

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源	20
表 3 非密封放射性物质.....	21
表 4 射线装置	22
表 5 废弃物（放射性废弃物）	23
表 6 评价依据	24
表 7 保护目标与评价标准.....	27
表 8 环境质量和辐射现状.....	37
表 9 项目工程分析与源项.....	40
表 10 辐射安全与防护.....	53
表 11 环境影响分析.....	82
表 12 辐射安全管理.....	105
表 13 结论与建议.....	110
表 14 审 批	113

表 1 项目基本情况

建设项目名称		西直门院区核医学科 PET 中心及同位素实验室项目			
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		北京市西城区西直门南大街 11 号西直门院区西配楼一层南侧			
立项审批部门		无		批准文号	无
建设项目总投资（万元）		2000	项目环保投资（万元）	200	投资比例（环保投资/总投资） 10%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ） 640
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☐ II类 ☒ 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	2	使用
3	牙科 X 射线机	Ⅲ	4	使用
4	医用电子直线加速器	Ⅱ	2	使用
5	SPECT/CT	Ⅲ	1	使用
6	移动式 C 型臂	Ⅲ	9	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	9	使用
9	加强体外冲击碎石机	Ⅲ	2	使用
10	PET/CT	Ⅲ	2	使用
11	移动式 X 射线机	Ⅲ	13	使用
12	骨密度仪	Ⅲ	1	使用
13	放射诊断用普通 X 射线机	Ⅲ	13	使用
合计		/	66	/

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)
西直门院区核医学科	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
		I-131	6.68E+7	1.67E+11
西直门院区核医学科 PET/CT 室	乙	F-18	7.4E+7	1.48E+12
西直门院区核医学科放免室	丙	I-125	4.44E+6	1.11E+10
西直门院区手术室	乙	I-125 粒子	1.85E+7	5.55E+10
通州院区核医学科	乙	F-18	8.88E+6	1.78E+12

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+7Bq×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辐射类环评报告表项目落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目竣工验收落实情况

序号	环评批复文号	项目名称	类别	竣工验收文号	备注
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	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
3	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
4	京环审[2023]44 号	通州院区新建核医学科	/	/	2024 年 8 月 5 日 PET 部分完成自主验收
5	京环审[2023]54 号	新增使用 1 台医用电子直线加速器	II	/	2024 年 8 月 5 日完成自主验收
6	京环审[2024]16 号	通州院区新建放射治疗中心项目	II	/	正在建设中

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

院长王建六、副院长洪楠、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	副院长	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 制定规章制度及落实情况

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 工作人员考核情况

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 235 人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。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：医院每年委托有检测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	检定有效期至	使用场所	数量
1	活度计	CRC-25R	DD23Z-DA100034	2025 年 5 月 24 日	西直门院区核医学科	1
2	活度计	CRC-15R	DD23Z-DA100032	2025 年 5 月 24 日	西直门院区核医学科	1
3	辐射监测仪	JB4000	DD24J-CA100098	2025 年 2 月 20 日	西直门院区核医学科	1
4	α 、 β 表面污染监测仪	Inspector+	DD24J-DB100015	2025 年 2 月 20 日	西直门院区核医学科	1
5	α 、 β 表面污染监测仪	Inspector+	DD24J-DB100016	2025 年 2 月 20 日	西直门院区核医学科	1
6	α 、 β 表面污染监测仪	JB4100	DD24J-DB100014	2025 年 2 月 20 日	西直门院区核医学科	1
7	电离室巡检仪	451P	DD24J-CA100099	2025 年 2 月 20 日	放疗科	1
8	剂量仪	2570/1B	DLjs2024-00097	2025 年 1 月 15 日	放疗科	1
9	巡检仪	FLUKE 451P	DLjl2024-01144	2025 年 2 月 1 日	放疗科	1
10	个人剂量报警仪	FJ2000	A40057/A40066	2024 年 12 月 20 日	放疗科	2
11	辐射巡测仪	ZX3100G-P	HABB105652	2024 年 11 月 20 日	通州院区核医学科	1
12	α 、 β 表面污染监测	ZX170	HABB106773	2024 年 11 月 22 日	通州院区核医学科	1

	仪					
--	---	--	--	--	--	--

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

本项目运行后，将增加 1 台便携式 X、 γ 剂量率仪，并调配核医学科现有的 2 台表面污染仪用于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，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。2023 年度北大人民医院在急诊楼急诊一层介入导管室开展了介入辐射安全事故应急演练，此次演练的目的是评估应急预案的实施效果，查找应急处置中存在的薄弱环节和不足，及时进行纠正和完善。同时，演练还可以提高操作人员的应急处置能力和协作水平，增强应对突发事件的能力和信心。应对演练过程进行全面评估和总结，分析演练中发现的问题和不足，制定改进措施，提高应急处置的能力和效能。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，北大人民医院核医学科实际使用 F-18、Tc-99m、I-131 诊疗核素。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。含 A 类 Tc-99m 和 F-18 的放射性废物暂存 30 天后，含 I-131 等 B 类的放射性废物暂存 180 天后，使用经检定

合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm² 和 0.8Bq/cm²，将废物解控作为医疗废物处置，并详细记录在《放射性固体废物暂存、处置管理台账》。

西直门院区核医学科现有衰变池为推流式衰变池，总体积为 20m³，设有 4 级池，每级 5m³。每年至少委托有资质单位检测一次，2023 年度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 1.5mBq/L，F-18 探测下限为 7.2mBq/L，I-131 探测下限为 2.3mBq/L）；总 α 检测结果 0.11Bq/L（远低于 1Bq/L 的排放限值），总 β 为 0.29Bq/L（远低于 10Bq/L 的排放限值）。

目前通州院区 PET 区域刚许可运行，仅使用 F-18 药物进行 PET 诊断，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），目前通州院区核医学科 PET 区域衰变池废水存放 30 天后解控排放。

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 2023 年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 建设项目背景

北京大学人民医院西直门院区核医学科位于门诊楼南侧 1 层（单光子显像区）及 B1 层（PET/CT 室），现配置 1 台 PET/CT，1 台 SPECT/CT，1 台 SPECT，1 台双光能 X 线骨密度仪，2023 年检查例数接近 2 万人次。由于医院快速发展，各学科对核素显像需求不断增长，目前核医学科的 PET/CT 设备老化，检查量跟不上临床需求，预约检查时间延长，目前需疏散至通州院区完成 PET/CT 检查，给患者带来不便。核医学科现有 PET/CT 场地不符合现行标准要求，且因位于地下一层涉及承重、患者通道等问题无法合理改建，故根据医院规划，核医学科计划将 PET/CT 相关功能区从门诊楼 B1 层移至西配楼南侧。搬迁后可更新 PET/CT 设备，为临床和患者提供更快捷、优质的服

务，解决实际医疗问题，提升患者满意度。同时将 PET/CT 从门诊楼移至西配楼也符合将核医学科安置于人员相对疏散区域的要求。

1.3.2 核医学科 PET 中心及同位素实验室

近年来，多数新建或改建的核医学科场所设计，将高活室、注射室设在入口一侧，然后按照患者流向分设给药等候室、检查室、留观室和出口。这样布局优点是，患者进入核医学科控制区后就注射药物，然后沿着患者流动方向，顺序完成候诊和扫描检查工作，最后从另一侧的出口离开，有效减少了患者不必要的折返移动，降低了患者之间不必要的互相照射。由此本项目 PET 中心入口设在 PET 中心南侧，患者出口设在东北侧。

北大人民医院目前西直门院区和通州院区设有核医学科，西直门院区核医学科设有 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT 和 1 台 SPECT。拟将现有核医学科 PET/CT 报废。拟在西配楼一层南侧锅炉房区域建设 PET 中心和同位素实验室，在 PET 中心新增 1 台 PET/CT，使用 F-18、Ga-68 核素开展核医学显像诊断，本次拟配的 PET/CT 无需使用刻度源校准，可使用非密封核素 F-18 进行设备校准。放射性同位素实验室标记室内的手套箱（热室）使用 1 套最大活度规格为 $1.85\text{E}+9\text{Bq}$ 的 Ge-68（Ga-68）发生器（每年最多使用 2 套），并使用 F-18、Ga-68 核素开展科研研究，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》四类证后才能开展实验。

《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）明确：对于放射性药品生产、使用场所，如果有相对独立、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，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算。本项目核医学科涉及的两个区域：PET 中心和放射性同位素实验室科研场所，虽然紧邻，但场所相对独立，且有明确的监督区和控制区划分，为方便核素运输及管理，本项目按照 2 个辐射工作场所核定等级。

1.3.3 本项目建设内容及核素使用量

（1）本项目 PET 中心场所将开展 PET/CT 核医学检查，使用情况预计如下：

本项目使用长轴 PET/CT，F-18 注射量不大于 $185\text{MBq}/\text{人}$ ，每日最多检查

55人次，每年最多工作250天，年用量每人按平均用量148MBq/人进行核算；Ga-68约185MBq/人，每日最多检查5人次，每年最多工作50天。F-18与Ga-68均使用PET显像，每个检查日PET检查不超过60人次。

(2) 放射性同位素实验室拟使用1套最大活度规格为 $1.85\text{E}+9\text{Bq}$ 的Ge-68 (Ga-68) 发生器（每年最多使用2套），每天最多淋洗两次，Ge-68 (Ga-68) 发生器年最大用量为 $3.70\text{E}+9\text{Bq}$ ，使用F-18、Ga-68核素科研实验，主要用于放射性标记药物制备、质控和动物实验等。F-18每天最多使用555MBq，Ga-68每天最多使用555MBq。

(3) 本项目运行后，西直门院区核医学科现有的1台PET/CT报废（配套的一枚V类Ge-68校准源将不再使用，设备报废后、放射源按要求处置，场所办理退役相关手续）。

PET中心新增1台PET/CT机。本项目涉及的III类射线装置方案设计时已考虑III类射线装置的防护和机房面积等要求。根据相关环保法律法规要求，III类射线装置对环境影响很小，本项目也进行简要的分析。

PET中心和同位素实验室各种核素和射线装置计划使用情况如表1-7所示。

表 1-7 PET 中心和同位素实验室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	PET/CT	1	联影公司 Panorama GS	140kV/833mA	III类	西直门院区核医学科PET中心PET/CT室
二 PET 中心诊疗拟使用的核素情况						
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
F-18	$1.85\text{E}+8$	55	250	$1.02\text{E}+10$	$2.04\text{E}+12$	PET 诊断
Ga-68	$1.85\text{E}+8$	5	50	$9.25\text{E}+8$	$4.63\text{E}+10$	PET 诊断
注：F-18 年用量是按平均用量 148MBq/人进行核算。						
三 放射性同位素实验室拟使用的核素情况						
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	备注	

F-18	5.55E+8	100	5.55E+10	科研	标记合成后用于动物实验
Ga-68	3.7E+9	50	9.25E+11	热室淋洗	淋洗（已含诊断日用量 9.25E+8 和动物实验日用量 5.55E+8）
	5.55E+8	50	2.78E+10	科研	动物实验
Ge-68（Ga-68）	1.85E+9	/	3.70E+9*	制备	使用 2 套发生器/年

备注：①每年最多使用 2 套 Ge-68（Ga-68）发生器。②锗镓发生器每天最多淋洗两次，每次淋洗 1.85E+9BqGa-68，每日最大淋洗 2 次，每日最大操作量 3.7E+9Bq。

1.3.4 药物来源

（1）PET 中心诊断药物 F-18 直接由厂家送至 PET 高活室，在高活室的摄像头监控下，由 PET 中心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 药物由同位素实验室的 Ge-68（Ga-68）发生器制备后送往 PET 中心高活室使用。

（2）同位素实验室的使用的 F-18 核素由厂家送至 PET 高活室，经传递窗送至标记室，暂存于标记室热室内。

1.3.5 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 相关活动视为“很简单的操作”，利用钼铈发生器淋洗 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）本项目的放射性同位素实验室，因动物实验涉及动物处死等操作，相对复杂，故将全部同位素实验的操作活动视为“简单操作”。

（2）毒性组别修正因子和状态与操作方式修正因子根据 GB18871-2002 和 HJ1188-2021 相关规定给出。

（3）锗镓发生器

核素物理状态：Ge-68（Ga-68）发生器是由母体核“Ge-68（ $T_{1/2}$ ：为 288d）和子体核“Ga-68（ $T_{1/2}$ ：为 68 min）组成。使用盐酸淋洗产生 Ga-68，洗脱液随后进行标记、分装等操作制成可供临床使用的制剂，Ga-68 生产过程中均以液

态形式存在。

操作方式：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”。

淋洗 $1.85\text{E}+9\text{Bq}$ 规格的锗镓发生器时，保守按照 100%的淋洗效率计算日等效最大操作值，每天最多淋洗 2 次，Ga-68 按照 $3.7\text{E}+9\text{Bq}$ 进行简单操作核算。

核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-8 所示，PET 中心和同位素实验室均小于非密封放射性物质工作场所乙级的上限，均属于乙级非密封工作场所。

表 1-8 PET 中心和同位素实验室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
PET 中心	F-18	$1.02\text{E}+10$	0.01	很简单操作（液体，10）	$1.02\text{E}+7$	乙级 （日等效最大操作量为 $2.15\text{E}+7\text{Bq}$ ，保守假设全部在一天内使用）
		$2.04\text{E}+10$	0.01	贮存（液体，100）	$2.04\text{E}+6$	
	Ga-68	$9.25\text{E}+8$	0.01	简单操作（液体，1）	$9.25\text{E}+6$	
同位素实验室	F-18	$5.55\text{E}+8$	0.01	简单操作（液体，1）	$5.55\text{E}+6$	乙级 （日等效最大操作量为 $4.23\text{E}+7\text{Bq}$ ，保守假设全部在一天内使用）
	Ga-68	$3.7\text{E}+9$	0.01	简单操作（液体，1）	$3.7\text{E}+7$	
		$5.55\text{E}+8$	0.01	简单操作（液体，1）	$5.55\text{E}+6$（含在淋洗量中，不再叠加场所日等效中）	

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。

1.3.6建设规划

（1）整体部署：PET 中心及同位素实验室建设完成并获得相关使用许可证（辐射安全许可证、放射诊疗许可证）并办理相关验收手续后，投入使用。

（2）设备配置：对于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》四类证后才能开展实验。

（3）待本项目 PET 中心启用时停用西直门院区核医学科 PET 区域，并办理退役相关手续。

（4）辐射工作人员配备

根据《放射诊疗管理规定》、2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》和《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）等要求，北大人民医院制定了 PET 中心和同位素实验室的辐射工作人员配置计划，详见表 1-9 所示。

表 1-9 工作人员要求及配置计划表

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 8 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 2 名	本项目
2	同位素实验室	/	化学师 2 名	
3	2台SPECT	/	医师 3 名、技师 4 名、护士 2 名、物理师 1 名	西直门院区核医学科

目前北大人民医院设有西直门院区核医学科和通州院区核医学科，通州院区核医学科由西直门院区核医学科统一管理。目前两个院区共 22 名辐射工作人员，其中通州院区核医学科 6 名，西直门院区核医学科 16 名。

西直门院区核医学科 PET 相关人员 6 人（技师 2 名，护士 1 名，医师 2 人，物理师 1 名），SPECT 相关人员 10 人（医师 3 名，技师 4 名，护士 2 名，物理师 1 名，能够满足 2 台 SPECT 的工作需求）。针对现有核医学科，只增加了同位素实验室，PET 中心及同位素实验室建成后，现有核医学科 PET 相关 6 名人员进入 PET 中心工作，并新增 9 名工作人员（6 名医师，2 名化学师，1 名护士），涉及的 15 名辐射工作人员（含新增 9 人）能够满足 PET 中心及同位素实验室同时运行人员的要求。

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。PET 中心及同位素实验室人员分工如下：

1）2 名放射技师负责 PET/CT 设备操作、受检者摆位、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）2 名化学师负责药物的标记、合成等科研试验。

4) 8 名医师负责 PET 检查对象的筛选和确认, PET 诊断报告编写等。

5) 2 名护士负责药物交接、分装和注射等。

(5) 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后 PET 中心及同位素实验室拟调配 2 台表面污染仪, 新增 1 台便携式辐射巡测仪, 能够满足本项目常规的监测需求。

1.3.7 任务由来

本项目为医院建设 PET 中心和同位素实验室, 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 PET 中心诊疗和同位素实验室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。

1.3.8 项目建设正当性

正电子发射扫描技术 (PET) 在肿瘤、心脏和脑部疾病的诊断和疗效评估中具有独特的优势, 常用于多数肿瘤的诊断、分期和治疗评估并进行精确定位, 特别适合确定肿瘤有无转移和复发。PET 是把标记有正电子核素 (如 F-18) 的试剂注射到人体内, 然后利用体外探测仪器 (PET) 探测这些正电子核素在人体全身脏器的分布情况, 再结合 CT 的扫描图像, 进行影像融合, 可以观察病灶的病理生理变化及形态结构, 从而显著提高疾病诊断的准确性以及治疗方案的合理性。

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 等标记放射性药物，开展影像诊断，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。同时为了打破新技术和新探针无法研究应用，实现学科乃至整个医院全局的发展，拟在 PET 中心诊疗区域南侧建设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。

1.3.9 项目选址与周围环境

北大人民医院西直门院区位于北京市西城区西直门南大街 11 号，西直门院区东临西二环，南侧为车公庄大街 1 号院，西邻南北礼士路，北临西直门外南路。

本项目位于西直门院区西配楼一层南侧，东、南、西侧为楼外走道，北侧为更衣室、强弱电间、备用间等。楼上为净化机组、更衣间、示教室、配电间、服务器机房和医生办公室、处置室和走廊等，楼下为废水间、库房、配电间、生活水箱间和走廊等。

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。

1.3.10 本项目辐射场所的布局

拟建设核医学科 PET 中心和同位素实验室位于西直门院区西配楼一层南侧，为一个独立的辐射工作场所。PET 中心位于北侧，同位素实验室位于南侧，平面布局关系图见图 1-2。PET 中心患者入口位于南侧，设有患者候诊室，患者出口位于东北角，直接通往楼外。PET 中心患者出入口拟设置单向门禁系统。沿着注射后患者走廊设置注射区、注射后候诊室、PET/CT 室、留观室等。

同位素实验室的标记室设在 PET 中心高活室南侧，动物实验室和质控室位于标记室南侧，一更、二更位于西侧。

PET 中心和同位素实验室工作人员办公室、示教室位于二层，通过候诊区南侧的电梯或南侧楼外楼梯上至二层。

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，新增辐射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。

1.4 核医学科情况

(1) 核技术使用情况

目前核医学科设有 1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT 和 1 台 SPECT。本项目运行后，将报废现有核医学科的 1 台 PET/CT（配套的一枚 V 类 Ge-68 校准源将不再使用），保留 1 台 SPECT/CT 和 1 台 SPECT，继续使用 Tc-99m、I-123 和 I-131 等核素开展 SPECT 显像，使用 I-131、P-32、Sr-89 和 Ra-223 核素开展门诊治疗。PET 中心和同位素实验室建成后，核医学科核素使用情况见表 1-10。

表 1-10 核医学科使用核技术情况

一 使用的射线装置情况						
序号	设备名称	台数	厂家及型号		类别	使用场所
1	SPECT/CT	1	飞利浦公司 Precedence 型		III 类	ECT检查室1
2	SPECT	1	GE公司 Optima NM640型		/	ECT检查室2
二 使用的核素情况						
核素种类	最大等效日操作量（Bq）	最大等效年操作量（Bq）	物理状态	用途	使用场所	场所等级
Tc-99m	3.7E+8	9.25E+12	液态	SPECT 诊断	核医学科	乙级
I-131	6.68E+7	1.67E+11	液态	SPECT 诊断、治疗		
Sm-153	1.48E+7	3.7E+10	液态	治疗		
ln-111	1.48E+6	3.7E+9	液态	SPECT 诊断		
H-3	2.22E+4	5.55E+8	液态	实验		

Tl-201	7.4E+6	1.85E+11	液态	SPECT 诊断		
Sr-89	2.96E+7	7.4E+10	液态	治疗		
P-32	1.85E+7	4.6E+10	液态	治疗		
I-123	1.48E+6	3.7E+10	液态	SPECT 诊断		
Ga-67	1.48E+7	3.7E+10	液态	SPECT 诊断		

（2）辐射工作人员

目前西直门院区核医学科共 16 名辐射工作人员，其中 SPECT 相关 10 名辐射工作人员，PET 相关 6 名辐射工作人员。PET 中心和同位素实验室建成后，核医学科 10 名辐射工作人员能够满足核医学科两台 SPECT 的正常运行需求。

（3）检测仪器

西直门院区核医学科现已配有 1 台 JB4000 型辐射检测仪，2 台 Inspector+ 型 α 、 β 表面污染监测仪，1 台 JB4100 型 α 、 β 表面污染监测仪。PET 中心和同位素实验室运行后，将调配 2 台 Inspector+ 型 α 、 β 表面污染监测仪用于场所检测，核医学科将继续使用 1 台 JB4000 型辐射检测仪和 1 台 JB4100 型 α 、 β 表面污染监测仪用于场所检测，设备运行正常，按规定已进行年检，能够满足场所使用需求。



图 1-1 本项目位置及周围环境

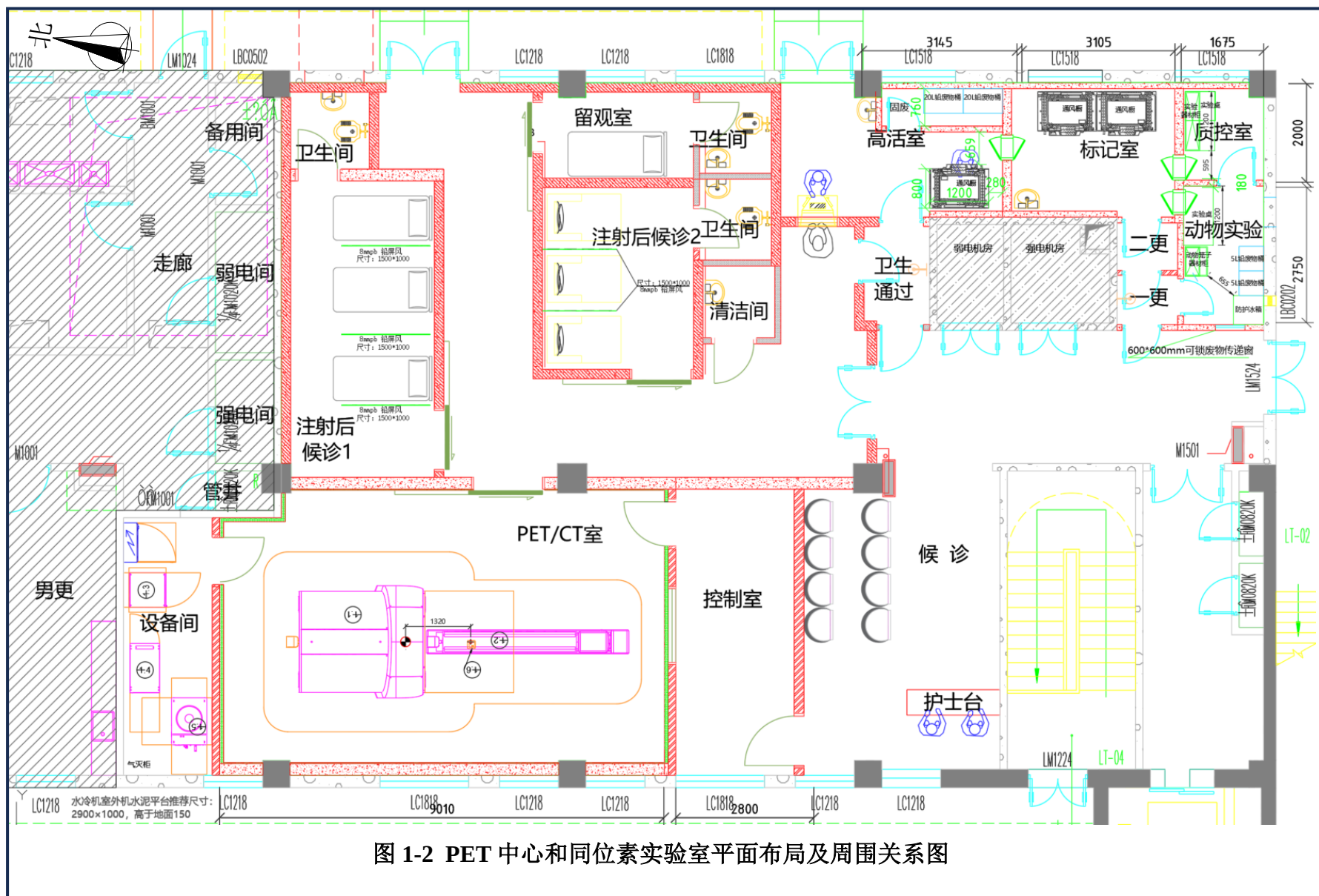


图 1-2 PET 中心和同位素实验室平面布局及周围关系图

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
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	1.02E+10	1.02E+7	2.04E+12	诊断	很简单操作	PET中心	PET中心高活室
2	Ga-68	液体	使用	9.25E+8	9.25E+6	4.63E+10	诊断	简单操作		
3	F-18	液体	使用	5.55E+8	5.55E+6	5.55E+10	科研	简单操作	同位素实验室	标记室
4	Ga-68	液体	使用	3.70E+9	3.70E+7	9.25E+11	淋洗（含科研、诊断）	简单操作		
5	Ge-68(Ga-68)	/	使用	1.85E+9	/	3.70E+9	制备、贮存	贮存		

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）和生态环境行业标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。原环保部《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）。

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
1	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	Panorama GS	140	833	医疗诊断	西直门院区核医学科 PET中心PET/CT室	新增

(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（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
PET中心洗涤废水、病人排泄物等，同位素实验室废水	液态	F-18、Ga-68	/	9.17m ³	约 110.05m ³	按表7.3值控制	27m ³ 衰变池暂存	依照HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，设槽式衰变池（罐），放射性废水暂存至少30天后，直接解控排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
放射性固废（手套、纱布等其他固态物质、一次性注射器）	固态	F-18、Ga-68	/	/	约300kg	<10 ⁴ Bq/kg	废物间内储存。	分类收集，A类暂存30d，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、Ga-68	/	/	<3.7×10 ⁸ Bq	/	净化过滤后稀释排放	废气经手套箱或热室自带的高效过滤器（过滤效率≥99.97%）处理后，引至建筑楼顶排放，在出风口处设置活性炭过滤装置（过滤效率≥90%）。
气体过滤装置废滤材	固态	F-18、Ga-68	/	/	16kg（每年更换一次）	<10 ⁴ Bq/kg	废物间内储存	暂存至少30d，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。
动物废物（含排泄物的垫料等）	固态	F-18、Ga-68	/	/	约60kg	<10 ⁴ Bq/kg	废物间内暂存	暂存30d，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。
动物尸体	固态	F-18、Ga-68	/	/	2500只	<10 ⁴ Bq/kg	动物实验室冰柜内	分类收集，动物尸体装入密封袋，暂存于动物实验室冰柜内，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，清洁解控返回医院动物房作为医疗废物交由有资质的单位处置。

表6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起实施。 (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日日修订并实施。 (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起实施。 (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。 (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。 (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。 (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。 (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。 (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。 (10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，原环境保护部、原国家卫生计生委公告第 66 号，2017 年 12 月 5 日。 (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。 (12) 《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。 (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 日。
------	---

	(14) 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告〔十五届〕第 61 号，2021 年 9 月 24 日。 (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。 (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。 (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。 (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。 (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。 (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。 (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。 (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。 (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。
技术标准	(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； (2) 《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)； (5) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)； (6) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)； (7) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (8) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)；

	(9) 《北京市水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013); (10) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020); (11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019); (12) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021); (13) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021); (14) 《表面污染测定 第一部分 β 发射体 ($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008); (15) 《正电子发射断层成像 (PET) 设备质量控制检测标准》(WS817-2023); (16) 《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》(试行版); (17) 《职业性内照射个人监测规范》(GBZ129-2016)。
其他	(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。 (2) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006 (3) Radionuclide and Radiation Protection Data handbook 2002, Vol.98 No 1, 2002。 (4) Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd (5) 国际放射防护委员会第 94 号出版物:非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑,北京大学医学出版社,2007 年 7 月。 (6) 辐射安全手册,科学出版社,2011 年。 (7) 北大人民医院提供的与本项目相关的申请和技术资料,2024.8。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为在西直门院区西配楼一层南侧建设 PET 中心和同位素实验室，为 2 处非密封放射性物质工作场所，包含新增 1 台 PET/CT（现有核医学科 PET/CT 报废）。

7.1.2 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，确定本项目辐射环境影响评价范围为：PET 中心及同位素实验室控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示，本项目相关场所控制区周围 50m 范围内西直门院区外主要敏感目标包括西侧 36m 处北礼士路 75 号院 77 号楼和西南侧 26m 处平房区，西直门院区内的敏感目标主要为住院部南楼、制剂楼、放疗科楼、肝病研究所、感染门诊和污水处理站。

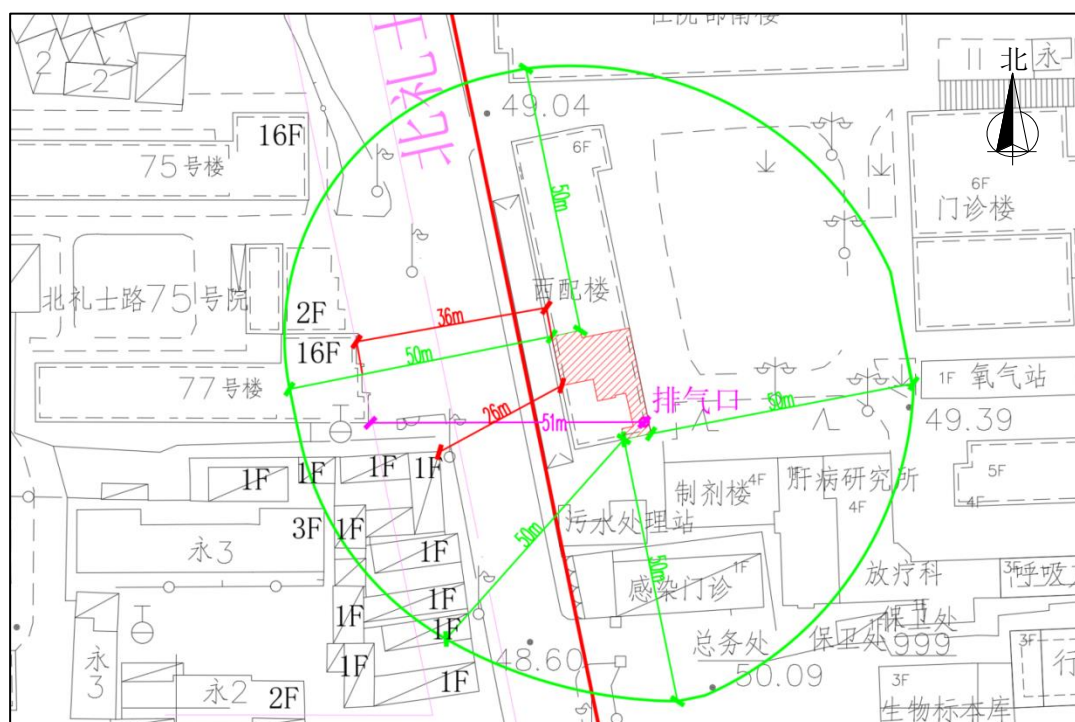


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

(1) PET 中心及同位素实验室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

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

7.2 保护目标

本项目位于西配楼一层南侧（一楼层高为 5m），东、南、西侧为楼外走道，北侧为更衣室、强弱电间、备用间等。楼上为净化机组、更衣间、示教室、配电间、服务器间和医生办公室、处置室和走廊等，楼下为废水间、库房、配电间、生活水箱间和走廊等。本项目运行后，本项目毗邻场所没有设置妇产科、儿科诊室等敏感场所。上述场所的具体位置见图 7-2~图 7-5，都充分考虑周围场所的安全。PET 中心和同位素实验室不邻接产科、儿科、食堂等部门，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，满足 HJ1188-2021 和 GBZ120—2020 的选址要求。场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7-1 所示。

本项目将采取有效的辐射防护与安全管理措施，确保 PET 中心和同位素实验室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 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
PET 中心和同位素实验室	PET 中心和同位素实验室工作人员	紧邻	8	/	控制室、高活室、标记室、动物实验室等
	公众	0~50	流动人员	东侧	室外通道、绿化区
	公众	0~6	流动人员	南侧	楼外通道
	其他部门工作人员	6~18		南侧	制剂楼（拟拆除，目前房间闲置）
	其他部门人员	20~33	20	南侧	感染门诊
	其他部门人员	33~50	流动人员	南侧	停车场
	其他部门工作人员	24~50	50	东南侧	放疗科楼（含肝病研究

	员				所)
	其他部门人员	12~20	2	西南侧	污水处理站
	公众	26~50	100	西南侧	平房区
	公众	36	50	西侧	城管大队
	公众	36~50	200	西侧	北礼士路 75 号院 77 号楼
	其他部门工作人员	0~37	50	北侧	急诊科抢救区、治疗室、检查室、挂号区、更衣室、污洗区，保卫处办公室，强弱电间等
	公众	37~47	流动人员	北侧	楼外通道
	其他部门工作人员、公众	47~50	50	北侧	住院部南楼
	PET 中心和同位素实验室工作人员	紧邻	8	楼上	更衣室、医生办公室、示教室、储物间、配电间、净化机组、服务器机房、走廊等
	其他部门人员	紧邻	流动人员	楼下	库房、风机房、配电室、弱电机房、报警阀间、生活水箱间、废水间、走廊等

本项目 PET 中心给药患者长时间停留或者药物贮存房间（如 PET/CT 或给药后等候室和高活室等）。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 机房以及 PET 给药后候诊区楼上为配电间、服务器机房、更衣室、储物间、示教室和走廊，楼下为废水间、生活水箱间、库房、风机房、配电室、弱电机房和走廊等。PET/CT 室对楼上和楼下的附加剂量率分别为 $3.62\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ 和 $7.21\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ，注射后等候室 1、2 对楼上和楼下的附加剂量率分别为 $1.83\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ 和 $9.65\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，远低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。综合考虑，本项目 PET 中心和同位素实验室选址是可行的。

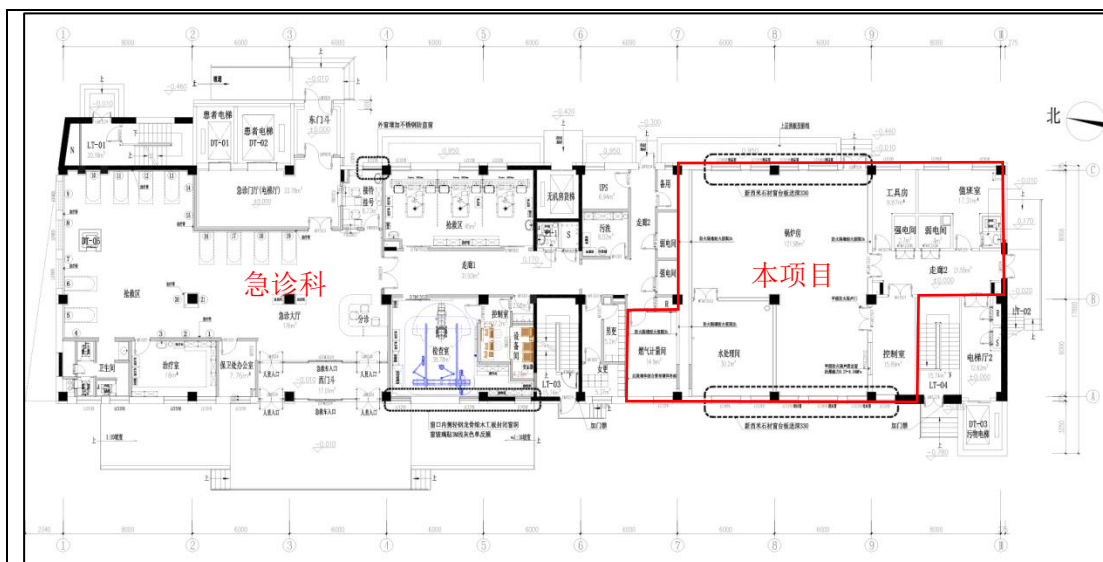


图 7-2 西配楼一层周围关系图（改造前）

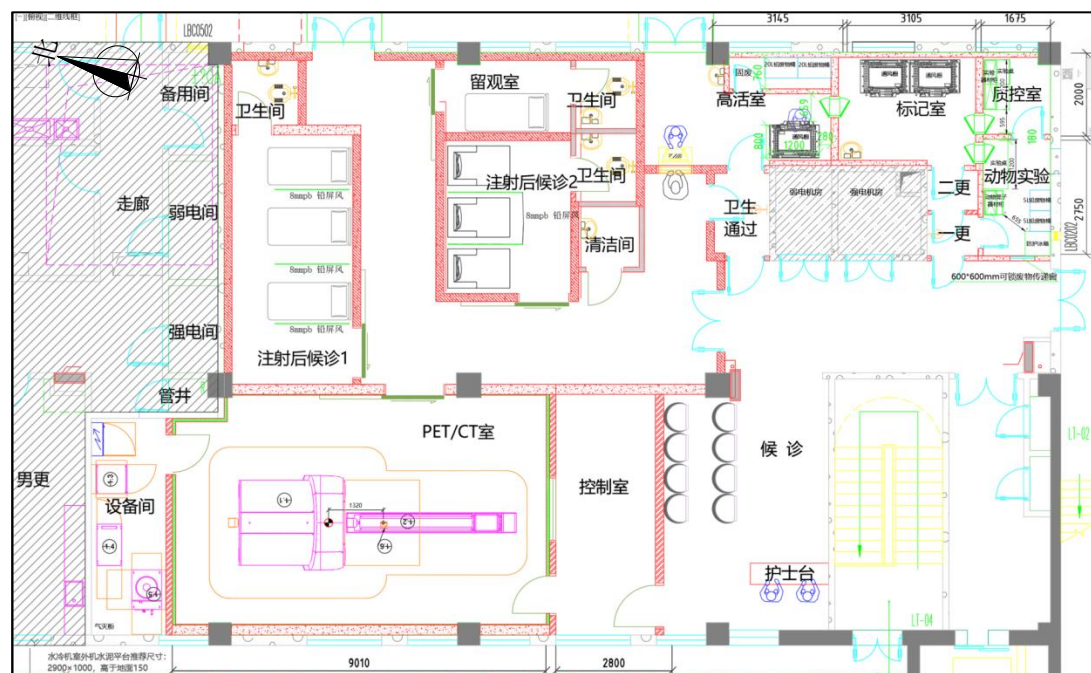


图 7-3 本项目周围关系图（改造后）

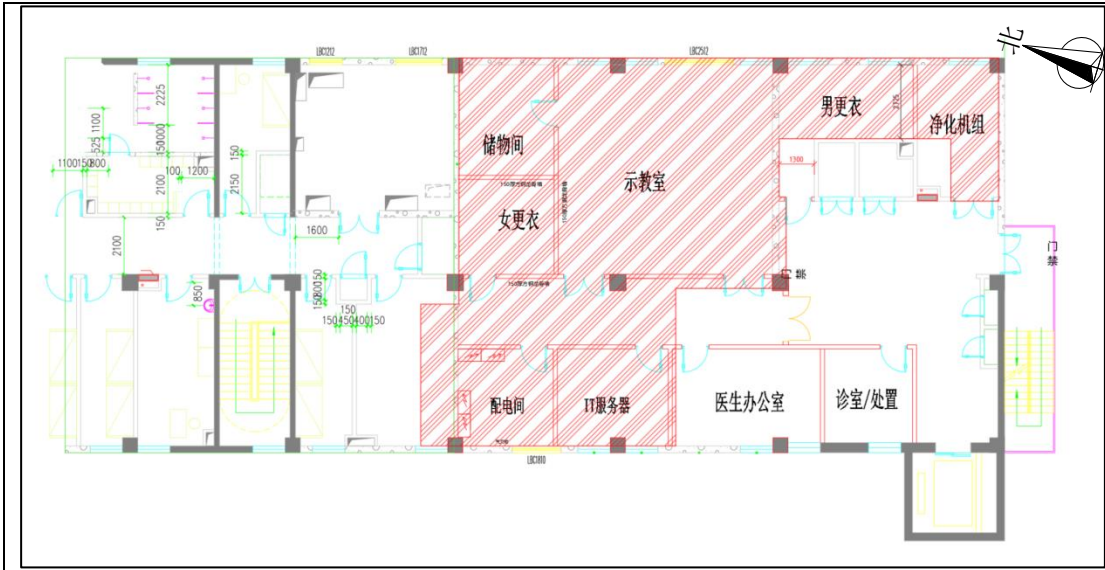


图 7-4 二层周围关系图（PET 中心和同位素实验室楼上）

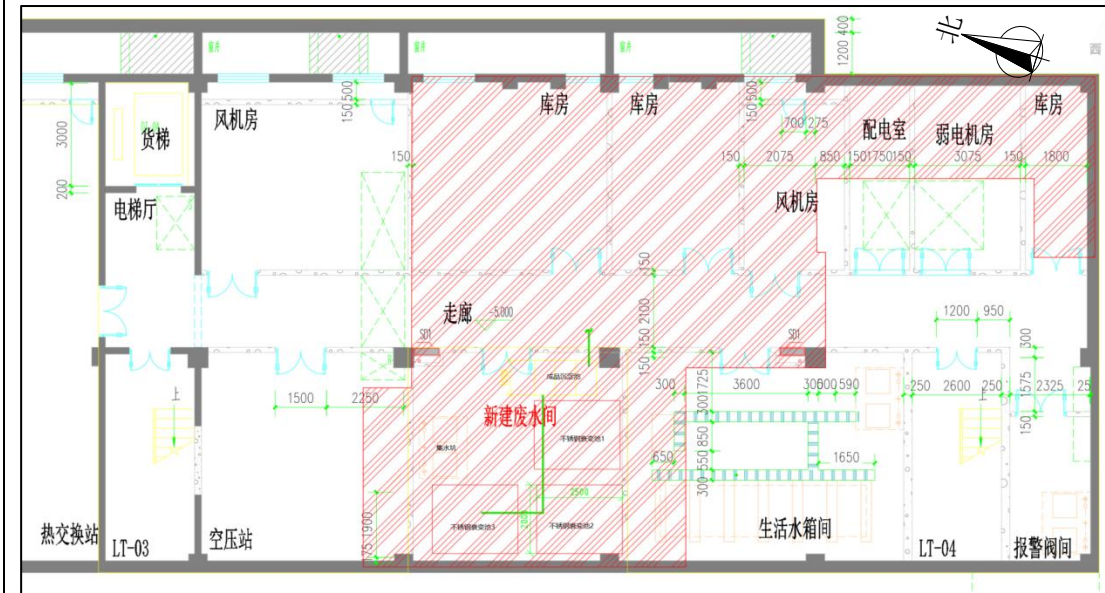


图 7-5 地下一层周围关系图（PET 中心和同位素实验室楼下）

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）规定的剂量限值列于表 7-2。

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	眼晶体的当量剂量 15mSv/a

四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/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，本项目所有 PET 中心和同位素实验室辐射工作人员取 2mSv/a 作为剂量约束值；对公众，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

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 2.5μSv/h。

（2）PET/CT 室外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。

（3）手套箱和热室外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/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 2.5μSv/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)放射性废水的要求执行。

本项目放射性废水按A类的放射性废水管理收集。A类放射性废水注满不少于30天后,直接解控排放。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

本项目的放射性核素主要为A类(半衰期小于24h),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》,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)、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,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	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

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 PET 中心和同位素实验室场所都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（Bq/cm²）

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	4×10
	监督区	1×10^{-1}	4	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}

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。

7.6 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。

本项目相关辐射工作场所设置的排风系统的排风口都位于西配楼东南角，高度约 21.2m，高于周围 50m 范围内建筑物。

本项目 PET 高活室拟配备手套箱，同位素实验室标记室拟配两个热室（手套箱），操作口风速均 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。PET 中心和同位素实验室共配 2 套排风系统，PET 高活室手套箱和标记室的热室设置一套独立的排风系统，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；PET 中心和同位素实验室的标记室的控制区设置一套独立的排风系统，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 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 5.2.2 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 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 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b
a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。 b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			

经核算，PET 中心高活室，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 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 ² ）	机房内最小单边长度（m）
CT 机房（不含头颅移动 CT）	30	4.5

本项目 PET/CT 室有效面积约为 42m²，最小边长 4.8m，满足 GBZ130-2020 中关于 CT 机房的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

委托持有计量认证资质证书的深圳市瑞达检测技术有限公司，于 2024 年 8 月 28 日对北大人民医院西直门院区西配楼一层南侧 PET 中心和同位素实验室区域进行了 γ 辐射空气吸收剂量率本底监测。

8.1.1 监测项目

γ 辐射空气吸收剂量率。

8.1.2 监测对象及点位布设

监测对象：本次监测针对拟建设项目所在区域及周边进行环境辐射现状监测。

监测点位：本次监测对拟建设项目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。

8.1.3 监测仪器及方法

(1) 监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8-1。

(2) 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。

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书、有效日期	主要技术性能指标
X、 γ 剂量率仪	GH-102A /20170404	DLjl2023-01431、 2023-2-9~ 2024-2-8	测量范围： 0.01 μ Gy/h~100 μ Gy/h； 能量范围：30keV~8MeV； 相对响应之差：< $\pm$ 15%。

8.1.4 监测依据

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。

8.1.5 监测结果

γ 剂量率的监测数据见表 8-2，检测点位图见图 8-1。

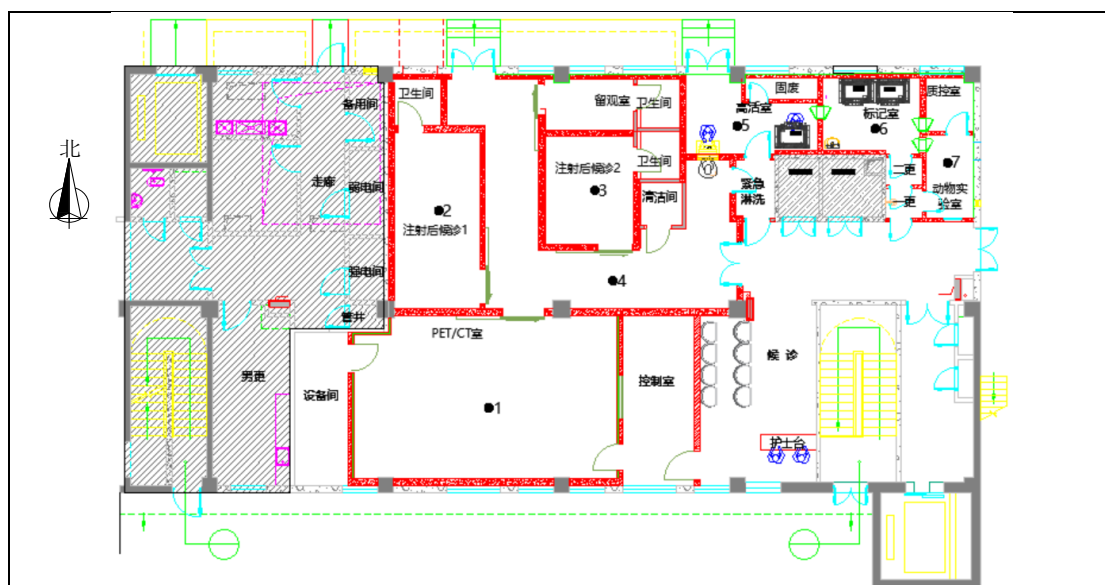
表 8-2 拟建辐射工作场所周围 γ 辐射环境本底水平监测结果

场所名称	点位序号	测 点 描 述	辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
拟建辐射工作场所周围	1	拟建 PET/CT 室中央	0.08 $\pm$ 0.01
	2	拟建注射后候诊 1 中央	0.07 $\pm$ 0.01
	3	拟建注射后候诊 2 中央	0.08 $\pm$ 0.01
	4	拟建患者走廊	0.08 $\pm$ 0.01
	5	拟建高活室中央	0.07 $\pm$ 0.01
	6	拟建标记室中央	0.07 $\pm$ 0.01
	7	拟建动物实验室中央	0.08 $\pm$ 0.01
	8	拟建 PET 中心及同位素实验室楼下	0.08 $\pm$ 0.01
	9	西配楼东侧楼外走道	0.07 $\pm$ 0.01
	10	西配楼北侧楼外走道	0.07 $\pm$ 0.01
	11	西配楼南侧楼外走道	0.08 $\pm$ 0.01
	12	北礼士路 75 号院 77 号楼楼前 4m 马路上	0.08 $\pm$ 0.01

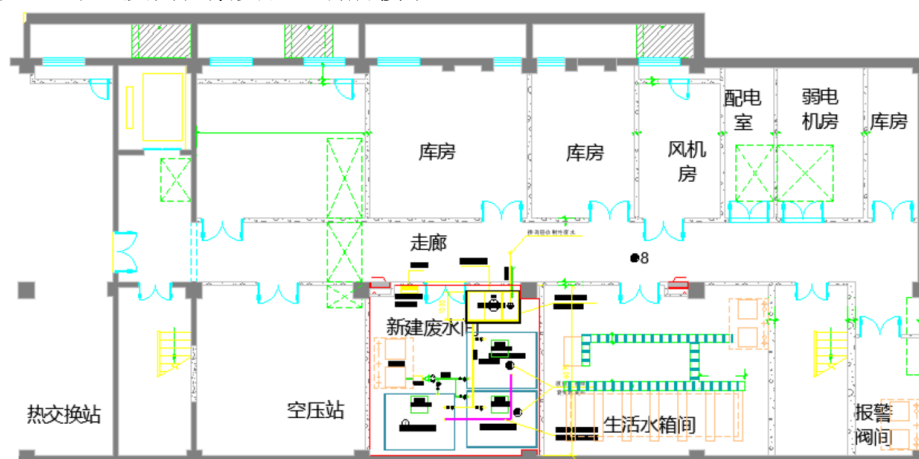
注：检测结果包含仪器在检测点处的宇宙射线响应值 (0.03 $\mu\text{Gy/h}$)。

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 60~123nGy/h (室外，含宇宙射线) 和 69.8~182nGy/h (室内，含宇宙射线)。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 0.07~0.08 $\mu\text{Gy/h}$ ，为北京市的天然本底范围之内，未发现异常高值。

①拟建 PET 中心和同位素实验室场所内



②拟建 PET 中心及同位素实验室场所楼下



③西配楼外侧

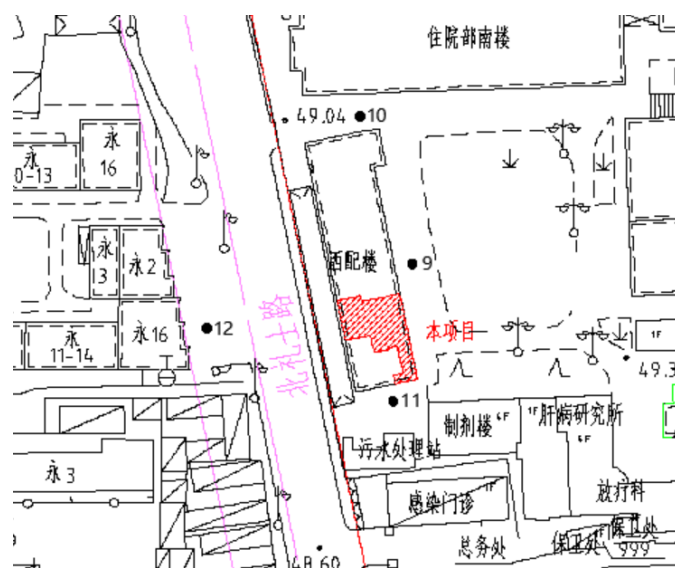


表 8-1 拟建辐射工作场所周围 γ 辐射环境水平监测点位图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 X 射线诊断装置和密封校验源

本项目 PET 中心诊疗配套使用 1 台 PET/CT，PET/CT 属于 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的环境影响进行简要分析。

9.2 PET 中心诊疗

9.2.1 PET 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 PET 中心使用 F-18、Ga-68 等正电子核素药物开展 PET/CT 诊断。

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。还有另一方面的价值，即可以大大缩短 PET 的检查时间，从而提高仪器和正电子药物的使用效率。

PET/CT 显像诊断观察肿瘤代谢异常明显早于其他影像学手段，其探测灵敏度更高，主要有以下几方面的优势及应用：（1）肿瘤的良恶性鉴别诊断，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/CT 扫描装置如下图 9-1 所示：

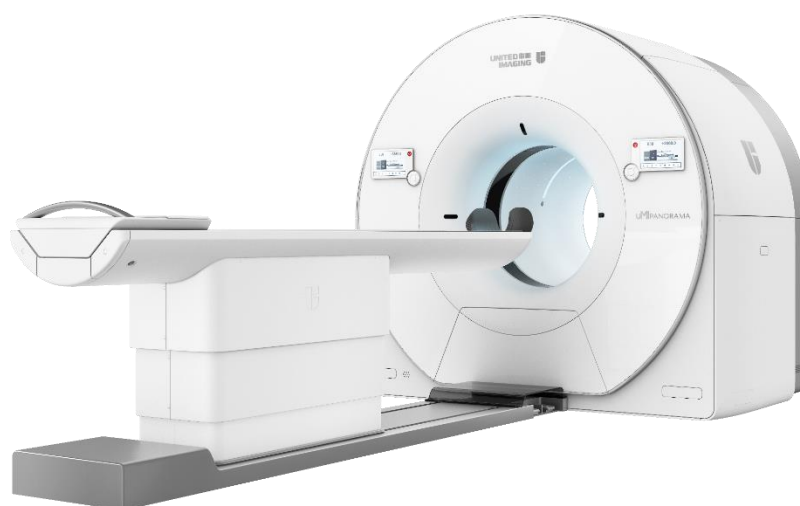


图 9-1 长轴 PET/CT 机设备外观

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 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，Ga-68 由自购发生器淋洗）→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：F-18 药物提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，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。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 药物在标记室内制备，工作人员根据预约的检查人数及诊断项目，当天在标记室制备放射性药物，直接按每人用量分装好后通过传递窗传递到 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 PET 中心的高活室门口，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 中心高活室门口的摄像头监控下，由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（Ga-68 在淋洗时直接分装好），在手套箱内进行分装。

注射：提前给患者建立静脉通路。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。

检查：病人在给药后病人候诊区等候，待药物有一定程度的代谢后，进行 PET 扫描检查（本项目使用的长轴 PET/CT 检查时间一般 10min）。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（PET 患者只有延时显像时才需

要留观)，如显像符合要求即离开 PET 中心。

9.2.2.2F-18 质控流程

本项目不配备 Ge-68 密封源开展 PET 装置的定期校验，在每日无源质控的基础上，每周或两周一次进行有源（F-18）质控扫描以检测一些特殊的系统参数，每次用量约 $8.88\text{E}+7\text{Bq}$ 的 F-18，由物理师完成，以下为 F-18 的质控流程。

1) 向质控模体内注自来水或蒸馏水至水面离顶端约 1cm 的距离，质控模体的直径为 50mm、内部长度 520mm（体积约 1 升）；

2) 往模体里注射 F-18 约 $8.88\text{E}+7\text{Bq}$ （2.4mCi）后，装上盖子并塞紧密封塞子，上下颠倒模体，反复 10~20 次，使同位素与水混合均匀；

3) 然后再向模体内缓慢注水，直至气泡几乎不可见后把模体安装在检查床机架端刻度位置，按质控程序扫描以检测一些特殊的系统参数；

该质控一般每周或两周一次，将质控后的水直接排到衰变池衰变。

9.2.3 放射性核素使用量

PET 检查使用 F-18 药物的用量不大于 185MBq /人，每个检查日最多实施 PET 检查 55 人次，每年工作 250 天；Ga-68 用量不大于 185MBq /人，每个检查日最多实施 PET 检查 5 人次，每年工作 50 天；F-18 与 Ga-68 均使用 PET 显像，PET 中心采取预约制，确保每个检查日 PET 检查不超过 60 人次。

9.2.4 使用放射性核素污染途径分析

9.2.4.1 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，核诊断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 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。

9.2.4.2 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。

放射性药物或放射源保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染。高活室和标记室热室暂存的放射性同位素，采用视频监控和门禁管理。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

同位素实验室主要用于放射性标记药物制备、质控和动物实验等，拟使用 1 套最大活度规格为 $1.85\text{E}+9\text{Bq}$ 的 Ge-68 (Ga-68) 发生器及 F-18、Ga-68 核素科研实验。

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标记室的热室内。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 9-2 给出 Ge-68 (Ga-68) 发生器的实物图。



图 9-2 Ge-68 (Ga-68) 发生器实物图

Ge-68 (Ga-68) 发生器是由母体核“Ge-68 ($T_{1/2}$:为 288d) 和子体核“Ga-68 ($T_{1/2}$:为 68 min) 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。

Ga-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剖瓶接收淋洗液, 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 $1.85\text{E}+9\text{Bq}$, 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；每周最多操作一天，每天最多淋洗两次。淋洗、标记和分装均在热室内进行，热室采用机械通风，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，从楼顶排气口外排。

Ge-68（Ga-68）发生器从供应商定期采购，供应商发货至医院 PET 中心，运输过程中货物被锁于密封铅筒内，到医院后 Ge-68（Ga-68）发生器存放在标记室的热室内，达到使用寿命后厂方下次送新的发生器时回收。

（4）全自动合成模块

同位素实验室使用的六种核素药物合成使用同 1 套全自动合成模块，均在热室内使用。制备药物时工作人员需将合成模块的连接管接到核素瓶内底部，工作人员接触时间最多 1min。药物的合成为全自动模式。

9.3.2 标记室

拟使用的 F-18 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 PET 中心高活室，通过传递窗送至标记室内，拟放置在南侧热室内；Ga-68 是在北侧热室发生器淋洗、标记，将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 20~40 min，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。后移至南侧热室进行药物分装。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，热室防护 50mm 铅当量，操作者距离源项约 30~60cm。通过标记室南侧两个传递窗，分别送至动物实验室和质控室进行下一步分析评价实验。

该房间主要功能及测试项目还包括：性状检查、放射性活度（浓度）测定、半衰期测定、pH 值测定、制备核纯度测定和放射化学纯度测定的样品等。

（1）性状检查

在铅防护热室中，用镊子将样品从铅罐中取出，透过铅玻璃肉眼观察，操作时间约 10 秒钟。

（2）半衰期测定

取本品 0.1mL (不大于 $3.70\text{E}+6\text{Bq}$)，放入活度计离子井中，依据活度计标准操作规程对活度计进行确认和活度测定。每隔 10 分钟读取活度计值，共读取 3 次数值，并记录下准确时间和活度值。把时间和活度值输入到半衰期曲线表格中，求出斜率 k ，根据 $T_{1/2}=-0.693/k$ ，计算出半衰期。

(3) 样品制备

放射化学纯度测定样品制备：在铅防护热室中，用注射器抽取少量样品，根据放射性浓度进行适当的稀释后，用毛细管吸取约适量样品 (20000 计数/分钟)，铅罐转移至质控室后点于层析纸或薄层板上，晾干、置展开缸中展开。在质控室进行的放射性操作，操作方式属于简单操作，操作时间不超过 10min。

核纯度测定及液相色谱法测定放射化学纯度测定样品制备：在铅防护手套箱中，用微量取样器吸取少量样品，置西林瓶中，加塞密封后用铅罐转移至质控室进行放射性核纯度测定，放射性标记化合物操作时间约为 2min。

(4) 标记研究

在热室中，放射性同位素与药物前体反应，自动合成后或直接经纯化、过滤即为放射性标记化合物溶液。由于不同放射性药物的标记工艺条件和参数不同，本项目涉及的放射性药物处于研发和收集数据阶段，放射性同位素标记反应的关键工艺参数研究，是标记室的主要工作。

(5) 自动合成

在标记实验阶段使用全自动合成仪进行标记实验，采集关键工艺参数。全自动合成仪置于热室内，实验由计算机远程控制，在合成阶段工作人员无需操作，并远离设备，大大降低了操作人员的辐射剂量。操作人员穿工作服，佩戴一次性手套和口罩防护。

自动化标记、合成同位素药物，涉及的放射性操作过程如下：

①在热室内，使用长柄镊子从运输容器中取出装有放射性同位素的容器，测定放射性活度。

②用长柄镊子将装有同位素的西林瓶与全自动合成仪连接。

③在计算机上设定反应条件，全自动完成标记反应。

④中间体或终产品被自动合成仪收集并传送到样品瓶中，通过操作手孔

在分装热室内对样品进行分装、加塞和轧铝盖。

⑤在热室内将样品装于辐射防护容器中，通过热室底部的机械装置将防护铅罐转移出热室，送放射性质控室检验，或者送动物实验室进行动物给药。

制备、分装和标定各类核素的过程中，使用的淋洗真空接收瓶、标记液试剂瓶、注射器等均为一次性使用，无容器的清洗操作，制备过程无生产废水产生。事故情况下发生洒漏，采取干法去污，首先使用吸水纸擦拭，然后用酒精棉球再反复擦拭直至检测数据合格，擦拭用的吸水纸、酒精棉球等做为放射性固废处理。在标记室配备了防护厚度为 20mm 铅防护废物桶，防护废物桶内套有废物收集袋，将在下次实验前清场时转移出热室，放入放射性废物间。

热室标记实验后的放射性性废液（约 2ml）统一收集瓶内，并储存于 42mmPb 储源铅罐内，衰变 10 个半衰期后再转移到放射性废物间放射性废物桶，当作放射性固体废物处置。

（6）制备后的药品活度测定

在热室中，用注射器抽取少量制备后的药品（不大于 $7.40\text{E}+5\text{Bq}$ ），放入活度计离子井中，依据活度计标准操作规程对活度计进行确认和活度测定。每隔 10 分钟读取活度计值，共读取 3 次数值，并记录下准确时间和活度值。

（7）pH 值测定

在热室中，用注射器抽取少量制备后的药品（不大于 $3.70\text{E}+5\text{Bq}$ ），取一滴于 pH 试纸上，透过手套箱的铅玻璃，观察颜色并与标准比色板进行比对。放射性废物置标记室内的废物桶中。

标记好的核素通过传递窗、控制区走廊送至质控室或动物实验室进行下一步分析评价实验。标记室内药物分装、合成和制备通常由 1 名化学师完成。

9.3.3 质控室（分析实验）

制备后的药品取样 $3.7\sim 7.4\text{MBq}$ ($100\sim 200\mu\text{Ci}$) 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），通过传递窗送至质控室，利用放射性薄层色谱仪（TLC）和高纯锗 γ 谱仪对放射性药物进行分析实

验。

(1) 放射性核纯度检测

质控室将配备高纯锗 γ 谱仪一台，主要进行放射性核纯度的测定。

操作流程：将制备好的密封放射性样品，置于铅室内探头位置，关闭铅室，进行测定。测定结束后，取出样品，置于铅罐中，实验后放入放射性废物桶中，为密封的放射性物质。操作量为 $7.40\text{E}+5\text{Bq}$ ，放射性标记化合物操作时间约为 2min。

(2) 放射化学纯度的测定

TLC 法：将标记室点样、展开后的层析纸或薄层板用托盘传递至质控室后，用放射性薄层色谱仪（TLC）进行测定。放射性活度不大于 $3.70\text{E}+5\text{Bq}$ ，操作方式为很简单的操作，操作时间不超过 5 min。

进行放射性检测时，一般正面安装有铅玻璃，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，放在热室中自然衰变，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。质控室内实验通常由 1 名技师完成。

9.3.4 动物实验室

主要开展动物实验工作，包括动物取血、解剖、处死及相关工作，包括常规实验和生态分布实验。

(1) 动物常规实验

标记室制备的药品装入铅屏蔽盒，通过传递窗送至动物实验室内，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 放射性药物的最大活度为 18.5MBq （大鼠为 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，对动物取血进行放射性计数和测定药物血清分布实验，后进行处死解剖，取其有关器官和组织置于样品试管内并称重，然后使用伽玛计数器测量各脏器放射性计数。选取相关组织制作病理切片，需要对脏器进行放射性计数。最后将动物剩余组织以及使用过的组织收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总

活度和时间等信息，置于废物间冷冻冰柜铅废物桶暂存。实验过程中使用后的隔尿垫、手套、棉签和注射器等投入固体放射性废物桶内。

(2) 生物分布实验

生物分布实验在动物实验室进行，平均一个月做 1 次生物分布实验（生物分布实验每天只使用 1 种核素），做一次分布实验根据核素不同需要 3 个时间点（2min，30min 和 60min，每次注射约 4 只），每次不超过 10 只实验鼠。将放射性药物从尾静脉注小鼠体内，给药量在 $7.40\text{E}+05\sim 3.70\text{E}+06\text{Bq}$ （ $20\sim 100\mu\text{Ci}$ ）之间（总量不超过 185MBq ），每只注射 1min 左右，其中 4 只在给药后直接转到动物实验室做分布实验，另外最多 8 只实验鼠在动物实验室暂存，使用两个 5mm 铅防护的盒子（每个存储 4 只）暂存。在给药一定时间（2min，30min 和 60min）后，在动物实验室将其固定在铅玻璃后的装置内处死实验鼠并进行解剖，每只动物解剖时间约 2~10min。解剖后，取其有关器官和组织置于样品试管内并称重，然后使用伽玛计数器测量各脏器放射性计数。最后将动物剩余组织以及使用过的组织收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总活度和时间等信息，置于废物间冷冻冰柜铅废物桶暂存。实验过程中使用后的隔尿垫、手套、棉签和注射器等投入固体放射性废物桶内。操作流程见图 9-3。



图 9-3 实验室动物分布实验/药物代谢操作流程

动物实验由同 1 名技师完成。

9.3.5 放射性操作量

(1) 标记室：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热室中进行，热室中每天操作的放射性同位素 F-18 不超过 555MBq ，Ga-68 不超过 1850MBq 。

(2) 动物实验室：操作 F-18、Ga-68 核素，每天最多一共使用 10 只实验鼠，操作的活度不超过 $1.85\text{E}+8\text{Bq}$ （小鼠不超过 $7.4\text{E}+7\text{Bq}$ ）；

(3) 质控室：操作 F-18、Ga-68 核素，每天最多操作的活度不超过 $7.40\text{E}+6\text{Bq}$ 。

9.3.6 药物转移流程

标记室内标记好的药物通过传递窗送至质控室或动物实验室，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 μ Sv/h，1m 处剂量率低于 2.5 μ Sv/h。

9.3.7 同位素实验室人员流动

1) 动物实验区工作人员通过一更进入质控室动物实验室，后进入质控室，实验结束后在一更进行剂量检测后离开实验室控制区。

2) 标记室化学师由缓冲区进入一更、二更进入标记室，药物制备工作结束后经二更、一更后离开实验区域。

9.3.8 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 PET 诊断示踪药物 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、排便和垫实验鼠的吸水纸、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，暂存于固废间内的配置的 1 个-18 $^{\circ}$ C冰柜中，A 类放射性废物至少暂存 30d，满足清洁解控要求后将尸体送医院动物房作为医疗废物委托交有资质的公司处理。

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。

9.4 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 、 $\gamma511$	PET中心显像、同位素实验室科研
2	Ga-68	低毒	68.3min	β^+ 、EC	β^+1899 、 $\gamma511$	PET中心显像、同位素实验室科研

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，PET 中心和同位素实验室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 现有核医学科变化情况

北大人民医院拟在西直门院区西配楼一层南侧建设 PET 中心，现有核医学科位于门诊楼西南侧地下一层和一层，一层为 SPECT 区域，地下一层为 PET 区域。一层 SPECT 区域设有 2 间 ECT 室及候诊室、注射室、高活室、储源室等；地下一层 PET 区域设有 1 间 PET/CT 扫描间，3 间注射后休息室，注射室和储药室。本项目建设后，现有的 PET/CT 相关工作搬至 PET 中心，地下一层区域暂时闲置保留，在 PET/CT 报废前须对相关场所进行检测，检测合格后才可进行搬迁报废。核医学科现有排风系统和衰变池均不变。

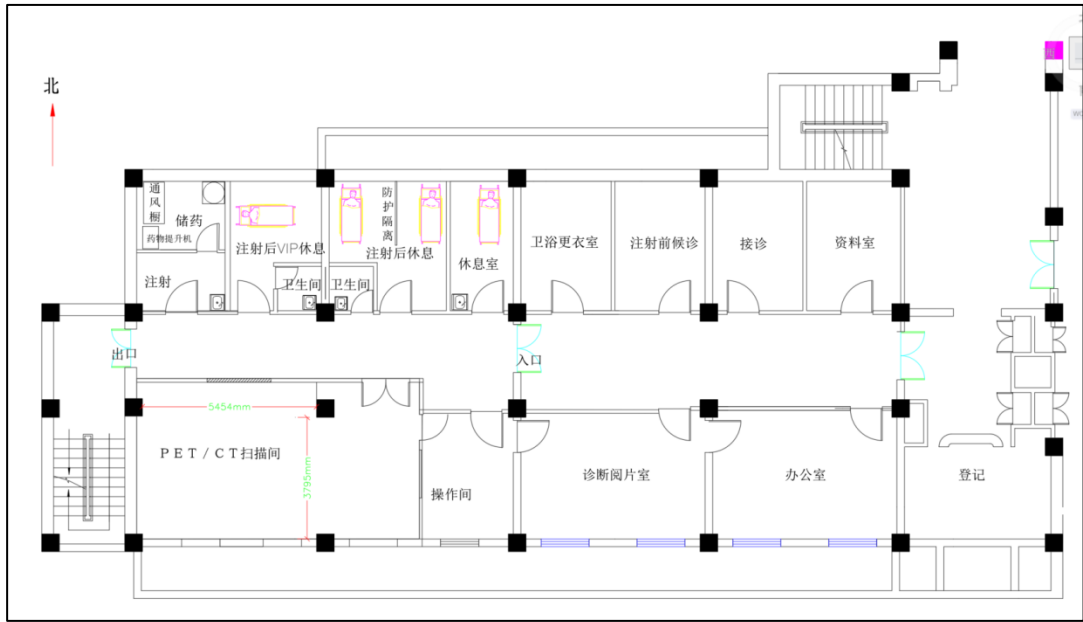


图 10-1 西直门院区现有核医学科 PET 区域布局图

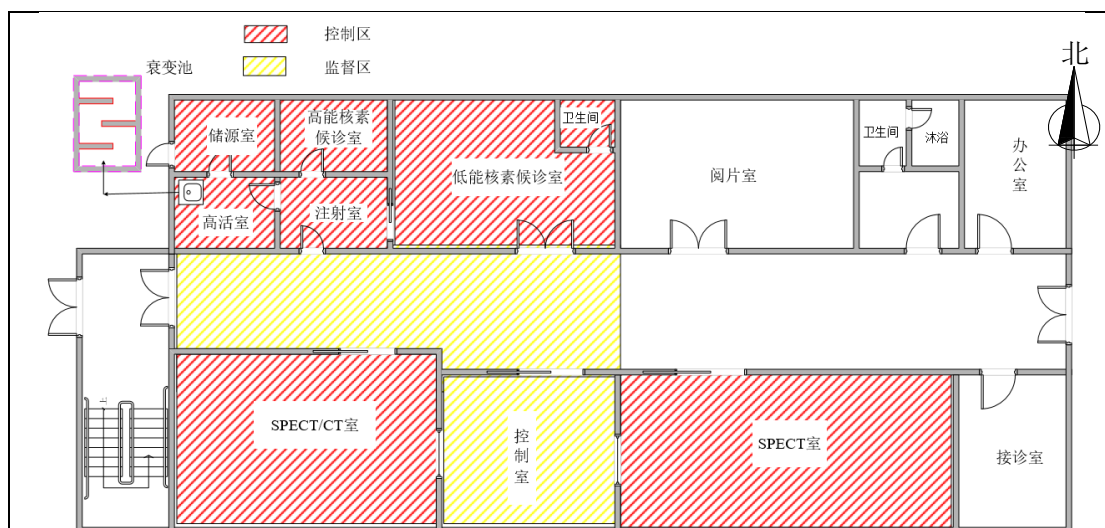


图 10-2 西直门院区现有核医学科 SPECT 区域布局图

10.1.3 建设布局方案

在西直门院区西配楼一层南侧建设 PET 中心和同位素实验室，PET 中心位于北侧，同位素实验室位于南侧，布局方案如下：

(1) PET 中心西南侧设有患者候诊区，在该处进行问诊和登记。医生办公室位于候诊和问诊处楼上。

(2) 将患者入口设在 PET 中心南侧，患者出口设在东北侧，直接离开所在楼宇。PET 中心患者出入口拟设置单向门禁系统。

(3) 将高活室设在 PET 中心东南侧，朝西设置一个注射窗口（40mmPb 当量）。

(4) 沿着注射后患者走廊设置 2 间注射后等候室，并在患者走廊西侧设置 PET/CT 室，留观室位于注射后候诊室 2 东侧。

(5) 在西配楼地下一层南侧现有的库房改建成废水间，废水间设一个放射性废水槽式衰变池，容积 27m^3 ($3\times 9\text{m}^3$)，用来收集 PET 中心和同位素实验室产生的放射性废水，废水间东侧为走廊，南侧为生活水箱间，西侧为土层，北侧为空压站，楼上为 PET/CT 室在废水间门外设置警示标识。

(6) 位于 PET 中心南侧的同位素实验室，北侧为标记室，动物实验室和质控室位于南侧。

(7) PET 中心和同位素实验室拟配套建设 2 套放射性通风处理设施，其中 PET 高活室手套箱和标记室的热室设置一套独立的排风管道，PET 中心控

制区和同位素实验室的控制区设置一套独立的排风系统。排风管道由建筑东南侧楼外引至建筑楼顶，风口高于楼顶 1m，排气口高度约 21.2m，排气口朝上，设防雨帽，高于周围 50m 范围内建筑物。手套箱和热室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 $\geq 0.5\text{m/s}$ ，风机风量 $5000\text{m}^3/\text{h}$ ）。控制区排风系统在风管道出口前设置活性炭过滤装置，风机都位于楼顶，每个区域排风并入主管前都拟增加止回阀。

（8）PET 中心和同位素实验室场所建成后，控制区包括 PET/CT 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、标记室、动物实验等。监督区包括 PET/CT 控制室和设备间、候诊区、卫生通过间和一更、二更等。

10.1.5 PET 中心和同位素实验室辐射防护措施

10.1.5.1 辐射屏蔽设计

PET 中心场所根据辐射防护要求，设计了含混凝土、硫酸钡混凝土、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，还配备有防辐射移动铅玻璃、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 5m，一层层高为 5m。实体屏蔽方案见表 10-1 所示，辐射安全防护设施见表 10-2 和表 10-3。改建防护情况见图 10-3。

表 10-1 主要场所的屏蔽设计

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	现有场所结构	改造后屏蔽厚度	周围环境
1	PET/CT 室（有效面积： $8.75\text{m} \times 4.8\text{m}$ ）	东墙	/	24cm 混凝土砖 + 2mmPb/局部 8mmPb	注射后候诊室 ← 患者走廊
		南墙	/	8mmPb	操作间
		西墙	24cm 红砖	24cm 混凝土砖 + 2mmPb	楼外走道
		北墙	/	8mmPb	设备间
		东侧患者门	/	8mmPb	患者走廊
		南侧控制室门	/	8mmPb	控制室
		北侧设备间门	/	8mmPb	设备间
		观察窗	/	8mmPb 当量铅玻璃	控制室

		顶棚	局部 12cm 混凝土	27cm 混凝土	配电间、服务器间、库房、走廊
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混凝土	废水间、空压站、生活水箱间
2	注射后等候室 2（含卫生间）	东墙	/	19cm 硫酸钡砖	留观室
		南墙	/	19cm 硫酸钡砖	清洁间、高活室、注射区
		西墙	/	19cm 硫酸钡砖	患者走廊
		北墙	/	19cm 硫酸钡砖	患者走廊
		防护门	/	8mmPb	患者走廊
		顶棚	/	27cm 混凝土	示教室
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混凝土	库房、走廊
3	注射后等候室 1（含卫生间）	东墙	局部 24cm 红砖	局部 19cm 硫酸钡砖+24cm 红砖/局部 24cm 混凝土砖	楼外走道/患者走廊
		南墙	/	19cm 硫酸钡砖	患者走廊
		西墙	/	24cm 混凝土砖+2mmPb	PET/CT 室
		北墙	24cm 红砖	19cm 硫酸钡砖+24cm 红砖	强电间、弱电间、备用间
		防护门	/	8mmPb	患者走廊
		顶棚	局部 12cm 混凝土	27cm 混凝土	女更衣室、示教室、库房
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混凝土	库房、走廊
4	留观室（含卫生间）	东墙	24cm 红砖	19cm 硫酸钡砖+24cm 红砖	楼外走道
		南墙	/	19cm 硫酸钡砖	高活室
		西墙	/	19cm 硫酸钡砖	注射后候诊室 2
		北墙	/	19cm 硫酸钡砖	患者走廊
		门	/	8mmPb	患者走廊
		顶棚	/	27cm 混凝土	示教室
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混	库房

				凝土	
5	清洁间	东墙	/	12cm 加气块砖	注射后候诊室 2
		南墙	/	12cm 加气块砖	注射区
		西墙	/	12cm 加气块砖	患者走廊
		北墙	/	19cm 硫酸钡砖	注射后候诊室 2
		顶棚	/	27cm 混凝土	示教室
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混凝土	库房
6	PET 高活室	东墙	/	12cm 轻钢龙骨隔断	楼外走道
		南墙	/	18cm 混凝土砖	标记室
		西墙	/	12cm 混凝土砖 /19cm 硫酸钡砖	管井、卫生通过间、注射区
		北墙	/	19cm 硫酸钡砖	留观室、注射后候诊室 2
		顶棚	局部 12cm 混凝土	27cm 混凝土	示教室、男更衣室
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混凝土	风机房、配电室
		东侧防护门	/	8mmPb	楼外走廊
		西侧防护门	/	8mmPb	卫生通过间
		注射窗	/	40mmPb 当量铅玻璃	注射区
		手套箱	/	50mmPb	/
		南侧传递窗	/	10mmPb	标记室
7	废物间	东墙	24cm 红砖（局部采光窗）	19cm 硫酸钡砖 +24cm 红砖	楼外走道
		南墙	/	18cm 混凝土砖	标记室
		西墙	/	12cm 混凝土砖	高活室
		北墙	/	12cm 混凝土砖	高活室
		防护门	/	3mmPb	高活室
		顶棚	12cm 混凝土	27cm 混凝土	男更衣室
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混	配电室

				凝土	
11	PET 中心患者出入口	南侧患者入口防护门	/	8mmPb	患者走廊
		东北侧患者出口防护门	/	8mmPb	楼外走道
12	标记室	东墙	24cm 红砖（局部采光窗）	12cm 混凝土砖+24cm 红砖（局部采光窗）	楼外走道
		南墙	/	18cm 混凝土砖	动物实验室
		西墙	/	12cm 混凝土砖	管井
		北墙	/	18cm 混凝土砖	高活室
		西侧防护门	/	6mmPb	二更
		北侧传递窗	/	10mmPb	高活室
		南侧传递窗	/	2 个 10mmPb	动物实验室、质控室
		热室（手套箱）	/	2 个 50mmPb 当量	/
		顶棚	12cm 混凝土	27cm 混凝土	男更衣室、设备间
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混凝土	弱电机房、库房
13	质控室	东墙	/	12cm 混凝土砖	楼外走道
		南墙	24cm 红砖	24cm 红砖	楼外走道
		西墙	/	12cm 混凝土砖	动物实验室
		北墙	/	18cm 混凝土砖	标记室
		西侧防护门	/	3mmPb	动物实验室
		顶棚	12cm 混凝土	27cm 混凝土	设备间
		地板	12cm 混凝土	12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混凝土	库房
15	动物实验室	东墙	/	12cm 混凝土砖	质控室
		南墙	24cm 红砖	24cm 红砖	楼外走道
		西墙	/	12cm 混凝土砖	动物实验室
		北墙	/	12cm 混凝土砖	一更、二更、标记室

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	√	同位素在高活室暂存
9*	B 监测 设备	表面污染监测仪	√	调配现有 1 台表面污染仪
10*		便携式辐射水平监测仪	√	新增 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	√	27m ³ 槽式衰变池（3 槽）
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，一共拟配 6 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/。

表 10-3 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	√	拟设有标记室、质控室、动物实验室和更衣室等场所，并按控制区和监督区管理
2*		场所分区的管控措施及标识	√	拟在控制区和监督区入口设置标识
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，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 PET 中心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，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 PET 中心诊疗区域共用 1 台便携式辐射监测仪，调配现有 1 台表面污染仪
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/。

10.1.5.2 辐射防护措施

（1）实行控制区和监督区分区管理。在控制区患者出、入口、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、实验室、废物间门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、废物间、等候室及卫生间、标记室、质控室、动物实验室、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、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。实验室操作处设置承接盘、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。拟配备表面污染仪，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：PET 中心诊疗区拟配 1 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗（40mmPb 当量），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，至少配备 6 个铅废物桶（其中 1 个为 20mmPb，另外为 5mmPb）、1 个钨合金注射防护套。同位素实验室的动物实验室拟配 1 个铅屏蔽玻璃（动物注射和解剖时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，至少配备 4 个 5mmPb 铅废物桶、至少 1 个转运铅盒（25mmPb）。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 PET 中心和同位素实验室控制区边界外的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（4）内照射的防护：PET 高活室新配备具有防护功能 50mmPb 当量的手套箱一个，标记室拟配备 2 个 50mmPb 当量的热室（其中北侧热室放置锗镓发生器，南侧热室用于 F-18 药物合成、标记以及 F-18 和 Ga-68 药物的分装），每个设备带有高效过滤器，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，在热室内分装、标记放射性药物。手套箱和热室设置一套专用排风管道，排风口引至门诊楼楼顶。手套箱和热室均为负压设备，风量满足要求（风速大于 0.5m/s ），过滤效率大于 90%，且每个手套箱和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、留观室、PET/CT 机房废物间等其它场所均设置排风口，排风同样由专用排风管道引至建筑物顶部，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 1 个含铅的废物桶（20mmPb），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放射性废物间。废物间设置 2 个 5mm 铅的废物桶（容积 20L），用来轮流贮存 A 类废物，2 间等候室和留观室各配 1 个 5mm 铅的废物桶（共 3 个）。标记室、质控室分别设 1 个 5mmPb 废物桶，每周星期一早上转移至放射性废物间，动物实验室冰柜内配有 2 个 5mmPb 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：PET 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，卫生通过间应急淋浴废水；同位素实验室控制区室内产生的放射性废水，通过专用管道进入地下一层新建的放

射性废水衰变池（衰变池前设 1 个 1.4m^3 沉淀池，内设 3 个池，设有铰刀）。衰变池采用槽式设计，衰变池总容积不低于 27m^3 ($9\text{m}^3 \times 3$ 个)，能够满足 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》A 类放射性废水至少暂存 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）。暂存 30 天后，直接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”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。

（7）在患者通道入口处、留观室、给药后候诊区等处均拟设置视频监控系统，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，PET 中心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 PET 高活室登记交接后贮存在高活室/标记室内，铅屏蔽，由放射性药品供货公司下次送核素时取回。

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

（10）拟调配 2 台表面污染仪，新增 1 台便携式巡测仪（测剂量率的便携式巡测仪在 PET 中心和同位素实验室共用），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 γ 剂量率。每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及肺通气设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档 β 表面污染监测。每年委托有能力的检测单位对辐射场所的剂量率水平和表面污染水平监测。

（11）等候室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断，其中注射后等候室 1 设 3 个 8mm 铅当量铅屏风（长 $\times$ 高尺寸不低于 $1.5\text{m} \times 1\text{m}$ ），注射后等候室 2 设 2 个 8mm 铅当量铅屏风（长 $\times$ 高尺寸不低于 $1.5\text{m} \times 1\text{m}$ ），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) 在门诊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。送药通道为由 PET 中心高活室东侧门送入高活室，避开与患者的交汇。通过高活室的传递窗送入同位素实验室标记室。

(14) 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。PET 中心和同位素实验室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。

10.1.6 拟配的防护设施

本项目手套箱和注射窗的样图见图 10-4，实施后配备的防护设施见表 10-4。

表 10-4 PET 中心和同位素实验室配备的防护设施表

名 称	数量 (个)	规格	使用场所
手套箱 (热室)	2	50mmPb	标记室
	1	50mmPb	PET 中心高活室
注射器防护套	1	20mmPb 钨合金	PET 中心高活室
储源铅罐	2	40mmPb	PET 中心高活室、标记室
防护注射窗	1	1 个 40mmPb	PET 中心注射窗口
转运铅盒	2	25mmPb	PET 中心高活室、标记室
铅废物桶	2	5mmPb, 20L	废物间
	1	20mmPb, 5L	PET 中心高活室
	3	5mmPb, 5L	注射后等候室 1、注射后等候室 2、留观室各 1 个
	4	5mmPb, 2 个 5L, 2 个 30L	同位素实验室动物实验室
	1	5mmPb, 5L	同位素实验室标记室

	1	5mmPb, 5L	同位素实验室质控室
移动铅屏风	3	8mmPb	注射后等候室 1
	2	8mmPb	注射后等候室 2
冰柜	1	150L	同位素实验室动物实验室
铅玻璃	2	10mmPb	同位素实验室质控室、动物实验室





图 10-4 同类型手套箱、注射窗和分装铅罐的样图

10.1.7 放射性废水暂存和排放

本项目拟新建 1 个放射性衰变池（衰变池前设 1 个 1.4m^3 沉淀池，内设 3 个池，设有铰刀），位于西配楼地下一层南侧新建的废水间内，废水间位于 PET/CT 室正下方，新建衰变池为槽式，总容积为 27m^3 ， $9\text{m}^3/\text{池} \times 3$ 池。衰变池结构及控制管理如下：

（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 9m^3 ，总有效容积为 27m^3 。衰变池（罐）前设 1 个有效容积为 1.4m^3 的沉淀池（位于地下一层，PET/CT 室正下方，内设铰刀）。衰变池采用罐式，六面采用不锈钢罐体，废水间四面墙采用 24cm 红砖，顶部为 12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混凝土，楼上为 PET/CT 室，地下为土层，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→地下一层沉淀池→衰变池→提升装置→室外管网。放射性污水经排水管道排至地下一层沉淀池，后进入衰变池内，衰变结束后污水泵排至医院污水处理系统。

(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9cm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PET和同位素实验室场所，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2-3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池。待第3池开始进水时，第1池已过30天，检测达标后开动潜水泵排放。待第3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。

本项目产生的放射性废水排放情况如下：

PET中心和同位素实验室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

清洁间

高活室

候诊室、留观室

放射性同位素实验室控制区

应急淋浴

拖布池

洗手

洗手

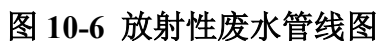
洗手

洗手

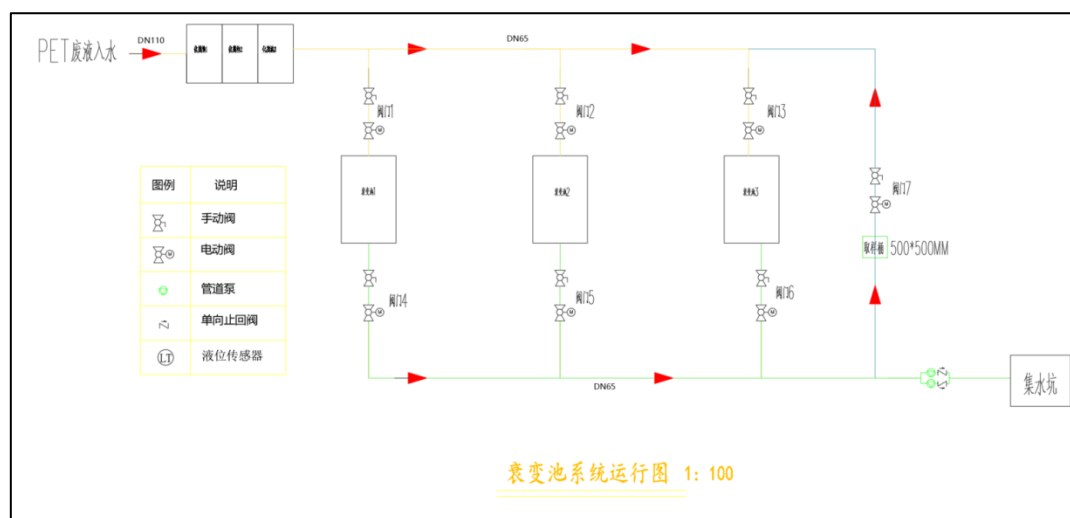
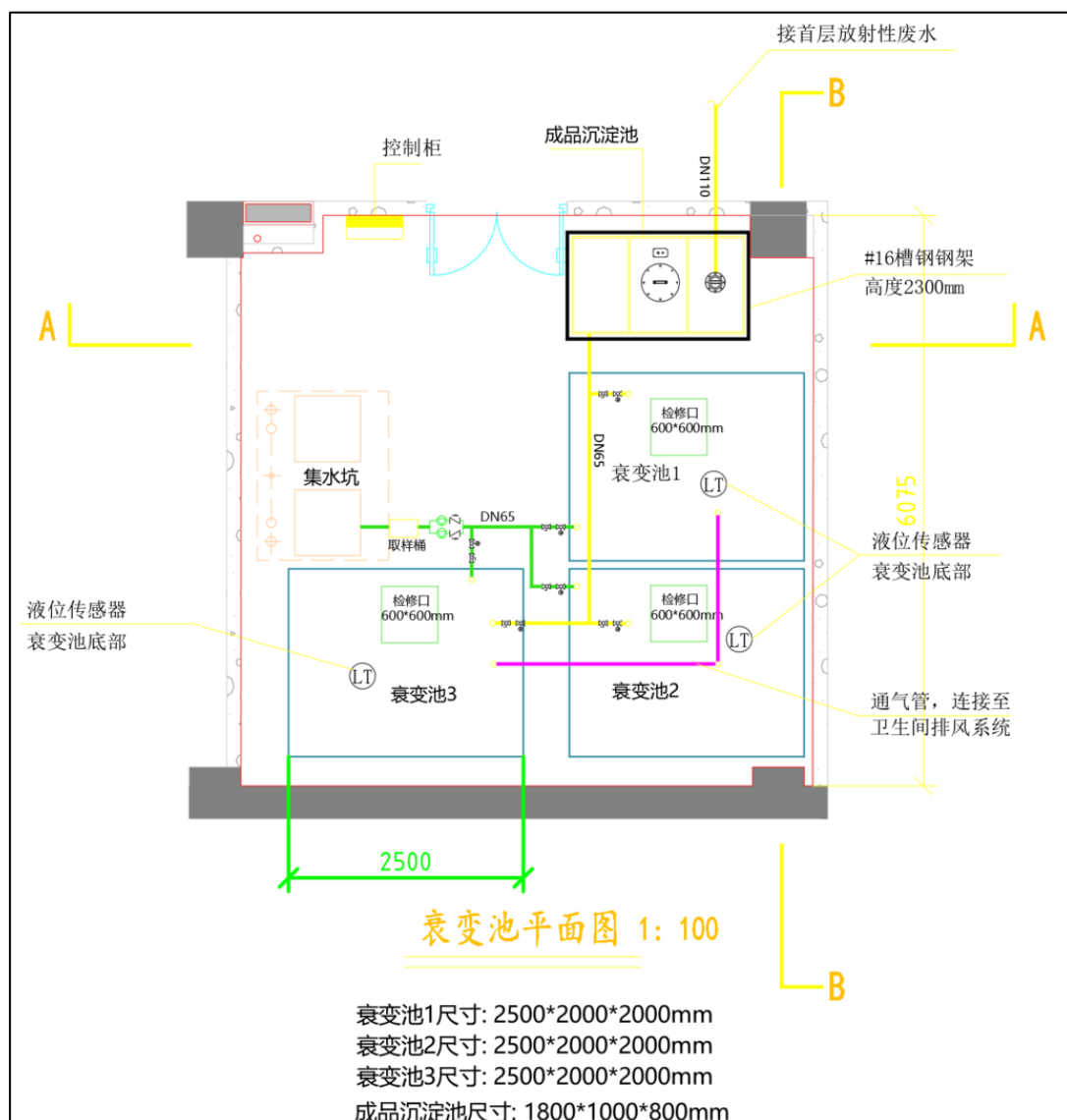
淋浴水

废水收集池 (27立方米)

PET 中心和同位素实验室控制区的废水排放图见图 10-6。



衰变池平剖面图件图 10-7。



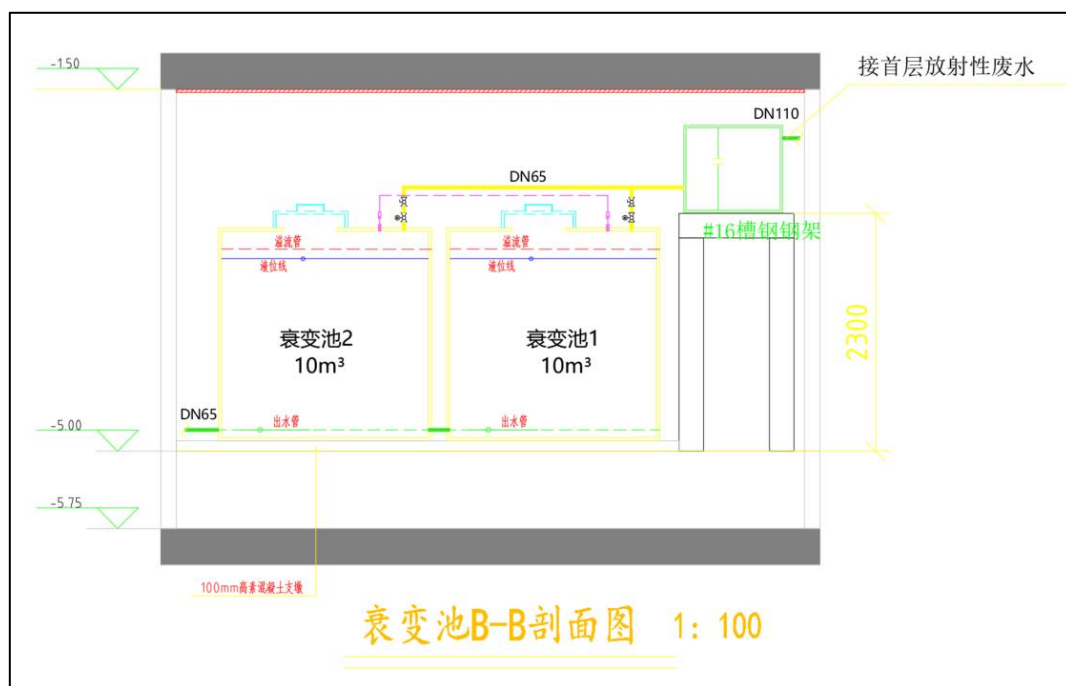
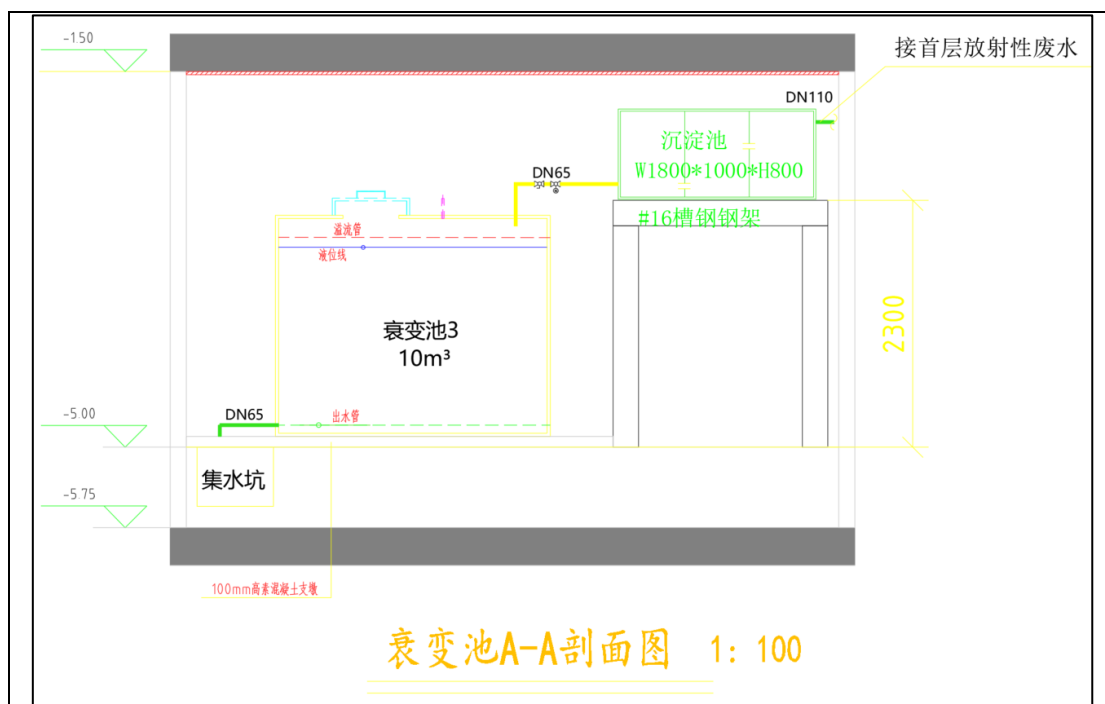


图 10-7 衰变池平剖面图

10.1.8 PET 中心和同位素实验室排风系统

PET 中心和同位素实验室共配 2 套排风系统，PET 高活室手套箱和标记室的热室设置一套独立的排风系统，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；PET 中心的控制区和同位素实验室的控制区设置一套独立的排风系统，排风机出口处设置活性炭过滤装置，每个区域排风并入主管前都拟增加止回阀，排风管道由 PET

中心南侧楼外引至建筑楼顶，风口高于楼顶，采用后端风机提供管道负压。排气口高度约 21.2m，排气口朝上，设置防雨帽，位于楼顶东南角，高于周围 50m 范围内建筑物。本项目排风图见图 10-8，排风口楼顶位置图见图 10-9。

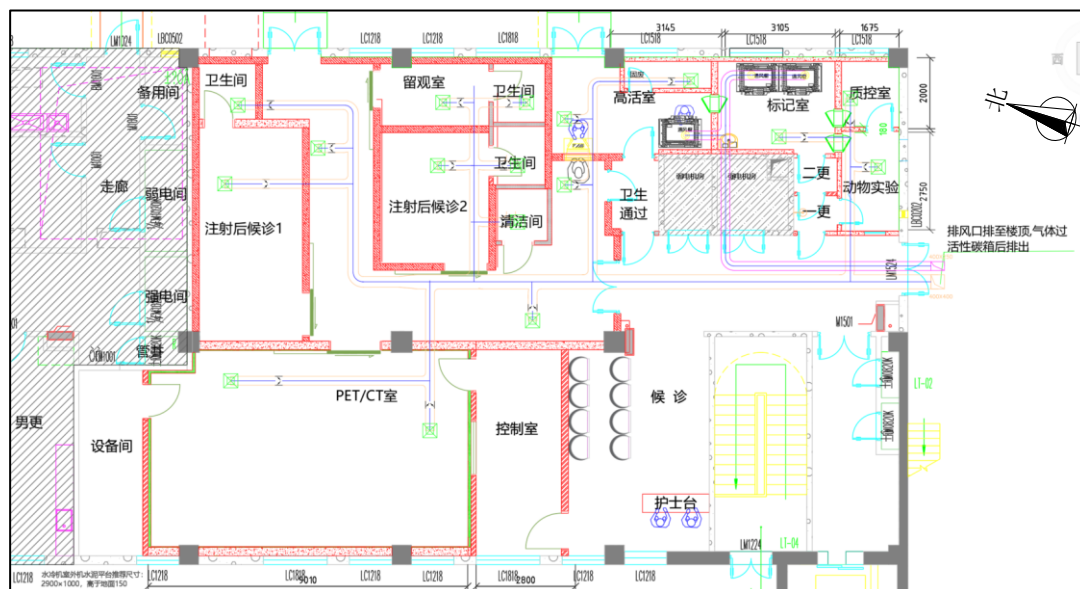


图 10-8 PET 中心和同位素实验室排风图

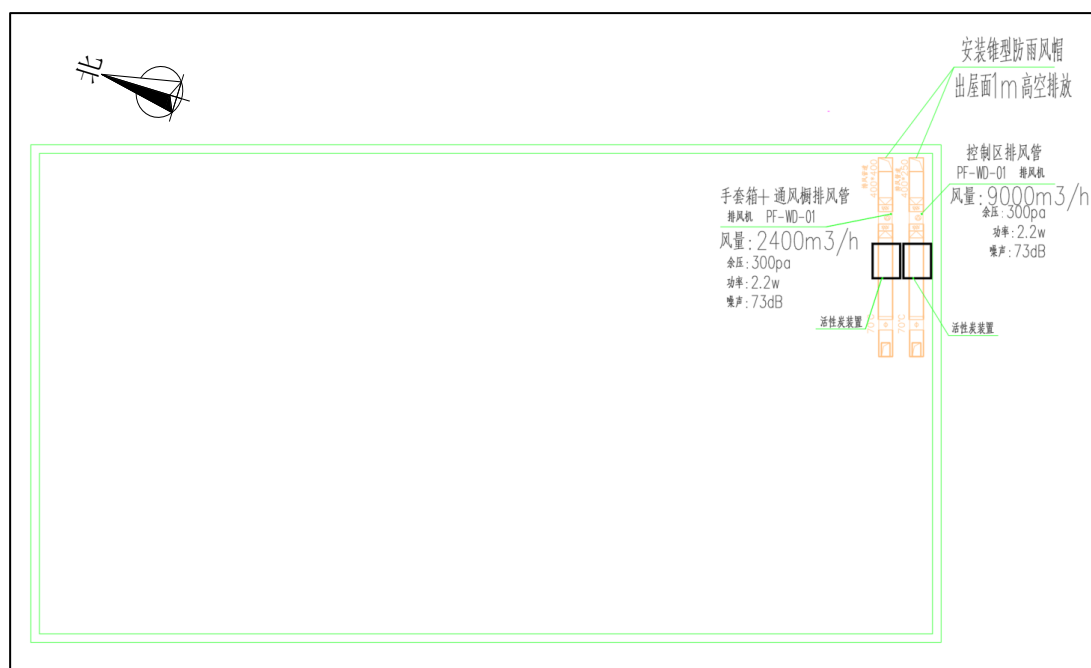


图 10-9 PET 中心和同位素实验室排风口楼顶位置图

10.2 选址与布局合理性

10.2.1 PET 中心和同位素实验室选址与合理性分析

PET 中心和同位素实验室位于西配楼一层南侧，本项目周围 50m 范围内

西直门院区外主要敏感目标包括西侧 36m 处北礼士路 75 号院 77 号楼和西南侧 26m 处平房区，其余均位于医院内部。本项目东、南、西侧为楼外走道，北侧为更衣室、强弱电间、备用间等。楼上为净化机组、更衣间、示教室、配电间、服务器间和医生办公室、处置室和走廊等，楼下为废水间、库房、配电间、生活水箱间和走廊等。本项目包括 PET 中心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。PET 中心患者出口设置在东北侧，患者出口有地面引导标识，供受检者由此通往楼外，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 PET 中心给药患者长时间停留或者药物贮存的房间（如 PET 机房、给药后等候室和高活室等）PET 用药物 γ 射线能量高，对周围环境影响较大，故特别关注患者注射后等候室和检查场所楼上和楼下房间的用途。PET/CT 室和给药后等候区楼上为更衣室、库房、示教室、配电间和服务器室等，楼下为废水间、空压站、生活水箱间、库房、走廊，一层顶棚楼板最薄处为 27cm 混凝土，地板为 12cm 混凝土+10cm 硫酸钡混凝土，足够对楼上和楼下场所起到屏蔽作用。选址兼顾了辐射屏蔽、周围科室、场所布局、安全管理等因素。总体认为该项目选址合理。

10.2.2 场所平面布局与合理性分析

PET 中心诊疗和同位素实验室按照 2 个区域进行布置，有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，设计时考虑了以下因素：

（1）PET 中心门诊诊疗场所根据诊疗流程，合理设计各功能房间的布局，PET 扫描设备设在场所西侧，高活室设在场所的东南侧，可防止交叉污染。

（2）PET 中心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，从南侧入口进入 PET 中心控制区，依次完成注射、等候、检查（治疗）和留观活动后，从东北侧出口离开 PET 中心。给药后患者与给药前患者不交叉。医护人员设有专用的通往高活

室、控制室的通道，和给药后患者路径不交叉。医护人员进入控制区的出入口设立了缓冲区，用来更换工作服和工作鞋，防止放射性污染扩散至控制区外。

（3）同位素实验室布置在诊疗场所南侧，标记室与 PET 高活室之间拟配有药物专门药物传递箱，便于放射性药物转移，并有效缩短了药物转移距离，也符合相对集中的原则。

（4）工作人员办公场所设在 PET 中心和同位素实验室楼上，在 PET 中心西南侧设有电梯、南侧楼外设有楼梯，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、放射性操作等区域划分明确，且相对隔离，满足了 PET 中心和同位素实验室布局管理的要求，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。

综上所述，PET 中心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。

10.2.3 场所分区

本项目包括 PET 中心和同位素实验区域，北侧为 PET 中心，南侧为同位素实验室。本项目建成后，控制区包括 PET/CT 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、标记室、动物实验室、质控室。监督区包括 PET/CT 控制室、设备间、卫生通过间、一更、二更及等候区等。

（1）同位素实验室：实验室使用 F-18、Ga-68 核素，同位素实验室北侧为标记室，南侧为动物实验室和质控室，通过传递窗进行药物和废物的传递，一更、二更设在西侧，该区域出入口拟安装门禁系统。

（2）PET 中心使用核素 F-18 和 Ga-68 核素开展核素检查，诊断区域按照使用功能区划分为接诊区、辐射工作场所区域（控制区和监督区）。

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

2) 控制区：包括高活室、PET/CT 室、注射后候诊室 1、注射后候诊室 2、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) 监督区：包括控制室、设备间、卫生通过间、一更、二更。

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 10-10 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，标记室设有热室（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。

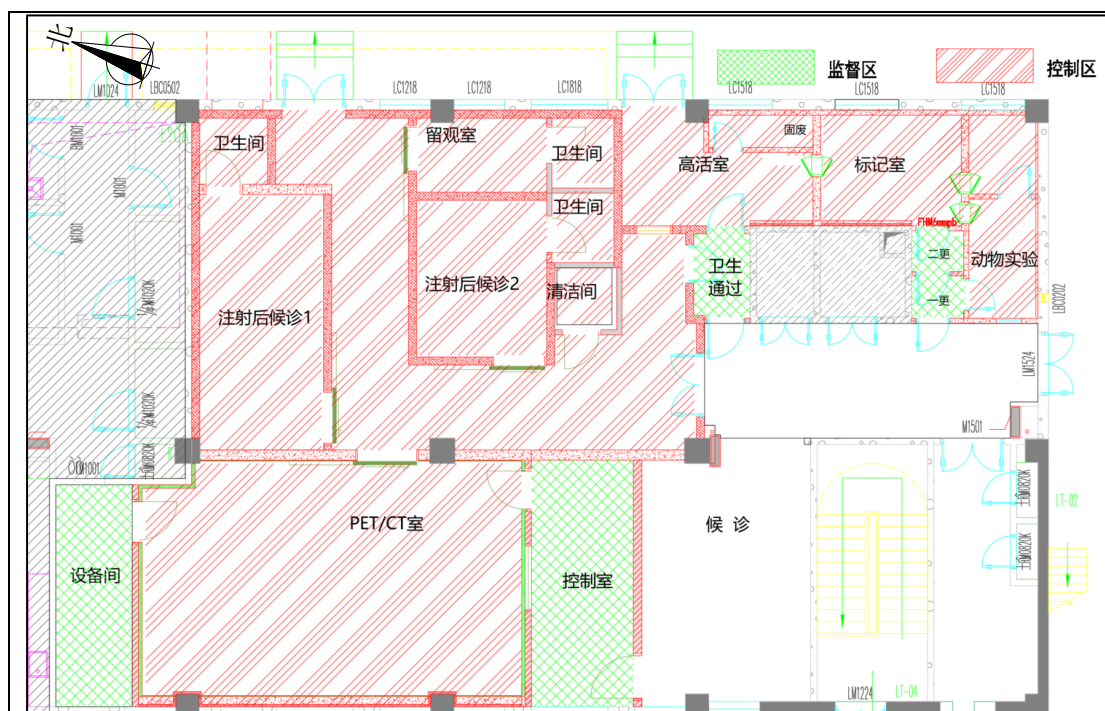


图 10-10 PET 中心和同位素实验室布局与分区示意图

10.3 工作流程及路径

PET 中心诊疗区域设置受检者检查区和实验室入口和出口，均设有门禁系统。只有本科室工作人员有授权。

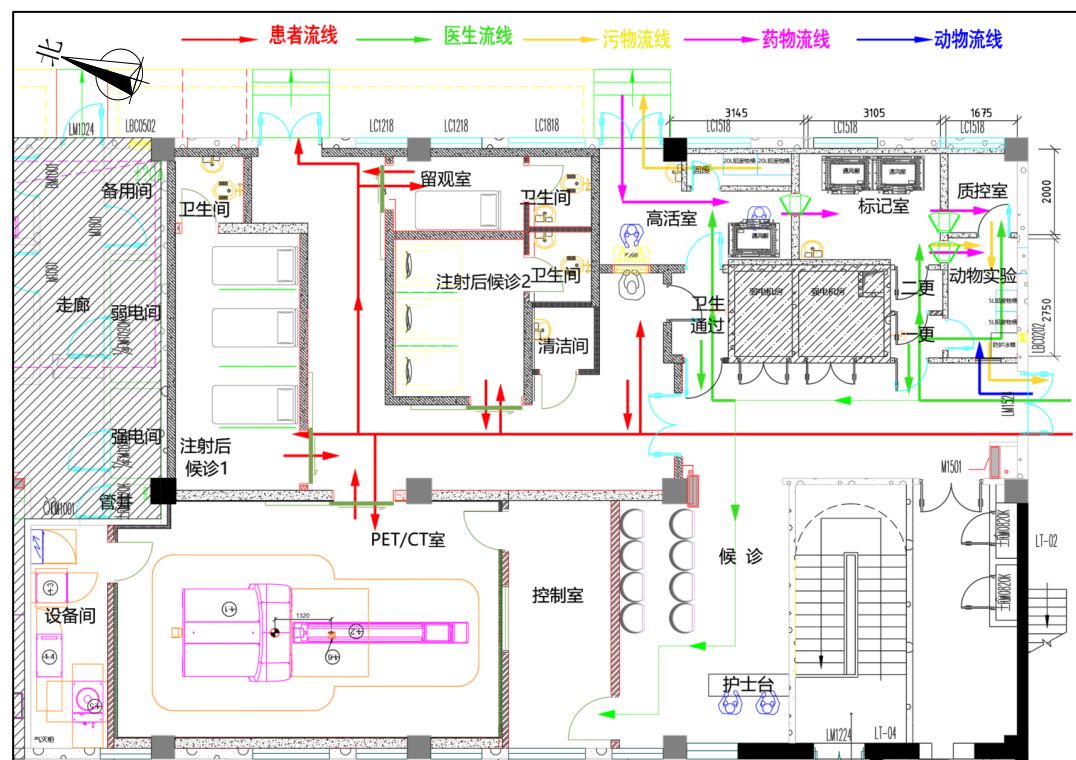


图 10-11 PET 中心和同位素实验室路由图

(1) PET 显像诊断流程

患者从西配楼南侧进入核医学科→在患者候诊区候诊→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→在 PET/CT 注射后等候室休息→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 PET 中心东北侧出口离开。

(2) PET 中心工作人员工作路径

➤ 高活室工作人员：

工作人员从 PET 中心南侧进入卫生通过间→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→工作结束后在卫生通过间更换工作服、工作鞋，后离开。

➤ 控制廊操作人员：

工作人员由 PET 中心西南侧控制室的南侧的门进入，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 PET 中心场所。

➤ 同位素实验室标记室工作人员

工作人员通过门禁系统从西侧进入实验区，在一更更换工作服和拖鞋→经二更进入标记室→在标记室的热室内分装、标记药物→工作结束后，通过二更进入一更→在一更去污检测（有污染需进行去污），然后离开走廊→离开实验室。

➤ 同位素实验室质控室、动物实验室工作人员

工作人员通过门禁系统从西侧进入一更，更换工作服和拖鞋→进入动物实验室通过传递窗接收动物注射药物，开展动物实验→经动物实验室东侧门进入质控室，通过传递窗接受质控药物→离开时，一更去污检测（有污染需进行去污）→离开实验室。

(3) 放射性药品转移流转路径

PET 中心放射性药物：由供货公司通过西配楼东侧门送入高活室→在 PET 中心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，在注射窗口进行注射操作→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。包装容器由供货方在下次送药时收回。

同位素实验室放射性核素：由供货公司通过西配楼东侧门送入高活室→在 PET 中心高活室内药品管理员与送货人员办理验收交接手续→记录核素规格、批次、数量以及收货时间→经传递窗送入标记室，在标记室的热室内进行药物合成、分装和测定→废弃的放射性污染材料暂存在标记室废物桶内→每周一早上通过传递窗将废物送往 PET 中心高活室内的废物间→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。标记室内合成的药物经传递窗送往动物实验室和质控室。

Ga-68 门诊药物：在同位素实验室标记室制备的药物通过传递窗送入高活室→在 PET 中心高活室内药品管理员与同位素实验室人员办理交接→在高活室进行药物注射操作。

(4) 放射性废物转移路径

PET 中心诊疗区：注射窗旁设置 1 个铅废物桶（20mmPb）存放废弃的放射性药物，在候诊室和留观室分别设 1 个铅废物桶（5mmPb），每周一早晨转移至废物间。

同位素实验室：标记室热室旁设置 1 个铅废物桶（20mmPb）存放废弃的放射性药物，在质控室设 1 个铅废物桶（5mmPb），每周一早晨集中转移至动物实验室铅废物桶储存。

废物间设置 2 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 30d，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，从高活室东侧门运出，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。

在动物实验室西南角设置废物收集区，设有 1 个冰箱用于存放动物尸体，冰柜内设置 2 个铅废物桶（5mmPb，存放实验鼠尸体），2 个 5mmPb 废物桶收集放射性废物，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置至少 30d，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，从西侧传递窗传递经患者

入口门运出，采取错峰（下班后无患者就诊时）运送废物，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。

（5）动物路径

实验需要使用动物时通过动物实验室西侧传递窗运至动物实验室→动物实验时将实验鼠处死→将实验鼠收集后贮存在动物废物间冷冻冰柜内暂存→清洁解控后，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。

（6）放射性废水暂存和排放

注射后等候室和留观室的冲厕废水、高活室洗手废水、清洁间保洁废水，应急淋浴废水、同位素实验室洗手废水等→专用排水管道→地下一层新建的放射性废水衰变池暂存→废水暂存至少 30d 后，直接解控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。诊断显像药物中，PET 检查的正电子药物 F-18 需要在注射前进行分装，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。

PET 中心和同位素实验室拟配套建设 2 套放射性通风处理设施，PET 高活室手套箱和标记室的热室设置一套独立的排风系统；PET 中心控制区和同位素实验室的控制区设置一套独立的排风系统。排风管道由南侧楼外引至建筑楼顶，风口高于楼顶，排气口高度约 21.2m，位于楼顶东南角，高于周围 50m 范围内建筑物。手套箱和热室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 $\geq 0.5\text{m/s}$ ）。其他四套排风系统在风管道出口前设置活性炭过滤装置，风机都位于楼顶。

(8) 出入口控制

1) 受检人员出入口控制：在 PET 中心南侧的患者入口、东北侧患者出口处各安装 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：在医务人员进入卫生通过间、高活室、进入 PET/CT 控制室和进入标记室的更衣间等都拟设置门禁系统，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。

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》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 10-5 和表 10-6。

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 10-5 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，本项目都是已有科室扩建项目，相关部门负责人不变。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。 北大人民医院拟为本项目至少增配 9 名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合

3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源贮存库或设备。	本项目使用的同位素药物采取预约订购，放射性核素送至当日即使用，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 PET 中心和同位素实验室控制区入口处，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。	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。	本项目拟调配 2 台表面污染仪，新增 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。	高活室内拟配备手套箱，标记室配备热室，手套箱和热室设置高效过滤器，设置专用排风管道，排风引至门诊楼顶部经活性炭过滤后排放。PET 高活室内产生的废水，给药后患者专用卫生间产生的废水，清洁间废水和同位素实验室洗手废水、应急废水等，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。动物尸体暂存于动物实验室的冰柜内，清洁解控后返回医院动物房作为医疗废物委托有资质的公司处置。	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 10-6 所示。

表 10-6 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联锁、报警装置或者工作信号。	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。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。	落实后符合
3	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。	医院在每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	落实后符合
4	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。 北大人民医院拟为本项目至少增配9名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
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	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

	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。		
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

PET 中心及同位素实验室产生放射性“三废”。放射性废气经通风系统的活性炭过滤后，在楼顶部排放。PET 中心及同位素实验室放射性废水汇入槽式衰变池，暂存后解控处置。放射性固体废物分类贮存于废物衰变间内，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 PET 中心和同位素实验室运行（使用）后对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响预测

1、PET 中心诊疗的使用规划

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 PET 中心使用规划，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 PET 中心的使用规划

序号	核素种类	类别	最大工作量			用途（年总人次）
			人次/天	天数/年	用量/年	
1	F-18	A	55	250	2.04E+12	PET 诊断（13750）
2	Ga-68	A	5	50	4.63E+10	PET 诊断（250）

根据使用规划，PET 中心每天使用 PET 开展影像诊断最多 60 人次。诊断使用的放射性核素中，半衰期都小于 24h（A 类）。

2、剂量估算源强

（1）本项目使用长轴 PET/CT，F-18 一般用量为 148MBq（4mCi）/人次左右，Ga-68 用量为 185MBq/人，本项目保守以 F-18 使用量 185MBq（5mCi）/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 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，给患者注射 185MBq 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 $16.9\mu\text{Sv/h}$ （考虑患者自吸收因子 0.36）；注射时裸源 1m 处剂量率 $26.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）F-18 需要在高活室再次分装，每次转运防护罐盛装最大量一般不超过 13.3GBq（360mCi），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 13.3GBq，操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 1902 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 8.53E-3 μ Sv/h（0.8m）。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 1.09 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。考虑到抽取药液时，每次最多只有 370MBq（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 μ Sv/h（0.8m），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 μ Sv/h 的要求。

（3）PET/CT 注射后等候室最多 3 名受检者同时候诊，留观室最多 1 名受检者停留。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，考虑候诊室的叠加影响。

（4）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 6.24E-2），保守每次注射器中残留 3.7MBq（0.1mCi），则距废物桶 30cm 处（约 0.5m）的附加剂量率为 0.13 μ Sv/h，假设上午有 30 个患者，考虑到时间的衰减，剂量率约 2.26 μ 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 处的剂量率低于 0.5 μ Sv/h，能够满足距废物桶 30cm 处 2.5 μ Sv/h 的要求。

（5）根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、70min）后的活度衰减因子为 0.68、0.64，每人候诊或检查期间（60min、40min 和 10min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.88 和 0.98。

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 30cm 处剂量水平。

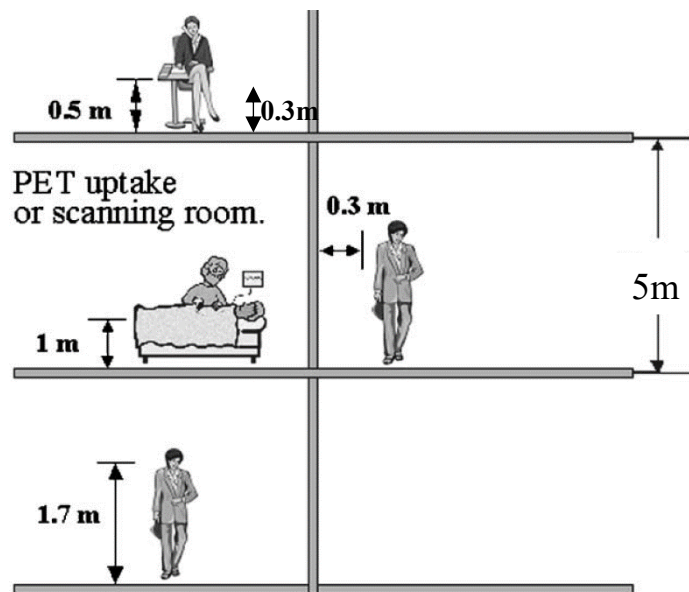


图11-1 周围关注点位置示意图

4、估算方法

PET扫描只使用 F-18、Ga-68。给患者注射 185MBq 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 $16.9\mu\text{Sv/h}$ （考虑患者自吸收因子 0.36）；注射时裸源 1m 处剂量率 $26.5\mu\text{Sv/h}$ 。Ga-68 的有效剂量当量剂量率常数为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，给患者注射 185MBq 的 Ga-68 后，距离患者 1m 处的剂量率为 $16\mu\text{Sv/h}$ （考虑患者自吸收因子 0.36）；注射时裸源 1m 处剂量率 $24.8\mu\text{Sv/h}$ 。Ga-68 比 F-18 剂量率低，故以 F-18 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

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

式中：

H_{γ} —关注点的 γ 剂量率 $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —距靶 1m 处的 γ 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 — 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，F-18 的估算考虑衰减因子的影响。

(2) 年有效剂量估算公式

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

式中： E --年有效剂量， μSv ；

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 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），估算高活室、PET/CT 室、等候室、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 11-2 所示。

表 11-2 诊疗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 (1 名 F-18 患者， 11.5 $\mu\text{Sv/h}$ @1m)	南墙控制室 a1	5.8	8mmPb	3.30E-01	1.13E-01	工作人员
	西墙楼外走道 a2	3.3	24cm 混凝土砖 +2mmPb	5.54E-02	5.85E-02	公众
	北墙设备间 a3	4.2	8mmPb	3.30E-01	2.15E-01	监督区
	东墙注射后候诊室 1 a4	3.7	24cm 混凝土砖 +2mmPb	5.54E-02	4.66E-02	控制区
	患者门 a5	3.7	8mmPb	3.30E-01	2.77E-01	控制区
	控制室门 a6	6.3	8mmPb	3.30E-01	9.56E-02	工作人员
	观察窗外 a7	5.8	8mmPb 当量铅玻璃	3.30E-01	1.13E-01	工作人员
	楼上配电间 a8 (距地面 50cm)	4.5	27cm 混凝土	2.92E-02	1.66E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	27cm 混凝土	2.92E-02	1.82E-02	/

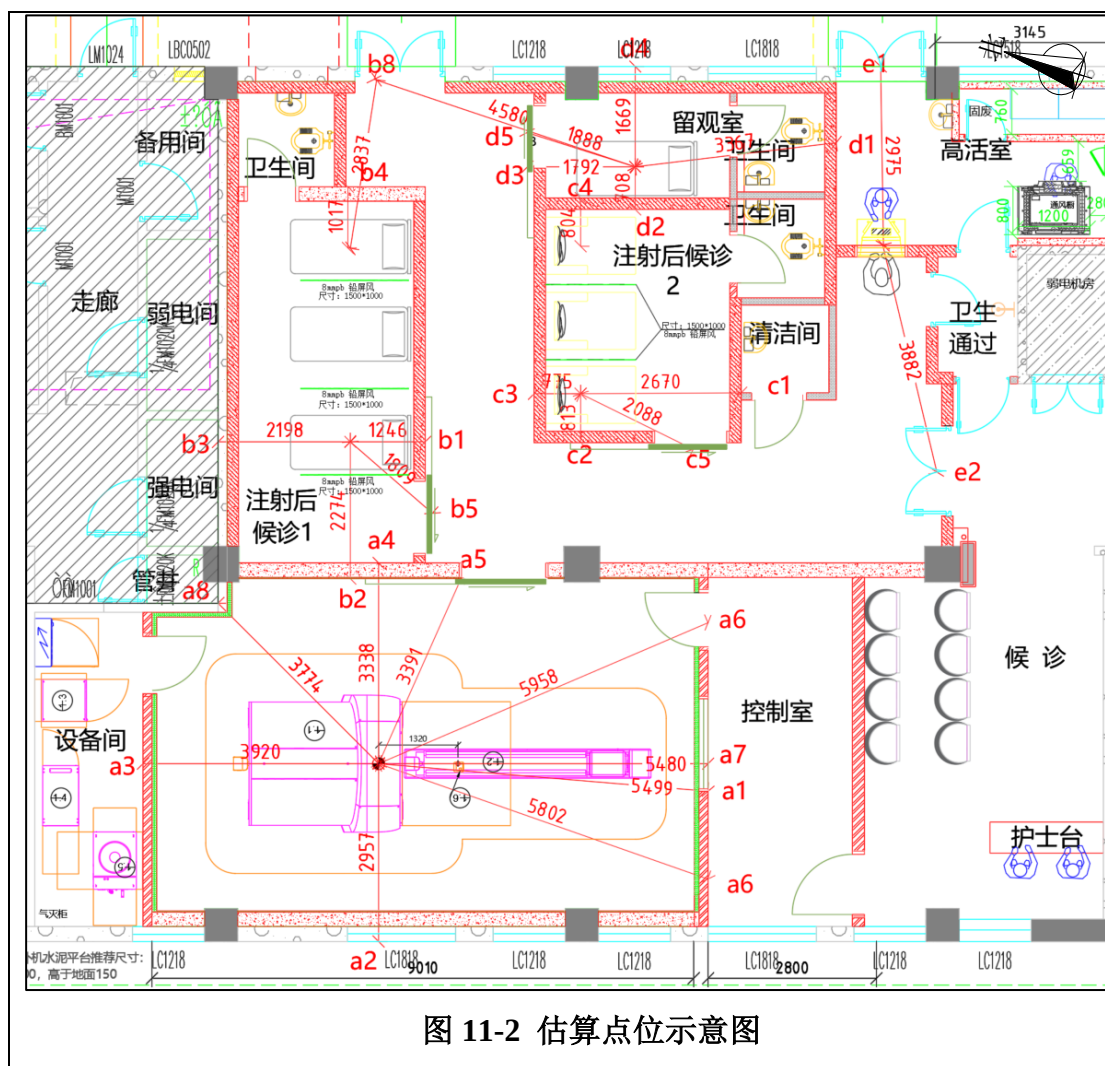
	楼下废水间 a9	4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	1.16E-02	7.21E-03	控制 区
注射后候诊 室 1 (1 名注 射 370MBq F-18 患者, 16.9μSv/h @1m)	南墙患者走廊 b1	1.5	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	2.54E-01	控制 区
	西墙 PET/CT 室 b2	2.5	24cm 混凝土砖 +2mmPb+8mmPb (铅屏风)	1.82E-02	4.94E-02	控制 区
	北墙弱电间 b3	2.5	19cm 硫酸钡砖 +24cm 红砖	4.00E-03	1.08E-02	公众
	东墙患者走廊 b4	1.3	24cm 混凝土砖	7.31E-02	7.32E-01	控制 区
	防护门 b5	2.1	8mmPb+8mmPb (铅屏风)(考虑 45°斜穿 22.6mm)	4.35E-02	1.67E-01	控制 区
	患者出口 b8	3.1	24cm 混凝土砖 +8mmPb	2.31E-02	2.31E-01	公众
	楼上示教室 b6 (距地面 50cm)	4.5	27cm 混凝土	2.92E-02	2.44E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	27cm 混凝土	2.92E-02	2.68E-02	/
	楼下走廊 b7	4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	3.51E-02	3.22E-02	公众
注射后候诊 室 2 (1 名注 射 370MBq F-18 患者, 16.9μSv/h @1m)	南墙清洁间 c1	3.0	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	6.35E-02	控制 区
	西墙患者走廊 c2	1.1	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	4.72E-01	控制 区
	北墙患者走廊 c3	1.1	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	4.72E-01	控制 区
	东墙留观室 c4	1.1	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	4.72E-01	控制 区
	防护门 c5	2.4	8mmPb (考 60 度 斜穿 16mm)	1.09E-01	3.19E-01	控制 区
	楼上示教室 c6 (距地面 50cm)	4.5	27cm 混凝土	2.92E-02	2.44E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	27cm 混凝土	2.92E-02	2.68E-02	/
	楼下库房 c7	4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	3.51E-02	3.22E-02	公众
留观室 (1 名 F-1 患 者, 10.8μSv/h @1m)	南墙高活室 d1	3.7	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	2.67E-02	控制 区
	西墙注射后等候 室 2 d2	1.0	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	3.66E-01	控制 区
	北墙患者走廊 d3	2.1	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	8.30E-02	控制 区

	东墙楼外走道 d4	2.0	19cm 硫酸钡砖	3.38E-02	9.15E-02	公众
	防护门 d5	2.2	8mmPb (考虑 30 度斜穿 9.2)	2.79E-01	6.25E-01	控制区
	患者出口 b8	4.9	16mmPb	1.09E-01	4.90E-02	公众
	楼上示教室 d6 (距地面 50cm)	4.5	27cm 混凝土	2.92E-02	1.56E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	27cm 混凝土	2.92E-02	1.71E-02	/
	楼下库房 d7	4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混凝土	3.51E-02	2.06E-02	公众
高活室 (注射 185MBq F-18)	东侧防护门室外走道 e2	3.3	8mmPb+40mm (注射窗)	3.30E-01	3.12E-03	公众
	患者入口 e3	4.2	8mmPb (考虑 60 度斜穿 16mm)	1.09E-01	1.63E-01	公众
	楼上示教室 e4 (距地面 50cm)	4.5	27cm 混凝土	2.92E-02	2.60E-02	公众
	楼上 30cm 处	4.3	27cm 混凝土	2.92E-02	4.18E-02	/
	楼下风机房 e5	4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混凝土	3.51E-02	5.02E-02	公众

注：①混凝土密度不低于 2.35g/cm³，硫酸钡砖密度不低于 3.2g/cm³，红砖密度不低于 1.6g/cm³，铅板的密度为 11.4g/cm³。硫酸钡砖按密度等效成混凝土厚度进行计算。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 185MBq 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 11.5μSv/h。④患者出口处 b8 考虑注射后候诊室 1 和留观室对其影响，叠加后剂量约为 2.8E-01μSv/h。

(2) 周围不同位置的附加剂量叠加情况

主要以注射后等候室 1 和注射后候诊室 2 分别同时存在 3 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 11-3。



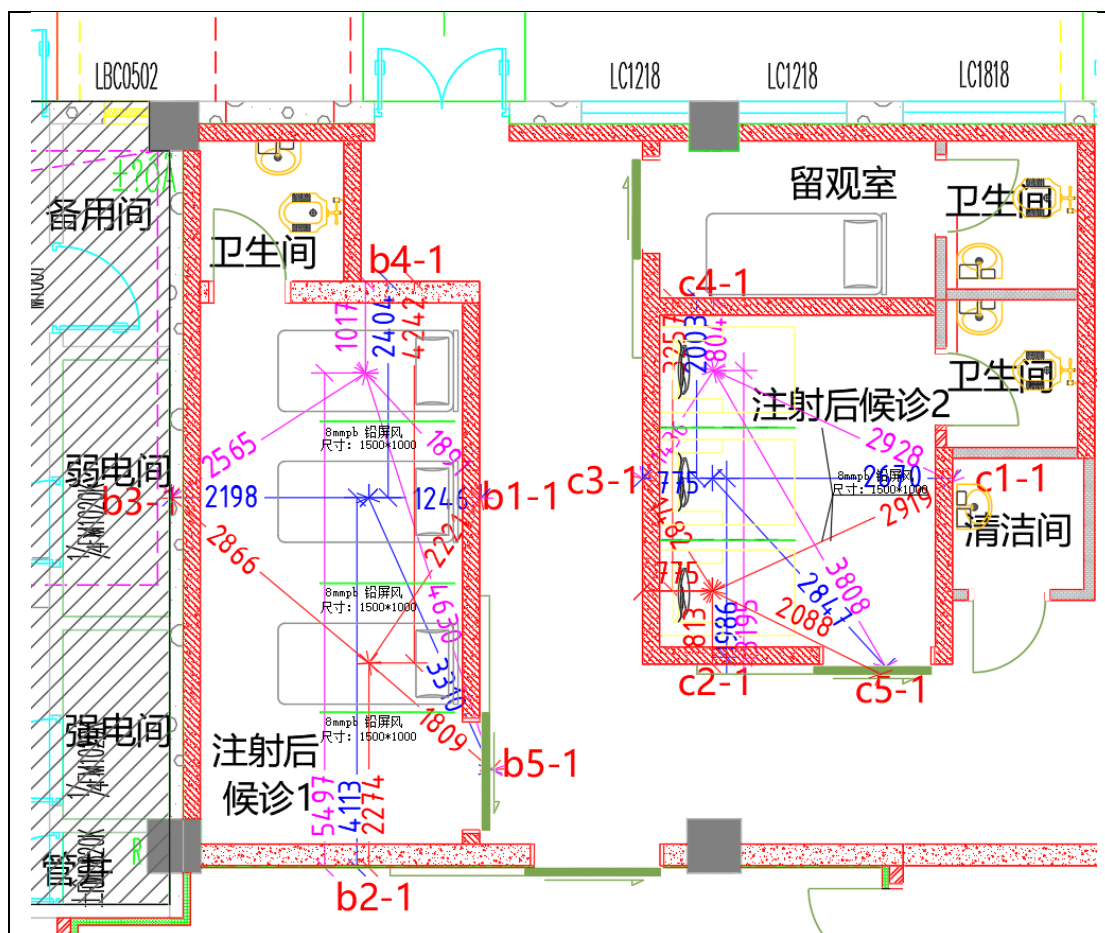


图 11-3 注射后候诊室估算点位置图（考虑叠加影响）

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	1m 处剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	衰减因子	屏蔽后附 加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	累加剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
注射后候 诊室 1 (3 名 370MBqF- 18 注射 者)	南墙外 患者走 廊 b1-1	1.5	19cm 硫酸钡砖	1.69E+01	4.33E-02	3.26E-01	4.10E-01
		2.5	19cm 硫酸钡砖 +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	1.43E-02	3.87E-02	
		2.2	19cm 硫酸钡砖 +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	1.43E-02	4.57E-02	
	西墙 PET/CT 室 b2-1	2.5	24cm 混凝土砖 +2mmPb+8mmPb (铅屏风)	1.69E+01	1.82E-02	4.94E-02	5.57E-02
		4.4	24cm 混凝土砖 +2mmPb+16mmPb (铅屏风)	1.69E+01	6.02E-03	5.26E-03	

		5.8	24cm 混凝土砖 +2mmPb+24mmPb (铅屏风)	1.69E+01	1.98E-03	9.98E-04	
	北墙外 弱电间 b3-1	2.5	19cm 硫酸钡砖 +24cm 红砖	1.69E+01	4.00E-03	1.08E-02	2.55E-02
		3.2	19cm 硫酸钡砖 +24cm 红砖	1.69E+01	4.00E-03	6.62E-03	
		2.9	19cm 硫酸钡砖 +24cm 红砖	1.69E+01	4.00E-03	8.06E-03	
	东墙外 患者走 廊 b4-1	1.3	24cm 混凝土砖	1.69E+01	7.31E-02	7.32E-01	7.94E-01
		2.7	24cm 混凝土 +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	2.41E-02	5.59E-02	
		4.5	24cm 混凝土 +16mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	7.94E-03	6.64E-03	
	防护门 外患者 走廊 b5-1	2.1	8mmPb+8mmPb (铅屏风)(考虑 45°斜穿 22.6mm)	1.69E+01	4.35E-02	1.67E-01	2.22E-01
		3.6	8mmPb (考虑 60 度斜穿 16mm) +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	3.58E-02	4.68E-02	
		4.9	8mmPb (考 60 度 斜穿 16mm) +16mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	1.18E-02	8.33E-03	
	楼上示 教室 b6-1 (距地 面 50cm)	4.5	27cm 混凝土	1.69E+01	2.92E-02	2.44E-02	7.33E-02
		4.5	27cm 混凝土	1.69E+01	2.92E-02	2.44E-02	
		4.5	27cm 混凝土	1.69E+01	2.92E-02	2.44E-02	
	楼下走 廊 b7	4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	1.69E+01	3.51E-02	3.22E-02	9.65E-02
		4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	1.69E+01	3.51E-02	3.22E-02	

		4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	1.69E+01	3.51E-02	3.22E-02	
注射后候 诊室 2 (3 名 370MBqF- 18 注射 者)	南墙清 洁间 c1-1	3.0	19cm 硫酸钡砖	1.69E+01	3.38E-02	6.35E-02	1.75E-01
		3.2	19cm 硫酸钡砖	1.69E+01	3.38E-02	5.58E-02	
		3.2	19cm 硫酸钡砖	1.69E+01	3.38E-02	5.58E-02	
	西墙患 者走廊 c2-1	1.1	19cm 硫酸钡砖	1.69E+01	3.38E-02	4.72E-01	4.77E-01
		2.3	19cm 硫酸钡砖 +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	1.11E-02	3.56E-02	
		3.5	19cm 硫酸钡砖 +16mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	3.67E-03	5.07E-03	
	北墙患 者走廊 c3-1	1.1	19cm 硫酸钡砖	1.69E+01	3.38E-02	4.72E-01	5.96E-01
		1.8	19cm 硫酸钡砖 +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	1.11E-02	5.82E-02	
		1.7	19cm 硫酸钡砖 +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	1.11E-02	6.52E-02	
	东墙留 观室 c4-1	1.1	19cm 硫酸钡砖	1.69E+01	3.38E-02	4.72E-01	5.13E-01
		2.3	19cm 硫酸钡砖 +8mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	1.11E-02	3.56E-02	
		3.6	19cm 硫酸钡砖 +16mmPb (铅屏 风)	1.69E+01	3.67E-03	4.79E-03	
	防护门 c5-1	2.4	8mmPb (考 60 度 斜穿 16mm)	1.69E+01	1.09E-01	3.19E-01	4.89E-01
		3.1	8mmPb+8mmPb (铅屏风)(考虑 45 度斜穿 22.6)	1.69E+01	4.35E-02	7.67E-02	
		4.1	8mmPb+8mmPb (铅屏风)(考虑 30 度斜穿 17.2)	1.69E+01	9.20E-02	9.27E-02	
	楼上示 教室 c6-1 (距地 面 50cm)	4.5	27cm 混凝土	1.69E+01	2.92E-02	2.44E-02	7.33E-02
		4.5	27cm 混凝土	1.69E+01	2.92E-02	2.44E-02	
		4.5	27cm 混凝土	1.69E+01	2.92E-02	2.44E-02	
	楼下库 房 c7-1	4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	1.69E+01	3.51E-02	3.22E-02	9.65E-02

		4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	1.69E+01	3.51E-02	3.22E-02	
		4.3	12cm 混凝土 +10cm 硫酸钡混 凝土	1.69E+01	3.51E-02	3.22E-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。

由表 11-2 和表 11-3 可见，本项目运行后，PET 中心的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平最大为 $2.80\text{E-}1\mu\text{Sv/h}$ （患者出口 b8），PET 中心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 $7.94\text{E-}1\mu\text{Sv/h}$ （注射后候诊室 1 内 3 名患者同时候诊时东墙患者走廊 b4-1），均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求。

项目控制区 PET/CT 室西侧 36m 处有北礼士路 75 号院 77 号楼，根据表 11-2 计算可知，PET/CT 西墙外 30cm 处剂量率为 $5.85\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，根据距离衰减，本项目运行后对北礼士路 75 号院 77 号楼剂量率为 $5.85\text{E-}02\mu\text{Sv/h}/(36\text{m} \times 36\text{m}) = 4.51\text{E-}05\mu\text{Sv/h}$ ，因此，本项目运行后对其影响可以忽略不计。

（3）PET/CT 中 CT 的剂量叠加分析

本项目 PET/CT 机房墙体、观察窗和防护门等六面采取的辐射屏蔽措施均不低于 4.0mm 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满足 30m^2 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 $0.052\mu\text{Gy/mAs}$ （垂直）和 $0.051\mu\text{Gy/mAs}$ （水平），CT 扫描通常不超过 300mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/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 4.0mmPb，透射系数小于 $1.2\text{E-}5$ ，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 $5.5\text{E-}2\mu\text{Gy/h}$ 。保守假设全部检查人员做 CT 扫描，PET/CT 全年运行时间为 62.5h，对机房周围全居留人员的最大附加剂量贡献不大于 $3.43\mu\text{Sv}$ 。

患者检查时 PET/CT 机房周围最大附加剂量率为 $2.93\text{E-}1\mu\text{Sv/h}$ （PET 机房门外），即使叠加上 CT 运行所致剂量率 $5.5\text{E-}2\mu\text{Gy/h}$ ，也满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要

求，且 PET/CT 中 CT 运行时工作条件低于放射科诊断 CT，可以预计，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 中 CT 的影响。

11.2.3 周围公众受照剂量估算

PET 中心实行每日一班制，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 PET/CT 检查最大人数为 15000 人次。PET/CT 的扫描时间平均按 10min/人次，则 PET/CT 机房内患者停留时间约为 2500h，2 间注射后候诊室停留时间保守按 2000h（剂量率是按 3 人叠加后值估算）。

（2）PET 全年检查人总数不超过 15000 人次，每人留观 10min，留观室内的年留观时间为 2500h。

（4）PET 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。本项目年最多检查人数不超过 15000 人次，注射 PET 药物总时间为 125h。

（5）高活室手套箱内每天进行 F-18 药物分装时间 2min/人次，全年累计分装时间为 500h。

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 $3.04\text{E}+01\mu\text{Sv/a}$ （注射后等候室 1 和注射后等候室 2 楼上示教室），满足本项目设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

PET 中心场所分区管理，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 11-4 PET 中心相关场所主要位置的年附加剂量估算

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 名 F-	西墙楼外走道 a2	5.85E-02	1/16	2500	8.59E+00

18 患者)	楼上配电间 a8	1.66E-02	1/40	2500	9.75E-01
注射后候诊室 1 (3 名 F-18 患者)	北墙弱电间 b3-1	2.55E-02	1/40	2000	1.06E+00
	楼上示教室 b6-1	7.33E-02	1/4	2000	3.04E+01
	楼下走廊 b7-1	9.65E-02	1/16	2000	1.00E+01
	患者出口 b8	2.80E-01	1/16	2000	2.91E+01
注射后候诊室 2 (3 名 F-18 患者)	楼上示教室 c6-1	7.33E-02	1/4	2000	3.04E+01
	楼下库房 c7-1	9.65E-02	1/16	2000	1.00E+01
留观室 (1 名 185MBq F-18 患者)	东墙楼外走道 d4	9.15E-02	1/16	2500	1.43E+01
	楼上示教室 d6	1.56E-02	1/4	2500	9.75E+00
	楼下库房 d7	2.06E-02	1/16	2500	3.22E+00
高活室 (注射 185MBq F-18)	东侧防护门室外走道 e2	3.12E-03	1/16	125	2.44E-02
	患者入口 e3	1.63E-01	1/16	125	1.27E+00
	楼上示教室 e4	6.49E-02	1	125	2.03E+00
	楼下风机房 e5	5.02E-02	1/40	125	1.57E-01

备注：其中 F-18 年附加剂量考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减，由公式 $D(t) = D_1 \times T \times t \times R_d$ 算出，其中 t 为时间， R_d 为每人检查期间平均活度相对检查初始的活度因子，60min、40min 和 10min 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.88 和 0.98，其中高活室、留观室周围未考虑 R_d 的影响。

11.2.4 工作人员显像环节年受照剂量

(1) 工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

该场所显像核素中只有 F-18 核素需要分装，放射性药物分装的手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率保守按照 2.5μSv/h。分装操作时间全年保守按 500h 估算，则工作人员所受的年附加剂量为 1250μSv。

(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运输防护铅盒 (25mmPb) 运输 (从手套箱运到注射位)，1m 处剂量率低于 2.5μSv/h，运输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算 (剂量率不大于 10μSv/h 估算)。每次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 $10\mu\text{Sv/h} \times 10\text{s/人} \times 15000 \text{人} \times 1/3600\text{s/h} \approx 416.7\mu\text{Sv}$ 。

（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 185MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $335\mu\text{Sv/h}$ 。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 $5\mu\text{Sv/h}$ 。注射操作时间短，每人每次的注射时间为 30s ，年总操作时间约 125h ，则工作人员所受的年附加剂量为 $625\mu\text{Sv}$ 。

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 185MBq 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 $11.5\mu\text{Sv/h}$ （ $17\mu\text{Sv/h} \times 0.68$ ，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 15000 人次，PET/CT 摆位时间 30s/人 ，则累计摆位时间为 125h 。PET/CT 配备 2 名技师，则每位摆位工作人员所受到的年附加剂量 $11.5\mu\text{Sv/h} \times 125\text{h} / 2 \approx 718.8\mu\text{Sv}$ 。

（5）控制室内工作人员的年受照剂量

PET/CT 设 2 名技师，则控制室内的每名工作人员的年附加剂量约为 $141.3\mu\text{Sv}$ （ $1.13\text{E-}1\mu\text{Sv/h} \times 2500\text{h} / 2$ ）。

（6）质控时工作人员的年受照剂量

根据《正电子发射断层成像（PET）设备质量控制检测标准》（WS817-2023）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 探测器工作状态检测

本项目 PET/CT 使用 F-18 药物进行探测器工作状态检测，每次使用 37MBqF-18，周围剂量当量率常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$ ，操作距离取 50cm，操作位剂量率为 $21.1\mu\text{Sv/h}$ ，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 $35.4\mu\text{Sv/a}$ 。

②其他检测

其他检测包括定标因子、空间分辨力、灵敏度、噪声等计数率、散射分数、准确度和飞行时间分辨力等检测。每年进行 2 次检测，最大使用 37MBqF-18 注入水膜中进行，操作距离取 50cm，操作位剂量率为 $21.1\mu\text{Sv/h}$ ，每次操作时间约 10min，总操作时间为 2.33h/a，则工作人员附加剂量约为 $49.2\mu\text{Sv/a}$ 。

(7) 刻度时工作人员的年受照剂量

保守假设物理师每周质控一回，距离质控源液 1m 处的剂量率为 $12.7\mu\text{Sv/h}$ ，每次接触时间 10min（保守按每周一次），物理师的年附加剂量约为 $105.8\mu\text{Sv}$ ($12.7\mu\text{Sv/h}\times 8.33\text{h}$)。

(8) PET 中心显像环节工作人员受照剂量总结

根据以上估算，PET 中心显像环节工作人员的附加有效剂量如表 11-5。

表 11-5 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+刻度
PET/CT	1250	416.7	625	2291.7	718.8	141.3	860.1	191
备注	2 名共用护士，每名不超过 1.15mSv				PET/CT（技师 2 名）			1 名物理师完成

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 1.15mSv 、 0.86mSv 、 $191\mu\text{Sv}$ ，由于本项目都是专职人员，可不考虑与现有核医学科工作量的累加情况，且护士和技师的工作环节也不存在剂量累加的情况。

11.2.5 标记室辐射影响

同位素实验室每天使用 1 种核素开展科研实验。放射性同位素进行的标记、分装等操作都在标记室热室内进行，本实验室进行的高活度操作均在 50mm 铅当量的热室中进行，每次操作时间不超过 1h（近距离操作不超过 10min），每年最多 250 次，工作人员的操作距离为 0.8m，F-18 每次最大操作

为 555MBq，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，每天最多使用 1.85E+9Bq 的 Ga-68，热室里保守按 1.85E+9Bq 估算，热室铅厚度为 50mmPb。

热室模块箱外表面的剂量率计算结果如表 11-7 所示。

表 11-6 同位素实验室热室操作核素参数

核素	日最大操作量 Bq	TVL 厚度/mm		周围剂量当量率常数（裸源） $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$
		铅	混凝土	
F-18	5.55E+8	16.6	176	0.143
Ga-68	1.85E+9	16.6	176	0.134

表 11-7 热室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	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
Ga-68, 锗镓发生器位于北侧热室	1.85E+3	正面 30cm 处	50mm 铅	0.8	9.73E-4	3.77E-1	标记室
		后面 30cm 处	50mm 铅 +18cm 硫酸钡混凝土	1.2	3.51E-5	6.79E-3	楼外走道
		左侧 30cm 处	50mm 铅	0.8	9.73E-4	3.77E-1	标记室
		顶部	50mm 铅	1	9.73E-4	8.69E-3	/
F-18, 在南侧热室进行合成、分装	5.55E+2	正面 30cm 处	50mm 铅	0.8	9.73E-4	1.21E-1	标记室
		后面 30cm 处	50mm 铅 +18cm 硫酸钡混凝土	0.8	3.94E-5	2.17E-3	楼外走道
		右侧 30cm 处	50mm 铅 +24cm 混凝土	1.2	4.21E-5	5.22E-3	动物实验室
		顶部	50mm 铅	1	9.73E-4	7.72E-2	/

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取 $0.38\mu\text{Sv/h}$ ，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 $95\mu\text{Sv}$ 。

标记室东墙和西墙墙体为 12cm 混凝土砖（衰减因子约 $2.70\text{E}-1$ ），南墙和北墙墙体为 18cm 混凝土砖（衰减因子约 $1.41\text{E}-1$ ），传递窗为 10mmPb（衰减因子约 $2.5\text{E}-1$ ），楼顶为 27cm 混凝土（衰减因子约 $2.92\text{E}-2$ ），热室同位素操

作位距标记室外公众区域至少有 2m，保守估算，标记室周围公众的附加剂量不大于工作人员剂量的 1/8，则该场所对周围的公众所致年剂量可以忽略。

11.2.6 动物实验辐射影响

给实验动物注射标记好的放射性药物，注射的最大活度为 18.5MBq (0.5mCi)，距离 0.5m，操作时间 1 分钟，注射过程所受剂量为 0.18μSv，一年实验动物不超过 2500 只，辐射工作人员的年附加剂量约为 450μSv。

11.2.7 质控室辐射影响

放射性药物制备好后，取样不大于 7.40E+6Bq (一般不大于 3.70E+6Bq) 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)，通过传递窗至质控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 7.40E+6Bq (200μCi)，1m 处操作位剂量率约为 1.06μSv/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 53μSv。同位素操作位距质控室外公众区域 (南墙楼外) 约有 2m，经过南墙 24cm 红砖屏蔽后 (衰减因子为 1.19E-01)，南墙楼外公众位的附加剂量率约为 $1.06\mu\text{Sv/h} \times 1.19\text{E}-01 / (2\text{m} \times 2\text{m}) = 0.03\mu\text{Sv/h}$ ，则该场所对周围的公众影响可以忽略。

11.2.8 PET 中心和同位素实验室受照剂量总结

(1) 工作人员受照剂量

根据以上估算，PET中心每名工作人员剂量最大不超过1.15mSv。保守按1名工作人员完成同位素实验室所有实验环节最大剂量为0.6mSv。本项目PET中心和同位素实验室人员分开设定，不存在交叉工作，且所有工作人员为专职人员，不存在剂量累加情况。能满足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75.9μSv，低于本项目设定的年剂量约束值100μSv/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

PET高活室设有手套箱，实验区标记室配有2个热室（手套箱），手套箱和热室安装一套独立的排风系统。每个手套箱和热室各自配高效过滤器约2kg，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，通过楼外排风管道引至门诊楼楼顶过滤排出。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。

11.3.2 放射性液体废物

本项目拟新建一个衰变池，衰变池收集的主要的放射性核素来源于 PET 中心门诊受检患者的排泄物、洗手池和拖布池产生的废水和应急淋浴水，同位素实验室产生的洗手废水和清洗废水等。门诊显像检查使用的 F-18 和 Ga-68 核素用于 PET 检查的正电子核素（都是 A 类核素）；实验区使用 F-18（A 类）、Ga-68（A 类）核素。

（1）产生放射性废水达标性的分析

PET 中心诊疗设置受检患者专用卫生间。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，患者一次入厕用水量不超过 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；高活室洗手池和清洁间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，PET 中心达到饱和运行时，诊断区年检查人数不超过 15000，年产生废水约 $6\text{L}/\text{人} \times 15000\text{人} + 60\text{L}/\text{d} \times 250\text{d} + 50\text{L} = 105.05\text{m}^3$ 。

同位素实验室清洁间将产生清洁废水，标记室和质控室的洗手池将产生洗手废水和冲洗工具废水。全年产生放射性废水 5m^3 ，其中清洁废水约 $2.5\text{m}^3/\text{年}$ （ $10\text{L}/\text{天} \times 250\text{天}/\text{年} = 2.5\text{m}^3$ ），洗手和冲洗工具约 $2.5\text{m}^3/\text{年}$ （每天洗手，1 次 $\times 2\text{人} \times 2\text{L} = 4\text{L}$ ；冲洗工具，1 次 $\times 2\text{L} \times 3\text{次} = 6\text{L}$ ，年工作 250 次）。

衰变池的总容积约为 27m^3 ，每槽充满约 1 个月，则废水开始存满到排放

大约经历 60 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 天的要求。

PET 中心和同位素实验室总放射性废水暂存衰变超过 30 天可解控排放，排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

（2）衰变池辐射防护与安全管理

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

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

11.3.3 放射性固体废物

PET 中心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。PET 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 2 个 5mmPb 铅废物桶，储存实验后的实验鼠。

（1）一般放射性固体废物

医院每年最多两套 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，动物注射等操作会在吸水垫上操作，少量的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 15000 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）；加上动物注射等操作会在吸水垫上操作，少量的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 360kg。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，A 类固体废物暂存时间超过 30 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

PET 中心和同位素实验室每年更换热室和楼顶活性炭过滤器，预计额外产生 16kg 固体废物（每个活性炭过滤器不小于 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 30 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 2500 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 750kg。实验结束后，动物均被处死，尸体装入密封袋，暂存于固废间内配置的冰柜中，暂存 30d（含 A 类核素）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实验鼠，每年使用量不大于 2500 只，不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。每只实验鼠注射量不大于 18.5MBq，对动物进行放射性药物注射也在动物实验室内进行。每天实验鼠不超过 10 只，实验完处死后的实验鼠标明核素种类、时间。试验使用 F-18、Ga-68，半衰期小于 24h (A 类核)，实验鼠存储 1 个月后进行清洁解控，存储 B 类核素的实验鼠每季度 (90 天) 进行清洁解控。每月实验鼠不大于 208 只，冷冻 208 只实验鼠，体积不超过 20.8 立方分米，本项目设置 1 个 150L 的冰柜，冰柜内设置 2 个铅桶，可满足要求。

11.4 本项目异常事件分析与防范措施

11.4.1 PET 中心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。

11.4.2 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，PET 中心工作人员与送药人员在高活室内摄像头下“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) PET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30天后，达到解控水平后办理清洁解控，该措施可有效避免放射性废物对环境造成污染和影响。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。

放射性场所场设置有排风系统，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11-8。

表11-8 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 PET 中心和同位素实验室场所出入口、高活室、扫描机房、病人等候室、标记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	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、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。在候诊室内设铅屏风。
监测仪器	配备检测仪器：至少配备 1 台辐射剂量仪、2 台表面污染仪。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	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，标记室设 2 个热室，热室和手套箱操作口风速大于 0.5m/s；热室和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。辐射防护领导小组的职责：

1. 在医院辐射防护领导小组组长、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 PET 中心和同位素实验室应配备 15 名工作人员，需要新增 9 人（拟新增医师 6 人、化学师 2 人、护士 1 人），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，北大人民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、放射性废物管理制度、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。

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，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，并将有关情况记录。

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。本场所拟调配 2 台表面污染仪，并新配 1 台辐射剂量巡测仪，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 或 CNAS 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，工作人员使用拟配备的辐射剂量仪、表面污染仪，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 辐射剂量仪，表面污染仪

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) 工作场所剂量率水平监测点位：PET/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 PET 中心和同位素实验室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
1~2	PET 中心门诊	控制区南侧入口处、东北侧出口处	1 次/年
3~6	高活室	（固废间）东侧楼外走道、东侧防护门外及楼上楼下	1 次/年
7~9	标记室	东侧楼外走道及楼上、楼下	1 次/年
10~14	质控室	东侧、南侧楼外走道、楼上、楼下	1 次/年
15~18	动物实验室	南侧楼外走道、西侧走廊和传递窗、楼上、楼下	1 次/年
19~26	PET/CT 室	控制室防护门及观察窗，东侧患者门，西侧楼外走道，北侧设备间和北侧防护门，楼上、楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
27~30	注射后候诊室 1	北侧弱电间、东侧楼外走道及楼上、楼下	1 次/年
31~32	注射后候诊室 2	楼上、楼下	1 次/年
33~35	留观室	东侧楼外走道及楼上、楼下	1 次/年
36~37	废物间	防护门外、东侧楼外走道	1 次/年
38~41	衰变池	东、南、北墙外及衰变池上方	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 ²)
1~4	高活室	手套箱台面、高活室地面、 注射窗	
5~6	PET/CT 室	病人床、地面	
7~9	注射后候诊室 1	等候室地面、候诊椅、卫生 间	
10~12	注射后候诊室 2	等候室地面、候诊椅、卫生 间	
13~15	留观室	等候室地面、候诊椅、卫生 间	
16~17	标记室	热室台面、地面	
18~19	质控室	台面、地面	
20~21	动物实验室	台面、地面	
22~	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《北京大学第三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。

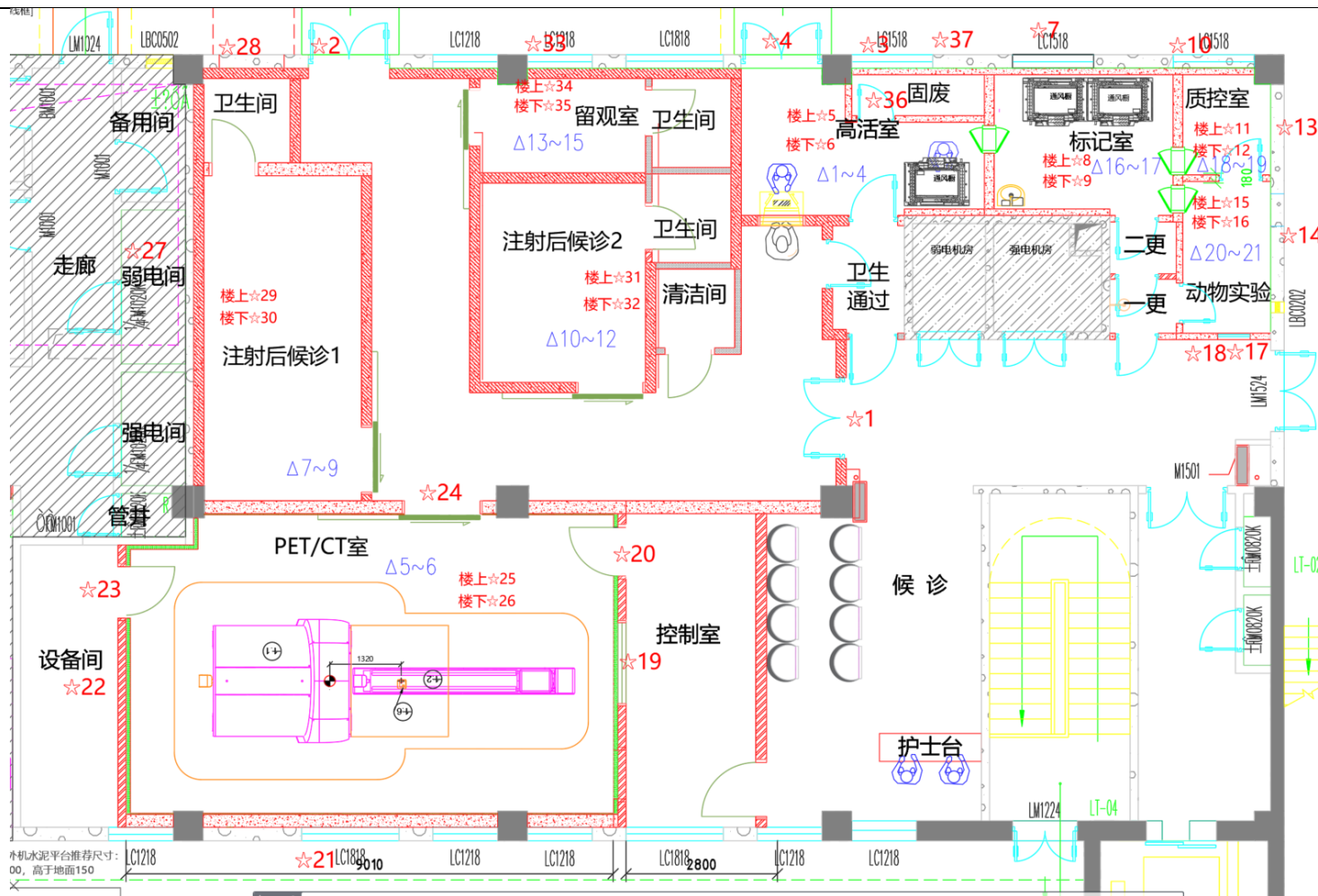


表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

北大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。

目前核医学科的 PET/CT 设备老化，检查量跟不上临床需求，预约检查时间延长，为临床和患者提供更快捷、优质的服务，解决实际医疗问题，提升患者满意度，北大人民医院拟在西配楼一层南侧建设核医学科 PET 中心及同位素实验室。拟配套使用 1 台 PET/CT，使用 F-18、Ga-68 核素开展核医学显像诊断；使用 F-18、Ga-68 核素开展科学研究和动物显像。

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

本项目位于北大人民医院西直门院区西配楼一层南侧，东、南、西侧为楼外走道，北侧为更衣室、强弱电间、备用间等。楼上为净化机组、更衣间、示教室、配电间、服务器间和医生办公室、处置室和走廊等，楼下为废水间、库房、配电间、生活水箱间和走廊等。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，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。

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、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。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2.5μSv/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 PET 中心和同位素实验室工作场所运行后，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 376kg（包含手套箱和热室的过滤器），年产生动物尸体 750kg。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门诊楼顶排出，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，北大人民医院建设 PET 中心和同位素实验室项目，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，北大人民医院承诺：

- （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