

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	17
表 3 非密封放射性物质	18
表 4 射线装置	19
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	20
表 6 评价依据	22
表 7 保护目标与评价标准	25
表 8 环境质量和辐射现状	35
表 9 项目工程分析与源项	38
表 10 辐射安全与防护	49
表 11 环境影响分析	67
表 12 辐射安全管理	100
表 13 结论与建议	105
表 14 审批	108

表 1 项目基本情况

建设项目名称	通州院区新建核医学科					
建设单位	北京大学人民医院（北京大学第二临床医学院）					
法人代表	王俊	联系人	陈丽	联系电话	010-88325503	
注册地址	北京市西城区西直门南大街 11 号					
项目建设地点	北京市通州区南凤西一路 39 号医疗主楼地下一层东侧					
立项审批部门	无		批准文号	无		
建设项目总投资（万元）	5000	项目环保投资（万元）	1000	投资比例（环保投资/总投资）	20%	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	780	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input 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

北京大学人民医院（北京大学第二临床医学院）（以下简称“北大人民医院”或“医院”）创建于 1918 年，是中国人自行筹资建设和管理的第一家综合性西医医院，最初命名为“北京中央医院”，中国现代医学先驱伍连德博士任首任院长。北京大学人民医院的发展历程，是中国医学进步的见证。经过 100 年的发展现已发展成为集医疗、教学、科研为一体的现代化综合性三级甲等医院。

目前，医院正式员工总数 2553 人，中国工程院院士 3 名，编制床位 1700 张（开放床位 1700 余张），设有 40 个临床科室、17 个医技科室和 25 个职能处室。

北京大学人民医院以国家级优势学科为先导，以打造专用应急救援保障空为切入点，同时与北京市红十字会空中救援中心签署了创伤患者空中转运合作协议，建立北京大学人民医院通州院区，通州院区将成为重要的创伤急救中心，可以高效率、快速度地解决通州东南部及周边河北省地区交通事故等创伤患者的抢救工作。通州院区建设采取分期进驻的方式，扎实稳妥开展工作，最终将通州院区建成学科全面、功能合理、具有一定规模和医疗、教学、科研职能兼备的综合医院。通州院区所属土地、地上建筑属原北京市通州区卫生和计划生育委员会所有，人民医院已与原北京市通州区卫生和计划生育委员会签订合作协议，将通州院区土地和地上建筑无偿供人民医院使用。2021年5月起，通州院区已逐步投入运营。

北大人民医院为已取得《辐射安全许可证》单位。

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

北京大学人民医院已取得了辐射安全许可证（京环辐证[B0062]，有效期至2026年5月6日，许可的种类和范围是：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。北大人民医院已许可射线装置使用情况见表1-1。医院已许可使用的非密封放射性物质见表1-2，已许可使用的放射源见表1-3。

表1-1 已许可射线装置使用情况

序号	名称	类别（类）	数量（台）	活动种类
1	模拟定位机	Ⅲ	1	使用
2	乳腺X射线机	Ⅲ	1	使用
3	牙科X射线机	Ⅲ	3	使用
4	医用电子直线加速器	Ⅱ	1	使用
5	SPECT/CT	Ⅲ	1	使用
6	移动式C型臂	Ⅲ	8	使用
7	数字减影血管造影装置	Ⅱ	7	使用
8	医用X射线CT机	Ⅲ	6	使用
9	加强体外冲击碎石机	Ⅲ	1	使用

10	PET/CT	III	1	使用
11	移动式 X 射线机	III	11	使用
12	骨密度仪	III	1	使用
13	放射诊断用普通 X 射线机	III	11	使用
合计		/	53	/

表 1-2 已许可使用的非密封放射性物质

工作场所名称	等级 (类别)	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
新院核医学科	乙	I-123	1.48E+6	3.7E+10
		Tl-201	7.4E+6	1.85E+11
		F-18	1.11E+8	3.15E+12
		In-111	1.48E+6	3.7E+9
		Sm-153	1.48E+7	3.7E+10
		Ga-67	1.48E+7	3.7E+10
		P-32	7.4E+5	1.85E+9
		H-3	2.22E+4	5.55E+8
		Tc-99m	3.7E+8	9.25E+12
		Sr-89	2.96E+7	7.4E+10
新院核医学科 PET/CT 室	乙	I-131	6.68E+7	1.67E+11
		F-18	7.4E+7	1.48E+12
新院核医学科放免室	丙	I-125	4.44E+6	1.11E+10
新院手术室	乙	I-125 粒子	1.85E+7	5.55E+10

表 1-3 已许可使用的放射源

序号	核素	类别	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	活动种类
1	Ir-192	III	3.7E+11Bq×1	使用
2	Ge-68	V	4.7E+7Bq×1	使用
3	Ru-106	V	3.7E+6Bq×6	使用

1.2.2 近几年履行环保审批情况

北大人民医院近五年以来环评项目落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目竣工验收落实情况

序	环评批复文号	项目名称	类别	竣工验	备注
---	--------	------	----	-----	----

号				收文号	
1	京环审 [2019]50号	使用II类射线装置 项目	II	/	2020年6月已完 成自主验收
2	202111011 200000341	北京大学人民医院通州 院区新增CT、DR、移 动DR项目	III	/	已登记
3	202111010 200000062	白塔寺院区更新CT并 改建机房	III	/	已登记
4	202111010 200000061	核医学科搬迁骨密度仪 和新建机房	III	/	已登记
5	京环审 [2022]51号	通州院区使用II类射线 装置项目	II	/	2023年6月已完 成自主验收
6	京环审 [2022]94号	通州院区新增使用II类 射线装置项目	II	/	2023年6月已完 成自主验收

1.2.3 辐射安全管理现状

1.2.3.1 辐射管理机构

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进同位素和射线装置的安全使用，北大人民医院专门成立了辐射防护领导小组，由院长王俊担任组长，副院长张俊、放射科主任洪楠、核医学科主任王茜担任副组长，医务处、消化内科、骨创伤科、血管外科、放疗科、保卫处、医学装备处等部门的相关人员担任组员，并指定医务处负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表1-5。

表1-5 辐射防护领导小组成员名单

职位	姓名	职务或职称	专业	工作部门	专/兼职
组长	王俊	院长	胸外科学	胸外科	兼职
副组 长	王建六	副院长	妇产科	妇产科	兼职
	洪楠	主任	医学影像	放射科	兼职
	王茜	主任	医学影像	核医学科	兼职
组员	张海燕	主任	护理学	护理部	兼职
	王晶桐	处长	内科学	医务处	兼职
	王智峰	主任	内科学	消化内科	兼职
	冯艺	科主任	麻醉学	麻醉科	兼职

	程琳	副处长	外科学	医务处	兼职
	吴晓舟	护士长	护理	手术室	兼职
	张小明	科主任	外科学	血管外科	兼职
	张鹏	处长	/	保卫处	兼职
	李培	处长	/	基建处	兼职
	陈亚林	科主任	医学影像	放疗科	兼职
	张贺	处长	/	医学装备处	兼职
	姜冠潮	处长	外科学	人事处	兼职
	刘健	科主任	内科学	心内科	兼职
	赵明威	科主任	眼科学	眼科	兼职
	高承志	科主任	口腔学	口腔科	兼职
	高杰	科主任	外科学	肝胆外科	兼职
	翟莹	护师	护理	介入诊疗中心	兼职
	张殿英	科主任	/	招采中心	兼职
	周钧	副主任	/	白塔寺综合办公室	兼职
	陈丽	助理研究员	管理学	医务处	专职

1.2.3.2 规章制度建设及落实

北大人民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、辐射防护和安全保卫制度、辐射工作人员个人剂量监测和职业健康管理制度、射线装置台账管理制度、辐射监测方案、辐射工作场所及射线装置检修维护制度、放射性废物管理制度和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 工作人员培训考核

北大人民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分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核取得合格证

书。

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

北大人民医院现有的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每 3 个月检测一次。北大人民医院目前辐射工作人员个人剂量计均佩戴在锁骨对应的领口处。医院 2022 年度个人剂量监测结果表明，全部人员均低于约束值 5mSv。开展个人剂量检测的人员，包含新引进辐射工作人员、进修人员等，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检测结果的情况。

医院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

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

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，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。

表面污染监测：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台面、手套箱台面、注射窗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，该项工作由核医学科工作人员自行完成。

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	检定证号	检定有效期	使用场所	数量
1	活度计	CRC-25R	DD18J-DA010003	2022 年 11 月 1 日	核医学科	1
2	活度计	CRC-15R	DD18J-DA010002	2022 年 11 月 1 日	核医学科	1
3	辐射仪	JB4000	DD19J-CA000014	2022 年 1 月 14 日	核医学科	1
4	表面污染仪	Inspector	DD19J-DB000008	2022 年 1 月 29 日	核医学科	1
5	表面污染仪	Inspector+	DD19J-DB000003	2022 年 1 月 16 日	核医学科	1
6	表面污染仪	JB4100	DD19J-DB000004	2022 年 1 月 16 日	核医学科	1
7	电离室巡检仪	451P	DD19J-CA000015	2022 年 1 月 14 日	放疗科	1
8	剂量仪	2572/1B	DYjs2019-0087	2022 年 1 月 20 日	放疗科	1

1.2.3.6 辐射事故应急管理

北大人民医院依据《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辐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。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

北大人民医院按照《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(含I-131废物暂存180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 α 、 β 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。

北大人民医院新院区核医学科现有衰变池为推流式衰变池,总体积为 20m^3 ,设有4级池,每级 5m^3 。2022年4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,Tc-99m、F-18和I-131均低于探测下限(Tc-99m探测下限为 $1.5\text{mBq}/\text{L}$,F-18探测下限为 $7.2\text{mBq}/\text{L}$,I-131探测下限为 $2.3\text{mBq}/\text{L}$);总 α 低于探测下限 $0.04\text{Bq}/\text{L}$ (远低于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 的排放限值),总 β 为 $1.1\text{Bq}/\text{L}$ (远低于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 的排放限值)。

1.2.3.8 其他情况

北大人民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2022年度评估报告。

1.3 本项目情况

1.3.1 本项目背景

为深入落实京津冀医疗卫生协同发展要求,进一步疏解北京市中心城区医疗资源,并满足北京城市副中心建设需要,北大人民医院已在通州区南凤西一路39号建设北大人民医院通州院区。

北大人民医院拟在通州院区医疗主楼地下一层新建核医学科,北大人民医院通州院区已取得PET/CT配置证,新建核医学科并配置PET/CT、SPECT/CT,新建动物实验室并配备动物PET/SPECT-CT一体机,通州区乃至

京津冀地区广大百姓将会得到优质的诊疗服务和先进的影像学诊断，此举措为疏解北京非首都功能做出了突出贡献，是推动京津冀协同发展的重大战略举措，同时推动核医学科实验科研有重要意义。

1.3.2 项目内容

(1) 建设内容

北大人民医院拟在通州院区医疗主楼地下一层新建通州院区核医学科诊疗区（本项目简称“核医学科”）和同位素实验室。核医学科拟配套使用联影公司生产的1台Panorama型PET/CT和1枚Ge-68校准源、1台SPECT/CT（型号待定），使用F-18、Tc-99m、Ga-68和I-123核素开展核医学显像诊断。

同位素实验室手套箱（热室）使用1套最大活度规格为1.85E+9Bq的Ge-68（Ga-68）发生器（每年最多使用2套），并使用F-18、Ga-68和Lu-177核素开展科研研究和Micro PET/SPECT-CT一体机显像，针对放射性同位素实验室科研场所，医院需要取得《放射性药品使用许可证》四类证后才能开展（涉及到临床试验研究的还应取得伦理批件后才能开展）。

根据国务院《放射性药品管理办法》、核发《放射性药品使用许可证》验收标准的有关规定，医疗机构的《放射性药品使用许可证》的类别分为四类，四类的使用范围见表1-7。

表1-7 四类《放射性药品使用许可证》放射性试剂使用范围

项目 类别	第一类	第二类	第三类	第四类
使 用 范 围	准许使用体外诊断用各种含放射性核素的分析药盒。	(1) 体内诊断、治疗用一般放射性药品(系指根据诊断、治疗需要,对购入的放射性药品进行简单的稀释或不稀释用于病人的品种。如碘[¹³¹ I]化钠口服溶液、邻碘[¹³¹ I]马尿酸钠注射液、氯化亚铊[²⁰³ Tl]注射液等); (2) 即时标记放射性药品生产企业提供的已配制完成的含锝[^{99m} Tc]注射液。	(1)《放射性药品使用许可证》(第二类)规定的放射性药品; (2)采用放射性核素发生器及配套药盒自行配制的体内诊断及治疗用放射性药品; (3)采用市售自动合成装置自行制备的正电子类放射性药品。	(1)《放射性药品使用许可证》(第三类)规定的放射性药品; (2)可研制和使用放射性新制剂以适应核医学诊治新方法、新技术的应用。研制范围仅限国内市场没有或技术条件限制而不能供应的品种。

根据表1-7相关内容，具备第四类《放射性药品使用许可证》的医疗机构“可研制和使用放射性新制剂以适应核医学诊治新方法、新技术的应用，研制范围仅限国内市场没有或技术条件限制而不能供应的品种”。按照北京市药品监督管理局相关管理规定，满足《放射性药品使用许可证》使用范围的医疗机构，科研使用放射性试剂无需向食药局申请，但在对患者科研前必须取得

医院伦理委员会通过后才能使用。

（2）核素使用量

通州院区新建核医学科后将开展一系列核医学检查项目，同时开展核素药物实验项目，使用情况预计如下：

- 1) 核医学科门诊区 PET 检查使用 F-18 药物的用量为 222~370MBq/人（每人平均注射量取 296MBq），使用 Ga-68 药物平均每人用量为 222MBq/人，门诊区每个检查日最多实施 PET 检查 26 人次（其中 F-18 检查 24 人，Ga-68 检查 2 人），每年工作 250 天。
- 2) SPECT 显像检查 Tc-99m 和 I-123 静脉注射药物的用量分别不大于 925MBq/人（每人平均注射量取 740MBq）和 370MBq/人，每个检查日最多实施 SPECT 检查 22 人次（其中 Tc-99m 检查人数 20 人，I-123 检查人数 2 人），每年工作 250 天。
- 3) 同位素实验室拟使用 1 套最大活度规格为 1.85E+9Bq 的 Ge-68 (Ga-68) 发生器（每年最多使用 2 套），Ge-68 (Ga-68) 发生器年最大用量为 3.70E+9Bq，使用 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机及 F-18 和 Ga-68 核素科研实验，主要用于放射性标记药物制备、放化实验和动物显像诊断实验等，临床试验研究其中 F-18 每年最多开展 100 天实验，Ga-68 和 Lu-177 每年最多各开展 50 天科研实验；并使用 F-18 和 Ga-68 两种核素开展临床试验研究，每次临床试验研究约 6 人，每年每种核素最多开展 50 天。Lu-177 用于动物实验研究，临床试验研究使用的放射性核素药物均在实验室区内热室合成，合成后的药物送往核医学科高活室给药。

本项目涉及的III类射线装置（PET/CT、SPECT/CT 和动物 PET/SPECT-CT 一体机）及配套的 V 类校准源，方案设计时已考虑储源室和III类射线装置的防护和机房面积等要求。根据相关环保法律法规要求，III类射线装置和 V 类放射源对环境影响很小，本项目也进行简要的分析。

拟新建核医学科和同位素实验室各种核素和射线装置计划使用情况如表 1-8 所示。

表 1-8 核医学科拟使用的核技术情况

一 拟使用的射线装置情况							
序号	设备名称	台数	厂家及型号	技术参数	类别	使用场所	
1	SPECT/CT	1	待定	140kV/440mA	III类	SPECT/CT 室	
2	PET/CT	1	Panorama	140kV/833mA	III类	PET/CT 室	
3	动物 PET/SPECT-CT 一体机	1	待定	90kV/2mA	III类	动物显像室	
二 拟使用的刻度源情况							
序号	刻度源使用情况				备注		
1	1 枚 Ge-68 V 类源, 活度 1.11E+8Bq				PET/CT		
三 核医学科拟使用的核素情况							
使用场所	核素种类	患者最大用量 (Bq)	预计每日最多检查人数	年最大使用天数 (天)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
核医学科门诊	F-18	3.70E+8	24	250	8.88E+09	1.78E+12	PET 诊断
		3.70E+8	6	50	2.22E+09	8.88E+10	临床试验研究
	Ga-68	2.22E+8	2	50	4.44E+08	2.22E+10	PET 诊断
		2.22E+8	6	50	1.33E+09	6.66E+10	临床试验研究
	Tc-99m	9.25E+8	20	250	1.85E+10	3.70E+12	SPECT 诊断
	I-123	3.70E+8	2	50	7.40E+08	2.96E+10	SPECT 诊断
四 同位素实验室拟使用核素情况							
核素种类		日最大操作量 (Bq)	年最大使用天数 (天)	年最大用量 (Bq)	用途		
F-18		2.78E+9	50	1.39E+11	标记合成		
F-18		1.85E+8	100	1.85E+10	科研		
Ga-68		3.70E+9	50	1.85E+11	标记合成		
Ge-68 (Ga-68)		1.85E+9	/	3.70E+9*	制备		
Lu-177		1.85E+8	50	9.25E+9	科研		

注: F-18、Ga-68 和 I-123 年用量按照平均每人注射 2.96E+8Bq 计算, Tc-99m 静脉注射的年用量按照平

均每人注射 $7.4E+8$ Bq 计算。每年最多使用 2 套 Ge-68 (Ga-68) 发生器。F-18 保守按照 4 倍使用量进行送药贮存。

(3) 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) 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”, 使用 I-131 核素相关活动视为“简单操作”, 利用钼锝发生器淋洗 Tc-99m 时, Mo-99 的操作视为“贮存”; 放射性药品生产中分装、标记等活动视为“简单操作”。

依照上述通知精神, 对本项目涉及核素的操作方式确定如下:

- 1) 参照 (2016) 430 号中 I-131 的操作方式, 将 I-123 的相关活动也视为“简单操作”。
- 2) 本项目使用 Lu-177 放射性药物开展科研实验。参照 I-131, 将其也视为“简单操作”。
- 3) 本项目的放射性同位素实验室, 因显像诊断之后还涉及动物解剖等操作, 相对复杂, 故将全部同位素实验的操作活动视为“简单操作”。Ga-68 的合成制备、分装等视为“简单操作”, Ge-68 (Ga-68) 发生器中 Ge-68 视为“贮存”。
- 4) 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。

核算后的核医学科和放射性同位素实验室各种核素的日等效最大操作量如表 1-9 所示, 核医学科和同位素实验室均小于乙级非密封放射性物质工作场所的上限 (乙级上限 4×10^9 Bq), 两个场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-9 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)	场所等级
核医学科	F-18	1.11E+10	0.01	很简单操作 (液体, 10)	1.11E+07	乙级 (日等效最大操作量为 $5.91E+7$ Bq, 保守假设全部在一天内使)
	F-18	4.44E+10	0.01	贮存 (液体, 100)	4.44E+06	
	Ga-68	1.77E+09	0.01	简单操作 (悬浮液, 1)	1.77E+07	

	Tc-99m	1.85E+10	0.01	很简单操作 (液体, 10)	1.85E+07	用) 乙级 (日等效最大操作量为 8.82E+07Bq , 保守假设全部 在一天内使 用)
	I-123	7.40E+08	0.01	简单操作 (液 体, 1)	7.40E+06	
同位 素实 验室	F-18	2.97E+09	0.01	简单操作 (液 体, 1)	2.97E+07	
	F-18	1.18E+10	0.01	贮存 (液体, 100)	1.18E+06	
	Ga-68	3.70E+09	0.01	简单操作 (液 体, 1)	3.70E+07	
	Ge-68	1.85E+09	0.1	贮存 (悬浮 液, 100)	1.85E+06	
	Lu-177	1.85E+08	0.1	简单操作 (液 体, 1)	1.85E+07	

注: 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 4 倍。

(4) 任务由来

本项目为医院通州院区新建核医学科 (包括诊疗场所和放射性同位素实验室), 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。受北大人民医院的委托, 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。评价重点是核医学科场所运行过程中产生的 X、 γ 射线, 放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

1.3.3 本项目正当性和必要性

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。

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、Ga-68、Tc-99m、I-123 等标记放射性药物，开展核医学影像诊断，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。同时为了满足通州院区功能定位需求：构建教学基地，搭建临床医学科研平台，坚持医、教、研综合协同发展，促进基础研究与临床相结合等，拟在核医学科诊疗区域西南侧新建放射性同位素实验室科研场所。

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。

1.3.4 开展本项目的技术能力

（1）辐射工作人员配备

根据《放射诊疗管理规定》和 2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》的要求，核医学科项目的辐射工作人员配置计划见表 1-10 所示。

表 1-10 核医学工作人员要求及配置计划

序号	源项	相关要求	人员配置计划	备注
1	1台PET/CT	单台 PET/CT 或 PET 设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名	医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名	本项目
2	1台SPECT	/	医师 2 名、技师 2 名、护士 1 名	
3	同位素实验室	/	化学师 1 名、技师 1 名	
4	动物PET/SPECT-CT	/	技师 1 名	

两院区辐射工作人员都由核医学科统一管理，短期相对固定、长期采用轮转的方式运行，本项目启用后两院区辐射工作人员需配备到 25 名（其中通州院区 14 名）。核医学科现有辐射工作人员 16 人，其中医生 8 名，技师 4 名，

护士 2 名, 核物理及安全工程师 2 人。为使本项目顺利运行, 核医学科拟新增配置 9 名辐射工作人员, 分别增加 6 名技师、2 名护士和 1 名化学师。其中通州院区核医学科可分配 14 名(医师 4 名, 技师 6 名, 护士 2 名, 物理师 1 名, 化学师 1 名), 能满足通州院区核医学科和新院区核医学科同时运行人员的要求。

根据《放射诊疗管理规定》和 2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》等要求, 本项目核医学科相对于已有项目, 增加了 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT 和放射性同位素实验室。新增工作人员上岗前须通过辐射安全和防护考核。医院将为所有辐射工作人员配备个人剂量计, 并定期对其进行剂量监测, 及时告知其每季度受照剂量, 并妥善保存监测数据。通州院区核医学科人员分工如下:

- 1) 6 名放射技师负责 PET 和 SPECT 设备操作、受检者摆位、核素门诊显像、放射性废物管理、表面污染监测、放射性同位素实验室核素标记等操作。
- 2) 1 名物理师负责剂量测量与校准、诊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) 1 名化学师负责药物的标记、合成等科研试验。
- 4) 4 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。
- 5) 2 名护士负责药物交接、分装和注射等。

1.3.6 检测仪器配备情况

本项目实施后通州院区核医学科拟新配 1 台辐射剂量巡测仪和 2 台表面污染监测仪, 两院区至少分别配有辐射剂量巡测仪和表面污染监测仪各 1 台, 能够满足核医学科常规的检测要求。

1.3.7 项目选址与周围环境

北大人民医院通州院区位于北京市通州区南凤西一路 39 号, 医院东侧临漷城西二路, 南侧临漷马路, 西侧临漷城西一路, 北侧临漷兴北四街。

拟建核医学科位于通州院区医疗主楼地下一层东北侧, 其东侧为污物走廊, 走廊东侧为地下土层, 南侧为下沉庭院, 西侧隔走廊为泌尿碎石科, 北

侧隔污物走廊为热力站。楼上为隔震层（非常居留区域），对应一层的肠道门诊诊室、呼吸道门诊诊室、预留区域（核医学科建成后禁止设置产科、儿科、食堂等部门及人员密集区）等，楼下为库房和设备机房。

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

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	Ge-68	1.11E+8Bq×1	V	使用	质控校准	PET/CT室	核医学科储源室	由物理师每周一次校准

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	液态	使用	1.11E+10	1.11E+07	1.87E+12	诊断	很简单操作	核医学科门诊	核医学科高活室
2	Ga-68	液态	使用	1.77E+09	1.77E+07	8.88E+10	诊断	简单操作		
3	Tc-99m	液体	使用	1.85E+10	1.85E+07	3.70E+12	诊断	很简单操作		
4	I-123	液体	使用	7.40E+08	7.40E+06	2.96E+10	诊断	简单操作		
5	F-18	液体	使用	2.97E+09	3.09E+07	1.58E+11	科研	简单操作	核医学科同位素实验室	标记实验室
6	Ga-68	液体	使用	3.70E+09	3.70E+07	1.85E+11	科研	简单操作		
7	Ge-68(Ga-68)	/	使用	1.85E+09	/	3.70E+9	制备	/		
8	Lu-177	液体	使用	1.85E+08	1.85E+07	9.25E+9	科研	简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(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	SPECT/CT	III类	1	待定	140	440	医疗诊断	SPECT/CT 室	/
2	PET/CT	III类	1	uMI 780	140	830	医疗诊断	PET/CT 室	上海联影
3	动物PET/SPECT-CT一体机	III类	1	待定	90	2	医疗诊断	动物显像室	/

(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
洗涤废水、病人排泄物等	液态	F-18、 Ga-68、 I-123、 Tc-99m 等 (A类)、 Lu-177 (B类)	/	6.17 m ³	85.85m ³	按7.3.4值控制	38.4m ³ 槽式衰变池暂存	依照HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器。本项目设槽式衰变池（罐），放射性废水暂存至少68天后，经检测达标后排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
核医学科高活室操作柜排气	气态	微量F-18、Tc-99m、I-123	/	/	少量，可忽略	/	净化过滤后稀释排放	高活室废气经手套箱自带的高效过滤器和肺通气废气经集气罩内部高效过滤器处理后，引至医疗主楼楼顶排放，在出风口处设置活性炭过滤装置。
手套、纱布等其他固态物质、一次性注射器、一次性呼吸过滤装置	固态	F-18、 Ga-68、 Tc-99m 和I-123 (A类)	/	/	<269kg	<10 ⁴ Bq/kg	放射性固体废物在废物间内储存。	暂存至少一个月，经自行检测，符合HJ1188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，按医疗废物委托交有资质单位处置。
		Lu-177 (B类)	/	/				放射性固体废物暂存时间超过10倍最长半衰期且不少于30天 (Lu-177废物暂存68天) 后，经自行检测，符合HJ1188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，按医疗废物委托交有资质单位处置。
手套箱、集气罩活性炭滤	固体	F-18、 Ga-68、 Tc-99m、 I-123、 Lu-177、	/	/	28kg	<10 ⁴ Bq/kg	暂存于核医学科内配套放射性废物间	暂存至少 68 天，经自行检测，符合 HJ1188 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

材							通废物。
动物尸体	固体			2000只		暂存于放射性动物废物间（小动物尸体暂存）冰柜内的铅桶中	分类收集，动物尸体或组织装入密封袋，暂存于动物废物间1个冰柜铅桶中，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，解控为医疗废物交有资质单位处置。

- 注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m³；年排放总量用kg。
2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

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 9 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》，生态环境部令第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日公布并实施。</p> <p>(9) 《关于发布<射线装置分类>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>(10) 《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>(11) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日。</p> <p>(12) 《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 日。</p> <p>(13) 《北京市城乡规划条例》，京人常[2021]61 号，2021 年 9 月 24</p>
------	--

	<p>日。</p> <p>(14) 《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>(15) 《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>(16) 《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>(17) 《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>(18) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日。</p> <p>(19) 《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>
技术标准	<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) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(4) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>(5) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(6) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)；</p> <p>(7) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(8) 《北京市水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013)；</p> <p>(9) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(10) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012)；</p> <p>(11) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(12) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(13) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(14) 《表面污染测定第一部分 β发射体($E_{\beta}^{max} > 0.15\text{MeV}$)和$\alpha$发</p>

	<p>射体》(GB/T14056.1-2008);</p> <p>(15) 《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>(16) 《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) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006.</p> <p>(2) Radiation Protection Dosimetry Vol.98 No 1, 2002.</p> <p>(3) Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd</p> <p>(4) 国际放射防护委员会, 第 94 号出版物: 非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑, 北京大学医学出版社, 2007 年 7 月。</p> <p>(5) 辐射安全手册, 科学出版社, 2011 年。</p> <p>(6) 北大人民医院提供的与本项目相关的申请和技术资料, 2023.6。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为通州院区新建核医学科和同位素实验室，为 2 处乙级非密封放射性物质工作场所，包含新增使用 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机、1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT 等。

7.1.2 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) 的规定，并结合该项目辐射为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定本项目评价范围为新建核医学科控制区边界外周围 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 范围内建筑物都在医院内部，无敏感目标，主要为医疗主楼内相关诊疗场所和院内区域等。

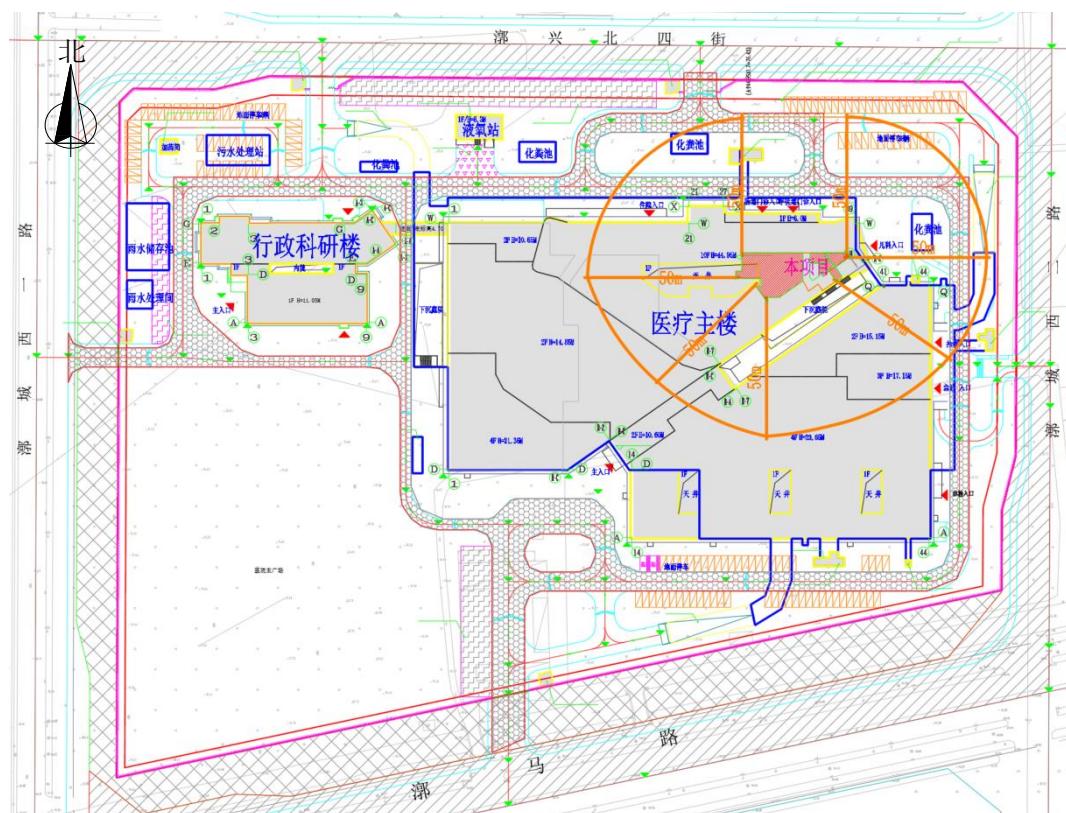


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

- (1) 核医学科辐射工作场所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新增辐射工作场所要求。

7.1.4 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 X 射线、 γ 射线、 β 射线、放射性“三废”等。

7.2 保护目标

本项目核医学科辐射工作场所位于医院通州院区二期门诊医技综合楼地下一层西北角（地下一层层高5.1m），其东侧为污物走廊，走廊东侧为地下土层，南侧为下沉庭院，西侧隔走廊为泌尿碎石科，北侧隔污物走廊为热力站。楼上为隔震层（层高1.8m），对应一层的肠道门诊诊室、呼吸道门诊诊室、预留区域，楼下为库房和设备机房。上述场所的具体位置见图7-2~图7-4，都充分考虑周围场所的安全，核医学科不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，满足HJ1188-2021和GBZ120—2020的选址要求。

本项目将采取有效的辐射防护与安全管理措施，确保核医学科运营所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。本项目评价范围见图 7-1 所示，项目控制区边界周围 50m 范围内保护目标相关情况见表 7-1 所示。

表 7-1 核医学科控制区周围 50m 范围内的保护目标

保护目标	方位	最近距离 (m)	常停留人数	备注
核医学科工作人员	/	紧邻	14	控制室、高活室、办公区等
医院其他公工作人员	东侧	0~3	/	污物走廊
公众	南侧	0~6	/	下沉庭院
公众	南侧	6~50	/	停车场
泌尿碎石科工作人员、值班室人员、停尸间工作人员等等	西侧	0~50	30	泌尿碎石科、停尸间、值班室
医院其他公工作人员	北侧	0~3	/	污物走廊
医院其他公工作人员	北侧	3~20	/	泵房、热交换站
预留区域	楼上	相邻	/	一层肠道门诊、呼吸道门诊、预留区域

医院其他公工作人员

楼下

紧邻

/

库房

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 γ 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隔振层，隔振层楼上一层为其他科诊室，PET/CT 机房对楼上一层诊室、楼下的附加剂量率仅分别为 $3.30E-03\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、 $5.75E-02\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，PET 候诊室对楼上一层输液室、楼下的附加剂量率分别为 $2.23E-02\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、 $3.38E-01\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，远低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。综合考虑，本项目核医学科门诊选址是可行的。

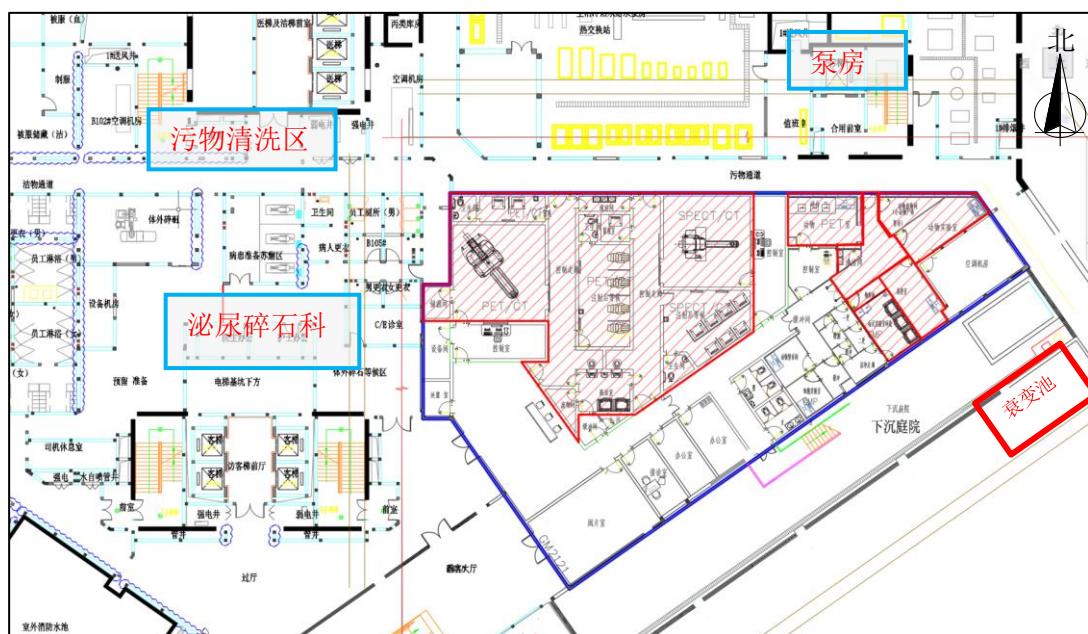


图 7-2 本项目地下一层核医学科周围关系图

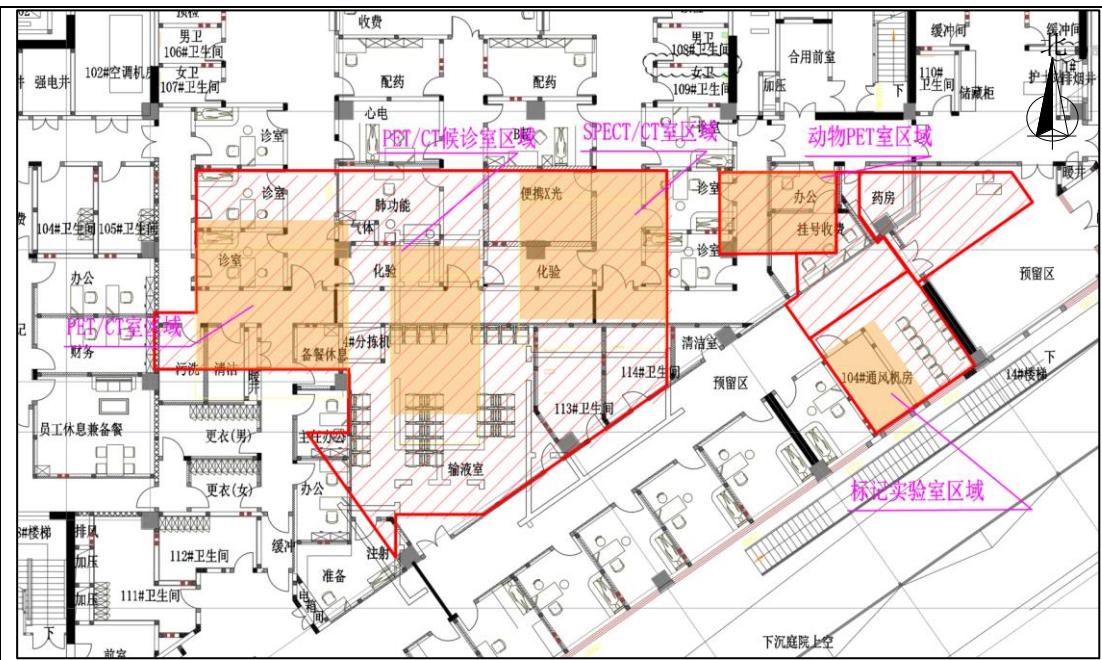


图 7-3 一层周围关系图（核医学科上方为隔振层）



图 7-4 地下二层周围关系图 (核医学科下方)

7.3 评价标准

7.3.1 基本剂量限值

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

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

7.3.2 剂量约束值

职业照射，本项目辐射工作人员取 5mSv/a 作为剂量约束值；公众照射，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

本次评价所取年剂量约束值数值与单位统一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 μ Sv/h。
- (2) 在控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。
- (3) 手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ 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 μ 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 α 排放限值为 1Bq/L，总 β 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。

本项目放射性废水按 B 类的放射性废水分管理收集。B 类放射性废水注满后，暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后，应委托有资质（CMA 或 CNAS）的检测机构对拟排放废水中最长半衰期核素的放射性活度浓度进行检测，活度浓度与单次排放总活度值均应满足 GB18871-2002 附录 A 表 A1 的规定。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

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

医院规定含放射性废水必须经衰变池暂存，废水的总 α 、总 β 监测结果还需满足分别小于 1Bq/L、10Bq/L，监测结果经审管部门认可并办理相关手续后方可排入下水管道。

7.3.5 放射性固体废物管理

由于本项目核医学科和同位素实验室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（含Lu-177核素的放射性固体废物暂存超过68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 α 、 β 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	$>4\times10^9$
乙	$2\times10^7\sim4\times10^9$
丙	豁免活度值以上~ 2×10^7

依据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）中操作因子选取原则，本项目核医学科和放射性同位素实验室均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

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），非密封源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（ Bq/cm^2 ）

类别	α 放射性物质		β 放射性物质
	极毒组	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	1	4×10
	监督区	1×10^{-1}	4

工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10^{-1}	1×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		1×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

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

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五十分之一以下时，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。

7.7 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 款：合成和操作放射性药物所用的通风橱（手套箱）应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s ，排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

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医疗主楼楼顶的东部，高度约 44.8m ，高于周围 50m 范围内建筑物，排放口拟朝向南侧。

本项目核医学科门诊高活室拟配备手套箱，同位素实验室标记实验室拟配 2 个热室（手套箱），操作口风速均 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。核医学科共配 4 套排风系统，核医学科和同位素实验室的手套箱分别设置独立的排风系统（两套），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；核医学科和同位素实验室控制区各一套排风系统，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大于 5kg （高效过滤器不大于 2kg ），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 款给出了核医学科工作

场所表面及装备结构要求, 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 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污装备	洗手盆 ^b 和去污装备	洗手盆

^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。

根据 GBZ120-2020 标准中附录 G 的相关参数估算出, 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 放射性药物操作的一般放射防护要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2020) 的有关规定, 操作放射性药物应有专门场所; 装有放射性药物的给药注射器, 应有适当屏蔽; 操作放射性药物时, 应根据实际情况, 熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品; 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行; 在控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆, 也不应进行无关工作及存放无关物品; 操作放射性核素的工作人员, 在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测大袋相应规定值; 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放, 每次取放的放射性物质应只限于需用的部分; 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测, 无关人员不应入内; 贮存的放射性物质应及时登记建档, 登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试

验结果等。

7.9 射线装置机房屏蔽防护基本要求

7.9.1 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

7.9.2 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 ²)	机房内最小单边长度 (m)
CT 机 (不含头颅移动 CT)	30	4.5

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 地理位置

北大人民医院通州院区位于北京市通州区南凤西一路 39 号，医院东侧临漷城西二路，南侧临漷马路，西侧临漷城西一路，北侧临漷兴北四街。

8.1.2 场所位置

拟建核医学科位于通州院区医疗主楼地下一层东北侧，东侧为污物走廊，走廊东侧为地下土层，南侧为下沉庭院，西侧隔走廊为泌尿碎石科，北侧隔污物走廊为热力站。楼上为隔振层（非常居留区域），对应一层的肠道门诊诊室、呼吸道门诊诊室、预留区域等，楼下为库房。

8.2 辐射环境现状监测

(1) 监测目的

掌握该项目辐射工作场所的辐射环境质量现状水平，为评价提供基础数据。

(2) 监测内容

根据污染因子分析，对该项目的辐射工作场所周围进行 X 、 γ 辐射剂量率水平监测。

(3) 监测对象及点位布设

监测对象：本次监测针对拟建核医学科场所进行环境辐射现状监测。

监测点位：本次监测对拟建核医学科所在区域及周边进行环境地表 γ 辐射剂量率监测，监测点位布设见图 8-1。

(4) 监测仪器与规范

监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 X - γ 射线剂量率监测仪器参数与监测规范

仪器名称	环境剂量率仪
型号/编号	GH-102A /20170404
检定证书	中国计量科学研究院 (检定证书编号：DLjl2023-01431) 有效期：2023 年 2 月 9 日～2024 年 2 月 8 日

监测规范	HJ 1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
------	--

(5) 监测方法

γ 辐射剂量率：采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。监测时每点测量 10 次，每次间隔 10 秒钟，取平均值。

(6) 现状监测结果及评价

2023 年 6 月 27 日，由深圳市瑞达检测技术有限公司对项目地及周围环境辐射水平进行了检测，评价区 γ 剂量率的监测布点及监测数据见表 8-2 和图 8-1。

表 8-2 核医学科场所及周围辐射环境水平监测结果

编号	检测位置	检测结果 $\mu\text{Gy}/\text{h}$	
		平均值	标准差
1	拟建高活室	0.08	0.01
2	拟建 PET/CT 室	0.09	0.01
3	拟建 SPECT/CT 室	0.08	0.01
4	拟建 SPECT 注射后等候室	0.09	0.01
5	拟建 PET 注射后等候室	0.08	0.01
6	拟建动物显像室	0.08	0.01
7	拟建动物实验室	0.09	0.01
8	拟建标记室	0.08	0.01
9	拟建质控室	0.08	0.01
10	拟建患者走廊	0.08	0.01
11	拟建注射前等候区	0.08	0.01
12	阅片室	0.09	0.01
13	楼上	0.09	0.01
14	楼下	0.09	0.01

注：检测结果含宇宙射线响应值；^[1]：辐射安全手册，2011.11。

根据《北京市环境天然贯穿辐射水平调查研究》（北京市环境保护科学研究所）2015 版资料，北京市室外 γ 辐射剂量率水平（含宇宙射线）范围为（14.7~105.0） nGy/h ，室内 γ 辐射剂量率水平（含宇宙射线）范围为（42.3~151.6） nGy/h 。由表 8-2 中检测结果可知，拟建辐射工作场所及周围

的X- γ 辐射剂量率为0.08~0.09 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，为北京市的天然本底范围之内，未发现有异常高值。



图 8-1 核医学科及周围辐射环境水平监测点位图

表 9 项目工程分析与源项

9.1X 射线诊断装置和密封校验源

本项目核医学科门诊配套使用 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT，放射性同位素实验室配备 1 台动物 Micro PET/SPECT-CT 一体机。PET/CT、SPECT/CT 和动物 Micro PET/SPECT-CT 一体机都属于 III 类射线装置，及拟配套 1 枚密封源开展 PET/CT 装置的定期校验，属于 V 类放射源，这些 III 类射线装置和 V 类放射源对环境影响很小，本评价报告对 III 类射线装置和刻度源操作流程、环境影响进行简要分析。

9.2 核医学科门诊

9.2.1 核医学扫描诊断装置

核医学是采用核技术来诊断、治疗和研究疾病的一门新兴学科。它是核技术、电子技术、计算机技术、化学、物理和生物学等现代科学技术与医学相结合的产物。核医学可分为两类，即临床核医学和基础核医学。本项目核医学科门诊诊疗场所使用 Tc-99m、I-123 核素药物开展 SPECT/CT 诊断，使用 F-18、Ga-68 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“分子成像”。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的信息，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}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。还有另一方面价值，即可以大大缩短 PET 的检查时间，从而提高仪器和正电子药物的使用效率。

PET/CT 显像诊断观察肿瘤代谢异常明显早于其他影像学手段，其探测灵敏度更高，主要有以下几方面的优势及应用：（1）肿瘤的良恶性鉴别诊断，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率，此外，还可对术后心功能恢复进行预测。

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

典型的 PET 扫描装置如下图 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：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 γ 射线，利用 PET 或 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)。本项目 $F-18$ 按每天 2 次送药 (一般上午早 7:00 和下午 13:00 两次送药)。 $Ga-68$ 提前一天根据预约的检查人数及诊断项目, 当天工作人员在放射性同位素实验室的热室内制备放射性药物, 直接按每人用量分装好后运送至 PET 高活室。

$Ga-68$ 制备: 设定合成、分装程序, 装入淋洗液后, 模块箱中自动淋洗后分装, 淋洗合成和分装均在模块箱中进行。

质检: 药物运输至核医学科的高活室门口, 质检人员核对放射性药物名称、规格和数量, 检查包装和外观质量, 在高活室门口的摄像头监控下, 由核医学科负责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续, 然后暂存于高活室内。 $Ga-68$ 的质检由质检人员核对放射性药物名称和活度, 检查药品包装和外观质量, 每批次制备的药物在使用前需要做质控实验, 详见本报告 9.3 章节。

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内暂存。

检查: 病人在给药后病人候诊区等候, 如 $F-18/Ga-68$ 候诊时间约 40min~90min, 待药物有一定程度的代谢后, 进行 PET 扫描检查 (一般 15min); $Tc-99m$ 骨扫描候诊时间 3~4h (骨扫描患者一般上午给药后从出口离开核医学科, 按预约时间, 选取下午无其他患者检查时间到科里显像), 心脏扫描候诊时间 1.5h, 肾显像不用候诊, 检查前通常如厕排空膀胱内尿液, 以减少尿液中放射性的干扰。

受检者在扫描检查后, 在机房等候片刻, 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 1 枚 $Ge-68$ 放射源, 活度为 $1.11E+8Bq$, 由物理师每周一次质控使用, 质控时物理师把密封源从源室按要求取出放到 PET 检查床指定位置后回到控制室按规定程序进行扫描, 扫描结果都通过后结束质控, 把密封源取下运回源室。平常不使用时都储存在储源室内, 配有 $20mmPb$ 屏蔽。



图 9-3 同类型的刻度源外观图

9.2.3 放射性显像核素使用量

PET/CT 检查使用的 F-18 药物的用量约 222~370MBq/人（平均每人 296MBq），使用的 Ga-68 药物的用量约 222MBq/人，每个检查日最多实施 PET 检查 30 人次（其中门诊检查 24 人，临床试验研究 6 人，临床试验研究检查 F-18 和 Ga-68 不在同一天使用），门诊每年工作 250 天，临床试验研究每年工作 100 天（F-18 和 Ga-68 临床试验研究各 50 天）。

SPECT 检查 Tc-99m 和 I-123 静脉注射药物的用量分别不大于 925MBq/人（每人平均注射量取 740MBq）和 370MBq/人，每个检查日最多实施 SPECT 检查 22 人次（其中 Tc-99m 检查人数 20 人，I-123 检查人数 2 人），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)	备注
1	F-18	低毒	109.8min	β^+ 、EC	β^+ 635、 γ 511	显像、科研
2	Ga-68	低毒	68.3min	β^+ 、EC	β^+ 1899、 γ 511	显像、科研
3	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	γ 141	显像
4	I-123	低毒	13.2h	EC	Γ 159	显像
5	Lu-177	中毒	6.71d	β^- 、 γ	β^- 497、 γ 208	科研

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 β 射线、 γ 射线的影响。因此，核素诊疗项目的污染因素主要是产生 γ 射线和 β 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于卫生间冲厕废水，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。

9.3 同位素实验室

9.3.1 Ge-68 (Ga-68) 发生器

(1) 发生器原理及 Ga-68 淋洗、标记、分装流程

本项目 Ga-68 药物是通过 Ge-68 (Ga-68) 发生器淋洗得到，Ga-68 药物主要为放射性 Ga 化合物，用于临床诊断和科研。Ge-68 (Ga-68) 发生器从厂家

直接购买并由厂家负责运输至本项目所在分装制备室手套箱内。Ge-68 (Ga-68) 发生器包含一个含 Ge-68 的二氧化钛衰变床，并由盐酸淋洗产生 Ga-68。

图 9-4 给出 Ge-68 (Ga-68) 发生器的实物图。



图 9-4 Ge-68 (Ga-68) 发生器实物图

Ge-68 (Ga-68) 发生器是由母体核 Ge-68 (半衰期为 288d, 固态) 和子体核 Ga-68 (半衰期为 68min) 组成。它具有母体半衰期长，便于长期使用，子体核是正电子发射，在医学诊断中可采用正电子扫描、提高确诊率，以及子体核半衰期短，降低患者所受的辐射剂量等优点。

Ge-68 由活化氧化铝柱内 Ge-68 不断衰变产生，并不被活化氧化铝柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，Ga-68 便以 $^{68}\text{Ga}^{3+}\text{Cl}_3$ 的形式被淋洗出来。按规定量的淋洗剂，连接在发生器的进口，以规定速度匀速淋洗，在出口处用有防护的安瓿瓶接收淋洗液，淋洗完毕后转入合成模块，合成完毕的药物进行分装。

(2) 发生器规格

Ge-68 (Ga-68) 发生器属于色谱柱 (Chromatographic column) 型发生器，基本部件是活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。Ge-68 (Ga-68) 发生器从具备发生器销售资质的公司直接购买，Ge-68 (Ga-68) 发生器为成熟产品，具有良好的辐射屏蔽，且 Ge-68 本身放射的 γ 射线最大能量约为 10.3keV，发生器表面就能完全屏蔽 Ge-68 的辐射影响，因此表面剂量率相比淋洗下来的 Ga-68 淋洗液可以忽略不计。

目前市场上 Ge-68 (Ga-68) 发生器单枚规格约为 1.85E+9Bq, 本项目计划每半年订购一次, 每次订购 1 个, 本项目启用后每年总共订购次数不大于两次。

(3) 操作频次

通常整个淋洗过程约需 2min, 药品在合成模块合成, 分装操作时间 20min; 每周操作一至两天, 每天最多淋洗两次。淋洗、标记和分装均在手套箱内进行, 手套箱采用机械通风, 风速大于 0.5m/s, 经两级过滤系统 (高效过滤器+多层高效活性炭过滤器) 处理后, 从楼顶排风口外排。

Ge-68 (Ga-68) 发生器从供应商定期采购, 供应商发货至医院核医学科, 运输过程中货物被锁于密封铅筒内, 到医院后 Ge-68 (Ga-68) 发生器存放在手套箱内, 达到使用寿命后厂方下次送新的发生器时回收。

9.3.2 标记实验室

拟使用的 F-18、Lu-177 放射性核素也是通过预约的方式向有资质的厂家购买 (与诊疗核素一起购买), 运至标记实验室热室内, F-18 单独使用南侧热室进行合成; Lu-177 和 Ge-68 (Ga-68) 发生器共用北侧热室。将放射性核素的液体加入反应体系, 通过亲核取代和配位等化学反应 5~20min 得到目标化合物。反应完成后在防护热室内通过分离柱进行色谱分离, 经过 20~40min, 得到纯化的放射性药物, 测量最终所得放射性药物的活度和溶液体积。所有操作如来药储存, 制备, 分装, 标记, 纯化等均在防护热室中进行, 热室四周防护 40mm 铅当量, 正面防护 60mm 铅当量, 操作者距离源项约 30~60cm。通过传递窗、内部走廊送至质控室或动物显像室进行下一步分析评价实验, 通过传递窗、内部走廊、外部污物走廊送至核医学科门诊区高活室, 开展临床试验研究。

9.3.3 质控室 (分析实验)

(1) 放化实验: 在质控柜内取出西林瓶, 用点样管抽取样品 (用量 3.7~7.4MBq) 置于薄层硅胶板上, 用乙腈展开后, 即可以开始 TLC 检测 (放化纯度检测); 点样 PH 试纸检测 PH 值范围; 西林瓶剩余的样品可用于伽马能谱仪的检测 (核素鉴别); 活度 (浓度) 的检测在标记实验室热室内取样后可以直接测量, 同时做外观检测; 进行放射性检测时, 一般正面安装有 L 型

屏或铅玻璃，屏蔽当量为 10mmPb，用于质控人员的防护。本环节操作时间较短且放射性药物极少，对工作人员的辐射影响较小，基本可以忽略。完成后铅罐会盖上，放在手套箱中自然衰变，待药物衰变十个半衰期后，放入专用塑料袋中在铅废物桶中暂存，检测表面辐射剂量率达标后，作为医疗废物处置。

(2) 全检质控：追溯性检验（非放射性指标），标记实验室热室留样置于西林瓶内（0.5ml）待其完全衰变后，传入阳性对照和无菌室，进行 GC 检测（残留溶剂检测）、无菌内毒素检测，该追溯性检验每月一次。

9.3.4 动物显像室

9.3.4.1 项目建设规划

在同位素实验室场所北侧设置一处动物 PET/SPECT-CT 场所，拟配置 1 台小动物 Micro PET/SPECT-CT 一体机成像装置，使用 F-18、Ga-68 和 Lu-177 核素，利用老鼠进行放射性药物临床前实验研究，实验室全年运行时间不大于 200d。

9.3.4.2 操作流程

在动物显像室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器，给试验动物注射标记好的放射性药物，注射 F-18、Ga-68 和 Lu-177 放射性药物的最大活度为 18.5MBq（小鼠 7.4MBq），试验动物注射后，待药物有一定程度的代谢后，进行动物 PET/SPECT-CT 扫描检查。对动物进行 PET/SPECT-CT 扫描分析，主要在于鉴定所研制的放射性药物。本项目使用的动物为老鼠，每年使用量较少，不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。实验动物的数量和每只实验动物的药物用量均小于人的 PET/SPECT 检测，对动物进行放射性药物注射也在小动物显像室内进行。具体流程如下：

- 1) 制定实验计划：根据实验内容确定使用的放射性同位素种类和数量；
- 2) 正电子核素供应：根据实验情况提前合成放射性药物，并要求将同位素产品分装好后封装在铅运输装置内，通过标记实验室北侧传递窗口由实验工作人员运到动物显像室内。
- 3) 动物麻醉：将实验动物（大鼠或小鼠）进行麻醉。
- 4) 注射：在检查床上给已经麻醉的实验动物（大鼠或小鼠）注射，小鼠

给药活度一般为 7.4MBq, 大鼠给药一般为 18.5MBq, 然后将废注射器置入铅废物桶内暂存。每天实验动物最多 10 只。

5) 扫描: 将实验动物置入仪器配套的铅自屏蔽测量桶内, 将测量桶送入小型多模态动物成像装置内进行扫描, 记录实验数据。PET/SPECT 扫描 5~10min, MicroCT 扫描时间 30s 内。

6) 废物处置: 扫描过程中, 动物偶尔会产生少量的排泄物, 将保留在测量桶内。扫描结束后将吸附排泄物垫料收集至放废桶内暂存。扫描后将动物运至实验室内, 对小鼠进行解剖、测量等实验, 结束后将小鼠尸体、脏器等封装置入冰柜中暂存。拟配置 120L 冰柜 1 台, 暂存动物尸体 (A 类和 B 类分开暂存)。清理实验台面, 分类收集放射性废物, 对台面、地面进行表面污染监测, 记录监测数据。开展实验人员体表污染监测, 重点是手部和脚部, 确认没有污染后离开控制区。

9.3.5 放射性操作操作量

(1) 标记实验室: 本项目的放射性同位素进行的标记、分装等操作都在此房间的热室中进行, 热室中操作的放射性同位素 F-18 不超过 2780MBq, Ga-68 不超过 3700MBq, Lu-177 不超过 185MBq, Tc-99m 不超过 185MBq。

(2) 动物显像室: 操作 F-18、Ga-68、Lu-177 核素, 每天最多一共使用 10 只老鼠, 操作的活度不超过 9.25E+7Bq (小鼠不超过 3.70E+7Bq);

(3) 质控室: 操作 F-18/Ga-68/Lu-177 三种核素, 每天最多操作的活度不超过 7.40E+6Bq。

(4) 动物实验室: 对显像后的动物进行解剖, 操作 F-18、Ga-68、Lu-177 核素, 动物显像室操作的活度不超过 9.25E+7Bq (小鼠不超过 3.70E+7Bq), 显像后的动物经过时间衰变, 活度进一步减少。

9.3.6 药物转移流程

标记实验室内标记好的药物通过传递窗、实验室控制区走廊送至质控室或动物显像室, 通过传递窗、实验室控制区走廊、外部污物走廊运至门诊区高活室。本项目中采用转运防护箱 (25mmPb), 经屏蔽后, 防护罐表面剂量率低于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$, 1m 处剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

9.3.7 使用放射性核素污染途径分析

（1）正常工况的污染途径

① γ 射线辐射：在实验过程中，F-18 等放射性药物会对局部环境产生 γ 射线外照射，因此， γ 射线是实验过程中的主要污染因子。

② β 表面污染：本项目所合成的药物 F-18 等核素为 β 辐射体，本项目的辐射工作人员在实验过程中对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成 β 局部放射性表面污染。

③固体废物：试验过程中产生注射器和动物接受注射、扫描等实验操作过程中存在脱毛、排便和垫小鼠的吸水纸、实验动物测量桶垫料，以及手套、棉签等，分类收集于放射性废物桶中，暂存衰变。

④实验动物尸体：实验结束后，动物均被处死，尸体装入密封袋，暂存于动物废物间内的配置的 1 个-18°C 冰柜中，A 类放射性废物暂存 30d 后，B 类放射性废物暂存十个半衰期（Lu-177 存放 68 天）解控为医疗废物处置。

⑤放射性废气：药物实验室直接使用标记好放射性药物，注射时间很短，放射性核素挥发不予考虑。

（2）非正常情况的污染途径

①放射性表面污染：因容器破碎，放射性同位素泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至控制区外的环境污染。

②放射性核素管理失控：因管理不善或发生被盗和丢失事件，导致潜在照射的发生。

③放射性废物处置不当，造成放射性废物流失至环境中。

表 10 辐射安全与防护

10.1 核医学科辐射安全与防护

10.1.1 通州院区新建核医学科方案

拟利用通州院区医疗主楼地下一层东北侧预留核医学科进行局部改造。

建设布局方案：

- (1) 东侧为核医学科门诊区域和西侧同位素实验区域。
- (2) 核医学科南侧作为普通区域，用做给药前问诊区、候诊区、登记处、阅片室、办公室等。
- (3) PET/CT 显像和 SPECT/CT 显像区域进行物理隔离，并共用 1 间高活室。PET/CT 显像区域将受检者入口设在核医学科西南角，受检者出口设在北侧；SPECT/CT 显像区域将受检者入口设在核医学科南侧，受检者出口设在北侧；通过污物走廊由北侧污物电梯到一层后离开（污物电梯采用固定时间专用管理模式，核医学科工作日 8:00-17:00 电梯程序锁死供核医学科专用），核医学科入口设置单向门禁系统。
- (4) 将高活室设在核医学科南侧，朝北设置两个注射窗口，东侧为 SPECT/CT 注射窗（20mmPb 当量），西侧为 PET/CT 注射窗（40mmPb 当量）。
- (5) 沿着注射后患者走廊设置注射后候诊室、PET/CT 室或 SPECT/CT 室、留观室等。
- (6) 放射性同位素实验室南侧为动物暂存间、细胞实验室、质控室、标记实验室、缓冲、一更、二更等；北侧为实验室、动物显像室、控制室、动物废物间。
- (7) 拟在核医学科东南侧地下一层新建废水处理间，废水处理间内设有槽式衰变池，设有 3 个槽，总有效容积 38.4m³，用来收集核医学科和同位素实验室产生的放射性废水。
- (8) 核医学科和同位素实验室控制区拟配套建设 4 套放射性通风处理设施，其中诊疗区域和实验区域手套箱（热室）分别设有 1 套专用排风管道，控制区场所设有 2 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 44.8m，排风口拟朝南。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 $\geq 0.5\text{m/s}$ ）。诊疗场所内 PET/CT 室，SPECT/CT 室，注射后等候室，注射后卫生间，患者通道，高活室，废物间等控制区场所的放射性废气体统一后，经排风管道由楼顶排出；实验区域控制区动物显像室、固废间、质控室、标记实验室、实验室的放射性废气体统一后，经另外一套排风管道由楼顶排出，风机都位于楼顶。

（9）核医学科场所建成后，控制区包括 PET/CT 室，SPECT/CT 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；监督区包括 PET/CT 和 SPECT/CT 控制室、缓冲间。同位素实验室控制区包括动物显像室、质控室、动物实验室、标记实验室、动物废物间、控制区走廊等；监督区包括动物显像控制室、细胞实验室、动物暂存间、缓冲间、一更、二更、监督区走廊等。

10.1.2 核医学科场所防护情况

10.1.2.1 核医学科场所辐射屏蔽设计

核医学科场所根据辐射防护要求，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，地下一层层高为 5.1m，楼上隔振层层高 1.8m，一层层高 5.4m，地下二层层高 4.6m。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 核医学科门诊场所主要场所的屏蔽设计方案

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽厚度	毗邻关系
1	PET/CT 室 (有效尺寸： 7.1m×6.8m)	东墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	29cm 混凝土砖	控制室
		西墙	29cm 混凝土砖	储源间、外部走廊
		北墙	29cm 混凝土砖	留观室、卫生间
		顶棚	180mm 混凝土+1mmPb + (180mm 混凝土)	隔振层+诊室
		地板	250mm 混凝土	库房
		控制室门	8mmpb	控制室

		机房防护门	8mmpb	患者走廊
		储源间门	专用双层防盗门	储源间
		观察窗	8mmpb 当量铅玻璃	控制室
2	SPECT/CT 室 (有效尺寸: 6.7m×6.4m)	东墙	29cm 混凝土砖	控制室
		南墙	29cm 混凝土砖	注射后候诊室
		西墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	29cm 混凝土砖	污物走廊
		顶棚	180mm 混凝土+1mmPb + (180mm 混凝土)	隔振层+诊室
		地板	250mm 混凝土	库房
		控制室门	3mmpb	控制室
		机房防护门	3mmpb	患者走廊
		观察窗	3mmpb 当量铅玻璃	控制室
3	储源室	东墙	29cm 混凝土砖	PET/CT室
		南墙	29cm 混凝土砖	设备间
		西墙	29cm 混凝土砖	高活室
		北墙	29cm 混凝土砖	外部走廊
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+污洗间
		地板	250mm 混凝土	库房
		北侧防护门	专用双层防盗门	PET/CT 室
4	高活室	东墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	29cm 混凝土砖	缓冲间
		西墙	29cm 混凝土砖	废物间、患者走廊
		北墙	29cm 混凝土砖	注射区
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+输液室
		地板	250mm 混凝土	库房
		东侧防护门 1	8mmPb	患者走廊
		南侧防护门 2	8mmPb	缓冲间

		西侧防护门 3	3mmPb	废物间
		西侧防护门 4	8mmPb	患者走廊
		东侧注射窗	20mmPb 当量铅玻璃	SPECT/CT 注射区
		西侧注射窗	40mmPb 当量铅玻璃	PET/CT 注射区
		手套箱	1 个 50mmPb、1 个 10mmPb	/
5	废物间	东墙	29cm 混凝土砖	高活室、缓冲间
		西南墙	29cm 混凝土砖	护士站
		北墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+办公室
		地板	250mm 混凝土	库房
		防护门	3mmPb	高活室
6	PET/CT 注射后等候室 (含卫生间)	东墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	29cm 混凝土砖	注射区
		西墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	29cm 混凝土砖	清洁间、SPECT/CT 留观室
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+输液室
		地板	250mm 混凝土	库房
		西侧防护门	8mmpb	患者走廊
7	PET/CT 留观室 (含卫生间)	东墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	29cm 混凝土砖	PET/CT 室
		西墙	29cm 混凝土砖	外部走廊
		北墙	29cm 混凝土砖	污物走廊
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+诊室
		地板	250mm 混凝土	库房
		防护门	8mmPb	患者走廊
8	SPECT/CT 注射后等候室 (含卫生间)	东墙	29cm 混凝土砖	控制室
		南墙	29cm 混凝土砖	医护走廊

	间)	西墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	29cm 混凝土砖	SPECT/CT 室
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+卫生间
		地板	250mm 混凝土	库房
		西侧防护门	3mmpb	患者走廊
9	SPECT/CT 留观室	东墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	29cm 混凝土砖	PET/CT 注射后等候室
		西墙	29cm 混凝土砖	PET/CT 注射后等候室卫生间
		北墙	29cm 混凝土砖	清洁间
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+走廊
		地板	250mm 混凝土	库房
		东侧防护门	3mmpb	患者走廊
10	清洁间	东墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	29cm 混凝土砖	PET/CT 注射后等候室卫生间、SPECT/CT 留观室
		西墙	29cm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	29cm 混凝土砖	污物走廊
		顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+诊室
		地板	250mm 混凝土	库房
11	患者出入口	南侧 SPECT/CT 患者入口防护门	3mmPb	走廊
		西南侧 PET/CT 患者入口防护门	8mmPb	走廊

说明：铅板的密度为 $11.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；混凝土砖密度不低于 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ （ 29cm 混凝土砖为 24cm 的混凝土砖 + 5cm 混凝土抹灰）；混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；各功能室墙面、地面均为光滑饰面。

表 10-2 核医学科诊疗场所辐射安全防护设施设计要求

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
2*		场所门外电离辐射警示标识	√	患者出入口、PET/CT 室和 SPECT/CT 室防护门、高活

				室门上粘贴电离辐射警示标志
3		独立的通风设施（流向）	√	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		有负压和过滤的工作箱/通风橱（乙级以上）	√	拟在高活室配 1 个负压手套箱，手套箱内部设有高效过滤器
5		治疗病房病人之间防护（屏蔽、通风）	/	无治疗病房
6*		注射或口服取药用屏蔽	√	配备 2 个注射窗口
7		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	√	墙面、地面均为光滑饰面
8		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	√	放射性药物密封于专用屏蔽容器
9*		病人专用卫生间	√	专用卫生间及排水管线
10*		放射性同位素暂存库或设施	√	同位素在高活室暂存，校准源存放在储源室内，设闭路监控。
11*		放射性固体废物收集容器和放射性标识	√	5 个铅废物桶，1 个废物间，1 处废水衰变池。
12		安全保卫设施（贮存场所必须）	√	受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。高活室设视频监控等。
13	B 监测设备	便携式监测仪器仪表（污染、辐射水平等）	√	拟新配 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染监测仪
14*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
15		个人剂量报警仪	--	--
16		放射性活度计	√	拟在高活室配备 1 个活度计
17	C 放射性废物和废液	放射性下水系统及标识	√	1 个有效容积为 38.4m ³ 槽式衰变池，在废水处理间为设置辐射标识
18*		放射性固体废物暂存间（设施）	√	设废物间，贮存放射性废物，拟配 5 个铅废物桶

19		废物暂存间屏蔽措施	√	墙体和铅桶屏蔽
20		暂存间通风系统	√	废物间设一个排风口
21*	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
22*		放射性表面去污用品和试剂	√	洗涤灵、酒精和棉球
23		灭火器材	√	1个干粉灭火器

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/。

10.1.2.2 门诊区诊疗场所辐射防护措施

(1) 实行控制区和监督区分区管理。在控制区患者出入口拟安装单向门禁系统、工作人员出入口拟安装门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口外、检查室外上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要在出、入口长久停留。机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯连锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

(2) 放射性表面污染控制措施：注射区、高活室、检查室、储源室、废物间、等候室及卫生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。核医学科拟配备表面污染监测仪，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：2 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗（40mmPb/20mmPb 当量），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，至少配备 5 个铅废物桶（4 个 5mmpb，1 个 20mmPb）、2 个钨合金注射防护套和 2 套铅防护用品 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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(4) 内照射的防护：高活室配备 1 个具有防护功能 50mmPb 当量的手套

箱和1个10mmPb当量手套箱，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，排风口引至楼顶排放。手套箱为负压设备，风量满足要求（风速大于0.5m/s）。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。此外，在高活室、留观室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、储源室、废物间等其它控制区场所均设置排风口，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：拟配5个铅废物桶（4个5mmpb，1个20mmPb），注射窗旁内设1个铅废物桶（1个20mmPb存储A类放射性废物），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该铅制废物桶，每周星期一早上转移至废物间。废物间内2个5mmpb铅废物桶（容积20L），用来轮流贮存A类废物。2间注射后候诊室各配1个5mm铅的废物桶。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》固体废物相关要求进行解控处置，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：核医学科场所高活室内洗手池废水、清洁间废水、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放射性废水衰变池。核医学场所东南侧地下一层新建废水处理间，废水处理间内设槽式衰变池，共有3个槽，每个槽有效容积约为12.8m³，总有效容积38.4m³，能够满足HJ1188和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》A类放射性废水至少暂存30天，B类放射性废水至少10个半衰期且大于30天的解控要求（衰变池达到高液位并自动切换后计时，并设有报警功能）。经有资质单位检测并满足解控要求后，排入医院医疗污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”。

（7）储源室将采取安保措施，安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等。安装火灾报警器，配备灭火器材，以及必要的警示标志，放射源平常储存在铅桶内。

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

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

(10) 核医学科门诊拟配置 1 台表面污染监测仪和 1 台便携式剂量巡测仪，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缓冲间、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 γ 剂量率。每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面等进行表面污染监测，监测数据记录存档 β 表面污染监测。每年委托有能力的检测单位对辐射场所的剂量率水平和表面污染水平监测。

(11) 本项目拟配备的全部辐射工作人员通过辐射安全与防护培训考核后，做到持证上岗。

(12) 候诊室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断，其中 SPECT 注射后候诊室设 3 个 2mm 铅当量铅屏风（长×高尺寸不低于 1.0m×1.2m），PET 注射后候诊室设 3 个 8mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸不低于 2m×1.5m），PET/CT 留观室设 1 个 8mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸不低于 1.0m×1.2m），减少受检者候诊期间的相互照射。

(13) 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剂量。在患者候诊室内拟设铅屏风，以减少陪护家属的受照剂量。

(14) “核医学”患者导流标志从电梯引至科室后，变为地面引导，分为不

同颜色，分别依次为登记，注射，候检，检查，出口。患者出口有地面引导标识，且在墙上有出口箭头提示。送药通道为东侧核医学科患者专属电梯下到地下一层后，通过污物走廊从核医学北侧门进入核医学科内高活室。二次送药通过限流的方式减少与送药人员的交汇。

(15) 外单位送药时间一般安排在上午 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高活室内摄像头下“点对点”接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

10.1.3 同位素实验区场所防护情况

10.1.3.1 同位素实验区场所辐射屏蔽设计

同位素实验室现有顶棚、地板都采用混凝土（砼）结构，场所根据辐射防护要求，配备了铅防护门、铅玻璃，专用热室和动物废物间等。此外，还配备有防辐射铅制废物桶，药品盛装铅罐等防护器具等，以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品，本项目相关屏蔽方案见表 10-3 所示。同位素实验室辐射安全防护设施设计要求见表 10-4。

表 10-3 同位素实验室场所主要场所的屏蔽设计

场所	名称	材料及厚度	毗邻关系
标记实验室	东墙	29cm 混凝土砖	缓冲洁净区
	南墙	25cm 加气混凝土砖+12cm 混凝土砖	下沉庭院
	西墙	29cm 混凝土砖	质控室
	北墙	29cm 混凝土砖	物料间
	门	6mmPb	缓冲洁净区
	传递窗	10mmPb	物料间
	手套箱（热室）	2 个 40mmPb 当量铅玻璃 (正面 60mmPb, 四周及上下 40mmPb)	/
	顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+诊室
动物显像室	地板	250mm 混凝土	库房
	东墙	29cm 混凝土砖	实验室内部走廊
	南墙	29cm 混凝土砖	控制室

西墙	29cm 混凝土砖	SPECT/CT 控制室
北墙	29cm 混凝土砖	污物走廊
东侧防护门	3mmPb	实验室内部走廊
南侧防护门	3mmPb	控制室
观察窗	3mmPb 当量铅玻璃	控制室
顶棚	180mm 混凝土+180mm 混凝土	隔振层+挂号收费室、走廊
地板	250mm 混凝土	库房

备注：混凝土（砼）密度不小于 2.35t/m^3 ，混凝土砖混密度不小于 2.00t/m^3 ，加气混凝土砖密度不小于 0.6 t/m^3 。

表 10-4 同位素实验室场所辐射安全防护设施设计要求

序号	项目		是否设置	备注
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	√	拟设有标记实验室、动物显像室、质控室、动物实验室、动物废物间、缓冲间等场所，并按控制区和监督区管理
2*		场所分区的管控措施及标识	√	拟地面使用不同颜色区分控制区和监督区
3*		电离辐射警告标志	√	出入口防护门上粘贴电离辐射警示标志
4		通风柜	√	拟设带屏蔽设计的热室（手套箱），配有负压热室
5*		防止放射性液体操作造成污染的措施	√	墙面、地面均为光滑饰面
6*		放射性废水处理系统及标识	√	与核医学科诊疗区域共用一个衰变池，在周围标识放射性废水衰变池说明
7*		放射性物料与成品暂存场所或设施	√	设热室（手套箱），贮存放射性试剂
8*		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
9		安保设施	√	拟在出入口设门禁系统
10*	B 监测设备	便携式辐射监测仪	√	与核医学科门诊区域共用 1 台便携式辐射检测仪，新增 1 台表面污染监测仪
11		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
12*	C 防护用品	个人辐射防护用品	√	铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套等

13	D 应急物资	去污用品和应急物资	√	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 实验区场所辐射防护措施

(1) 实行控制区和监督区分区管理。为便于辐射防护管理和职业照射控制，依据 GB18871-2002 将辐射工作场所分为控制区和监督区，实际工作中分别以不同颜色划出。在工作人员出入口拟安装门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口门、实验室门、废物间门上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要进入。

(2) 放射性表面污染控制措施：标记实验室、质控室、动物显像室、动物实验室、动物废物间等地面用无缝隙、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。热室和工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。工作人员进入辐射工作区，穿工作服，涉及放射性药物的操作佩戴乳胶手套。工作人员相关操作后应使用监测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。热室台面和实验操作台面光滑易清洗易去污，操作处设置承接盘、衬垫等，注射后的用品置于专用收集罐，动物检查床面铺薄塑料布。

(3) 外照射防护：1 个铅屏蔽注射台（动物给药时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，至少配备 10 个 5mmPb 铅废物桶、1 个储源铅罐（40mmPb）、至少 1 个转运铅盒（25mmPb）。同位素实验室根据实际用量情况来设置控制区场所外围墙体，采用实体屏蔽措施，顶棚为混凝土浇筑，进、出通道门安装门禁系统。保证控制区边界外的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(4) 内照射的防护：标记实验室拟配备 2 个具有 40mmPb 当量的防护热室（正面 60mmPb，四周及上下 40mmPb；其中南侧为 F-18 药物合成热室，北侧为 Ge-68/Ga-68 发生器和 Lu-177 药物合成共同使用），每个热室内都带有高效滤器，设备正面配有铅玻璃观察窗及操作工作孔。在热室内分装、标记放射性药物。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。热室可能产生的废气经专用排风管道由东南侧通风井延伸至楼顶，排风口位于楼顶部。排放前还经过活性碳吸附过滤装置，热室风速大于 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。

(5) 妥善收集固体放射性废物：标记实验室、动物实验室、动物显像室分别设 2 个 5mmPb 废物桶（A 类和 B 类放射性废物分类存放），动物废物间冰柜内配有 4 个 5mmPb 废物桶（A 类和 B 类放射性废物分类存放），废弃的放射性药物注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品按类别、日期放入废物间内。A 类放射性固废放置至少 30 天，B 类放射性废物至少存放 10 个半衰期（Lu-177 至少存放 68 天），依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求进行解控处置（其中动物尸体委托交有资质单位焚烧处置（普通废物按医疗废物处置），并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，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：同位素实验室控制区室内产生的放射性废水，包括洗手废水、冲洗工具、拖布废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池（与诊疗区域共用一个衰变池），为了减少场所内的设备污染，水笼头拟选用脚踏式或肘式开关。

(7) 同位素实验室建立同位素管理台帐和使用登记制度，严防放射性同位素丢失。

(8) 同位素实验室拟配置1台表面污染仪（剂量率仪与诊疗场所共用），用于工作场所辐射水平的定期检测。当工作人员在实验室被污染时（如果知道被污染后马上检测），一般离开前须在缓冲间去污间对污染区进行监测，确保污染物不被带出。

(9) 送药通道进同位素实验室前与门诊诊疗场所路线一致，从北侧污物走廊进入同位素实验区，经实验区内部走廊从传递窗送到标记实验室，然后暂存在热室内。

(10) 本项目全部辐射工作人员须通过辐射安全与防护考核，做到持证上岗。

10.1.4 核医学科和同位素实验室拟配备的防护设施

本项目手套箱和注射窗的同类型样图见图 10-1, 实施后核医学科配备的防护设施见表 10-3。



图 10-1 同类型手套箱、注射窗和分装铅罐的样图

表 10-3 核医学科配备的防护设施表

名称	数量 (个)	规格	使用场所
活度计	2	型号待定	高活室、标记实验室
手套箱 (热室)	2	1 个 50mmPb 1 个 10mmPb	高活室
	2	40mmPb (正面) 60mmPb, 四周及上下 40mmPb)	标记实验室
钨合金暂存运输器	1	20mmPb 当量	高活室
注射器防护套	2	1 个 40mmPb 钨合金 PET 猫、1 个 10mmPb 钨合金	高活室
铅罐	1	42mmPb	高活室
防护注射窗	1	1 个 40mmPb	PET/CT 注射区
	1	1 个 20mmPb	SPECT/CT 注射区
储源保险柜	1	型号待定	储源室

储源铅罐	1	40mmPb	标记实验室
运输防护铅盒	2	1 个 25mmPb、1 个 10mmPb	高活室
	1	25mmPb	标记实验室
铅废物桶	2	20L、5mmPb	废物间
	1	1 个 20mmPb	注射区
	1	5mmPb	PET/CT 注射后候诊室
	1	5mmPb	SPECT/CT 注射后候诊室
	2	5mmPb	标记实验室
	2	5mmPb	动物显像室
	2	5mmPb	动物实验室
	4	5mmPb	动物废物间
铅衣、铅围脖	2	0.5mmPb	PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室和高活室
移动铅屏风	3	2mmPb	SPECT 候诊室
	3	8mmPb	PET 候诊室
	1	8mmPb	PET/CT 留观室
冰柜	1	/	动物废物间

10.2 法规符合情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，现对北大人民医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

10.2.1 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 10-4 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，应当配有一支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	成立了由院长为组长的辐射安全委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确。	符合

	理工作。		
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。	医院核医学科目前 16 名辐射工作人员均已通过辐射安全与防护培训。新增 9 名辐射工作人员上岗前将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核。	近期符合
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等部门要求的防盗门，落实放射性同位素安全保卫措施。	近期符合
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、实验室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。	近期符合
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。	拟新配 1 台辐射剂量巡测仪和 2 台表面污染监测仪，所有工作人员配备 TLD 个人剂量计，在高活室配备活度计。	近期符合
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。	近期符合
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。	高活室内拟配备手套箱，设置专用排风管道，排风引至医疗主楼楼顶部排放。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。	近期符合
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。	近期符合

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	<p>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联锁、报警装置或者工作信号。</p>	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-灯联锁安全装置及工作警示灯。储源室出入口拟设工作人员专用门禁、防盗门、入侵报警、视频监控等安全防范设施、技术防范系统等。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。	近期符合
2	<p>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。</p>	医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对放射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每年（有代表性点位每月）使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。每天对高活室、注射区、候诊区的表面污染进行自行监测，并做好记录。	近期符合
3	<p>第十二条 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。</p>	医院在每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	近期符合
4	<p>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。</p>	医院核医学科目前16名辐射工作人员均已通过辐射安全与防护培训。新增9名辐射工作人员上岗前将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核。	近期符合
5	<p>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、</p>	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	近期符合

	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。	季度1次）。	
6	<p>第二十四条</p> <p>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。</p>	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	近期符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

该项目施工活动对环境的影响主要是核医学预留场所改造过程中产生的噪声、粉尘以及振动等，为了不影响周围环境，在场所改造过程中，将采取一些降噪、防尘措施。如在施工现场设置隔离带、设立声障，这样既可有效的减少扬尘的污染，又可降低噪声；合理安排施工时间，对振动较大的施工，尽量安排在下班或节假日进行。本项目是在现有场所进行修建，工程量小，且施工都在医院场所内进行，并且项目所在地区的地面已经过硬化，无裸露地面，因此产生的扬尘相对较小，因此基本不影响单位和周围其他单位的正常工作。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科选址布局及辐射防护措施分析

（一）选址设计合理性分析

北大人民医院通州院区核医学科项目包括：核医学科和同位素实验室，本项目周围 50m 区域内均为医院内部。核医学科项目设在医疗主楼地下一层东北侧，其东侧为污物走廊，走廊东侧为地下土层，南侧为下沉庭院，西侧隔走廊为泌尿碎石科，北侧隔污物走廊为热力站。楼上为隔振层（非常居留区域），对应一层的肠道门诊诊室、呼吸道门诊诊室、预留区域（本项目建成后禁止设置产科、儿科、食堂等部门及人员密集区）等，楼下为库房和设备机房。本项目包括核医学科和同位素实验室场所，两个区域相对独立，有专门的人流规划，互不交叉。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，供受检者由此通往地面（医疗主楼东侧），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。

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，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 γ 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隔振层，隔振层楼上为其他诊室，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、场所有布局、安全管理等因素。总体认为该项目核医学科选址合理。

（二）建筑布局合理性分析

核医学科和同位素实验室按照2个独立场所进行布置，均有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施。设计时考虑了以下因素：

（1）核医学科根据诊疗流程，合理设计各功能房间的布局，PET/CT区域和SPECT/CT区域相对独立，高活室设在场所的一端，可防止交叉污染。

（2）核医学科设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。患者路径单向设计，从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、诊疗和留观活动后，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）同位素实验室布置在核医学科诊疗场所东侧，标记实验室与核医学科高活室之间拟配有药物专门运送路线，通过合理安排送药时间有效避免与无关人员交集。

（4）核医学科工作人员办公场所设在核医学科南侧，与核医学科诊疗场所和同位素实验室这2个场所之间设有通道，医护人员可以方便到达2个场所。

从功能分区来看，患者候诊、工作人员办公、实验室等区域划分明确，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，核医学科和同位素实验室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。

（三）场所分区

新建本项目包括核医学科和同位素实验区域，西侧为核医学科，东侧为同位素实验室。本项目建成后，控制区包括 PET/CT 室、SPECT/CT 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、标记实验室、动物显像室、质控室、动物实验室、动物废物间、实验室控制区走廊等。监督区包括 PET/CT 和 SPECT/CT 控制室、动物显像控制室、设备间、缓冲更衣间、细胞实验室、动物暂存间、实验室监督区走廊等。

（1）同位素实验室：实验室使用 F-18、Ga-68、Lu-177 和 Tc-99m 四种核素，同位素实验室南侧为动物暂存间、细胞实验室、质控室、标记实验室、缓冲、一更、二更等；北侧为实验室、动物显像室、控制室、动物废物间。该区域出入口拟安装门禁系统。

（2）核医学科使用核素 F-18、Tc-99m、I-123 和 Ga-68 核素开展核素检查，核医学科诊疗区域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西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、储源室、PET/CT 室、SPECT/CT 室、PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室、废物间、注射后患者通道、留观室、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、缓冲间。

场所布局考虑了放射性工作场所与非放射性工作场所分开，不同放射性操作或污染水平的工作场所分开，工作人员区域与病人区域分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理，辐射分区见图 11-1 所示。

本项目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。

监督区和控制区拟设有多道门禁隔离，且在注射后候诊区内还设有铅屏风隔断，加强病人的管理，防止病人到处走动，可有效减少对周围公众和职业人员受到不必要的照射。

高活室配套有手套箱，废气有组织在楼顶排放。本项目配套使用 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。

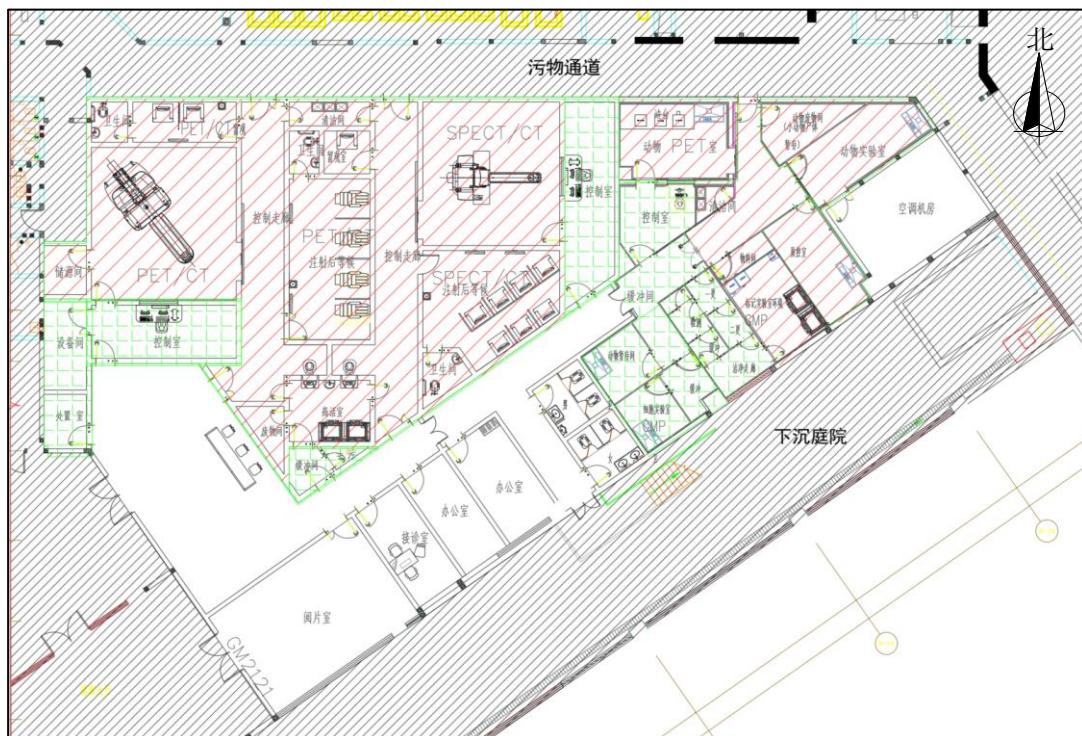


图 11-1 核医学科平面布局图

（四）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。

（1）核素 SPECT 显像诊断流程

显像检查路线：患者在预约分诊区进行登记候诊→由患者走廊从南侧入口进入检查区→在东侧注射窗口接受药物注射→在注射后候诊区休息→按检查要求排尽小便→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一层→在接诊前厅候诊→由东南侧患者入口（设单向门禁）进入检查区→在西侧注射窗口接受药物注射→在 PET/CT 候诊室休息→按医嘱要求排尽小便→进行 PET/CT 扫描检查→检查完毕，在留观室留观片刻→由核医学科北侧出口离开核医学科。

（3）工作人员工作流程

➤ 高活室工作人员：

药物注射人员：护士从西南侧进入缓冲间→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。

➤ 设备扫描操作人员：

SPECT/CT、PET/CT 操作技师：技师从东南侧或中部南侧工作人员专用入口进入控制室，在控制室操作设备、在机房内对受检人员进行摆位，工作完毕，离开核医学科场所。

➤ 同位素实验室工作人员工作

实验室工作人员通过门禁系统从中部南侧进入实验区，在缓冲间更换工作服和拖鞋→从缓冲间再次门禁系统进入标记实验室→在标记实验室的热室内分装、标记药物→质控室质控→给动物显像室注射药物、分析实验研究→动物实验室进行解剖测定实验→离开时，在缓冲区去污检测（有污染需进行去污），然后离开缓冲间→离开实验室。

（4）放射性物品流转过程

放射性药物：由供货公司通过医疗主楼东侧核医学科北侧电梯进入地下一层→经污物走廊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（标记实验室使用的同位素从实验室北侧进入实验区经实验室内部走廊通过传递窗送到标记实验室，然后暂存在热室内）→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。核医学科废物间设置 2 个铅的废物桶（5mmPb），同位素实验室废物间设置 4 个铅的废物桶（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（实验区 Lu-177 存放 68 天），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）小动物路径

实验需要使用小动物时通过实验室北侧出口转移至动物暂存间→动物显像室→动物显像后，将小鼠处死→动物实验室进行解剖实验→最后将小鼠收集后贮存在动物废物间冷冻冰柜内暂存→动物尸体委托交有资质单位焚烧处置，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。

（7）放射性废水暂存和排放

PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室内卫生间的冲厕废水、高活室洗手废水、清洁间保洁废水，同位素实验室控制区、应急淋浴废水等→下沉庭院下方沉淀池→放射性废水衰变池暂存→废水暂存 68d 后，经检测达标后排至医院污水处理站处理→市政污水管网。

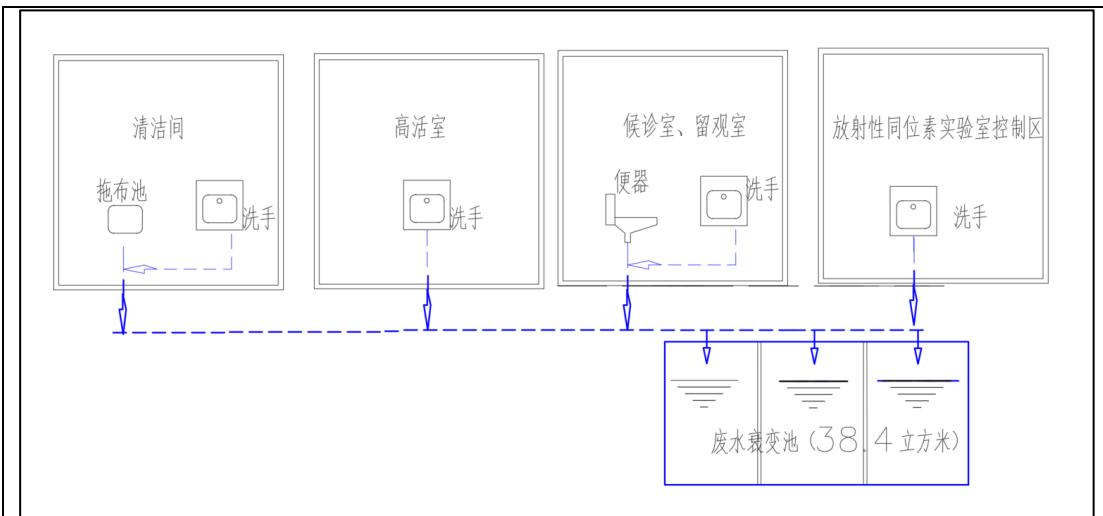


图 11-2 本项目衰变池废水排放系统示意图

(8) 放射性废气收集与排放

药物分装和质检在手套箱内进行。诊断显像药物中，只有 PET 检查的正电子药物需要在注射前进行分装。Tc-99m 和 I-123 等，半衰期相对较长，由供药公司根据每人份订药量直接分装在注射器或药瓶内，无需再次分装。F-18 为液体且物理性质稳定，在分装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。

本项目控制区拟配套建设 4 套放射性通风处理设施，其中诊疗区域和实验场所手套箱分别设有 1 套专用排风管道，控制区场所设有 2 套专用排风管道，排风管道由核医学科东南侧通风井引至楼顶，上述 4 套通风系统的排气口设在楼顶，排放口高度约 44.8m，排风口拟朝南。

(9) 出入口控制

1) 受检人员出入口控制：在核医学科东南侧和南侧的患者入口、2 个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：在医务人员进入缓冲间的入口、高活室东、西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，工作人员放射性同位素实验、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。

11.2.2 核医学科运行（使用）后对环境影响

11.2.2.1 辐射环境影响预测

1 核医学科诊疗场所的使用规划

医院根据核医学科目前诊疗使用的核素现状，给出了本项目核医学科使用规划，表 11-1 给出了拟使用的放射性核素种类、用途以及最大工作量等信息。

表 11-1 核医学科的使用规划

序号	核素种类	类别	最大工作量			用途（年总人次）
			人次/天	天数/年	用量 Bq/年	
1	F-18	A	24	250	1.78E+12	PET 门诊诊断（6000）
			6	50	1.78E+11	临床试验研究（300）
2	Ga-68	A	2	50	3.70E+10	PET 门诊诊断（100）
			6	50	1.78E+11	临床试验研究（300）
3	Tc-99m	A	20	250	3.70E+12	SPECT 诊断（5000）
4	I-123	A	2	50	2.96E+10	SPECT 诊断（100）

根据使用规划，核医学科每天使用 SPECT 开展影像诊断最多 28 人次，每天使用 PET/CT 开展影像诊断最多 21 人次。显像使用的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 0、1、3h 后 1m 处的辐射剂量率分别为

11.3 μ Sv/h、7.9 μ Sv/h、4.4 μ Sv/h（引用 Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd，北京肿瘤医院注射 0h 后 1m 处的辐射剂量率为 9.5 μ Sv/h）。核素 Tc-99m 源的 K_{γ} 常数为 0.0303 μ Sv·m²/ (h·MBq)，距 925MBq Tc-99m 裸源 1m 处的剂量率为 28.0 μ Sv/h。

(2) F-18 进行 PET/CT 显像时一般用量为 0.222GBq (6mCi) / 人次左右，Ga-68 用量为 222MBq/人，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 K_{γ} 常数为 0.143 μ Sv·m² (h·MBq)，给患者注射 10mCi 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 34 μ 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 μ Sv/h。

(3) F-18 正电子显像药物，需要在高活室铅手套箱内再次分装，每次最大分装量为 1.78E+09Bq (480mCi，本项目 F-18 每天进行 2 次送药，每次按 12 人次用药量，并考虑 4 倍的衰减裕量)，1m 处的剂量率为 2540 μ 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 2.92E-2 μ Sv/h (手套箱外 0.3m)。假设分装时铅罐盖打开 (即朝斜上方没有铅罐屏蔽)，源距手套箱顶部外表面至少 1m 以上，则距手套箱上表面 30cm 处的剂量率不大于 1.46 μ Sv/h，但铅罐储存时基本都是有盖屏蔽，因此在储存状态对环境的影响可忽略。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 4.12E-1 μ Sv/h (距离取 0.5m，距手套箱正面外 0.3m 处)，则放射性药物分装的手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率能保证小于 2.5 μ Sv/h 的要求。

(4) PET/CT 注射后候诊室最多 4 名受检者同时候诊，SPECT/CT 注射后候诊室最多 6 名受检者同时候诊。考虑到候诊床或者座椅间隔布置，在计算楼上附加剂量率时，考虑叠加效果。

(5) PET 使用密封校准源开展设备校验，使用的 Ge-68 最大活度为 111MBq，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_{γ} 常数为 0.134 μ Sv·m²/ (h·MBq)，距离质控源 1m 处的剂量率为 14.87 μ Sv/h，在储源室存储时有 20mm 铅屏蔽桶屏蔽，经过屏蔽

后 1m 处剂量率约为 $0.93\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(6) 注射窗口废物桶铅当量不低于 20mm 铅当量（相对 F-18 的衰减因子为 6.24E-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 $0.13\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，假设上午有 15 个患者，考虑到时间的衰减，剂量率约 $1.09\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；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 $0.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，能够满足距废物桶 30cm 处 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

(7) 根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、75min）后的活度衰减因子为 0.68、0.62，每人候诊或检查期间（60min、15min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.95。

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。

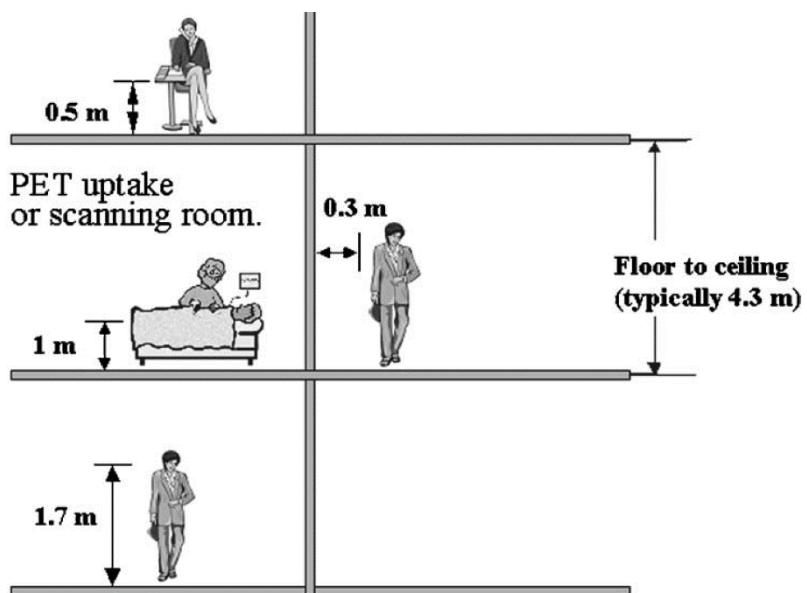


图11-3 核医学科周围关注点位置示意图

4. 估算方法

考虑到 SPECT/CT 扫描使用 Tc-99m 核素和 I-123 ；PET 扫描使用 F-18 和 Ga-68 。 I-123 衰变 γ 射线能量与 Tc-99m 相当，用量少， Ga-68 比 F-18 用量低，故以 Tc-99m 和 F-18 这两种核素为例，分析预测核素显像检查过程工作区

周围贯穿辐射水平, 以及工作人员和周围公众的受照剂量。

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, 估算注射区、检查室、候诊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

$$H_\gamma = H_0 \times r^{-2} \times 10^{-d/TVL} \quad (公式 11-1)$$

式中:

H_γ —关注点的 γ 剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

H_0 —距靶 1m 处的 γ 剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

r —关注点距源中心的距离, m;

d —机房的屏蔽厚度, cm;

TVL — γ 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 (由辐射安全手册表 6.7 数据类比推得 TVL 为 69.9mm)。其中 F-18 等正电子核素的估算考虑衰减因子的影响。

(2) 年有效剂量

$$\text{附加年有效剂量计算公式: } E = H \times t \times T \quad (11-2)$$

式中: E —年有效剂量, μSv ;

H —计算点附加剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

T 为人员的居留因子;

t 为年接触时间, h/a

11.2.2.2 诊疗场所周围不同位置的附加剂量率水平

(1) 场所周围不同位置的附加剂量水平

基于上述源项, 依照公式 (11-1) 和公式 (11-2), 估算高活室、PET/CT 室、SPECT/CT 室、注射后候诊室、留观室等场所周围 (含楼上、楼下) 不同位置的最大附加剂量率。估算结果见表 11-2 所示, 估算点位示意图见图 11-4 所示。

表 11-2 核医学科诊疗场所周围不同位置的剂量率

位置		距患者距离 (m)	屏蔽材料与厚度	衰减因子	屏蔽后附加剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	备注
PET/CT 室 (1名 F-18 注射者)	东墙外患者通道 a1	4.8	29cm 混凝土砖	3.95E-02	3.95E-02	控制区
	南墙外控制室 a2	4.9	29cm 混凝土砖	3.95E-02	3.79E-02	工作人员
	西墙外走廊 a3	3.1	29cm 混凝土砖	3.95E-02	9.46E-02	公众
	北墙外 PET/CT 留观室 a4	3.4	29cm 混凝土砖	3.95E-02	7.87E-02	控制区
	控制室门外 a5	5.1	8mmpb	3.30E-01	2.92E-01	工作人员
	观察窗外 a6	5.0	8mmpb 当量	3.30E-01	3.04E-01	工作人员
	机房门外 a7	5.5	8mmpb	3.30E-01	2.51E-01	控制区
	楼上一层诊室 (距地面 0.5m 处) a8	7.4	36cm 混凝土 +1mmPb	7.84E-03	3.30E-03	公众
	楼上隔振层 0.3m 处 a81	4.3	18cm 混凝土 +1mmPb	8.26E-02	1.03E-01	/
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) a9	3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	5.75E-02	公众
SPECT/CT 室 (1名 Tc-99m 注射者)	楼下 30cm 处 a91	1.6	25cm 混凝土	3.80E-02	3.42E-01	/
	东墙控制室 b1	3.8	29cm 混凝土砖	5.68E-03	4.45E-03	工作人员
	南墙 SPECT/CT 注射后候诊室 b2	3.7	29cm 混凝土砖	5.68E-03	4.69E-03	控制区
	西墙患者走廊 b3	3.8	29cm 混凝土砖	5.68E-03	4.45E-03	控制区
	北墙污物通道 b4	4.1	29cm 混凝土砖	5.68E-03	3.82E-03	公众
	控制室门外 b5	4.4	3mmPb	1.00E-03	5.84E-04	工作人员
	观察窗外 b6	3.7	3mmPb	1.00E-03	8.25E-04	工作人员
	机房门外 b7	4.5	3mmPb	1.00E-03	5.58E-04	控制区
	楼上一层诊室 (距地面 0.5m 处) b8	7.4	36cm 混凝土 +1mmPb	5.34E-05	1.10E-05	公众

	楼上隔振层 0.3m 处 b81	4.3	18cm 混凝土 +1mmPb	2.31E-03	1.41E-03	/
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) b9	3.9	25cm 混凝土	5.34E-03	3.96E-03	公众
	楼下 30cm 处 b91	1.6	25cm 混凝土	5.34E-03	2.36E-02	/
PET/CT 注射后候诊室 (1名 10mCi F-18 注射者, 4名患者叠加影响见表 11-3)	东墙患者走廊 c1	2.5	29cm 混凝土砖	3.95E-02	2.14E-01	控制区
	南墙注射区 c2	4.8	29cm 混凝土砖	3.95E-02	5.81E-02	控制区
	西墙患者走廊 c3	2.4	29cm 混凝土砖	3.95E-02	2.32E-01	控制区
	北墙 SPECT/CT 留观室 c4	3.8	29cm 混凝土砖	3.95E-02	9.26E-02	控制区
	西侧防护门外 c5	4.1	8mmPb	3.30E-01	6.64E-01	控制区
	楼上一层输液室 (距地面 0.5m 处) c6	7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	5.57E-03	公众
	楼上隔振层 0.3m 处 c61	4.3	18cm 混凝土	9.49E-02	1.74E-01	/
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) c7	3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	8.46E-02	公众
	楼下 30cm 处 c71	1.6	25cm 混凝土	3.80E-02	5.02E-01	/
SPECT 注射后等候室 (6名 25mCi Tc-99m 患者)	东墙外控制室 d1	3.5	29cm 混凝土砖	5.68E-03	3.15E-02	工作人员
	东南墙外走廊 d2	2.8	29cm 混凝土砖	5.68E-03	4.91E-02	工作人员
	西墙外患者走廊 d3	4.0	29cm 混凝土砖	5.68E-03	2.41E-02	控制区
	北墙外 SPECT/CT 室 d4	2.9	29cm 混凝土砖	5.68E-03	4.58E-02	控制区
	西侧防护门 d5	4.3	3mmPb	1.00E-03	3.67E-03	控制区
	楼上一层卫生间 (距地面 0.5m 处) d6	7.4	36cm 混凝土	5.34E-04	6.61E-04	公众
	楼上隔振层 0.3m 处 d61	4.3	18cm 混凝土	2.31E-02	8.47E-02	/

	楼下库房（距地面 1.7m 处）d7	3.9	25cm 混凝土	5.34E-03	2.38E-02	公众
	楼下 30cm 处 d71	1.6	25cm 混凝土	5.34E-03	1.41E-01	/
高活室 (10mCi F-18、 25mCiTc- 99m)	东南侧 SPECT/CT 区患 者入口 e1	5.0	29cm 混凝土砖 +3mmPb	2.61E-02	5.51E-02	公众
	南侧工作人员防 护门 e2	3.1	8mmPb	3.30E-01	1.82E+00	监督区
	西侧 PET/CT 区 患者入口 e3	4.9	8mmPb	3.30E-01	4.94E-01	公众
	楼上一层输液室 (距地面 0.5m 处) e6	7.4	36cm 混凝土	2.97E-03	2.87E-03	公众
	楼上隔振层 0.3m 处 e61	4.3	18cm 混凝土	9.49E-02	2.72E-01	/
	楼下库房（距地面 1.7m 处）e7	3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	1.32E-01	公众
	楼下 30cm 处 e71	1.6	25cm 混凝土	3.80E-02	7.85E-01	/
储源室 (1 枚 111MBq Ge-68 刻 度源)	东侧门外 f1	1.8	/	1.00E+00	2.87E-01	控制区
	南墙外设备间 f2	1.1	29cm 混凝土砖	3.95E-02	3.04E-02	监督区
	西墙外诊室 f3	1.5	29cm 混凝土砖	3.95E-02	1.63E-02	公众
	北墙外走廊 f4	2.3	29cm 混凝土砖	3.95E-02	6.94E-03	公众
	楼上一层污洗间 (距地面 0.5m 处) f5	7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	1.53E-04	公众
	楼上隔振层 0.3m 处 f51	4.3	18cm 混凝土	9.49E-02	4.77E-03	/
	楼下库房（距地面 1.7m 处）f6	3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	2.32E-03	公众
PET/CT 留 观室 (1)	楼下 30cm 处 f61	1.6	25cm 混凝土	3.80E-02	1.38E-02	/
	东墙外患者走廊 g1	3.4	29cm 混凝土砖	3.95E-02	7.87E-02	控制区

名 F-18 患者)	东北侧患者出口 g11	4.3	29cm 混凝土砖	3.95E-02	4.92E-02	公众
	南墙外 PET/CT 室 g2	1.3	29cm 混凝土砖	3.95E-02	5.38E-01	控制区
	西墙外走廊 g3	4.6	29cm 混凝土砖	3.95E-02	4.30E-02	公众
	北墙污物走廊 g4	1.7	29cm 混凝土砖	3.95E-02	3.15E-01	公众
	东侧防护门 g5	3.3	8mmPb	3.30E-01	6.97E-01	控制区
	楼上一层诊室 (距地面 0.5m 处) g6	7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	3.79E-03	公众
	楼上隔振层 0.3m 处 g61	4.3	18cm 混凝土	9.49E-02	1.18E-01	/
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) g7	3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	5.75E-02	公众
	楼下 30cm 处 g71	1.6	25cm 混凝土	3.80E-02	3.42E-01	/
SPECT/CT 留观室 (1 名 Tc-99m 患者)	东墙外患者走廊 h1	1.6	29cm 混凝土砖	5.68E-03	2.51E-02	控制区
	南墙外 PET/CT 注射后候诊室 h2	2.0	29cm 混凝土砖	5.68E-03	1.61E-02	控制区
	西墙外 PET/CT 注射后候诊室卫 生间 h3	1.7	29cm 混凝土砖	5.68E-03	2.22E-02	控制区
	北墙外清洁间 h4	1.1	29cm 混凝土砖	5.68E-03	5.31E-02	控制区
	东侧防护门外 h5	1.7	3mmPb	1.00E-03	3.91E-03	控制区
	楼上一层走廊 (距地面 0.5m 处) h6	7.4	36cm 混凝土	5.34E-04	1.10E-04	公众
	楼上隔振层 0.3m 处 h61	4.3	18cm 混凝土	2.31E-02	1.41E-02	/
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) h7	3.9	25cm 混凝土	5.34E-03	3.96E-03	公众
	楼下 30cm 处 h71	1.6	25cm 混凝土	5.34E-03	2.36E-02	/

注: ①砼(混凝土)密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$, 混凝土砖密度不低于 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$, 铅板的密度为 $11.4\text{g}/\text{cm}^3$ 。②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。③ 24cm 混凝土砖外墙抹灰后不低于 29cm , 本项目保守按 29cm 混凝土砖计算。④高活室 e1、e2、e6、e61、e7、e71 点位为 10mCi 未带屏蔽的放射性药物对其影响剂量值, 该剂量为运输药品时的瞬间值, 其余时间药物为带屏蔽的。e3 为患者注射药品后对预测点位的影响, 考虑了患者吸收。

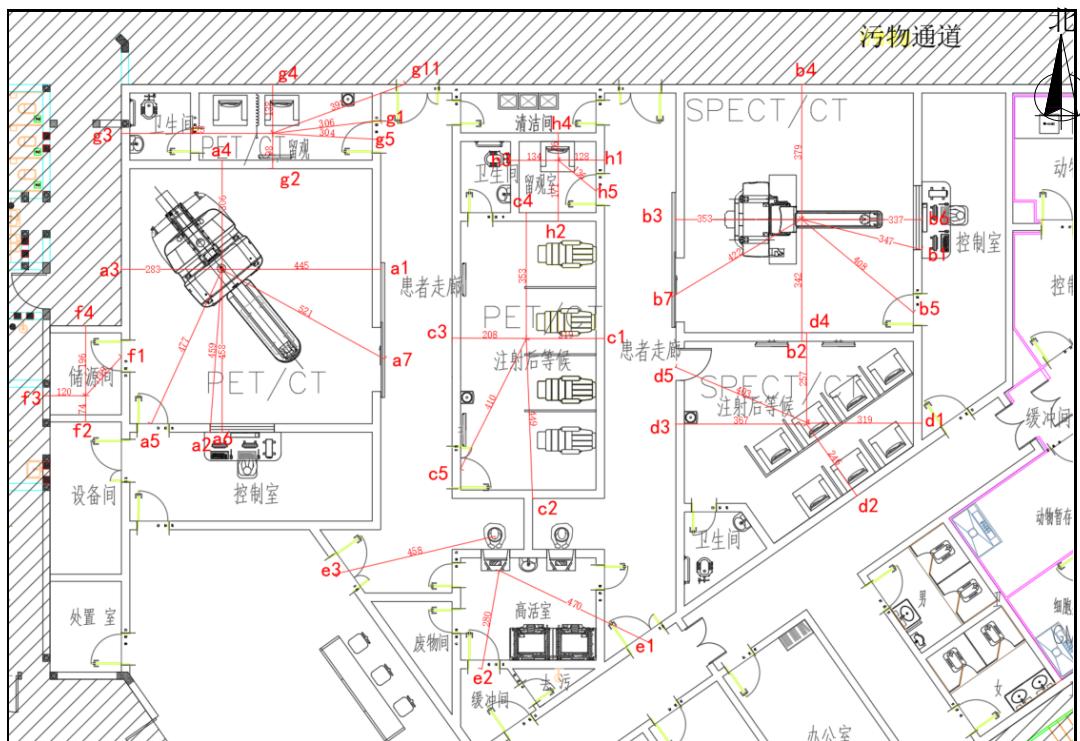


图 11-4 核医学科相关场所估算点位置图

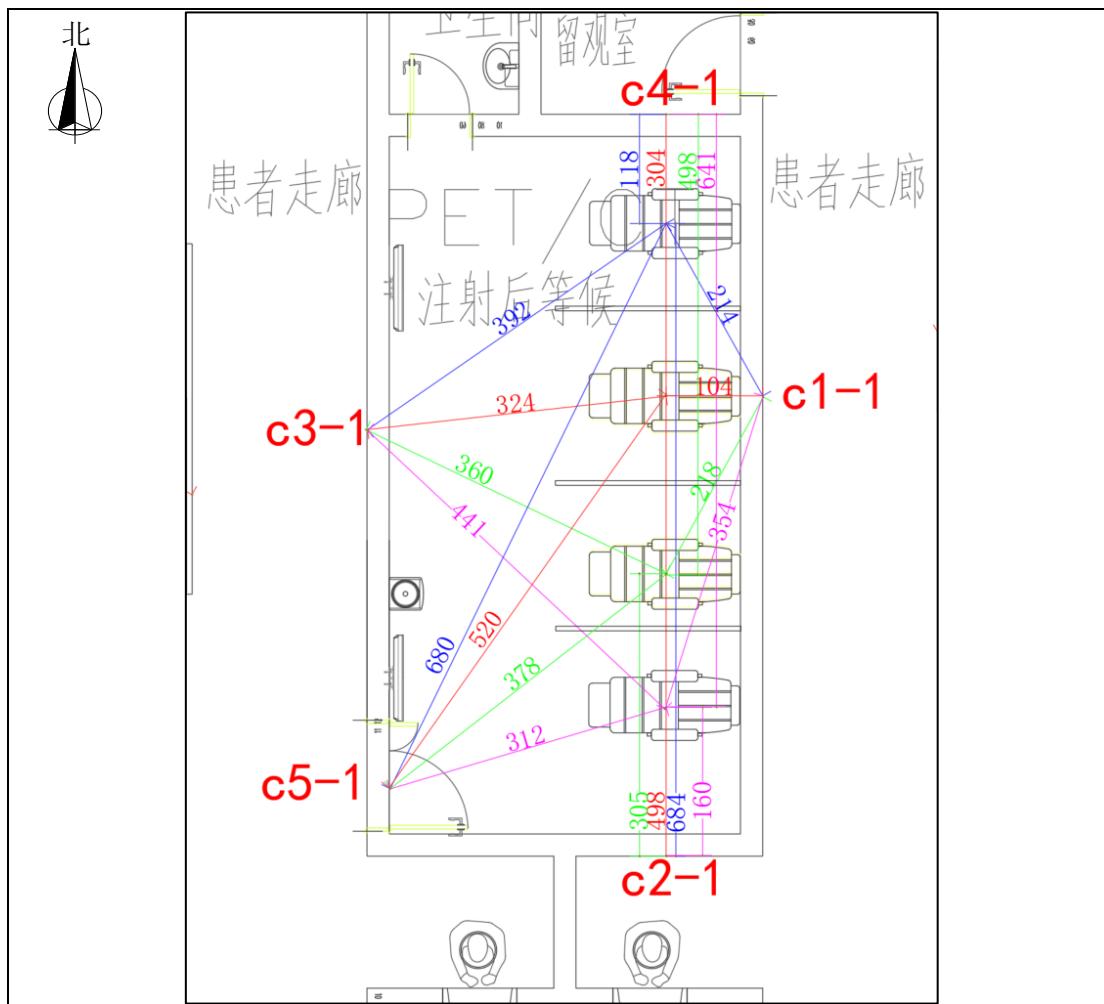


图 11-5 PET/CT 注射后候诊室估算点位置图 (4 名患者同时候诊)

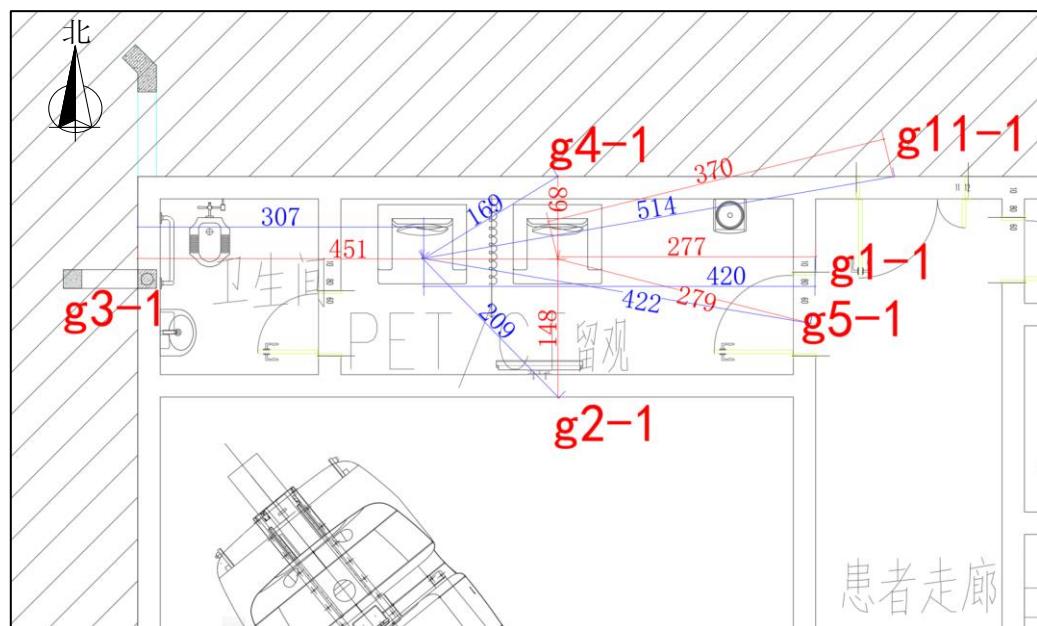


图 11-6 PET/CT 留观室估算点位置图 (2 名患者同时留观)

(2) 周围不同位置的附加剂量叠加情况

主要以 PET/CT 候诊室同时存在 4 名注射后患者和 PET 留观室存在 2 名注射后患者情况下的进行最大附加剂量率见表 11-3, 相关估算点位置见图 11-5~11-6。

表 11-3 PET/CT 注射后候诊室和留观室周围主要位置累加剂量率

位置		距离 (m)	有效屏蔽材料与厚度	衰减因子	屏蔽后附加剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	累加剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
PET/CT 候诊室 (4 名 10mCi F- 18 注射 者)	东墙外患者 走廊 c1-1	2.4	29cm 混凝土砖+8mmPb	1.30E-02	7.66E-02	9.49E-01
		1.3	29cm 混凝土砖	3.95E-02	7.91E-01	
		2.5	29cm 混凝土砖+8mmPb	1.30E-02	7.06E-02	
		3.8	29cm 混凝土砖+16mmPb	4.29E-03	1.01E-02	
	南墙注射区 c2-1	1.9	29cm 混凝土砖	3.95E-02	3.71E-01	4.15E-01
		3.4	29cm 混凝土砖+8mmPb	1.30E-02	3.81E-02	
		5.3	29cm 混凝土砖+16mmPb	4.29E-03	5.17E-03	
		7.1	29cm 混凝土砖+24mmPb	1.42E-03	9.51E-04	
	西墙外患者 走廊 c3-1	4.2	29cm 混凝土砖	3.95E-02	7.58E-02	3.34E-01
		3.5	29cm 混凝土砖	3.95E-02	1.09E-01	
		3.9	29cm 混凝土砖	3.95E-02	8.79E-02	
		4.7	29cm 混凝土砖	3.95E-02	6.05E-02	
	北墙 SPECT/CT 留观室 c4-1	1.5	29cm 混凝土砖	3.95E-02	5.94E-01	6.41E-01
		3.3	29cm 混凝土砖+8mmPb	1.30E-02	4.05E-02	
		5.3	29cm 混凝土砖+16mmPb	4.29E-03	5.17E-03	
		6.7	29cm 混凝土砖+24mmPb	1.42E-03	1.07E-03	
	西侧防护门 外 c5-1	3.4	8.3mmpb	3.16E-01	9.26E-01	1.19E+00
		4.1	17.2mmpb	9.20E-02	1.85E-01	
		5.5	21.3mmpb	5.21E-02	5.83E-02	
		7.1	24mmpb	3.58E-02	2.41E-02	
	楼上一层输	7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	5.57E-03	2.23E-02

PET/CT 留观室 (2名 10mCi F- 18注射 者)	液室 (距地 面 0.5m 处) c6-1	7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	5.57E-03	
		7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	5.57E-03	
		7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	5.57E-03	
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) c7-1	3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	8.46E-02	3.38E-01
		3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	8.46E-02	
		3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	8.46E-02	
		3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	8.46E-02	
	东墙外患者 通道 g1-1	3	29cm 混凝土砖	3.95E-02	1.01E-01	1.21E-01
		4.5	29cm 混凝土砖+6mmpb	1.72E-02	1.95E-02	
	东北侧患者 出口 g11-1	4.1	29cm 混凝土砖	3.95E-02	5.41E-02	6.77E-02
		5.4	29cm 混凝土砖+6mmpb	1.72E-02	1.36E-02	
	南墙外 PET/CT 室 g2-1	1.8	29cm 混凝土砖	3.95E-02	2.81E-01	4.39E-01
		2.4	29cm 混凝土砖	3.95E-02	1.58E-01	
	西墙外走廊 g3-1	3.4	29cm 混凝土砖	3.95E-02	7.87E-02	9.59E-02
		4.8	29cm 混凝土砖+6mmpb	1.72E-02	1.72E-02	
	北墙污物走 廊 g4-1	1.2	29cm 混凝土砖	3.95E-02	6.32E-01	7.31E-01
		2	29cm 混凝土砖+6mmpb	1.72E-02	9.89E-02	
	东侧防护门 g5-1	3.1	8.5mmPb	3.08E-01	7.37E-01	9.00E-01
		4.5	14mmPb	1.43E-01	1.63E-01	
	楼上一层诊 室 (距地面 0.5m 处) g6-1	7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	3.79E-03	7.57E-03
		7.4	36cm 混凝土	9.01E-03	3.79E-03	
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) g7-1	3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	5.75E-02	1.15E-01
		3.9	25cm 混凝土	3.80E-02	5.75E-02	

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，防护门处考虑斜射影响，每个患者保守都按 10mCi 量估算 (33.8 μ Sv/h@1m)。

由表 11-2 和表 11-3 可见，本项目运行后，核医学科诊疗场所的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平最大为 7.31E-01 μ Sv/h (PET/CT 留观室 2 名患

者同时留观时对北侧污物走廊的影响 g4, 不考虑高活室裸源瞬时值对控制区外的影响), 核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率最大值为 $1.19\mu\text{Sv}/\text{h}$ (PET/CT 注射后候诊室 4 名患者同时候诊时西侧防护门外 c5-1), 均满足 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率控制要求。

(3) PET/CT、SPECT/CT 中 CT 的影响定性分析

本项目两间检查室墙体、顶棚、地板、观察窗和防护门采取的辐射屏蔽措施均大于 2.5mm 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^2 和 4.5m 的要求, 且本项目 CT 设备运行时工作条件远低于放射科诊断 CT, 可以预计, PET/CT、SPECT/CT 设备的 CT 装置运行时, 机房周围剂量率水平将保持在正常本底水平, 对周围环境辐射影响可以忽略。

11.2.2.3 周围公众受照剂量估算

核医学科实行每日一班制, 全年工作 250d。根据表 11-1 所列最大工作量进行剂量估算。假设:

(1) 每年 SPECT 检查最大人数为 5100 人次, 扫描时间平均约为 20min/人次, 总共扫描时间为 1700h, SPECT/CT 注射后候诊室内人员的停留总时间保守按 2000h (剂量率是按 6 人叠加后值估算)。扫描后每人留观 10min, 则留观室内受检人员留观时间约 850h。

(2) 每年 PET/CT 检查最大人数为 6700 人次。PET/CT 的扫描时间平均按 15min/人次, 则 PET/CT 机房内患者停留时间约为 1675h, PET/CT 注射后候诊室停留时间保守按 2000h (剂量率是按 4 人叠加后值估算)。每人留观 10min, 留观室内的年留观时间为 1116.7h。

(3) PET/CT 扫描患者采用预置针方式注射, 每人次的药物注射时间为 30s/人。SPECT 患者采用直接静脉注射的方式注射, 注射时间按 60s/人计。注射区全年注射 SPECT 药物总时间为 85h, 注射 PET 药物总时间 55.8h。

(4) 高活室手套箱内每天进行 F-18 药物分装时间 1min/人次, 全年 F-18 注射者 6300 人, 则累计分装时间为 105h。

表 11-4 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 $3.70\text{E}+01\mu\text{Sv}/\text{a}$ (楼上一层输液室), 均满足本项目设定的

0.1mSv/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，仅在机房外周围有一定的驻留，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 11-4 核医学诊疗相关场所主要位置的年附加剂量估算

位置		屏蔽后附加剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	居留因子	全居留时间 (h/a)	年附加剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{a}$)
PET/CT 室 (1 名 10mCi F-18 注射者)	西墙外走廊 a3	9.46E-02	1/16	1675	9.41E+00
	楼上一层诊室 a8	3.30E-03	1	1675	5.25E+00
	楼下库房 a9	5.75E-02	1/16	1675	5.72E+00
SPECT/CT 室 (1 名 Tc-99m 患者)	北墙污物通道 b4	3.82E-03	1/16	1700	4.06E-01
	楼上一层诊室 b8	1.10E-05	1	1700	1.87E-02
	楼下库房 b9	3.96E-03	1/16	1700	4.21E-01
PET 注射后候诊室 (4 名 10mCi F-18 患者)	楼上一层输液室 c6-1	2.23E-02	1	2000	3.70E+01
	楼下库房 c7-1	3.38E-01	1/16	2000	3.51E+01
SPECT 注射后候诊室 (6 名 25mCi Tc-99m 注射者)	楼上一层卫生间 d6	6.61E-04	1/16	2000	8.26E-02
	楼下库房 d7	2.38E-02	1/16	2000	2.98E+00
高活室 (10mCi F-18、25mCi Tc-99m)	东南侧 SPECT/CT 区患者入口 e1	5.51E-02	1/16	55.8	1.92E-01
	西侧 PET/CT 区患者入口 e3	4.94E-01	1/16	55.8	1.72E+00
	楼上一层输液室 e6	2.87E-03	1	105	3.02E-01
	楼下库房 e7	1.32E-01	1/16	105	8.65E-01
储源室 (1 枚 74MBq Ge 刻度	西墙外诊室 f3	1.63E-02	1	2000	3.26E+01
	北墙外走廊 f4	6.94E-03	1/16	2000	8.68E-01

源	楼上一层污洗间 f5	1.53E-04	1/4	2000	7.65E-02
	楼下库房 f6	2.32E-03	1/16	2000	2.90E-01
PET/CT 留观室 (2名 10mCi F-18 名注射者)	东北侧患者出口 g11-1	6.77E-02	1/16	1116.7	4.73E+00
	西墙外走廊 g3-1	9.59E-02	1/16	1116.7	6.69E+00
	北墙污物走廊 g4-1	7.31E-01	1/16	1116.7	5.10E+01
	楼上一层诊室 g6-1	7.57E-03	1	1116.7	8.45E+00
	楼下库房 g7-1	1.15E-01	1/16	1116.7	8.03E+00
SPECT/CT 留观室 (1名 25mCi Tc-99m 注射者)	楼上一层走廊 h6	1.10E-04	1/16	850	5.84E-03
	楼下库房 h7	3.96E-03	1/16	850	2.10E-01

备注: 年附加剂量由公式 $D(t) = DI \times T \times t \times R_H$ 算出, 考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减, 其中 t 为时间, R_H 为每人检查期间平均活度相对检查初始的活度因子 (60min、15min 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.95), 其中 SPECT/CT 室、注射区、留观室未考虑 R_H 的影响。

11.2.2.4 工作人员显像环节年受照剂量

(1) 工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

该场所只有 F-18 核素需要分装, 放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率保守按照 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。分装操作时间全年保守按 105h 估算, 则工作人员所受的年附加剂量为 $262.5\mu\text{Sv}$ 。

(2) 工作人员为药物转运环节工作人员的受照剂量

本项目中正电子核素采用注射器转运防护箱 (25mmPb) 运输 (从手套箱运到注射位), 1m 处剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 运输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算 (剂量率不大于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 估算)。每次药物转运平均时间以 10s 估算, 则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 $10\mu\text{Sv}/\text{h} \times 10\text{s}/\text{人} \times 6700 \text{ 人} \times 1/3600\text{s}/\text{h} = 186.1\mu\text{Sv}$ 。

(3) 工作人员为患者进行药物注射环节的受照剂量

据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radionuclide And Radiation Protection Data Handbook 2002]给出: 距活度为 1MBq 的 F-18 药液时, 对距

30cm 处人的深部当量剂量率为 $1.81 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$, 注射 370MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $670\mu\text{Sv/h}$ 。注射时采用了具有 40mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护, 剂量率可以降低两个量级 (在约 340MBq 的注射量情况下, 北京肿瘤医院工作人员腹部位的实测值为 $6.6\mu\text{Sv/h}$), 本项目衰减后值取 $10\mu\text{Sv/h}$ 。注射操作时间短, 每人次的注射时间为 30s, 年总操作时间约 55.8h, 则工作人员所受的年附加剂量为 $558\mu\text{Sv}$ 。

手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5ml Tc-99m 药液时, 对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $2.6 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$ 。所以, 注射 925MBq (25mCi) 的 Tc-99m, 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $240\mu\text{Sv/h}$ 。注射时采用具有防护功能的铅玻璃窗屏蔽 (20mm 铅当量的铅玻璃), 若注射窗完全屏蔽时衰减因子小于 7.4E-17 , 操作时注射窗口可能不能完全屏蔽人体的所有部位, 剂量率按降低两个量级 $2.4\mu\text{Sv/h}$ 估算, 年总操作时间约 85h, 则工作人员所受的年附加剂量为 $204\mu\text{Sv}$ 。

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

(4) 工作人员指导病人摆位环节的年受照剂量

考虑用药后候诊期间药物活度的衰减和患者的自吸收, 注射 370MBq 的 F-18 患者到 PET/CT 检查时 (经过了 60min 衰变), 距患者 100cm 处摆位环节时人的深部当量剂量率为 $23.1\mu\text{Sv/h}$ ($34\mu\text{Sv/h} \times 0.68$, 在北京肿瘤医院工作人员摆位的实测值为 $13.5\mu\text{Sv/h}$, 患者的注射量大约 300MBq), 全年进行检查人数 6700 人次, PET/CT 摆位时间 30s/人, 则累计摆位时间为 55.8h。则摆位工作人员所受到的年附加剂量 $23.1\mu\text{Sv/h} \times 55.8\text{h} = 1289\mu\text{Sv}$ 。

注射 925MBq (25mCi) 的 Tc-99m 药物的病人, 1m 处的剂量率取 $11.3\mu\text{Sv/h}$ 。假设摆位人员距离病人距离 100cm, 保守按全年进行 SPECT 检查的最大人数 (5100 人次) 进行剂量估算。假设每个病人的平均摆位时间 30s, 则年总操作时间为 42.5h, 摆位时工作人员穿 0.5mmPb 当量的铅衣 (衰减因子为 3.16×10^{-1}), 则总剂量为: $11.3\mu\text{Sv/h} \times 42.5\text{h} \times 0.316 = 151.8\mu\text{Sv}$

(5) 控制室内工作人员的年受照剂量

由表 11-2 可知, PET/CT 控制室内的工作人员的年附加剂量约为 $509.2\mu\text{Sv}$

(3.04E-01 μ Sv/h×1675h)。

SPECT 操作位的附加剂量为 1.4 μ Sv/h (8.25E-04 μ Sv/h×1700h)。

(6) 质控时工作人员的年受照剂量

根据《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》(试行版)和《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备(SPECT)质量控制检测规范》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 μ Sv/h, 则 555MBq 对应 30cm 处剂量率为 144.3 μ Sv/h, 工作人员一般穿 0.50mmPb 当量铅衣操作, 对应透射系数 0.31, 即操作位附加剂量率约为 16.1 μ Sv/h (50cm 处), 则工作人员附加剂量为 16.1 μ Sv/a。

2) PET

①使用密封源

工作人员至少每周使用 1 次密封源进行均匀度等质控检测, 该环节需将源从储源室取出放于 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, GBZ 120-2020 表 H.1 中给出其周围剂量当量率常数为 0.134 μ Sv·m²·h⁻¹·MBq⁻¹, 保守按初始活度 111MBq 考虑, 操作距离取 50cm, 操作位剂量率为 59.5 μ Sv/h, 每次操作时间约 2min, 总操作时间为 1.67h/a, 则工作人员附加剂量约为 99.4 μ 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), 操作距离为 50cm, 操作时间为 10min/a, 37MBq F-18 药液距 50cm 处人的深部当量剂量率为 21.16 μ Sv/h, 则工作人员附加剂量约为 3.5 μ Sv/a。

(7) 核医学科显像环节工作人员受照剂量总结

根据以上估算, 核医学科显像环节工作人员的附加有效剂量如表11-5。

表 11-5 核医学科显像环节工作人员各环节附加有效剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)

环节	分装	运转	注射	小计	摆位	控制室	小计	质控
PET/CT	262.5	186.1	558	1006.6	1289	509.2	1798.2	119
SPECT/CT	/	/	204	204	151.8	1.4	153.2	
备注	PET、SPECT 由不同护士完成				PET、SPECT 由不同技师完成			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 1.0mSv、1.8mSv、119 μSv , 由于本项目核医学科为新建项目, 本项目都是保守每人最大工作量估算的, 可不考虑与已许可核医学科辐射工作的累加情况。

11.2.2.5 标记实验室辐射影响

本项目的标记实验室进行的标记、合成、分装等操作都在此房间热室内进行, 本实验室进行的高活度操作均在 40mm 厚铅当量 (正面 60mmPb, 四周及上下为 40mmPb) 的热室中进行, 每次操作时间不超过 1h (近距离操作不超过 10min), 每年 200 次, 工作人员的操作距离为 0.8m, 其中 F-18 每次最大操作为 2780MBq, 热室还使用 1 套最大活度规格为 1.85E+9Bq 的 Ge-68 (Ga-68) 发生器, 按每次最大操作 1.85E+9Bq 核算, 热室铅厚度为 40mmPb (正面 60mmPb, 四周及上下 40mmPb)。热室则模块箱外表面的剂量率计算结果如下表所示:

表 11-6 模块箱外表面的剂量率计算结果

核素名称	初始活度 (MBq)	位置	屏蔽厚度	距离 (m) *	衰减因子	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
Ga-68	1.85E+3	正面 30cm 处	60mmPb	0.8	2.43E-4	9.41E-2	标记实验室
		后面 30cm 处	40mmPb+290 mm 混凝土砖	0.8	1.54E-4	5.96E-2	质控室
		左侧 30cm 处	40mmPb	0.8	3.89E-3	1.51	标记实验室
F-18	2.78E+3	正面 30cm 处	60mmPb	0.8	2.43E-4	1.51E-1	标记实验室
		后面 30cm 处	40mmPb+290 mm 混凝土砖	0.8	1.54E-4	9.55E-2	质控室

		右侧 30cm 处	40mmPb+10cm 混凝土砖 +25cm 充气混 凝土砖	1.2	4.27E-4	1.18E-1	室外下 沉庭院
--	--	--------------	---	-----	---------	---------	------------

备注：距离取值都没考虑热室与墙面间的距离。

操作位的剂量率水平约为 $1.51 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，保守按 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 估算，则在热室中进行的实验操作对工作人员所致的年附加剂量约为 $500 \mu\text{Sv}$ 。

标记实验室东、西、北墙体均为 29cm 混凝土砖（衰减因子约 3.95×10^{-2} ），南墙为 12cm 混凝土砖+25cm 充气混凝土砖（衰减因子约 1.10×10^{-1} ），传递窗为 10mmPb（衰减因子约 2.50×10^{-1} ），楼顶为 18cm 厚混凝土（衰减因子约 9.49×10^{-2} ），地板为 25cm 厚混凝土（衰减因子约 3.08×10^{-2} ），热室同位素操作位距室外公众区域至少有 3.9m，保守估算，标记实验室周围公众的附加剂量不大于工作人员剂量的百分之一，则该场所对周围的公众所致年剂量可以忽略。

11.2.2.6 动物 PET-CT 辐射影响

给实验动物注射标记好的放射性药物，注射的最大活度为 18.5 MBq (0.5 mCi)，距离 0.5m，操作时间 1 分钟，注射过程所受剂量为 $0.18 \mu\text{Sv}$ ，一年实验动物不超过 2000 只，辐射工作人员的年附加剂量约为 $360 \mu\text{Sv}$ 。本项目配置的动物 PET/CT 将带有自屏蔽系统，类比同类型自屏蔽的动物 PET/CT，CT 使用时自屏蔽系统表面剂量率与本底相当，且四周墙体不低于 2mmPb 屏蔽，因此扫描过程对隔室操作人员和周围公众的辐射剂量可忽略。

11.2.2.7 质控室辐射影响

放射性药物制备好后，取样不大于 $7.40 \times 10^6 \text{ Bq}$ (一般不大于 $3.70 \times 10^6 \text{ Bq}$) 分装在注射器或西林瓶内，置于注射器防护盒或铅罐内 (铅防护当量 20mm)，移至放化实验室利用放射性薄层色谱仪 (TLC)、高纯锗 γ 谱仪和发射光谱仪 (ICP) 等仪器对放射性药物进行分析实验。

本实验室进行开放性实验操作的活度均不超过 $7.40 \times 10^6 \text{ Bq}$ ($200 \mu\text{Ci}$)，1m 处操作位剂量剂量约为 $1.06 \mu\text{Sv/h}$ 。样品制备时间约 10min，放射化学纯度的测定时间约 5min，放射性核纯度检测时间约 2min，考虑到测量分析过程工作人员的停留时间，保守测量时间不超过 0.5h，则年工作不大于 50h，工作人员的操作距离取 1.0m，则辐射工作人员年附加剂量为 $53 \mu\text{Sv}$ 。同位素操作位距

最近公众区域（楼下库房）约有 3.9m，公众位的附加剂量率约为 $0.07\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，则该场所对周围的公众影响可以忽略。

11.2.3 核医学科诊疗受照剂量总结

（1）工作人员受照剂量

根据以上估算，保守假设本1名技师完成本项目的项目显像和科研实验环节，则本项目核医学科工作人员受照总剂量不大于 2.3mSv ，低于本项目设定的年剂量约束值 5mSv/a 要求。

（2）公众

根据以上估算，公众年受照总剂量不大于 $37\mu\text{Sv}$ ，低于本项目设定的年剂量约束值 $100\mu\text{Sv}$ 要求。

11.2.4 放射性废物产生及排放情况

（1）放射性废气

核医学科门诊诊疗区高活室设有 2 个手套箱，实验区标记实验室配有 2 个手套箱（热室），手套箱和热室分别安装独立的排风系统。手套箱和热室可能产生的废气经过带有高效过滤器和活性炭过滤器净化后，通过排风管道引至医疗主楼楼顶过滤排出。正常工作情况下，核素合成、活度测定和注射等操作不会产生气溶胶和蒸汽等，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。

（2）放射性液体废物

核医学科位于医疗主楼地下一层，核医学科高活室内产生的废水、清洗废水、给药后患者专用卫生间产生的废水、同位素实验室控制区下水以及应急废水，将通过专用管道先进入地下二层的沉淀池，后用提升泵提升至位于核医学科东南侧地下一层废水处理间内的放射性废水衰变池，废水通过衰变经检测合格并满足解控要求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。

1) 衰变池结构

- 槽式衰变池（罐），共设 3 个槽，每个衰变池有效体积 12.8m^3 ，总有效容积为 38.4m^3 。衰变池（罐）前设 1 个有效容积为 10.5m^3 的沉淀池（位于地下二层）。衰变池采用罐式，六面采用不锈钢罐体，废水处

理间四面墙采用 29cm 混凝土砖，顶部为 18cm 混凝土，楼上为隔振层，地板为 25cm 混凝土，衰变池所在场所采用专人专锁管理，禁止无关人员进入。

➤ 放射污水路由：控制区→地下二层沉淀池→提升装置→地下一层衰变池→提升装置→室外管网。放射性污水经地下二层顶板的排水管道排至地下二层沉淀池，后经污水提升装置引至地下一层的衰变池内，衰变结束后污水泵排至医院污水处理系统。

2) 衰变池控制和管理

➤ 智能控制系统、人性化操作管理、设定工作参数和状态提醒机制。

➤ 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。

➤ 一体化提升装置内污水水位高于最低水位时启动泵组，将装置内污水排至影像中心污水处理系统。放射性废水由过滤池进入衰变池时，此时 A1 电动阀打开，废水流入衰变池 01，其内置液位计检测经检测达到预设定高液位时经 PLC 处理信号此时关闭 A1 电动阀开始计时，同时开启 A2 电动阀，放射性废水流入衰变池 02，当衰变池 02 达到高液位时关闭 A2 电动阀开始计时，同时开启 A3 电动阀，放射性废水流入衰变池 03，当衰变池 03 达到高液位时关闭 A3 电动阀开始计时，再次开启 A1 电动阀，再次排入衰变池 01（此时为排空状态）完成进水一个循环。

➤ 每个患者卫生间配备专用拖布。

➤ 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。

3) 废水产生排放情况预测

衰变池收集的主要的放射性核素来源于核医学门诊区受检患者的排泄物，门诊显像检查使用的 F-18、Ga-68 核素用于 PET 检查的正电子核素，以及 Tc-99m、I-123 用于 SPECT 检查用核素。

核医学科场所设置给药受检人员专用卫生间。按照所有受检者每次 1 次入厕，每次入厕产生放射性废水的总量为 6L；高活室洗手池和清洁间（门

诊区和实验区)产生的废水也将排入衰变池,预计产生量为 60L/d;另外应急淋浴水保守每年按一次 50L(医院核医学科自启用到目前都未产生应急淋浴废水)。根据表 11-1,核医学科达到饱和运行时,诊疗年检查人数不超过 11800 人(含临床试验研究),年产生废水约 6L/人×11800 人+60L/d×250d+50L=85.85m³。

衰变池的总容积约为 38.4m³,每槽充满约 1.73 个月,则废水开始存满到排放大约经历 104 日历天衰变,满足暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后(含 Lu-177 废水至少存放 68 天)的要求。

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

(3) 放射性固体废物

核医学科场所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 1 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。动物废物间冰柜里放 4 个 5mmPb 铅废物桶,储存实验后的老鼠尸体及脏器等。

①一般放射性固体废物

医院每年最多使用两套 Ge-68(Ga-68)发生器,达到使用寿命后厂方下次送新的发生器时回收。

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,动物实验解剖等操作会在吸水垫上操作,少量的小动物血液量完全被吸水垫吸收后按照固体废物处理。本场所按全年开展核素诊疗 11800 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);加上动物实验解剖等操作会在吸水垫上操作,少量的小动物血液量完全被吸水垫吸收后按照固体废物处理,满负荷运行年产生量不大于 60kg,则项目满负荷运行年产生量约 296kg。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(Lu-177至少存放68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 α 、 β 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

门诊区高活室手套箱、控制区和标记实验室热室、控制区每年更换活性炭过滤器,预计额外产生28kg固体废物(每个活性炭过滤器不大于5kg,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Lu-177的放射性固体废物暂存超过68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 α 、 β 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。

③实验动物尸体废物

依照上述动物实验方案可知,每年最多共需2000只动物,保守平均每只动物体重按照300g计算,年产生的动物尸体及组织约为600kg。实验结束后,动物均被处死,尸体装入密封袋,暂存于动物废物间内配置的冰柜中,暂存30d/68d(含Lu-177废物)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 α 、 β 表面污染水平分别小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$,将尸体送医院动物室按照普通动物尸体处理。

(4) 动物尸体储存说明:本项目使用的动物为老鼠,每年使用量较少(不大于2000只),不进行动物的饲养,统一由医院动物房购买。每只小老鼠注射量不大于18.5MBq,实验动物的数量和每只实验动物的药物用量均小

于人的 PET 检测，对动物进行放射性药物注射也在动物显像室内进行。每天实验老鼠不超过 10 只，实验完处死后的小鼠标明核素种类、时间，冷冻存放 1 天后，每只残留的放射性活度约为 2kBq。每季度实验小鼠不大于 500 只，冷冻 500 只小鼠，体积不超过 50 立方分米，一般冰柜均可满足要求。考虑到核素物理衰变，500 只小鼠废物总的放射性活度约等于最后一天小鼠的放射性活度，能满足解控要求。

11.3 本项目异常事件分析与防范措施

11.3.1 核医学科诊疗和科研在运行过程中可能发生以下异常事件

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

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

(3) 错误给药。包括放射性活度不正确，导致给药剂量错误；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。

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

有效防范放射性药物丢失恶化被盗。

(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Lu-177核素的放射性固体废物暂存超过68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。

11.4 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表11-7。

表11-7 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 5mSv/a；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	在核医学场所出入口、高活室、扫描机房、病人等候室门、同位素实验室出入口、标记室等场所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；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窃报警装置，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：核医学科至少配备 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 15 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委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。辐射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. 建立射线装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的射线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应配备至 25 人，需要新增 9 人（拟新增 6 名技师、2 名护士和 1 名化学师），将参加辐射安全与防护考核合格后方可上岗。单位将定期组织辐射工作人员每 5 年一次的重新考核，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

北大人民医院制定了多项辐射安全管理制度，包括《辐射安全防护保卫制度》《设备操作规程》《辐射安全岗位职责》《设备检修维护制度》《辐射应急预案》《人员培训考核计划》《监测方案》等。医院将制定核医学科有关的辐射安全管理制度，加强放射性同位素的管理，确保辐射工作安全受控。

本项目实施后，北大人民医院涉及两个院区核医学科，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

北大人民医院已制订了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，并建立相应的个人剂量监测档案。

全院辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每3个月检测一次。医院严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，医院严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

本项目投入使用后，所涉及新增辐射工作人员将办理个人剂量监测。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

北大人民医院已配置必要的辐射监测仪器，详细清单见表 1-6。本场所拟新配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 PET/CT 室、SPECT/CT 室四周和楼上，注射后等候室周围、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	核医学科门诊	控制区出入口处	1 次/年
5	高活室	南侧缓冲间	1 次/年
6	储源室	西侧诊室	1 次/年
7	PET/CT 室	西侧走廊	1 次/年
8	PET/CT 留观室	北侧污物走廊	1 次/年
9	SPECT/CT 室	北侧污物走廊	1 次/年
10	SPECT/CT 室	东南侧医护走廊	1 次/年
11~13	PET/CT 室	控制室门、患者门、观察窗	1 次/年（其中观察窗 1 次/月）
14~16	SPECT/CT 室	控制室门、患者门、观察窗	1 次/年（其中观察窗 1 次/月）
17~20	动物显像室	控制室门、东侧门、观察窗、北墙外污物走廊	1 次/月
21~22	标记实验室	东侧洁净走廊、南侧室外下沉庭院	1 次/月
23	动物废物间	北侧污物通道	1 次/年
24~29	废水处理间	四面墙外及楼上、楼下	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 ²)
1~4	核医学科高活室	手套箱台面、高活室地面、注射窗	
5~7	PET/CT 注射后候诊室	等候室地面、候诊椅、卫生间	
8~9	PET/CT 室	病人床、地面	
10~12	PET/CT 留观室	地面、候诊椅、卫生间	
13~15	SPECT/CT 注射后候诊室	等候室地面、候诊椅、卫生间	
16~17	SPECT/CT 室	病人床、地面	
18~19	SPECT/CT 留观室	地面、候诊椅	
20~21	标记实验室	台面、地面	
22~23	质控室	台面、地面	
24~26	动物显像室	台面、地面、扫描床	
27~28	动物实验室	台面、地面	
29~	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

北大人民医院制定了《北京大学人民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。

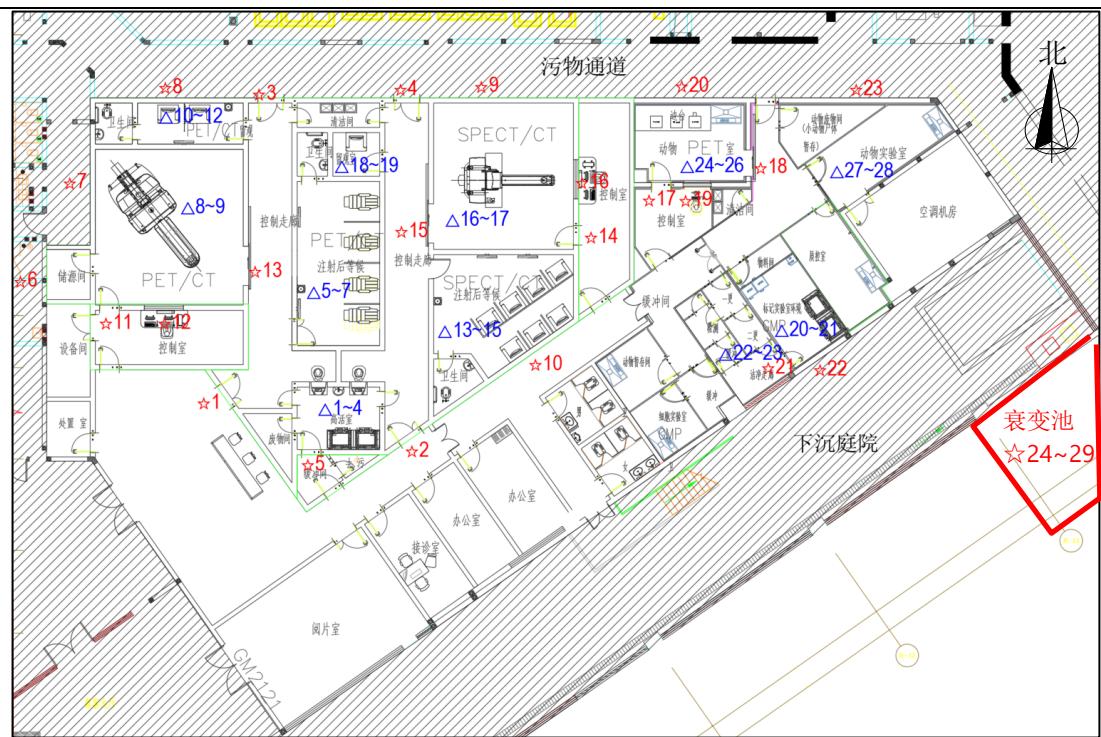


图 12-1 核医学科场所自行检测点位图

(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

北京大学人民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[B0062]），其种类和范围为：使用III类、V类放射源，使用II类、III类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

为深入落实京津冀医疗卫生协同发展要求，进一步疏解北京市中心城区医疗资源，并满足北京城市副中心建设需要，北大人民医院在通州区南凤西路 39 号建设北大人民医院通州院区。北大人民医院拟在通州院区医疗主楼地下一层新建核医学科（包括门诊诊疗场所和放射性同位素实验室科研场所），拟配套使用 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT 和 1 台动物 PET/SPECT-CT 设备，使用 F-18、Ga-68、Tc-99m 和 I-123 核素开展核医学显像诊断；使用 F-18、Ga-68 和 Lu-177 核素开展科研研究和动物显像诊断，同时使用 F-18 和 Ga-68 开展临床试验研究。

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。本项目建成后，可以形成比较完善的核医学诊疗，不仅可以满足患者日益增长的就诊需求，同时也为医院核医学技术的深入研究和提高提供了支持，有利于核医学科在临床应用方面积累更丰富的经验，促进核医学技术的发展，从而进一步提高医疗水平，可以产生一定的社会效益和经济效益。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

通州院区核医学科位于医疗主楼地下一层东北侧，核医学科控制区周围 50m 范围内建筑物都在医院内部，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、视频监控系统和防盗窃报警装置，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（5mSv、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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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

(4) 放射性“三废”排放。预计核医学科相关工作场所运行后，放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求；工作场所运行每年产生放射性固体废物约 297kg（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。

(5) 辐射安全防护管理：医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责

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

13.1.6 结论

综上所述，北京大学人民医院通州院区新建核医学科项目，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，北京大学人民医院承诺：

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

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

公章

经办人年月日

审批意见:

公章

经办人年月日