙观院区核医学科实施改扩建。将新街口院区核医学科现有设备搬迁至回龙观院区安装使用，改扩建完成后，新街口院区不再保留核医学科及相关诊疗设备，对新街口院区核医学科进行退役处置。全院核医学诊疗业务统一由回龙观院区核医学科承担。

#### 13.1.2 正当性分析

本项目属于医疗常规核技术利用项目，具有良好的社会效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合实践正当性原则，同时医院具备了技术、人员和经费等条件。本项目的实施，有利于优化医疗资源配置，改善诊疗环境与工作条件，提升辐射安全与防护水平，确保核技术利用活动安全、规范、有序开展，更好地满足临床医疗与公众健康服务需求。故上述辐射工作场所的使用符合《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”的要求。

#### 13.1.3 选址与布局合理性分析

北京积水潭医院核医学科位于西楼地下二层，本项目周围 50m 区域除了北侧部分区域为马路外，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。

项目选址充分考虑了周围场所的安全，不邻接产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，尽可能做到了集中设置，核医学科患者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。

#### **13.1.4 辐射安全与防护能力分析**

医院在设置辐射工作场所时已充分考虑了设备性能和运行特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

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、检查室、储源室、废物间、等候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。储源室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、视频监控系统 and 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。

#### **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，本项目正常运行后，预计工作人员和公众的年有效剂量均低于相应剂量约束值（2mSv、0.1mSv），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。通过对辐射屏蔽措施分析可知，控制区外周围剂量当量率不超过2.5 $\mu$ Sv/h。

(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) 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407kg（包含手套箱过滤器等）。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（过滤装置废滤材符合清洁解控要求后作为危险废物处置）。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。

(4) 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，北京积水潭医院回龙观院区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，北京积水潭医院承诺：

- (1) 妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；
- (2) 严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。
- (3) 严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进行监测，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) 在辐射项目运行中绝不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，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。

