

核技术利用建设项目

回龙观院区新建核医学科项目 环境影响报告表

北京积水潭医院

2023 年 2 月

环境保护部监制

核技术利用项目

回龙观院区新建核医学科项目 环境影响报告表

建设单位名称：北京积水潭医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市西城区新街口东街 31 号

邮政编码：100035

联系人：靳少锋

电子邮箱：1306214972@qq.com

联系电话：010-58517171

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	18
表 3	非密封放射性物质	19
表 4	射线装置	20
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	21
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	34
表 9	项目工程分析与源项	37
表 10	辐射安全与防护	49
表 11	环境影响分析.....	76
表 12	辐射安全管理	102
表 13	结论与建议	107
表 14	审 批	110

表 1 项目基本情况

建设项目名称		回龙观院区新建核医学科				
建设单位		北京积水潭医院				
法人代表		蒋协远	联系人	靳少锋	联系电话	010-58517171
注册地址		北京市西城区新街口东街 31 号				
项目建设地点		北京市昌平区回龙观镇回南北路 68 号回龙观院区二期医技病房楼地下二层				
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 ）	1200
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类			
	其他					
	<p>1.1 单位概况</p> <p>北京积水潭医院（以下简称“医院”）位于北京市西城区新街口东街 31 号，建立于 1956 年，经过半个多世纪的发展，已发展成为以骨科和烧伤科为重点学科的三级甲等综合性医院。医院目前有职工 3000 多人。床位 2203 张，其中新街口院区编制床位 903 张，回龙观院区（一期）编制床位 500 张，回龙观院区增加编制床位 500 张，本项目建成后，回龙观院区编制床位 1000 张，新龙泽院区编制床位 800 张。于 2013 年 1 月 28 日，正式建成位于北京市昌平区回龙观回南北路 68 号的回龙观院区，院区有内科、普外科、心外科、泌外科、妇产科、儿科、骨科、五官科、康复科、感染疾病科、内镜中心、中医科、ICU、CCU、RICU、EICU、数字化手术室等临床科室和放射科、检验科、血库等医技科室。北京积水潭医院新龙泽院区</p>					

门诊 7 月 16 日试开诊,新龙泽院区以综合学科为主,重点学科兼顾,致力于打造京北地区区域医疗中心。新龙泽院区门诊开设内科、外科、妇科、儿科、骨科、放射、检验、超声等临床医技科室,就诊患者可通过网络、电话、微信、自助机等多种方式进行预约挂号。医院门诊保障各层级专家出诊,充分扩大号源,以满足患者医疗需求。

北京积水潭医院为已取得《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

北京积水潭医院已取得了辐射安全许可证(京环辐证[B0064]),有效期至 2023 年 6 月 25 日,许可的种类和范围是使用 V 类放射源,使用 II 类、III 类射线装置,乙级非密封放射性物质工作场所,北京积水潭医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 北京积水潭医院已许可的射线装置情况(II 类 6 台,III 类 112 台)

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	医用 X 射线胃肠机	III	4	使用;
2	G 型臂 X 射线机	III	10	使用;
3	医用 X 射线碎石机	III	1	使用;
4	3D-C 型臂 X 射线机	III	2	使用;
5	移动床旁 X 射线机	III	20	使用;
6	SPECT/CT 机	III	1	使用;
7	3D 移动式 C 型臂 X 射线机	III	6	使用;
8	C 型臂 X 射线机	III	3	使用;
9	乳腺 X 射线机	III	1	使用;
10	迷你 C 型臂 X 射线机	III	8	使用;
11	医用 X 射线摄影机	III	19	使用;
12	C 型臂 X 射线机	III	20	使用;
13	医用 X 射线 CT 机	III	9	使用;
14	牙科 X 射线机(曲面断层)	III	2	使用;
15	PET/CT 机	III	1	使用;

16	迷你动物 CT 机	III	1	使用;
17	牙科 X 射线机	III	2	使用;
18	血管造影机	II	6	使用;
19	医用 X 射线骨密度仪	III	2	使用;

北京积水潭医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1-2。

表 1-2 北京积水潭医院已许可非密封放射性同位素使用情况

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)	活动种类
1	本院核医学科	乙	Ga-67	9.25E+6	9.25E+10	使用;
2			F-18	7.4E+6	1.85E+12	使用;
3			I-123	1.85E+7	1.85E+11	使用;
4			Ga-68	1.11E+6	5.55E+10	使用;
5			Tc-99m	2.8E+7	7.0E+12	使用;
6			I-131	2.41E+8	4.6E+11	使用;
7			Tl-201	9.25E+5	9.25E+10	使用;
8			Sr-89	2.96E+6	7.4E+10	使用;

北京积水潭医院已获得许可使用放射源见表 1-3 所示。

表 1-3 已获得许可证使用的放射源

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

1.2.2 近几年履行环保审批情况

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

表 1-4 建设项目竣工验收落实情况

序号	项目名称	环评环复文号/备案号	竣工验收情况
1	核医学科搬迁	京环审[2017]211 号	2019 年 7 月自行验收
2	回龙观院区发热门诊新增使用 1 台 CT	202111011400000073	已登证
3	核医学科原址退役	京环审[2019]118 号	场所已部分终止

4	使用Ⅱ类血管造影机	京环审[2021]53号	2021年10月自行验收
---	-----------	--------------	--------------

1.2.3 辐射安全管理情况

1.2.3.1 辐射管理机构基本情况

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

表 1-5 北京积水潭医院辐射安全防护领导小组成员名单

序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	组长	蒋协远	男	临床医学	院长	院办	兼职
2	副组长	赵兴山	男	临床医学	副院长	院办	兼职
3	副组长	刘亚军	男	临床医学	副院长	院办	兼职
4	成员	程晓光	男	医学影像和放射治疗	放射科主任	放射科	兼职
5	成员	吴俊	男	临床检验诊断学	检验科主任	检验科	兼职
6	成员	杨芳	女	医学影像和放射治疗	核医学科主任	核医学科	兼职
7	成员	杨旭波	男	生物医学工程	总务处处长	总务处	兼职
8	成员	鲍立	女	临床医学	血液科主任	血液科	兼职
9	成员	鱼锋	男	临床医学	医务部主任	医务部	兼职
10	成员	王文海	男	医学影像	放射科技师	放射科	兼职
11	成员	王树理	男	/	保卫处处长	保卫处	兼职
12	成员	郭朝晖	女	卫生管理	副研究员	医务部	专职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

北京积水潭医院结合医院实际情况，已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，包括辐射防护领导小组及岗位职责、放射性同位素与射线装置操作规程、辐射工作人员培训考核计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射安全事故应急预案等，并严格按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员考核情况

北京积水潭医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相

关工作人员共 186 人（其中核医学科辐射工作人员 11 人）分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

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

1.2.3.4 个人剂量监测

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

目前，个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。

开展个人剂量检测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况。

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

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

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

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

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、注射台以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测其工作服、体表的表面污染水平。根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，该项工作由使用科室工作人员自行完成。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-6。

表 1-6 医院现有辐射防护监测仪器清单

序号	仪器名称	型 号	购置日期	仪器状态	数量	备 注
1	手持多功能监测仪	INSPECTOR	2013-01-28	正常	1	本部设备科
2	手持多功能监测仪	INSPECTOR	2013-01-28	正常	1	回龙观设备科
3	手持多功能监测仪	INSPECTOR	2007-05-08	正常	1	本部核医学科
4	手持式 α 、 β 、 γ 测量仪	INSPECTOR	2004-09-01	正常	1	本部放射科
5	手持多功能监测仪	Inspector Alert	2021-05-21	正常	1	新龙泽院区

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

1.2.3.6 辐射事故应急管理

北京积水潭医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故（件）应急预案，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。医院规定科室每年组织一次演练，每年至少组织一次全院应急演练。

医院已获得许可使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。医院已针对上述许可使用中可能发生的放射性污染以及大剂量照射等事故/事件，制定了每年一次的演练计划。为规划和加强放射突发事件应急处理能力，同时最大

程度地降低放射事件可能造成的后果，保障辐射工作人员及患者的生命安全，其中 2022 年度于 2022 年 3 月 1 日，医院组织核医学科、医务部、保卫处、设备科，开展了核医学场所放射物品防盗抢、防破坏应急演练。此次演练的目的是规范医院核医学科和相关部门工作人员应对突发放射性场所外来人员入侵、放射性药物被盗的应急处理程序并强化处理能力，将放射性药物突发事件后果降低到最小程度，最大限度地保障辐射工作人员与公众的安全，维护正常和谐的放射性核素诊疗及秩序。做到放射事故的早发现，及时报告，快速处理，建立快速反应机制。通过此次应急演练，提高了医护人员的应急处理能力和自我防护意识，达到预期效果。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

目前，北京积水潭医院核医学科只使用 F-18 和 Tc-99m 两种诊断核素。北京积水潭医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求，对放射性废物进行管理：将放射性固体废物分类收集于专用的废物桶内，在废物衰变间内暂存。含 A 类 Tc-99m 和 F-18 的放射性废物暂存 30 天后，使用经检定合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm²，将废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”。

医院核医学科现有衰变池为槽式衰变池，总体积为 18m³，设有 3 级池，每级 6m³。目前虽然只使用 A 类核素，也每年委托第三方对排放放射性废水进行监测一次。最近一次 2022 年 11 月委托核工业北京化工冶金研究院分析测试中心对衰变池废水进行了检测，监测结果显示，(1)总 α 、总 β 分别为<LLD(推测下限为 0.12Bq/L)、1.26Bq/L，低于 1Bq/L、10Bq/L 的排放限值的要求；(2) Tc-99m 和 F-18 的活度浓度都小于 LLD。

1.2.3.8 其他情况

北京积水潭医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2022 年度年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 建设项目背景

由于医疗功能是北京市非首都功能疏解工程的重点之一，同时优化提升回天地区公共服务的北京市重点民生工程，北京市卫生健康委员会、北京市医院管理中心

批准北京积水潭医院扩建回龙观院区，并将该院区床位从 500 张调整至 1000 张。回龙观院区的扩建，既是北京积水潭医院医疗技术和服务功能的延伸和补充，也是北京市非首都功能疏解、中心城区优质医疗资源转移的重要举措；同时，医院还可凭借区位优势，发挥辐射带动作用。

随着回龙观二期建设，计划将骨肿瘤科、矫形骨科病房全部迁至回龙观，并且骨科其他亚专业也有近半数迁至回龙观，许多术后和行动不便的患者将由于远距离转运的风险过高而无法进行必要的核医学检查，对临床诊治留下隐患，增加医患纠纷风险。将来回龙观院区二期开业后回龙观院区床位数增加了约 50%，而目前只有本院区配有核医学科，本院区现有的 1 台 SPECT/CT 设备检查工作量激增，近三年的年检查例数均已接近 5000 例，设备处于严重超饱和状态，患者检查预约等候时间较长。根据医院的整体布局，未来总体工作量将会以回龙观为主，由此回龙观二期拟建核医学科场所，同时结合药物合成实验室的建成会开展一些科研相关工作。

1.3.2 新建核医学科

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。由此本项目核医学科入口设在南侧，患者出口设在西北侧。

医院拟在回龙观二期医技病房楼地下二层中部北侧新建回龙观院区核医学科（包括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、1 台 PET/MR 设备和 1 台动物 PET/CT 设备（本项目不包含 PET/MR，为预留设备），使用 F-18、Ga-68、Tc-99m 和 I-123 核素开展核医学显像诊断；核医学科拟同时开展 I-131 甲功检查、甲亢治疗和 Sr-89 骨转移瘤治疗，Ra-223 前列腺癌骨转移治疗。放射性同位素实验室东侧手套箱（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），并使用使用 F-18 和 Ga-68 核素开展科学研究和动物 PET/CT 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。

《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场所:核医学科诊疗场所和放射性同位素实验室科研场所,均满足上述条件,即场所相对独立,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,故按照 2 个工作场所分别核定等级。

1.3.3 本项目建设内容及核素使用量

(1) 本项目核医学科诊疗场所前期将开展 SPECT/CT 和 PET/CT 核医学检查和门诊治疗项目,使用情况预计如下:

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

2) Tc-99m 不大于 925MBq/人,每个检查日最多检查 20 人次,每年最多工作 250 天,年用量按每人按平均用量 740MBq/人进行核算;I-123 约 370MBq/人,每日最多 SPECT 检查 5 人次,每年最多工作 50 天;

3) I-131 甲状腺摄碘功能测定,每人每次一粒,每粒胶囊约 0.333MBq (9 μ Ci),每日最多实施 10 人次,本次环评每年最多工作 100 天;

4) 用于甲亢的 I-131 使用量最多为 5 名病人/天,每年工作 100 天,每周集中 2 天给药,每人口服胶囊活度不大于 370MBq;

5) 用于骨转移的 Sr-89 门诊治疗使用量最多为 2 名病人/天,每周 1 天,148MBq/人。

6) 用于治疗前列腺癌骨转移的 Ra-223 使用量最多为 2 名病人/天,每个患者共注射 6 次(隔月一次),全年计划 20 人,共计 120 人次,其中每例每次最大注射量为 6.6MBq (0.178mCi)。

(2) 放射性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/CT 及使用 F-18 和 Ga-68 核素科研实验,主要用于放射性标记药物制备、放化实验和小动物 PET/CT 实验等,F-18 每次最多使用 555MBq、Ga-68 每次最多使用 1018MBq (含 PET 诊断的 925MBq),每周最多使用 2 次。

(3) 本项目涉及的 III 类射线装置 (PET/CT 和 SPECT/CT) 及配套的校准源,

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。

拟建后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 1-7 所示。

表 1-7 核医学科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	SPECT/CT	1	待定	140kV/440mA	Ⅲ 类	SPECT/CT室
2	PET/CT	1	待定	140kV/833mA	Ⅲ 类	PET/CT室
3	动物PET/CT	1	待定	90kV/2mA	Ⅲ	动物PET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-68V 类源：1 枚 9.25E+7Bq。					PET/CT
三 核医学科拟使用的核素情况						
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	3.7E+8	15	250	5.55E+9	1.11E+12	PET 诊断
Ga-68	1.85E+8	5	50	9.25E+8	4.63E+10	PET 诊断
Tc-99m	9.25E+8	25	250	2.31E+10	4.63E+12	SPECT 诊断
I-123	3.7E+8	5	50	1.85E+9	9.25E+10	
I-131	3.33E+5	10	100	3.33E+6	3.33E+8	甲功检查
I-131 (甲亢)	3.7E+8	5	100	1.85E+9	1.85E+11	门诊治疗
Sr-89	1.48E+8	2	50	2.96E+8	1.48E+10	门诊治疗
Ra-223	6.60E+6	2	120 人次	1.32E+7	7.92E+8	门诊治疗
四 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	

F-18	5.55E+8	100	5.55E+10	科研
Ga-68	9.25E+8	50	4.63E+10	热室分装
	9.25E+7	100	9.25E+9	科研
Ge-68 (Ga-68)	1.85E+9	/	3.70E+9*	制备

备注：F-18、Tc-99m 年用量分别是按平均用量 296MBq/人、740MBq/人进行核算。每年最多使用 2 套 Ge-68（Ga-68）发生器。

1.3.4 场所分级

《关于明确核技术辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）相关规定明确了常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取：医疗机构使用 F-18、Tc-99m 相关活动视为“很简单的操作”，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) 本项目治疗除使用 I-131 外，还使用 Ra-223、Sr-89 放射性药物。参照 I-131，将其它核素的治疗也视为“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。

核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-8 所示，小于非密封放射性物质工作场所乙级的上限（ $4 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。

表 1-8 核素日等效最大操作量

使用场所	核素种类	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	状态与操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级
核医学科	F-18	5.55E+9	0.01	很简单操作（液体，10）	5.55E+6	乙级 （日等效最大操作量为 2.22E+8Bq，
		2.22E+10	0.01	贮存（液体，100）	2.22E+6	

	Ga-68	9.25E+8	0.01	简单操作（悬浮液，1）	9.25E+6	保守假设全部在一天内使用）
	Tc-99m	1.85E+10	0.01	很简单操作（液体，10）	1.85E+7	
	I-123	1.85E+9	0.01	简单操作（液体，1）	1.85E+7	
	I-131	3.33E+6	0.1	简单操作（胶囊，10）	3.33E+3	
	I-131（甲亢）	1.85E+9	0.1	简单操作（胶囊，10）	1.85E+6	
	Sr-89	2.96E+8	0.1	简单操作（液体，1）	2.96E+7	
	Ra-223	1.32E+7	10	简单操作（液体，1）	1.32E+8	
放射性同位素实验室	F-18	5.55E+8	0.01	简单操作（液体，1）	5.55E+6	丙级（日等效最大操作量为1.76E+7Bq，保守假设全部在一天内使用）
	Ga-68	1.018E+9	0.01	简单操作（液体，1）	1.018E+7	
	Ge-68	1.85E+9	0.1	贮存（悬浮液，100）	1.85E+6	

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。

1.3.5核医学科建设规划

（1）整体部署：医技病房楼（二期）核医学科建设完成并获得相关使用许可证（辐射安全许可证、放射诊疗许可证）并办理相关验收手续后，投入使用。

（2）设备配置：核医学科配备1台SPECT/CT、1台PET/CT，其中PET/CT需要取得大型医用设备配置许可证后方可购买配备；配备动物实验使用的1台小动物显像装置（基础与临床转化应用科研），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。

（3）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》等要求，北京积水潭医院制定了核医学科的辐射工作人员配置计划，详见表1-9所示。

表 1-9 核医学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	
---	--------	---	----------------	--

两院区核医学科辐射工作人员都由本院核医学科统一管理，短期相对固定、长期采用轮转的方式运行。核医学科现有辐射工作人员 11 人，为使本项目顺利运行，本项目都启用后，核医学科应配备至 24 人，需要新增 13 人（拟新增医师 4 人、技师 5 人、物理师 1 人、化学师 1 人、护士 2 人）。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 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。核医学科人员分工如下：

- 1) 5 名放射技师负责 PET 和 SPECT 设备操作、受检者摆位、核素门诊治疗、甲功检查、放射性废物管理、表面污染监测、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、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) 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。

(5) 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后核医学科拟新增 2 台表面污染仪和 1 台便携式辐射巡测仪（其中 1 台便携式辐射巡测仪两个场所共用），能够满足本项目常规的监测需求。

1.3.6 任务由来

本项目为医院回龙观院区新建核医学科（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诊疗场所和放射性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。

1.3.7 项目建设正当性

核医学显像可以得到三维立体信息,即由若干组二维断层图像重建而成三维图像,改变深度信息重叠的脏器方面的空间分辨率。并且能够提供全定量的分析手段,可测得单位体积的放射性浓度,能反映脏器深度方面的活性差异,提供定量分析的依据。

本项目的建设将使医院的核医学科有能力接诊更多人次患者,帮助更多患者及时发现疾病、摆脱疾病困扰。此外,本项目建成后,也为医院核医学技术的深入研究和提高提供了支持,有利于核医学科在临床应用方面积累更丰富的经验,促进核医学技术的发展,从而进一步提高周边地区的医疗水平,可以产生一定的社会效益和经济效益。

该项目使用的 F-18、Tc-99m、I-131 等标记放射性药物,开展核医学影像诊断和治疗,是核医学科较成熟的、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。同时为了满足回龙观院区功能定位需求: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。

1.3.8 项目选址与周围环境

北京积水潭医院的本院区、回龙观院区和新龙泽院区已建成使用,本项目位于回龙观院区二期工程,位于一期西侧,回龙观院区东至风雅园北路,西至周庄西街,北至回南北路,南至风雅园北街,一期和二期之间为风雅园北路。医院周边关系图见图 1-1。

本项目核医学科诊疗场所和同位素实验室位于医技病房楼(二期)地下二层中部北侧,东侧为消防水池、生活水泵房等,南侧为机房、办公区、电梯厅等,西侧

为车位、生活垃圾暂存，北侧为核医学科预留场所（PET/MR）、消防电梯、患者电梯等，之外为地下土层，楼上一层为支具中心，楼下为库房和停车场。

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。

1.3.9 本项目辐射场所的布局

地下二层核医学科分为东侧核医学科诊疗区、西侧核医学科同位素实验室，核医学科平面布局关系图见图 1-2。核医学科诊疗场所东侧和南侧作为普通区域，用做给药前问诊区、候诊区、登记处、办公室、诊室等。将受检者入口设在南侧，受检者出口设在北侧，由北侧专用电梯到一层后离开医技病房楼（二期），核医学科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 VIP 等候、储源室、PET 等候、PET/CT 室、SPECT 等候、SPCET/CT 室、留观室等。

同位素实验室南侧为合成高活室、缓冲、一更、二更、工作人员卫生间等；中部为放化质控室、阳性对照、无菌室、库房和备品间；北侧为动物 PET 室、控制室、清洁间和固废间。

从功能分区来看，患者候诊、工作人员办公、放射性操作等区域划分明确，且相对隔离，满足了核医学科分区管理的要求，尽可能避免公众和医护人员受到不必要的辐射照射。综上所述，核医学科工作场所布局考虑了相对独立、避免交叉，便于使用和分区管理等因素，布局设计基本合理。

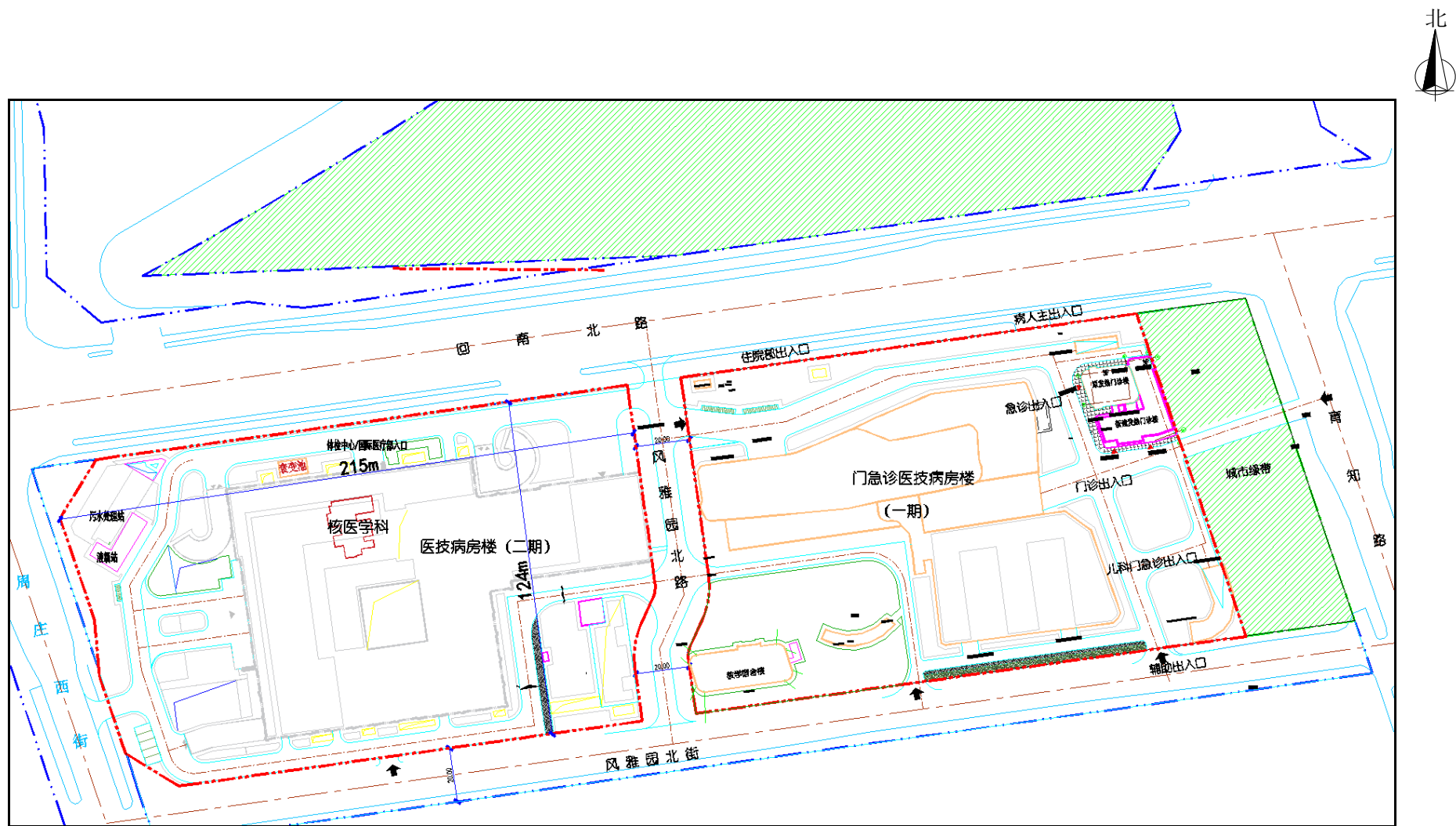


图 1-1 本项目位置及周围环境

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	9.25E+7Bq×1	V	使用	质控校准	PET/CT室	核医学科储源室	

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	F-18	液体	使用	5.55E+9	5.55E+6	1.11E+12	诊断	很简单操作	核医学科诊疗区	核医学科高活室
2	Ga-68	液体	使用	9.25E+8	9.25E+6	4.63E+10	诊断	简单操作		
3	Tc-99m	液体	使用	1.85E+10	1.85E+7	3.70E+12	诊断	很简单操作		
4	I-123	液体	使用	1.85E+9	1.85E+7	9.25E+10	诊断	简单操作		
5	I-131	固体 (胶囊)	使用	3.33E+6	3.33E+3	3.33E+8	诊断	简单操作		
6	I-131	固体 (胶囊)	使用	1.85E+9	1.85E+6	1.85E+11	治疗	简单操作		
7	Sr-89	液体	使用	2.96E+8	2.96E+7	1.48E+10	治疗	简单操作		
8	Ra-223	液体	使用	1.32E+7	1.32E+8	7.92E+8	治疗	简单操作		
9	F-18	液体	使用	5.55E+8	5.55E+6	5.55E+10	科研	简单操作	核医学科同位素实验室	合成高活室
10	Ga-68	液体	使用	1.018E+9	1.018E+7	5.56E+10	科研	简单操作		
11	Ge-68(Ga-68)	/	使用	1.85E+9	/	3.70E+9	制备	/		

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大 能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂 量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
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	SPECT/CT	III类	1	待定	140	440	医疗诊断	SPECT/CT室	
2	PET/CT	III类	1	待定	140	833	医疗诊断	PET/CT室	
3	动物PET/CT	III类	1	待定	90	2	医疗诊断	动物 PET 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
核医学科放射性废水	液态	Tc-99mF-18等 (A类) I-131 (B类)			80.87m ³	按表7-3值控制	56m 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180d后，经检测达标后排入医院污水处理站。严格记录废水排放台账。
放射性固废（手套、纱布等其他固态物质、一次性注射器）	固态	Tc-99mF-18等 (A类)			约220kg	<10 ⁴ Bq/kg	放射性固体废物在放射性废物库内储存。	分类收集，A类暂存30d，B类暂存10倍核素半衰期且不少于30天后（其中Sr-89和I-131废物暂存505天），经自行检测，符合《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后，对废物办理解控并作为医疗废物处理，并做好台账记录。
		I-131、Sr-89(B类)						
放射性废气	气态	F-18等			<3.7×10 ⁸ Bq	/	净化过滤后稀释排放	经手套箱自带的高效过滤器和管道活性炭过滤器过滤后，在建筑顶部排放。
气体过滤装置废滤材	固态				12kg（每年更换一次）	<10 ⁴ Bq/kg	放射性废物库内储存。	暂存至少180d，经自行检测，符合HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后解控为普通废物。
动物尸体					500只		动物PET室冰柜内	分类收集，动物尸体或组织装入密封袋，暂存于实验室内的冰柜中，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。

表6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日。</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日。</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2021 年 1 月 1 日。</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日。</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 4 月 18 日。</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) 《北京市环保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。</p> <p>(13) 《北京市城乡规划条例》，京人常[2021]61 号，2021 年 9 月 24 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) 《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 11 月 1 日。</p> <p>(16) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号。</p> <p>(17) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年 2 月；</p>
------	--

	<p>(18) 《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，京环办[2018]13 号，2018 年 12 月 6 日。</p> <p>(19) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日。</p> <p>(20) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 11 日。</p>
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) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)</p> <p>(7) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)</p> <p>(8) 《北京市水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013)</p> <p>(9) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012)</p> <p>(10) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)</p> <p>(11) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(12) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)</p> <p>(13) 《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)</p> <p>(14) 《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>(15) 《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</p>

	<p>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) 北京积水潭医院提供的与本项目相关的申请和技术资料, 2022.07。</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

本项目为回龙观院区新建核医学科,为 2 处非密封放射性物质工作场所(丙级和乙级各 1 个),包含新增使用 1 台动物 PET/CT、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:核医学科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,无学校、居民楼等敏感目标,除了北侧回南北路部分区域外,其它都是医院内部,主要为医院医技病房楼(二期)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) 核医学科辐射屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。
- (2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足法规及相关标准的要求。

7.1.4 评价因子

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

7.2 保护目标

本项目核医学科位于医技病房楼（二期）地下二层中部北侧，东侧为消防水池、生活水泵房等，南侧为机房、办公区、电梯厅等，西侧为车位、生活垃圾暂存，北侧为核医学科预留场所（PET/MR）、消防电梯、患者电梯等，之外为地下土层，楼上一层为支具中心，楼下为库房和停车场。上述场所的具体位置见图 7-2~图 7-4 所示，都充分考虑周围场所的安全，核医学科不邻接产科、儿科、食堂等部门，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，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。

表 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离 (m)	常居留人 数(人)	方位	周围 50m 范围内主 要场所或建筑物
核医学科和放射性同位素实验室	核医学科工作人员	紧邻	12	/	预登记室、控制室、高活室、办公区等
	其他部门工作人员	16~50	5	东侧	消防水池、生活水泵房等
	其他部门工作人员、电梯工作人员	8~50	20	南侧	机房、办公区、电梯厅等
	停车位管理人员和垃圾清理人员	0~50	5	西侧	车位、生活垃圾暂存
	支具中心工作人员	紧邻	5	楼上	地下一层支具中心
	停车位和库房管理人员	紧邻	3	楼下	地下三层库房和停车场

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支具中心组装室、灌型室和测量室，不属于固定人员常居留的场所，且楼顶在 25cm 砿的基础上再增加 5cm 硫酸钡水泥或 5cm 混凝土垫层。楼下为库房也无人员常居留房间。

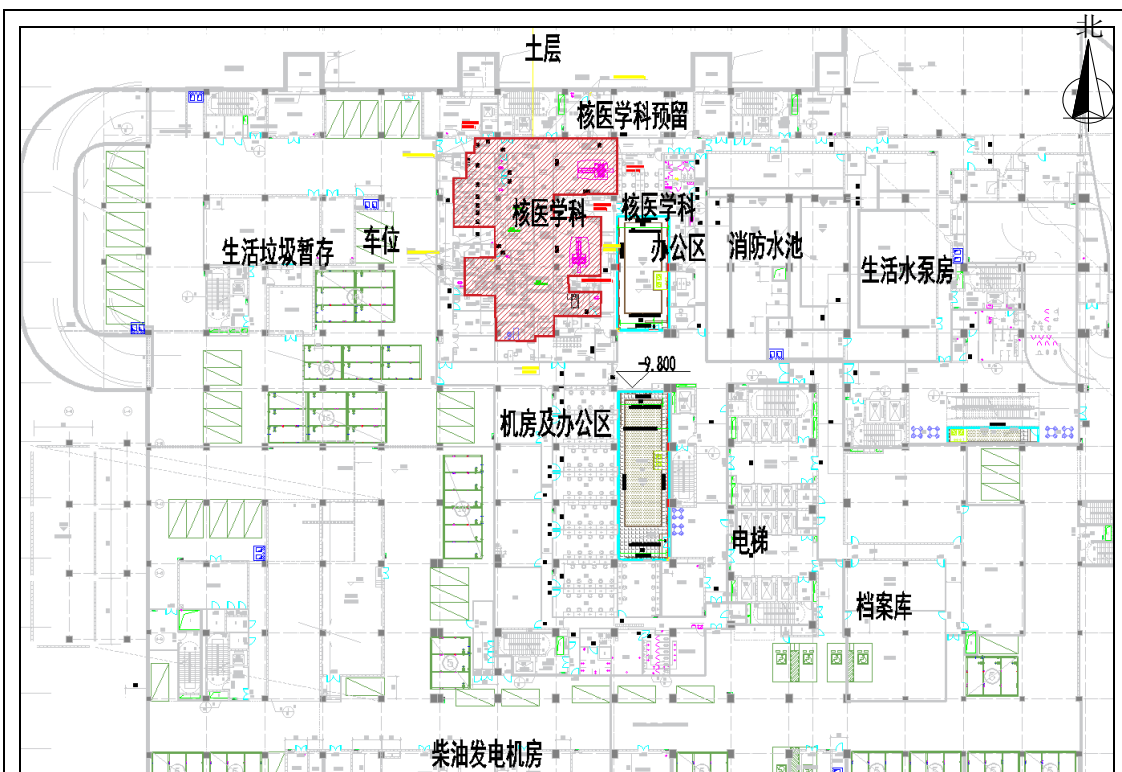


图 7-2 本项目地下二层周围关系图

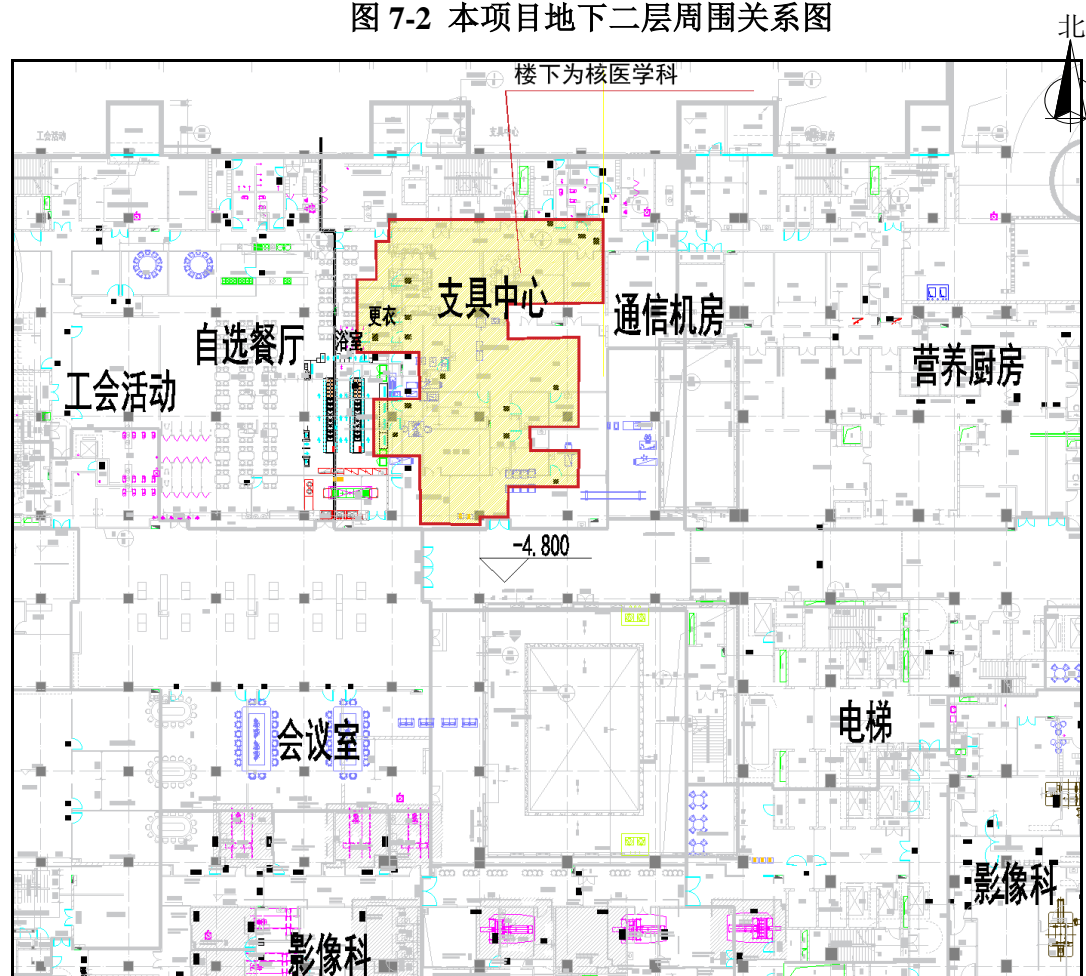


图 7-3 地下一层周围关系图（核医学楼上）

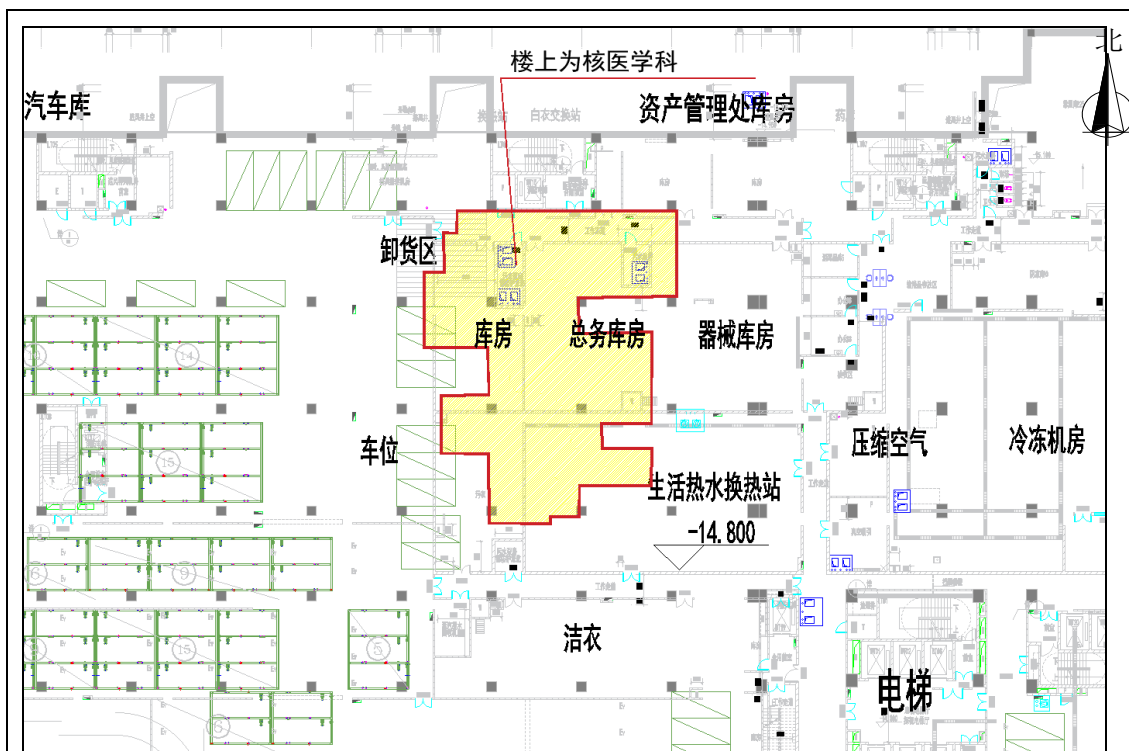


图 7-4 地下三层周围关系图（核医学科楼下）

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 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，本项目所有从事核医学辐射工作人员取 5mSv/a 作为剂量约束值；对公众，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

本次评价所取年剂量约束值与单位核医学科剂量管理目标值一致。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

7.3.3 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

本项目周围公众除满足上述剂量约束要求外，剂量率水平还要满足以下要求，依照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）并结合本项目实际情况，本项目辐射工作场所及设施的剂量率控制水平拟从严控制：

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

（2）PET/CT 室和 SPECT/CT 室外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 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（其中 I-131 核素产生的废水至少暂存 180 天）后，应委托有资质（CMA 或 CNAS）的检测机构对拟排放废水中 I-131 核素、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、I-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L，监测结果经审管部门认可并办理相关手续后方可排入下水管道。

7.3.5 放射性固体废物管理

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

参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，核医学放射性固体废物须设置独立的暂存室。药物操作场所、废物暂存室应分别设置有屏蔽能力并有电离辐射警示标志的废物桶、废物箱，并按照 A 类、B 类废物进行标识。药物操作场所废物桶内应使用不易破损的塑料袋对固体废物进行收集，密封袋口后转移至暂存室废物箱中，并在塑料袋外表面注明废物类别（A 类、B 类）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

A 类固体废物暂存时间超过 30 天、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后（含 I-131、Ra-223 和 Sr-89 核素的放射性固体废物暂存超过 505 天），使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08Bq/cm² 和 0.8Bq/cm²，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

7.4 放射性工作场所分级

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级见表 7-3。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

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

7.5 工作场所放射性表面污染控制水平

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-4。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平 (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	4×10^{-1}	1×10^{-1}	4
	监督区			
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技病房楼（二期）楼顶的中部，高度约 69m，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 PET 高活室和 ECT 高活室拟配备手套箱，同位素实验室合成高活室拟配两个热室（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，核医学科诊疗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。核医学科诊疗场所和同位素实验室各一套排风系统（其中实验室和废物间与核医学科诊疗共用 1 套），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 2 kg），过滤器每年更换一次。

7.7 核医学相关工作场所的放射性物质污染的防护要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.2 款给出了核医学科工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求，具体见表 7-5。

表 7-5 核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^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，核医学科高活室，按照最大使用量核算 F-18 药物时，放射性的加权活度大于 50MBq、小于 50000MBq，属于 II 类场所，需按照表 7-5 要求，采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设分装柜和通风设施，设洗手盆和去污设备。

7.8 射线装置机房屏蔽防护基本要求

7.8.1 CT 机房屏蔽防护要求

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

表 7-6 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量（mm）	非有用线束方向铅当量（mm）
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5	

7.8.2 CT 机房的面积要求

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6.1 条款指出：机房应满足使用设备的空间要求；对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-7 的要求。

表 7-7 X 射线设备机房使用面积及单边长度

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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

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 2022 年 9 月 29 日对医技病房楼（二期）地下二层拟建核医学科区域进行了 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：本次监测针对拟改造场址所在区域及周边进行环境辐射现状监测。

监测点位：本次监测对拟改造场址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	DLjl2022-02038、2023-3-6	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（ μ Gy/h）
------	------	---------	--------------------

拟建辐射工作场所周围	1	1 号位点	0.08 ± 0.01
	2	2 号位点	0.08 ± 0.01
	3	3 号位点	0.08 ± 0.01
	4	4 号位点	0.08 ± 0.01
	5	5 号位点	0.08 ± 0.01
	6	6 号位点	0.08 ± 0.01
	7	7 号位点	0.09 ± 0.01

注：检测结果含宇宙射线响应值。

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 μ Gy/h，为北京市的天然本底范围之内，未发现异常高值。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 X 射线诊断装置和密封校验源

本项目核医学科诊疗场所配套使用 1 台 PET/CT 装置和 1 台 SPECT/CT，同位素实验室配备的动物 PET/CT，PET/CT、SPECT/CT 和动物 PET/CT 都属于 III 类射线装置，及拟配套密封源开展 PET/CT 装置的定期校验，属于 V 类放射源，这 III 类射线装置和 V 类放射源对环境影响很小，本评价报告对 III 类射线装置和刻度操作流程、环境影响进行简要分析。

9.2 核医学科诊疗场所

9.2.1 核医学扫描诊断装置

核医学是采用核技术来诊断和研究疾病的一门新兴学科。它是核技术、电子技术、计算机技术、化学、物理和生物学等现代科学技术与医学相结合的产物。核医学可分为两类，即临床核医学和基础核医学。本项目核医学科门诊诊疗场所使用 Tc-99m 和 I-123 核素药物开展 SPECT/CT 诊断，使用 F-18 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，典型的 SPECT/CT 扫描装置如图 9-1 所示。

（2）PET/CT 显像

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

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

甲状腺具有高度选择性摄取 $I-131$ 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 $I-131$ 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢病人甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。 $I-131$ 衰变时主要发射 β 粒子，且射程短，仅约 2~3mm， β 粒子对周围正常组织一般无影响。因此，大剂量 $I-131$ 进入功能亢进的甲状腺组织，这些组织在粒子集中且较长时间的作用下将遭受部分抑制或破坏取得类似部分切除甲状腺的效果。

$Sr-89$ 属于亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，并发射 β 射线，射线范围 2~5mm，实现对肿瘤进行内

照射，达到止痛和破坏肿瘤组织的作用。

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

9.2.3 甲状腺摄碘功能测定

甲状腺可以吸取碘，通过测定不同时间的颈部甲状腺部位的放射性计数可以计算出甲状腺吸碘的速率和强度，甲状腺吸碘的速率和强度可以反映甲状腺的功能状态，有些情况是甲状腺疾病诊断及治疗不可缺少的检查。

9.2.4 工作流程

9.2.4.1 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/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（本项目 **F-18** 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，当天工作人员在合成高活室制备放射性药物，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，放回高活室，当放射性固体废物处理，其中外单位送的注射器第二天由放射性药品供货单位收回。

检查：病人在给药后病人候诊区等候（如 F-18 候诊时间约 40min~90 min），待药物有一定程度的代谢后，进行 PET/CT 检查时间 15min~60min，平均不超过 20min；Tc-99m 骨扫描候诊时间 3~4h、心脏 1.5h，甲状腺 20min~30min，肾显像不用候诊。

受检者在扫描检查后，留观片刻，如显像符合要求即离开核医学科。

9.2.4.2 门诊治疗

放射性药物经口服或注射方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放 β 射线，从而抑制或破坏病变组织，达到治疗目的。治疗工作流程如下：向有相应资质厂家订购有铅罐屏蔽的 Sr-89、Ra-223 注射液或 I-131 口服胶囊→储存高活室保险柜里→患者（在注射窗口）施予药物→之后在留观室观察（一般 15min），确认用药正常后离开放射工作场所。门诊治疗工作在早上 7:30 前完成，与核医学诊断时间不交叉。

预约患者：提前制定核素治疗工作计划，通知患者。

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

接收药物：外购药物由药品公司负责把药品送至地下二层核医学科患者出口，沿通道，经患者出口运至高活室门口。

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和活度，检查包装和外观质量，在高活室门口的摄像头监控下，由核医学科负责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后暂存于高活室内。

分装：Sr-89、I-131 药物为厂家已按照人份分装好，其中 I-131 药物为厂家已按照人份分装好的胶囊，Ra-223 药物在高活室手套箱内按患者体重进行

分装。

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

留观：患者治疗后，在留观室留观一般不超过15 分钟，无异常情况即可离开。

9.2.4.3 甲状腺摄碘功能测定

- (1) 医生开申请单；
- (2) 受检者到核医学登记台预约，医生询问病史，告知注意事项；
- (3) 确定检查日期后，订药：131-碘胶囊（统一规格，剂量约9 μ Ci），送药时间为检查当日；
- (4) 检查当日，24小时甲状腺吸碘率测定步骤如下：
 - ①测本底计数和标准源（131-碘胶囊）计数；
 - ②受检者口服0.333MBq（9 μ Ci）后，随后离开核医学科，2小时后、4小时后、6小时后和24小时（第2日）后返回核医学科，分别进行甲状腺摄碘功能测定（检查时间60s）；
 - ③测完后打印报告，上级医生审核签字后发报告。

9.2.4.4 PET刻度源质控流程

PET/CT 配备 1 枚 Ge-68 放射源，活度为 9.25E+7Bq，由物理师每周一次质控使用，质控时物理师把密封源从储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，并配有 20mmPb 屏蔽。

9.2.5 放射性核素使用量

(1) 诊断核素

PET 检查使用 F-18 药物的用量不大于 370MBq/人(一般约为 222MBq/人)，每个检查日最多实施 PET 检查 15 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。SPECT 显像检查 Tc-99m 药物的用量最大为 925MBq/人，每个检查日最多实施 SPECT 检查 20 人次，每年工作 250 天； I-123 药物的用量最大为 370MBq/人，每个检查日最多检查 5 人次，每年工作 50 天。用于甲状腺功能检查的 I-131 使用量

10 名病人/天，用量按 0.333MBq/人，每年工作 100 天。

(2) 治疗核素

本项目门诊治疗使用的核素为 I-131、Ra-223 和 Sr-89，在核医学科接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就离开。用于治疗甲亢的 I-131 使用量为 5 名病人/天，每年工作 100 天，不大于 370MBq/病人；Ra-223 使用量最多为 2 名病人/天，每年最多 20 人（120 人次），不大于 6.60MBq/病人；Sr-89 使用量最多为 2 名病人/天，每年工作 50 天，148MBq/病人。

9.2.6 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 本项目使用的显像放射性核素主要参数

序号	核素名称	毒性	半衰期	衰变类型	主要能量/平均能量 (keV)
1	F-18	低毒	109.8min	β^+ 、EC	β^+635 、 $\gamma 511$
2	Ga-68	低毒	68.3min	β^+ 、EC	β^+1899 、 $\gamma 511$
3	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	$\gamma 141$
4	I-131	中毒	8.03d	β^- 、 γ	β^-606 、 $\gamma 364/360$
5	Sr-89	中毒	50.5d	β^-	$\beta^-1495.1$
6	Ra-223	极毒	11.43d	α	11.7/83.8/269.5

9.2.7 使用放射性核素污染途径分析

9.2.7.1 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刷废水，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。

9.2.7.2 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，发生遗失或被盜，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盜和丢失事件的发生。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。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 9-3 给出 Ge-68（Ga-68）发生器的实物图。



图 9-3 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, 固态) 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, 自动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, 药品在合成模块自动合成, 分装操作时间 20min; 每周操作一至两次。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 合成高活室

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 高活室, 通过传递窗至合成高活室, 拟放置在西侧防护手套箱 (热室) 内, Ga-68 是由发生器淋洗后转到西侧防护手套箱 (热

室)内。将 F-18 或 Ga-68 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 5~20 min 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。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 50 mm 铅当量,正面防护 50mm 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 PET 室进行下一步分析评价实验。

9.3.3 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)的检测在合成高活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) 全检质控室:追溯性检验(非放射性指标),合成高活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 PET 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/CT 场所,拟配置 1 台小动物 PET/CT 成像装置,使用 F-18 或 Ga-68 正电子核素,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 100d。

9.3.4.2 操作流程

在动物 PET 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 或 Ga-68 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/CT 扫描检查。对动物进行 PET/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 检测，对动物进行放射性药物注射也在小动物 PET 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，通过合成热室西侧传递窗口由实验工作人员运到动物 PET 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 5 支。
- 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 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。扫描后直接将动物处死，置入冰柜中暂存。拟配置 120L 冰柜 1 台，暂存动物尸体（A 类）。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) 合成热室：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，热室中操作的放射性同位素 F-18 不超过 555MBq，Ga-68 不超过 1018MBq。
- (2) 动物 PET 室：操作 F-18 或 Ga-68 核素，每天最多一共使用 5 只老鼠，操作的活度不超过 $9.25\text{E}+7\text{ Bq}$ （小鼠不超过 $3.70\text{E}+7\text{ Bq}$ ）；
- (3) 分析实验室：操作 F-18 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

合成热室标记好的药物通过传递窗、内部走廊送至质控室或动物 PET 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 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 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 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，暂存于实验室内的配置的 1 个-18 $^{\circ}$ C 冰柜中，暂存 30d 后，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 项目安全设施

10.1.1 项目竣工环保验收

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

10.1.2 回龙观院区新建核医学科方案

医技病房楼（二期）地下二层中部北侧拟新建核医学科，包括核医学科诊疗场所和同位素科研场所，东侧为诊疗场所，西侧为科研场所（同位素实验室），拟建后核医学科布局方案如下：

（1）核医学科诊疗场所东侧和南侧作为普通区域，用做给药前问诊区、候诊区、登记处、办公室、诊室等。

（2）将受检者入口设在南侧，受检者出口设在北侧，由北侧专用电梯到一层后离开医技病房楼（二期），核医学科患者出入口拟设置单向门禁系统。

（3）将高活室、注射窗口、运动负荷室等设在诊疗区域西南侧，注射室朝东拟设 2 个注射窗口（北侧为 40mmPb 的 F-18 注射窗口、南侧为 20mmPb 的 Tc-99m 注射窗口，患者间拟设 10mmPb 隔断）。

（4）沿着注射后患者走廊设置 VIP 等候、储源室、PET 等候、PET/CT 室、SPECT 等候、SPCET/CT 室、留观室等。

（5）在医技病房楼（二期）北侧绿化区地下拟建一个放射性废水槽式衰变池，容积 56m³（4×14m³），用来收集核医学科产生的放射性废水。

（6）核医学科西侧拟设置同位素实验室，南侧为合成高活室、缓冲、一更、二更、工作人员卫生间等；中部为放化质控室、阳性对照、无菌室、库房和备品间；北侧为动物 PET 室、控制室、清洁间和固废间。

（7）核医学科控制区拟配套建设 4 套放射性通风处理设施，其中诊疗区域和科研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至楼顶，风口高于楼顶，排放口高度约 69m，位于楼顶中部，为最高处，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≥0.5m/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, 运动负荷室等控制区场所与科研场所动物 PET 室、固废间、清洁间的放射性废气统一后, 经排风管道由楼顶排出; 科研场所控制区另外场所放射性废气统一后, 经另外一套排风管道由楼顶排出, 风机都位于楼顶。

(8) 核医学科场所建成后, 控制区包括 PET/CT 室, SPECT/CT 室, 运动负荷室, 储源室, 高活室, 废物间, 注射后等候室及卫生间, 留观室, 注射后患者通道、清洁间、动物 PET 室、放化质控室、无菌室、阳性对照间、合成高活室等。监督区包括 PET/CT 和 SPECT/CT 控制室、动物 PET 控制室、设备间、缓冲更衣间、备品间、库房等。

10.1.3 诊疗场所辐射防护措施

10.1.3.1 诊疗场所辐射屏蔽设计

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, 地下二层层高为 4.9m, 地下三层层高为 5.0m。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 核医学科主要场所的屏蔽设计

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽厚度	周围环境
1	PET/CT 室 (有效面积: 8.01m×5.67m)	东墙	24cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	工作人员走廊
		南墙	12cm 混凝土砖 (局部为 24cm 混凝土砖)+5cm 硫酸钡水泥	设备间和储源室
		西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		北墙	24cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	控制室
		防护门	8mmPb	控制室、患者走廊
		观察窗	8mmPb 当量铅玻璃	控制室
		顶棚	25cm 混凝土 (砣)+5cm 混凝土垫层	支具中心组装室、办公室
		地板	25cm 混凝土 (砣)+5cm 混凝土垫层	库房
2	SPECT/CT 室 (有效面积:	东墙	24cm 混凝土砖+3cm 硫酸钡水泥	读片室

	8.13m×5.68m)	南墙	6mmPb	控制室
		西墙	4mmPb	患者走廊
		北墙	4mmPb	走廊
		患者门	4mmPb	患者走廊
		控制室门	6mmPb	控制室
		观察窗	6mmPb 当量铅玻璃	控制室
		顶棚	25cm 混凝土(砵)+5cm 混凝土垫层	支具中心走廊、会议室等
		地板	25cm 混凝土(砵)+5cm 混凝土垫层	库房
3	注射后 PET 等候室	东墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		南墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	废物间和 PET 高活室
		西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	库房、清洗室
		北墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	SPECT 等候室
		防护门	6mmPb	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土(砵)+5cm 硫酸钡水泥	支具中心灌型室
		地板	25cm 混凝土(砵)+5cm 硫酸钡水泥	库房
4	注射后 VIP 等候室(PET)	东墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	工作人员走廊
		南墙	24cm 混凝土砖+8cm 硫酸钡水泥	诊室
		西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		北墙	12cm 混凝土砖(局部 24cm 混凝土砖)+5cm 硫酸钡水泥	设备间、储源室
		防护门	6mmPb	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土(砵)+5cm 混凝土垫层	支具中心测量室
		地板	25cm 混凝土(砵)+5cm 混凝土垫层	库房
5	注射后 SPECT 等候室	东墙	4mmPb	患者走廊
		南墙	4mmPb	PET 等候室
		西墙	4mmPb	固废间、无菌室

		北墙	4mmPb	留观室
		防护门	4mmPb	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土（砼）	支具中心示教室
		地板	25cm 混凝土（砼）	库房
6	PET 高活室	东墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	注射窗口
		南墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	SPECT 高活室
		西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	合成高活室
		北墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	废物间和 PET 等候室
		门	6mmPb	患者走廊、SPECT 高活室
		注射窗	40mmPb 当量铅玻璃	患者走廊
		手套箱	50mmPb 当量铅玻璃	/
		顶棚	25cm 混凝土（砼）	库房
		地板	25cm 混凝土（砼）	库房
7	SPECT 高活室	东墙	4mmPb	注射窗口
		南墙	4mmPb	运动负荷室
		西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	合成高活室、缓冲间
		北墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	PET 高活室
		门	4mmPb	患者走廊、缓冲间、运动负荷室
		注射窗	20mmPb 当量铅玻璃	患者走廊
		手套箱	10mmPb 当量铅玻璃	/
		顶棚	25cm 混凝土（砼）	展厅
		地板	25cm 混凝土（砼）	库房
8	储源室	东、北墙	24cm 混凝土砖	设备间、PET/CT 室
		西、南墙	24cm 混凝土砖	患者走廊、诊室
		门	防盗门	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土（砼）	VIP 室

		地板	25cm 混凝土（砼）	库房
9	废物间	东墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		南墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	PET 高活室
		西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	PET 等候室
		北墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	PET 等候室
		防护门	6mmPb	PET 高活室
		顶棚	25cm 混凝土（砼）	库房
		地板	25cm 混凝土（砼）	库房
10	运动负荷室	东墙	3mmPb	患者走廊
		南墙	3mmPb	功能检查室
		西墙	3mmPb	缓冲间、会议室
		北墙	4mmPb	SPECT 高活室
		北侧防护门	4mmPb	SPECT 高活室
		其它防护门	3mmPb	患者走廊、功能检查室
		顶棚	25cm 混凝土（砼）	展厅
		地板	25cm 混凝土（砼）	库房
11	功能检查室（甲功室）	东墙	3mmPb	缓冲区
		南墙	3mmPb	诊室
		西墙	3mmPb	会议室、示教室
		北墙	3mmPb	运动负荷室
		防护门	4mmPb	运动负荷室、缓冲区
		顶棚	25cm 混凝土（砼）	展厅
		地板	25cm 混凝土（砼）	库房
12	留观室	东墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		南墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	SPECT 等候室
		西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	清洁间和动物 PET 室

		北墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	患者走廊
		防护门	6mmPb	患者走廊
		顶棚	25cm 混凝土（砵）	支具中心示教室
		地板	25cm 混凝土（砵）	库房

备注：混凝土（砵）密度不低于 2.35g/cm^3 ，重晶石混凝土密度不低于 3.20g/cm^3 ，混凝土砖密度不低于 2.0g/cm^3 ，上表中没有标注垫层的都是轻料垫层，各功能室墙面、地面均为光滑饰面。

表 10-2 核医学科诊疗辐射安全防护设施表

序号	项目	内容	是否拟设置	备注
1*	A 场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	地面标注控制区和监督区，地面设置引导文字和标线。
2*		电离辐射警告标志	√	出入口、检查室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志
3*		独立的通风设施	√	高活室内设带屏蔽设计的手套箱，配有负压手套箱。场所也设有通风系统。
4*		治疗病房病人之间防护	√	门诊场所无治疗病房
5*		给药操作人员屏蔽	√	配备 2 个带铅防护的注射窗口
6		易去污的工作台面	√	采用不锈钢台面
7*		病人专用卫生间	√	专用卫生间及排水管线
8*		放射性核素暂存场所或设施	√	同位素在高活室、贮源室暂存，设闭路监控。
9*	B 监测设备	表面污染监测仪	√	1 台表面污染监测仪
10*		便携式辐射水平监测仪	√	1 台便携式巡测仪
11*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
12		个人剂量报警仪	/	不配备
13*	C 放射	放射性废液处理排放系统及标识	√	56m ³ 槽式衰变池（4 格）

14*	性废物和废液	放射性固体废物暂存场所或设施	√	设废物间，贮存放射性废物，核医学科诊疗场所一共拟配 7 个铅废物桶
15*	D 防护器材	个人防护用品	√	铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套等
16*		放射性表面去污用品和防污染材料	√	洗涤灵、酒精和棉球

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

10.1.3.2 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、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。核医学科已配备表面污染仪，工作人员相关操作后应使用仪器及时监测个人防护用品外表面、操作用品和操作场所的表面污染。

（3）外照射防护：2 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗（40mmPb/20mmPb 当量）和 1 个 5mmPb 的可移动铅屏蔽注射车（运动负荷室注射时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，至少配备 7 个铅废物桶（其中 1 个为 20mmPb，另外为 5mmPb）、2 个钨合金注射防护套和 4 套 0.5mmPb 铅防护用品（每套包括铅衣、铅帽子、铅围脖等）。核医学科控制区边界、核素操作、受检人员候诊和扫描场所外围墙体采用实体屏蔽措施，顶棚和底板为混凝土浇筑，患者进、出通道门安装铅制防护门。检查机房安装铅制防护门（具有防夹功能），观察窗安装铅玻璃。保证核医学科控制区边界外的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。

（4）内照射的防护：高活室新配备具有防护功能 50mmPb 当量和 10mmPb 当量的手套箱各一个，并带有活性炭过滤器，设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。在手套箱内分装放射性药物。手套箱设置专用排风管道，排风口引至医技病房楼（二期）楼顶。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，并将擦拭物做为放射性固废处置。此外，在高活室、留观区、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、源库、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 3 个含铅的废物桶（20mmPb 是存储 F-18，其中 1 个 5mmPb 存储 Tc-99m 等 A 类，另外一个 5mmPb 存储 B 类），废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入该铅制废物桶，每周星期一早上转移至核医学科放射性废物间。核医学科废物间设置 4 个 5mm 铅的废物桶（容积 20L），2 个用来轮流贮存 A 类废物，2 个用来轮流贮存 B 类废物，运动负荷室配 1 个 5mm 铅的废物桶（容积 20L）。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设施：核医学科高活室内洗手池废水，清洁间废水以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水，缓冲间应急淋浴废水，通过专用管道一并进入下一层设置的放射性废水衰变池（另设有轮流使用的 2 个沉淀池）。放射性废水排放管道路线在降板内（有混凝土屏蔽）、管道井和地下土层，没人员活动区，管道外表面无需铅皮进行包裹防护。衰变池采用槽式设计，衰变池总容积不低于 56m^3 （ $14\text{m}^3 \times 4$ 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》关于 I-131 废水至少暂存 180 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）。核医学科解控排放的废水，排入医院污水处理站，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。

（7）储源室将采取安保措施，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、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。淋浴水采用刷卡控制器进行控制，磁卡由核医学

科主任保管，刷卡才能出水。

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

（10）全部辐射工作人员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。

（11）核医学科诊疗场所配置 1 台表面污染监测仪和 1 台便携式巡测仪，用于表面污染和剂量率水平的检测。工作人员进入辐射控制区，穿工作服，涉及放射性的操作佩戴乳胶手套，工作结束后，离开控制区前进行体表和相关场所的表面污染监测。

定期开展工作场所和环境辐射监测。每月自行对辐射工作场所卫生通过间、工作人员操作位、病区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。

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

（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。

（14）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。送药通道为医技病房楼（二期）电梯下地下二层后，通过核医学北侧门进入核医学科内高活室。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。

10.1.4 科研场所辐射防护措施

10.1.4.1 辐射屏蔽设计

放射性实验室现有顶棚、地板拟都采用混凝土(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
合成高活室	东墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	高活室、患者卫生间
	南墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	诊疗工作人员更衣/缓冲
	西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	一更、工作人员卫生间
	北墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	缓冲洁净区、清洗间
	门	6mmPb	缓冲洁净区
	东西侧传递窗	10mmPb	PET 高活室、传递窗
	手套箱	50mmPb 当量铅玻璃(2 个)	/
	顶棚	25cm 混凝土(砼)	支具展示区
	地板	25cm 混凝土(砼)	库房
动物 PET 室	东墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	留观室、清洁间
	南墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	固废间、清洁间
	西墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	控制室
	北墙	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	患者走廊
	防护门	3mmPb	控制室
	观察窗	3mmPb 当量铅玻璃	控制室

	顶棚	25cm 混凝土（砼）	走廊
	地板	25cm 混凝土（砼）	卸货区

备注：混凝土（砼）密度不小于 2.35t/m³，混凝土砖混密度不小于 2.00t/m³。

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	√	拟设有合成高活室、全检质控室、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，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	√	配备 1 台表面污染监测仪，1 台便携式辐射检测仪与诊疗区域共用
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/。

10.1.4.2 科研场所辐射防护措施

（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：合成高活室、质控室、动物 PET 室、固废间、清洁间等地面用无缝隙、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 5 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 内照射的防护：合成高活室拟配备 2 个具有防护的热室（其中 1 个为 Ge-68/Ga-68 发生器使用），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，并将擦拭物做为放射性固废处置。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。排放前还经过活性炭吸附过滤装置，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：合成高活室设 1 个 5mmPb 废物桶，动物 PET 室冰柜内配有 2 个 5mmPb 废物桶，固废间配有 2 个 5mmPb 废物桶，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。放射性固废放置至少 30 天，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求了解控处置（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核医学科北侧土层以下放射性废水衰变池（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) 送药通道进核医学科前与诊疗场所路线一致，到 PET 高活室后，从传递窗送到合成高活室，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。

10.1.5 核医学科拟配的防护设施

本项目手套箱和注射窗的样图见图 10-1，实施后核医学科配备的防护设施见表 10-5。



图 10-1 手套箱和注射窗的样图

表 10-5 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	3	型号待定	高活室
手套箱 (热室)	2	50mmPb	合成高活室
	1	50mmPb	PET 高活室
	1	10 mmPb	ECT 高活室
钨合金暂存运输器	1	20mmPb 当量	PET 高活室
注射器防护套	2	1 个 20mmPb 钨合金、1 个 10mmPb 钨合金	PET 高活室
储源铅罐	2	40mmpb	PET 高活室、合成高活室
防护注射窗	2	1 个 40mmPb、1 个 20 mmPb	注射窗口
储源保险柜	1	型号待定	储源室
转运铅盒	1	1 个 2mmPb	合成高活室
铅废物桶	4	5mmPb	诊疗废物间
	2	5mmPb	科研固废间
	1	20mmPb	PET 高活室
	2	5mmPb	ECT 高活室
	1	5mmPb	合成高活室
	2	5mmPb	动物 PET 室
铅衣、铅围脖	4	0.5mmPb	SPECT 机房和高活室
移动铅屏风	1	8mmPb	留观区
	3	2mmPb	SPECT 等候室
	2	8mmPb	PET 等候室
	1	8mmPb	两个注射口间
冰柜	1	/	动物 PET 室

10.1.6 放射性废水暂存和排放

本项目拟新配备的 1 个放射性废水池, 位于医技病房楼 (二期) 楼外北侧 (槽式, 总容积为 56m^3 , $14\text{m}^3/\text{池} \times 4$ 池), 衰变池的最高水位距地面至少 3.5m, 且池子上方四周搭设护栏, 防止人员进入。衰变池结构及控制管理如下:

(1) 衰变池结构

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

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

- 总容积约为 56m³（14m³/槽×4 槽）。

（3）衰变池控制和管理

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

池壁和池底采取防渗措施。施工单位要进行严格的渗漏检测，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

本项目核医学科产生的放射性废水排放情况如下：

地下二层核医学科诊疗控制区产生的废水包括给药受检人员专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水、清洁废水和更衣间应急冲洗水。通过专用管道一并进入放射性废水衰变池。放射性废水排放管道路线在降板内（有混凝土屏蔽）、管道井和地下土层，没人员活动区，管道外表面无需铅皮进行包裹防

图 10-3 地下二层放射性废水排放图

10.1.7 核医学科核医学排风系统

核医学科控制区拟配套建设 4 套放射性通风处理设施(图 10-4 还包括 1 套合成热室缓冲等监督区排风,共 5 套),其中诊疗区域和科研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至楼顶,风口高于楼顶,排放口高度约 69m。位于楼顶中部,排风口拟朝南,为建筑物的最高处。放射性管道除了在排风口前安装活性炭过滤器,手套箱还自带有高效过滤设施。采用后端风机提供管道负压。核医学科控制区的排风图见图 10-4,排风口楼顶位置图见图 10-5。

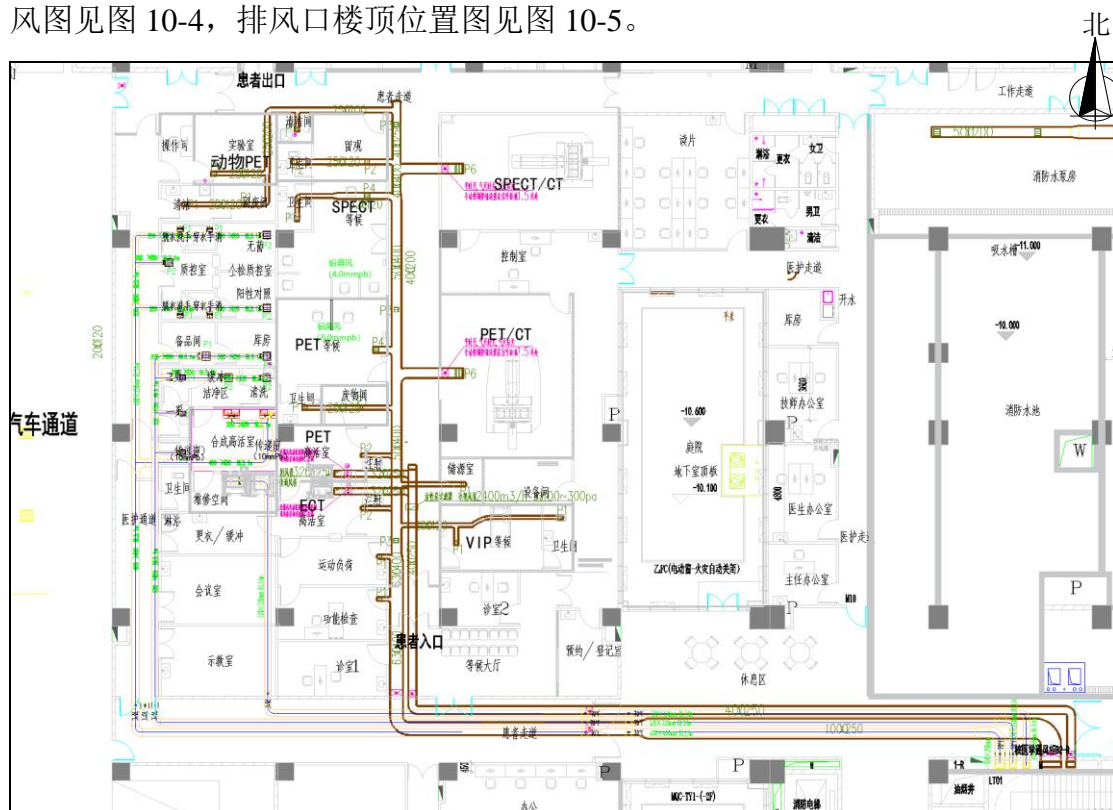


图 10-4 地下二层核医学科排风图

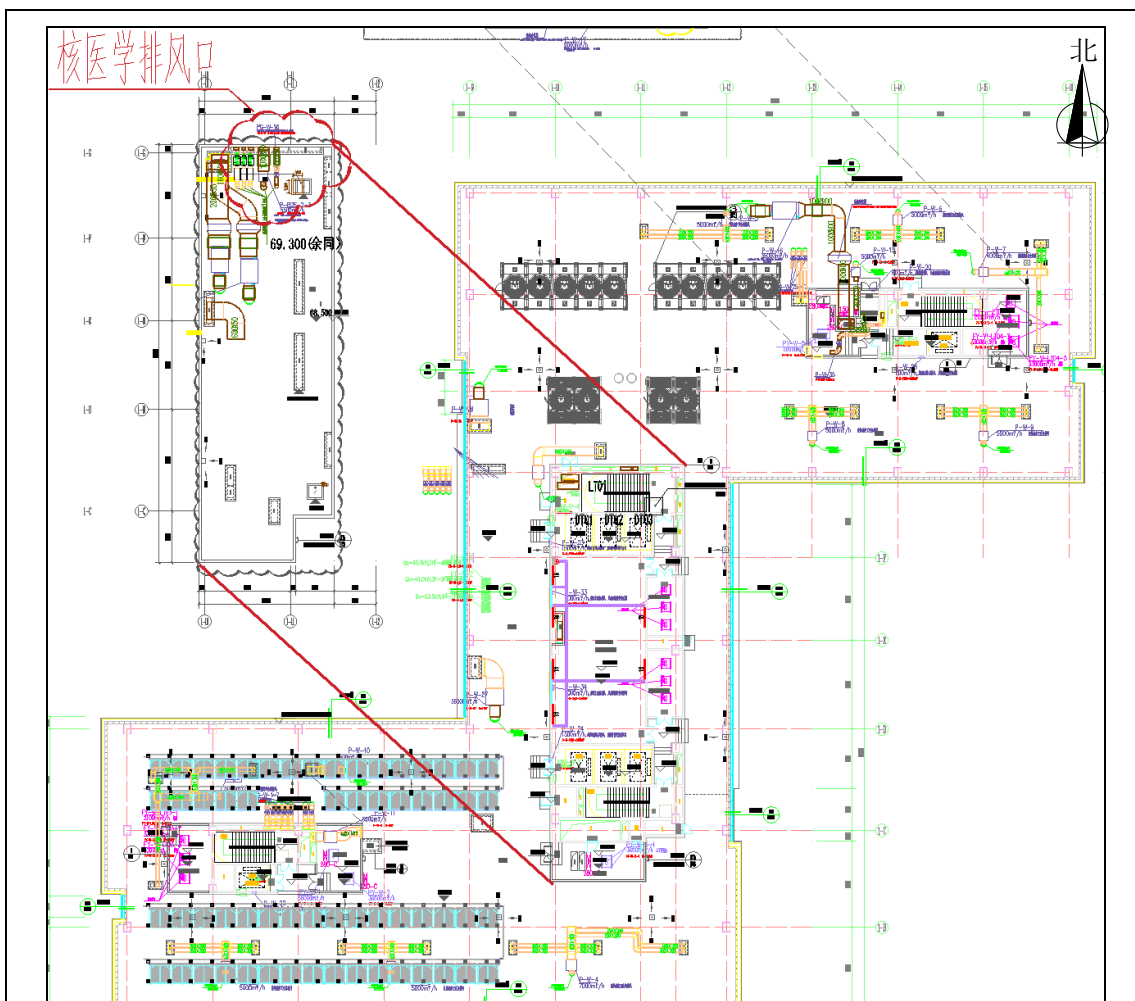


图 10-5 核医学科排风口楼顶位置图

10.2 选址与布局合理性

10.2.1 本项目核医学科选址与合理性分析

北京积水潭医院医技病房楼（二期）核医学科项目包括：核医学科诊疗场所和同位素科研场所，本项目周围 50m 区域除了北侧回南北路部分区域外，其它都是医院内部。核医学科设在医技病房楼（二期）地下二层北侧中部，东侧为消防水池等，南侧为机房、办公区、电梯厅等，西侧为车位、生活垃圾暂存，北侧为核医学科预留场所（PET/MR）、消防电梯、患者电梯等，之外为地下土层，楼上一层为支具中心，楼下为库房和停车场。核医学科包含有诊疗场所和科研场所，每个区域相对独立，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（医技病房楼北侧），满足《核医学放射防护要求》中“出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域”的具体要求。

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支具中心组装室、灌型室和测量室，不属于固定人员常居留的场所，且楼顶在 25cm 砵的基础上再增加 5cm 硫酸钡水泥或 5cm 混凝土垫层。楼下为库房也无人员常居留房间。选址兼顾了辐射屏蔽、周围科室、场所布局、安全管理等因素。总体认为该项目核医学科选址合理。

10.2.2 场所平面布局与合理性分析

核医学科诊疗场所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）门诊诊疗场所根据诊疗流程，合理设计各功能房间的布局，2 台扫描设备的控制区集中布置，高活室设在每个场所的一端，可防止交叉污染。

（2）门诊诊疗场所设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。患者路径单向设计，从南侧独立入口分别进入核医学 SPECT 区域和 PET 区域，依次完成注射、候诊、检查（治疗）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诊疗场所西侧，合成高活室与 PET 高活室之间拟配有药物专门药梯传递箱，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）核医学科工作人员办公场所设在地下二层核医学科东侧和西南侧，与门诊诊疗场所和同位素实验室这 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、放射性操作等区域划分明确，且相对隔离，满足了核医学科布局管理的要求，医护人员通道和患者通道相对独立且没有交叉，有效避免了医护人员受到不必要照射。

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

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

10.2.3 场所分区

医技病房楼（二期）地下二层中部北侧拟新建核医学科，包括核医学科诊疗场所和同位素科研场所，东侧为诊疗场所，西侧为科研场所。核医学科场所建成后，控制区包括 PET/CT 室，SPECT/CT 室，运动负荷室，储源室，高活室，废物间，注射后等候室及卫生间，留观室，注射后患者通道、清洁间、动物 PET 室、放化质控室、无菌室、阳性对照间、合成高活室等。监督区包括 PET/CT 和 SPECT/CT 控制室、动物 PET 控制室、设备间、缓冲更衣间、备品间、库房等。

（1）同位素实验室：科研区域只使用 F-18 核素，同位素实验室南侧为合成高活室、缓冲、一更、二更、工作人员卫生间等，中部为放化质控室、阳性对照、无菌室、库房和备品间；北侧为动物 PET 室、控制室、清洁间和固废间，该区域出入口拟安装门禁系统。

（2）核医学科诊疗区域使用核素 F-18、Tc-99m 等核素开展核素检查和 I-131 等核素门诊治疗，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南侧人员入口处进出该区域。

2）核素诊疗工作区（控制区），包括高活室、运动负荷室、甲功室、储源室、PET/CT 室、SPECT/CT 室、PET 等候室、VIP 等候室、SPECT 等候室、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、更衣/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 10-6 所示。

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

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。

[illegible]

10.3 工作流程及路径

核医学科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。

(1) 核素 SPECT显像诊断流程

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

(2) 核素 PET 显像诊断流程

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

(3) 治疗检查流程

患者乘电梯到达地下二层→患者在候诊区进行登记→在注射前候诊区候诊→由患者走廊从南侧入口进入检查区→在注射窗口接受给药→部分患者留观室短暂留观→由核医学科北侧出口离开核医学科。

(4) 甲状腺摄碘功能测定流程

患者乘电梯到达地下二层→患者在候诊区进行登记→在注射前候诊区候诊→由患者走廊从南侧入口进入检查区→在甲功室接受给药→甲功室测量→由核医学科南侧入口离开核医学科。

(5) 核医学科人员工作路径

➤ 高活室工作人员：

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

➤ 控制廊操作人员：

工作人员由北侧的门进入，完成工作后从北侧离开。

➤ 实验室工作人员工作

实验室工作人员通过门禁系统从南侧进入，在缓冲间更换工作服和拖鞋→从缓冲间再次门禁系统进入同位素实验室场所→合成高活室分装、标记药物→质控

室质控→给动物 PET 室注射药物、分析实验研究→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。

（6）放射性药品转移流转路径

放射性药物：由供货公司通过核医学科北侧患者出口电梯进入核医学科→由核医学科患者出口走廊进入并送至高活室→在核医学科高活室内药品管理员与送货人员办理验收交接手续→记录药品规格、批次、数量以及收货时间→在高活室手套箱内进行药物分装和注射操作（合成高活室使用的同位素从传递窗送到合成高活室，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。

（7）放射性废物转移路径

注射窗旁设置铅废物桶存放废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，每周一早晨转移至废物间。诊疗区域废物间设置 4 个铅的废物桶（4 个 5mmPb），实验室固废间设置 2 个铅的废物桶（4 个 5mmPb），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置至少一个月和 10 个半衰期后（门诊治疗产生的固废暂存 505 天后），满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，从控制区出口运出，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括废物分类、所含核素名称，重量，暂存起止时间，表面污染和辐射剂量自测结果，废物处置日期，处置操作人员，废物去向，部门审核人员等内容。

（8）小动物路径

实验需要使用小动物时通过北侧入口转移至动物 PET 室→动物显像后，将小鼠处死→最后将小鼠收集后贮存在冷冻冰柜内暂存→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。

（9）放射性废水暂存和排放

PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室内卫生间的冲厕废水、高活室和运动负荷室洗手废水、清洁间保洁废水，应急淋浴废水等→地下二层专用集水坑→污泵房→放射性废水衰变池暂存→废水暂存 180d 后，经检测达标后排至医院污水处理站处理→市政污水管网。

(10) 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。治疗药物中，Sr-89、I-131（胶囊）药物由供药公司按照人份配送，Ra-223 需要按患者体重进行分装。上述需要分装的药物中，均为液体且物理性质稳定，在正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少。在出现放射性物质泼洒的异常情况时，废气经活性炭过滤并经排风系统排放至楼顶处，经大气扩散后浓度会更低，对周围公众的剂量贡献很小。医院委托设备厂家定期检查维护通风橱和集气罩的吸附过滤装置，确保过滤效率满足设计要求。

核医学科控制区拟配套建设 4 套放射性通风处理设施，其中诊疗区域和科研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 69m，位于楼顶中部，为最高处，排风口拟朝南。

(11) 出入口控制

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

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

从功能分区来看，工作人员同位素实验、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，现对北京积水潭医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-6 和表 10-7。

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 10-6 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办

法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-6 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。 北京积水潭医院拟为本项目至少增配 13 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。	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。	本项目拟新配 2 台表面污染监测仪和 1 台便携式辐射剂量巡测仪，能够满足工作的需要。	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，排风引至医技病房楼（二期）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、	近期符合

		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。	
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 10-7 所示。

表 10-7 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</p> <p>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>	<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等。</p>	近期符合
2	<p>第九条</p> <p>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>	<p>医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将安装自行监测频次使用辐射监测仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。每天对高活室、注射区、候诊区的表面污染进行自行监测，并做好记录。</p>	近期符合
3	<p>第十二条</p> <p>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>	<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。</p>	近期符合
4	<p>第十七条</p>	<p>医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与</p>	近期

	<p>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>	<p>防护考核。</p> <p>北京积水潭医院拟为本项目至少增配13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。</p>	符合
5	<p>第二十三条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。</p>	<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（每季度1次）。</p>	近期符合
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>	<p>拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。</p>	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

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

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

11.2 核医学科运行（使用）后对环境影响

11.2.1 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/年	
1	F-18	A	15	250	1.11E+12	PET 诊断（3750）
2	Ga-68	A	5	50	4.63E+10	PET 诊断（250）
3	Tc-99m	A	25	250	4.63E+12	SPECT 诊断（6250）
4	I-123	A	5	50	9.25E+10	SPECT 诊断（250）
5	I-131	B	10	100	3.33E+8	甲功检查（1000）
6	I-131 (甲亢)	B	5	100	1.85E+11	门诊治疗（500）
7	Sr-89	B	2	50	1.48E+10	门诊治疗（100）
8	Ra-223	B	2	120 人次/年	7.92E+8	门诊治疗（120）

根据使用规划，核医学科每天使用 SPECT 开展影像诊断最多 25 人次，每天使用 PET/CT 开展影像诊断最多 20 人次，甲功检查最多 10 人，每天开展核素门诊治疗最大 9 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) 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 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物估算其辐射影响。注射 0.925GBq (25mCi) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物病人，其注射后 0、1、3h 后 1m 处的辐射剂量率分别为 $11.3 \mu\text{Sv/h}$ 、 $7.9 \mu\text{Sv/h}$ 、 $4.4 \mu\text{Sv/h}$ (引用 Handbook of Health Physics and Radiological Health.^{3rd})。核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 源的 K_{γ} 常数为 $0.0303 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，距 925MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 裸源 1m 处的剂量率为 $28.0 \mu\text{Sv/h}$

(2) PET/CT 一般用量为 0.222GBq (6mCi) /人次左右，Ga-68 用量为 0.185GBq /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 10mCi 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 $34 \mu\text{Sv/h}$ (考虑患者自吸收因子 0.36)；注射时裸源 1m 处剂量率 $52.9 \mu\text{Sv/h}$ 。

(3) I-131 治疗针对甲亢患者，给药量为 0.296GBq (8mCi) /人次~ 0.37GBq (10mCi) /人次。参照 GBZ120 标准，服用 10mCi Na^{131}I 治疗甲亢的病人，1m 处的剂量率约为 $22 \mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 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 7.4GBq (200mCi)，工作量饱和时一天最多 2 次供药，本项目保守假设每次最大分装量为 7.4GBq ，操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 $1058 \mu\text{Sv/h}$ ，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 $2.87 \text{E}-6$)，屏蔽后剂量率为 $1.21 \text{E}-2 \mu\text{Sv/h}$ (0.5m)；假设分装时铅罐盖打开 (即朝斜上方没有铅罐屏蔽)，源距手套箱上表面外 30cm 至少 1m 以上，则距手套箱外 30cm 处的剂量率不大于 $6.1 \text{E}-1 \mu\text{Sv/h}$ ，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 $9.73 \text{E}-4$)，屏蔽后剂量率为 $2.06 \text{E}-1 \mu\text{Sv/h}$ (0.5m)，则放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率能保证小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(5) PET 等候室最多 2 名受检者同时候诊，留观室最多 2 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，考虑叠加影响。

(6) PET 使用密封校验源开展设备校验，使用的 Ge-68 活度不大于 92.5MBq，Ge-68 的衰变子体为 Ga-68。根据 AAPM Task Group 108 报告和辐射安全手册，核素 Ga-68 的有效剂量当量剂量率常数为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，在储源室存储时 92.5MBq 的密封源有 20mmPb 铅屏蔽桶屏蔽，经过屏蔽后 1m 处剂量率约为 $0.77\mu\text{Sv/h}$ 。

(7) PET 注射窗口废物桶铅当量不低于 20mm 铅当量（相对 F-18 的衰减因子为 $6.24\text{E}-2$ ），保守每次注射器中残留 0.1mCi，则距废物桶 30cm 处（约 0.5m）的附加剂量率为 $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，假设上午有 15 个患者，考虑到时间的衰减，剂量率约 $1.09\mu\text{Sv/h}$ ；废物间废物桶铅当量不低于 5mm 铅当量，放射性废物周一上班时转移至废物间，废物的放射性活度大大降低，废物桶 30cm 处的剂量率一般低于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足距废物桶 30cm 处 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(8) 根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、80min）后的活度衰减因子为 0.68、0.60，每人候诊或检查期间（60min、20min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.94。

3 关注点的选取

AAPM108 号报告，给出了计算关注点的原则，即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处，屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处，楼下关注点在楼板上方 1.7m 处，同时也增加楼上和楼下 30cm 处剂量水平。

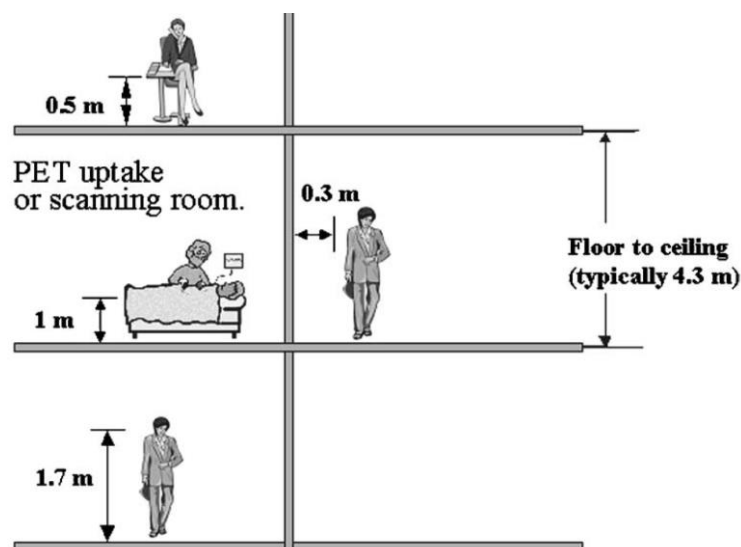


图11-1 核医学科周围关注点位置示意图

4. 估算方法

考虑到 SPECT/CT 扫描使用 Tc-99m 和 I-123 核素；PET 扫描只使用 F-18 和 Ga-68，但 I-123 衰变 γ 射线能量与 Tc-99m 相当，用量低；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

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

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，重晶石混凝土 TVL 为 100mm（由辐射安全手册图 6.4 数据类比推得）。对于 Tc-99m 来讲，铅中 TVL 为 1mm，混凝土中 TVL 保守取 110mm，重晶石混凝土 TVL 保守取 30mm（由辐射安全手册图 6.4 数据保守类比推得）。对于 I-131 来说，铅中 TVL 为 11mm，混凝土中 TVL 为 170mm，重晶石混凝土 TVL 保守取 80mm（由辐射安全手册图 6.4 数据保守类比推得）。其中 F-18 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， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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) 和公式 (11-2), 估算高活室、PET/CT 室、SPECT/CT 室、等候室、留观室等场所周围 (含楼上) 不同位置的最大附加剂量率。估算结果见表 11-2 所示, 估算点位示意图见图 11-2 所示。

表 11-2 核医学科诊疗场所周围不同位置的剂量率

位置 (估算点位见图 11-2)		距离 (m)	屏蔽材料与厚度	衰减因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
PET/CT 室 (1 名 F-18 患者)	东墙工作人员走廊 a1	3.4	24cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	2.19E-2	4.37E-2	监督区
	南墙设备间 a2	2.8	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	2.45E-1	监督区
	西墙患者走廊 a3	3.9	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	1.26E-1	控制区
	北墙控制室 a4	6.1	24cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	2.19E-2	1.36E-2	监督区
	控制室门 a5	6.4	8mmPb	3.30E-1	1.85E-1	监督区
	观察窗外 a6	6.1	8mmPb 当量铅玻璃	3.30E-1	2.04E-1	监督区
	机房门 a7	4.2	8mmPb	3.30E-1	4.30E-1	控制区
	楼上 50cm 处支具中心办公室 a8	4.5	30cm 混凝土 (砈)	1.97E-2	2.25E-2	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) a9	4.3	30cm 混凝土 (砈)	1.97E-2	2.46E-2	公众
	楼上 30cm 处	4.3	30cm 混凝土 (砈)	1.97E-2	2.46E-2	/
	楼下 30cm 处	1.6	30cm 混凝土 (砈)	1.97E-2	1.78E-1	/
SPECT/CT 室 (1 名 Tc-99m 患者)	东墙读片室 b1	3.0	24cm 混凝土砖 +3cm 硫酸钡水泥	1.40E-3	1.23E-3	工作人员
	南墙控制室 b2	3.8	6mmPb	1.00E-6	5.47E-7	监督区
	西墙患者走廊 b3	6.7	4mmPb	1.00E-4	1.76E-5	控制区
	北墙走廊 b4	2.7	4mmPb	1.00E-4	1.08E-4	控制区
	控制室门 b5	6.5	6mmPb	1.00E-6	1.87E-7	监督区

	观察窗 b6	3.8	6mmPb 当量铅玻璃	1.00E-6	5.47E-7	监督区
	机房门 b7	6.9	4mmPb	1.00E-4	1.66E-5	控制区
	楼上 50cm 处会议室 b8	4.5	30cm 混凝土 (砵)	1.87E-3	7.31E-4	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) b9	4.3	30cm 混凝土 (砵)	1.87E-3	8.01E-4	公众
	楼上 30cm 处	4.3	30cm 混凝土 (砵)	1.87E-3	8.01E-4	/
	楼下 30cm 处	1.6	30cm 混凝土 (砵)	1.87E-3	5.78E-3	/
PET 注射后 VIP 等候室 (1 名 10mCi F-18 患者)	东墙工作人员走廊 c1	4.0	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	1.76E-1	监督区
	南墙诊室 c2	2.5	24cm 混凝土砖 +8cm 硫酸钡水泥	1.10E-2	5.95E-2	公众
	西墙患者走廊 c3	3.4	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	2.44E-1	控制区
	北墙设备间 c4	1.6	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	1.10	监督区
	防护门 c5	3.8	6mmPb	4.35E-1	1.02	控制区
	楼上 50cm 处测量室 c6	4.5	30cm 混凝土 (砵)	1.97E-2	3.30E-2	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) d7	4.3	30cm 混凝土 (砵)	1.97E-2	3.62E-2	公众
	楼上 30cm 处	4.3	30cm 混凝土 (砵)	1.97E-2	3.62E-2	/
	楼下 30cm 处	1.6	30cm 混凝土 (砵)	1.97E-2	2.61E-1	/
PET 注射后等候室 (1 名 10mCi F-18 患者)	东墙患者走廊 d1	2.3	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	5.33E-1	控制区
	南墙 PET 高活室 d2	5.7	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	8.68E-2	控制区
	西墙阳性对照室/库房 d3	2.4	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	4.89E-1	工作人员
	北墙 SPECT 等候室 d4	1.3	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	1.44	控制区
	防护门 d5	3.3	6mmPb	4.35E-1	1.35	控制区
	楼上 50cm 处支具中心 d6	4.5	25cm 混凝土 (砵) +5cm 硫酸钡水泥	1.20E-2	2.01E-2	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) d7	4.3	25cm 混凝土 (砵) +5cm 硫酸钡水泥	1.20E-2	2.20E-2	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砵) +5cm 硫酸钡水泥	1.20E-2	2.20E-2	/

	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砼) +5cm 硫酸钡水泥	1.20E-2	1.59E-1	/
SPECT 注射后等候室 (5 名 25mCi Tc-99m 患者)	东墙患者走廊 e1	2.7	4mmPb	1.00E-4	7.75E-4	控制区
	南墙 PET 等候室 e2	3.5	4mmPb	1.00E-4	4.61E-4	控制区
	西墙无菌室 e3	3.3	4mmPb	1.00E-4	5.19E-4	公众
	北侧留观室 e4	3.1	4mmPb	1.00E-4	5.88E-4	控制区
	防护门 e5	2.7	4mmPb	1.00E-4	7.75E-4	控制区
	楼上 50cm 处示教室 e6	4.5	25cm 混凝土 (砼)	5.34E-3	1.49E-2	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) e7	4.3	25cm 混凝土 (砼)	5.34E-3	1.63E-2	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砼)	5.34E-3	1.63E-2	/
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砼)	5.34E-3	1.18E-1	/
高活室 (10mCi F-18、25mCi Tc-99m)	患者入口 f1	6.7	14mmPb	1.43E-1	1.69E-1	监督区
		5.1	6mmPb	1.00E-6	4.34E-7	监督区
	西墙合成高活室 f2	4.1	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	2.62E-1	控制区
	防护门外更衣/缓冲 f3	4.4	6mmPb	4.35E-1	2.54E-1	监督区
	楼上 50cm 处库房 f4	4.5	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-2	9.92E-2	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) f5	4.3	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-2	1.09E-1	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-2	1.09E-1	/
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-2	7.85E-1	/
运动负荷室 (1 名 25mCi Tc-99m 患者)	东墙患者走廊 g1	3.0	3mmPb	1.00E-3	1.26E-3	控制区
	南墙功能检查室 g2	1.5	3mmPb	1.00E-3	5.02E-3	控制区
	西墙会议室 g3	3.2	3mmPb	1.00E-3	1.10E-3	公众

	北侧 SPECT 高活室 g4	1.7	4mmPb	1.00E-4	3.91E-4	控制区
	防护门外功能检查室 g5	2.7	3mmPb	1.00E-3	1.55E-3	控制区
	楼上 50cm 处展厅 g6	4.5	25cm 混凝土 (砵)	5.34E-3	2.98E-3	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) g7	4.3	25cm 混凝土 (砵)	5.34E-3	3.26E-3	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砵)	5.34E-3	3.26E-3	/
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砵)	5.34E-3	2.36E-2	/
储源室	东墙设备间 h1	1.2	24cm 混凝土砖	6.93E-2	3.71E-2	监督区
	南墙 VIP 等候 h2	1.5	24cm 混凝土砖	6.93E-2	2.37E-2	控制区
	西墙患者走廊 h3	1.6	24cm 混凝土砖	6.93E-2	2.09E-2	控制区
	北墙 PET/CT 室 h4	1.5	24cm 混凝土砖	6.93E-2	2.37E-2	控制区
	门外患者走廊 h5	1.8	/	1.00	2.38E-1	控制区
	楼上 50cm 处 VIP 室 h6	4.5	25cm 混凝土 (砵)	3.80E-2	1.44E-3	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) h7	4.3	25cm 混凝土 (砵)	3.80E-2	1.58E-3	公众
	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砵)	3.80E-2	1.58E-3	/
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砵)	3.80E-2	1.14E-2	/
留观室 (1 名 F-18 和 1 名 Tc-99m 患者)	东墙患者走廊 g1	2.2	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	3.51E-1	控制区
	西墙动物 PET 室 g2	3.9	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	1.12E-1	工作人员
	北墙患者走廊 h4	2.8	12cm 混凝土砖 +5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	2.17E-1	控制区
	防护门外患者走廊 g3	3.1	6mmPb	4.35E-1	9.24E-1	控制区
	楼上 50cm 处示教室 g4	4.5	25cm 混凝土 (砵)	3.80E-2	3.83E-2	公众
	楼下库房 (距地面 1.7m 处) g5	4.3	25cm 混凝土 (砵)	3.80E-2	4.19E-2	公众

	楼上 30cm 处	4.3	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-2	4.19E-2	/
	楼下 30cm 处	1.6	25cm 混凝土 (砼)	3.80E-2	3.03E-1	/

注：砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm³，混凝土砖密度不低于 2.0g/cm³，重晶石混凝土密度不低于 3.45g/cm³，红砖密度不低于 1.60g/cm³（24cm 相当于 16.3cm 砼），铅板的密度为 11.4g/cm³。上表估算的剂量率为初始的活度的剂量，距离为外表面外 30cm 处。

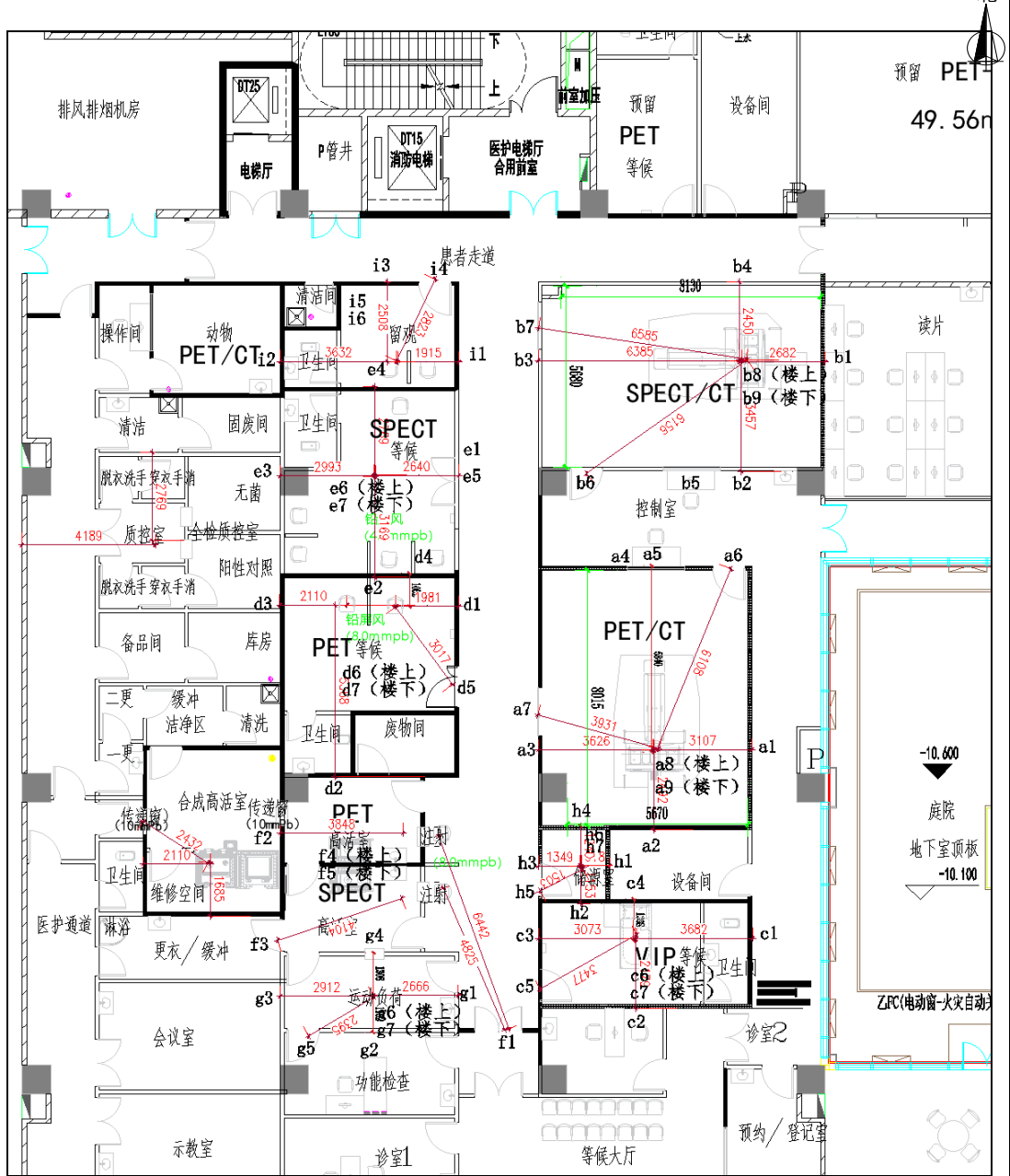


图 11-2 估算点位示意图

(2) 周围不同位置的附加剂量叠加情况

上表中 PET 注射后等候室已保守按 2 名患者进行估算，由于 F-18 能量较高，如果叠加只以某个固定点位直接进行 2 名患者叠加情况估算是偏保守的，

所以 F-18 的叠加影响进行单独估算。PET 注射后等候室同时存在 2 名注射后患者情况下的进行最大附加剂量率见表 11-3，核医学科注射后 PET 等候室相关位置估算点位置见图 11-3。

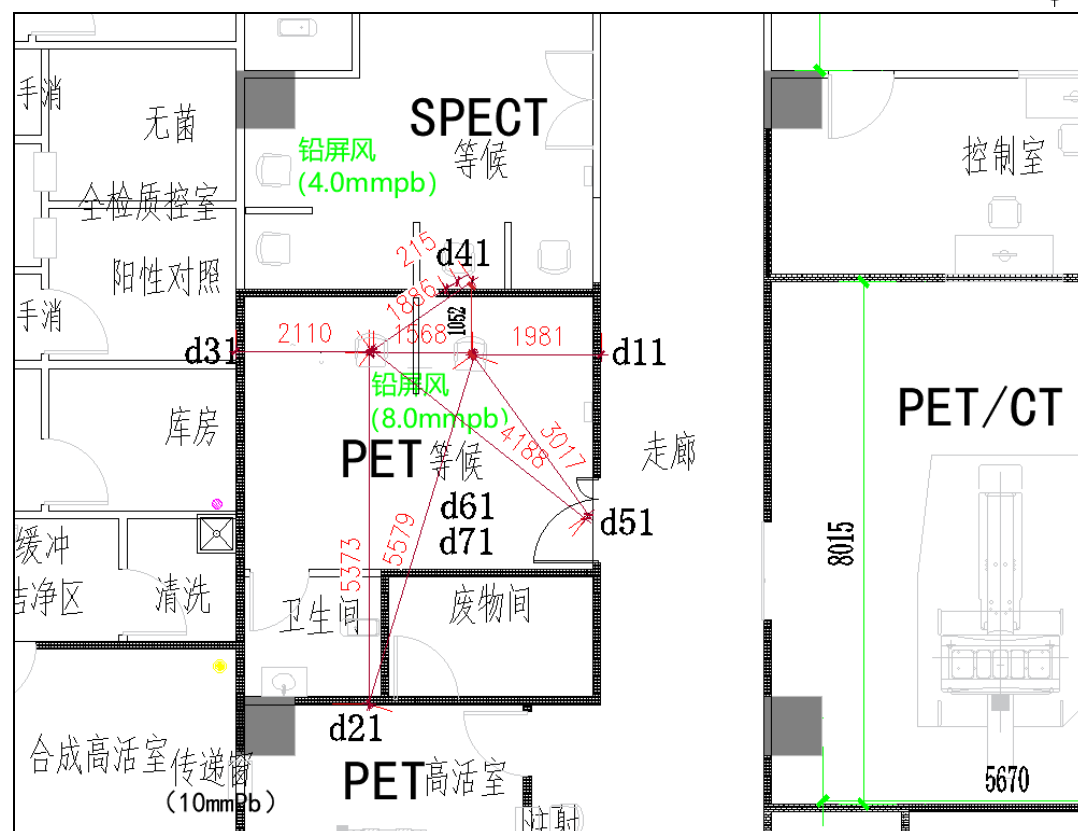


图 11-3 PET 等候室估算点位置图（考虑叠加影响）

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	衰减因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	累加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET 注射后等候室东墙患者走廊 d11 (2 名 10mCi F-18 患者)	2.3	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	5.33E-1	5.97E-1
	3.8	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥+8mmPb	2.74E-2	6.44E-2	
PET 注射后等候室南墙 PET 高活室 d21 (2 名 10mCi F-18 患者)	5.7	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	8.68E-2	8.73E-2
	5.9	36cm 混凝土砖+15cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	5.62E-4	
PET 注射后等候室西墙阳性	2.4	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	7.68E-2	4.52E-1	5.10E-1

对照室/库房 d31(2名 10mCi F-18 患者)	4.0	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥+8mmPb	2.74E-2	5.81E-2	
PET 注射后等候室北墙	1.3	12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥	8.33E-2	1.67	1.71
SPECT 等候室 d41(2名 10mCi F-18 患者)	1.9	21cm 混凝土砖+8.7cm 硫酸钡水泥+8mmPb	4.33E-3	4.06E-2	
PET 注射后等候室防护门 d51 (2名 10mCi F-18 患者)	3.3	6mmPb	4.35E-1	1.35	1.59
	4.5	14mmPb	1.43E-1	2.40E-1	
PET 注射后等候室楼上 d61(2名 10mCi F-18 患者)	4.5	25cm 混凝土(砼)+5cm 硫酸钡水泥	1.20E-2	4.02E-2	4.02E-2
PET 注射后等候室楼下 d71(2名 10mCi F-18 患者)	4.3	25cm 混凝土(砼)+5cm 硫酸钡水泥	1.20E-2	4.40E-2	4.40E-2

备注：这里未考虑注射后患者时间先后衰减的影响，楼上楼下都没考虑斜射的影响，每个患者保守都按 10mCi 量估算。

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 1.10 μ Sv/h（PET 注射后 VIP 等候室北墙设备间），PET 注射后等候室西墙阳性对照室/库房为 5.10E-1 μ Sv/h，楼上、楼下的附加剂量率分别不大于 1.09E-1 μ Sv/h、7.58E-1 μ Sv/h（高活室楼下 30cm 处），检查室周围的附加剂量率低于 4.30E-1 μ Sv/h（机房门外），均满足 2.5 μ Sv/h 的剂量率控制要求。

（3）PET/CT、SPECT/CT 中 CT 的剂量叠加分析

本项目 SPECT/CT、PET/CT 机房墙体、观察窗和防护门等四周采取的辐射屏蔽措施均不低于 4.0mm 铅当量（顶棚、地板不低于 3.7mm 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 30m² 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 μ Gy/mAs（垂直）和 0.051 μ 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，1)机房周围铅当量不小于 3.7mmPb，透射系数小于 $2.5E-5$ ，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 $0.19\mu\text{Gy/h}$ 。保守假设全部检查人员做 CT 扫描，SPECT/CT、PET/CT 全年运行时间分别为 43.75h (30s/人)、31.25h，对机房周围全居留人员的最大附加剂量贡献不大于 $9\mu\text{Sv}$ 。

患者检查时 PET/CT 机房周围最大附加剂量率为 $4.30E-1\mu\text{Sv/h}$ (PET 机房门外)、 $5.78E-3$ (SPECT 机房楼下)，即使叠加上 CT 运行所致剂量率 $0.19\mu\text{Gy/h}$ ，也满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，且 SPECT/CT、PET/CT 中 CT 运行时工作条件低于放射科诊断 CT，可以预计，SPECT/CT 和 PET/CT 设备的 CT 装置运行时，机房周围剂量率水平将保持在正常本底水平，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

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 6500 人次，扫描时间平均约为 20min/人次，总共扫描时间为 2167h，SPECT 注射后等候室内人员的停留总时间保守按 2000h (剂量率是按 5 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 1083h。

(2) 每年 PET/CT 检查最大人数为 4000 人次。PET/CT 的扫描时间平均按 20min/人次，则 PET/CT 机房内患者停留时间约为 1333h，PET 等候室停留时间保守按 2000h (剂量率是按 2 人叠加后值估算)，VIP 等候室停留时间保守按 1333h，每人留观 10min，留观室内的年留观时间为 667h。

(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，口服按 30s 人计。注射室全年注射 SPECT 药物总时间为 104h，口服 I-131 时间为 4.17h。注射 PET 药物总时间为 33.3h。

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

分装时间为 133h。

(5) 甲亢治疗一般观察 15min/人，则年总观察时间为 125h。

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 $2.98\text{E}+1\mu\text{Sv/a}$ (SPECT 注射后等候室楼上示教室，居留因子取 1)，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（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($\mu\text{Sv/a}$)	备注
PET/CT 室（1 名 F-18 患者）	楼上支具中心办公 室 a8	2.25E-2	1	1333	2.82E+1	公众
	楼下库房 a9	2.46E-2	1/16	1333	1.93	公众
SPECT/CT 室 （1 名 Tc-99m 患者）	楼上会议室 b8	7.31E-4	1/4	2167	3.96E-1	公众
	楼下库房 b9	8.01E-4	1/16	2167	1.08E-1	公众
PET 注射后 VIP 等候室（1 名 10mCi F-18 患者）	南墙诊室 c2	5.95E-2	1/4	1333	1.65E+1	公众
	楼上测量室 c6	3.30E-2	1	1333	9.13	公众
	楼下库房 d7	3.62E-2	1/16	1333	2.50	公众
PET 注射后等 候室（2 名 10mCi F-18 患 者）	楼上支具中心灌型 室 d61	4.02E-2	1/16	2000	4.17	公众
	楼下库房 d71	4.40E-2	1/16	2000	4.57	公众
SPECT 注射 后等候室（5 名 25mCi Tc-99m 患者）	西墙无菌室 e3	5.19E-4	1/16	2000	6.49E-2	公众
	楼上示教室 e6	1.49E-2	1	2000	2.98E+1	公众
	楼下库房 e7	1.63E-2	1/16	2000	2.04	公众
高活室 （10mCi F-18、25mCi Tc-99m）	楼上库房 f4	9.92E-2	1/16	133	8.25E-1	公众
	楼下库房 f5	1.09E-1	1/16	133	9.06E-1	公众

储源室	楼上 VIP 室 h6	1.44E-3	1	2000	2.88	公众
	楼下库房 h7	1.58E-3	1/16	2000	1.98E-1	公众
留观室（1 名 F-18 和 1 名 Tc-99m 患者）	楼上示教室 g4	3.83E-2	1/4	1750	1.68E+1	公众
	楼下库房 g5	4.19E-2	1/16	1750	4.58	公众

备注：其中 F-18 年附加剂量考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减，由公式 $D(t) = DI \times T \times t \times R_{II}$ 算出，其中 t 为时间， R_{II} 为每人检查期间平均活度相对检查初始的活度因子（60min 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83），其中注射室、留观室周围未考虑 R_{II} 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 133h 估算，则工作人员所受的年附加剂量为 333μSv。

（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 10μSv/h×10s/人×4000 人×1/3600s/h ≈111μSv。

（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 1.81×10^{-3} mSv/h，注射 370MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 670μSv/h。注射时采用了具有 40mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护，剂量率可以降低两个量级（在约 340MBq 的注射量情况下，北京肿瘤医院工作人员腹部位的实测值为 6.6μSv/h），本项目衰减后值取 10μSv/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 33.3h，则工作人员所受的年附加剂量为 333μSv。

手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5mlTc-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),注射窗衰减因子为 $1.0 \text{E-}20$, 5mmPb 注射车衰减因子为 $1.0 \text{E-}5$,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 108.3h ,则工作人员所受的年附加剂量为 $260 \mu\text{Sv}$ 。

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 4000 人次, PET/CT 摆位时间 30s/人 ,则累计摆位时间为 33.3h 。则摆位工作人员所受到的年附加剂量 $13.5 \mu\text{Sv/h} \times 33.3 \text{h} \approx 770 \mu\text{Sv}$ 。

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(5000 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 54.2h ,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: $11.3 \mu\text{Sv/h} \times 54.2 \text{h} \times 0.316 \approx 193 \mu\text{Sv}$

(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 $272 \mu\text{Sv}$ ($2.04 \text{E-}1 \mu\text{Sv/h} \times 1250 \text{h}$)。

SPECT 操作位的附加剂量为 $5.47 \text{E-}7 \mu\text{Sv/h}$,因此 SPECT 隔室操作的工作人员附加剂量可忽略。

(6) 质控时工作人员的年受照剂量

根据《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》(试行版)和《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备(SPECT)质量控制检测规范》 WS 523-2019 中的相关规定,医院需自行或委托有能力机构进行定期质控检测,故需对进行质控检测的工作人员进行附加剂量估算:

1) SPECT

本次假设工作人员每年应稳定检测共需操作含 Tc-99m 药物活度为 555MBq (包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需), 操作距离为 30cm, 操作时间为 1h/a, 由 1MBq Tc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $0.26\mu\text{Sv/h}$, 则 555MBq 对应 30cm 处剂量率为 $192.4\mu\text{Sv/h}$, 工作人员一般穿 0.50mmPb 当量铅围裙操作, 对应透射系数 0.31, 即操作位附加剂量率约为 $21.5\mu\text{Sv/h}$ (50cm 处), 则工作人员附加剂量为 $21.5\mu\text{Sv/a}$ 。

2) PET

①使用密封源

工作人员至少每周使用 1 次密封源进行均匀度等质控检测, 该环节需将带有铅屏蔽的刻度源从储源室运到机房, 取出源放于 PET 扫描床上, 并在控制室进行操作, 完成后需将密封源送回储源室。Ge-68 质控源产生光子平均能量仅约 9.2keV, 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 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$, 保守按初始活度 92.5MBq 考虑, 操作距离取 50cm, 操作位剂量率为 $49.6\mu\text{Sv/h}$, 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 $82.6\mu\text{Sv/a}$ 。

②稳定性

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

(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	摆位	控制室	质控
----	----	----	----	----	-----	----

PET	333	111	333	770	272	104.1
SPECT	/	/	260	193	/	
备注	护士完成			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 1.04mSv、1.24mSv、104.1μSv，由于本项目核医学科改建项目，都是专职人员，不存在辐射工作的累加情况，且护士和技师的工作环节也不存在剂量累加的情况。

11.2.5 门诊治疗辐射影响分析

核医学科核素治疗场所还使用 I-131、Sr-89 和 Ra-223 开展门诊治疗，在接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就可离开。除给药期间病人辐射对周围环境有短暂影响外，通常不会产生排泄物等废水和固体废物，病人呼出气可能含有的少量放射性物质，其中 Sr-89 为 β 核素，且每天治疗病人较少，对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微，其它两组核素影响分析如下。

(1) I-131 的辐射影响

使用 I-131 治疗甲亢的病人最多 1000 名/年，不大于 370MBq/病人，I-131 的操作方式为口服（从铅罐里取出胶囊或口服液给患者口服），假设从病人口服到离开，工作人员接触 I-131 和给药后病人的时间一共为 2min，一年的接触时间为 33.3h[2min×1000(人/年)/60(min/h)]，距离 I-131 患者(施用量 370MBq) 1m 处的剂量率约为 22.0μSv/h，则 I-131 核素对工作人员增加的附加剂量约为 733μSv。

(2) Ra-223 的辐射影响

1) 本项目运行后预期每年治疗患者 120 人次，其中每例每次最大注射量为 6.6MBq (0.178mCi)。

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

①工作人员负责本项目的药物订购、接收、暂存、分装和活度检测，操作时在手套箱后，以及患者药物注射，操作时在注射车后，体部距药物 30cm，保守假设单次操作时长约 2min，年总操作时长为 13.3h。

②点源 Ra-223 剂量率常数为 1.32E-11μGy/Bq·s，本项目单次最大操作活

度为 6.6MBq (0.178mCi)，距离该活度药物 1m 处的剂量率为 0.31 μ Gy/h，根据反平方定律，50cm 为 1.24 μ Gy/h。

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

3) 外照射附加剂量估算

根据以上相关内容，本项目运行时，主要是辐射工作人员外照射附加年剂量为 16.5 μ Sv (1.24 μ Sv/h \times 13.3h)。

4) 内照射附加剂量估算

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

(4) 门诊治疗工作人员受照剂量总结

使用 I-131、Ra-223 和 Sr-89 开展门诊治疗对辐射工作人员的附加剂量为 749.5 μ Sv (733 μ Sv +16.5 μ Sv)

11.2.6 甲功检查致工作人员年受照剂量

甲功检查每粒活度为 0.333MBq (0.9 μ Ci)，则距 0.333MBq (0.9 μ Ci) I-131 胶囊(甲功胶囊里面是粉末)100cm 处人的剂量率约为 $1.98\times 10^{-2}\mu$ Sv/h，则 I-131 胶囊对工作人员增加的附加剂量可忽略。

11.2.7 合成高活室辐射影响

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内进行，本实验室进行的高活度操作均在 50mm 厚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 350 次，工作人员的操作距离为 0.8m，每次最大操作 555MBq 的 F-18，经过 50mmPb 衰减后操作位的剂量率水平约为 $1.61\times 10^{-1}\mu$ 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为 56.4 μ Sv。

合成高活室四面墙体均为 12cm 混凝土砖+5cm 硫酸钡水泥（衰减因子约 $8.33E-2$ ），传递窗为 10mmPb（衰减因子约 $2.5E-1$ ），楼顶、地板为 25cm 厚混凝土（衰减因子约 $3.08E-2$ ），热室同位素操作位距合成高活室外公众区域至少有 2.4m，保守估算，合成高活室周围公众的附加剂量不大于工作人员剂量的

1/36，则该场所对周围的公众所致年剂量可以忽略。

11.2.8 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 18.5MBq (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 500 只，辐射工作人员的年附加剂量约为 90μSv。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。

11.2.9 放化质控室辐射影响

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），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 7.40E+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。同位素操作位距合成放化质控室外公众区域（西侧汽车道）约有 4.4m，公众位的附加剂量率约为 0.05μSv/h，则该场所对周围的公众影响可以忽略（楼上楼下有 25cm 砼屏蔽，影响更小）。

11.2.10 核医学科受照剂量总结

（1）工作人员受照剂量

根据以上估算，保守假设本1名技师完成本项目的项目显像、治疗和科研环节，则本项目核医学科工作人员受照总剂量不大于2.10mSv，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，和公众年受照总剂量不大于29.8μSv，低于本项目设定的年剂量约束值100μSv要求。

11.3 放射性废物产生及排放情况

11.3.1 放射性废气

核医学科手套箱和控制区拟安装独立的排风系统，在排风管道出核医学科前安装活性炭过滤器（手套箱还自带有过滤器）净化后，由高于医技病房楼（二期）楼楼顶排放。核医学科诊断区域主要所涉及的同位素操作主要都是一些很简单的湿法操作，除I-131以外的标记药物物理性质稳定，该场所只做I-131甲状腺功能检查和门诊治疗，在正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少，不会造成工作环境的空气污染，即使出现放射性物质泼洒情况时，废气经过排风系统排放至楼顶处，经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的剂量贡献很小。

11.3.2 放射性液体废物

衰变池收集的主要的放射性核素来源于核医学门诊受检患者的排泄物、洗手池和拖布池产生的废水和应急淋浴水等。门诊显像检查使用的 F-18 核素用于 PET 检查的正电子核素，以及 Tc-99m 和 I-123 用于 SPECT 检查用核素（都是 A 类核素）；甲状腺功能测定病人 I-131 服药量仅 9 μ Ci，且基本不在核医学科候诊。核医学科门诊治疗还使用 I-131、Sr-89、Ra-223 核素开展门诊治疗的，患者接受治疗后通常随即离开，正常情况下可不考虑这部分核素对放射性废水的影响，且医院在管理上要求 I-131、Sr-89 治疗患者在注射前进行排便，基本可以杜绝门诊治疗患者在治疗区间排便，故本项目 I-131、Sr-89、Ra-223 核素治疗患者对放射性废水贡献很小。正常情况下可不考虑这部分核素对放射性废水的影响。但核医学科产生的放射性废水仍参照 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》（京环办[2018]13 号）B 类核素管理，放射性废水暂存衰变满 10 个半衰期（含 I-131 核素的暂存超过 180 天）的要求。放射性废水产生量及达标性分析如下：

（1）产生放射性废水达标性的分析

核医学科诊疗设置受检患者专用卫生间。核医学门诊卫生间按坐便器大档水位 4L、小档水位 2.8L，5s 洗手、水嘴流量 0.1L/s 设计患者用水量，患者一次入厕用水量不超过 4.5L，本项目保守地按照所有受检者每人次如厕产生放射性废水的总量为 6L 考虑；洗手池和拖布池产生的废水也将排入衰变池，预计产生量为 60L/d（含科研场所）；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 10970 人(含治疗患者),年产生废水约 $6\text{L}/\text{人} \times 10970 \text{ 人} + 60\text{L}/\text{d} \times 250\text{d} + 50\text{L} = 80.87\text{m}^3$ 。

衰变池的总容积为 56m^3 ($14\text{m}^3/\text{槽} \times 4 \text{ 槽}$),每槽充满约 2.08 个月,则废水开始存满到排放大约经历 189 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 I-131 核素的暂存超过 180 天)的要求。

(2) 产生 Sr-89 废水的分析

由于衰变池储存时间不能满足 Sr-89(半衰期 50.5d)的 10 个半衰期要求,简要分析核素治疗过程放射性废水排放情况。据 ICRP 第 94 号出版物《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》给出的数据,实施核素 Sr-89 治疗,大约占 60%~70%的药物滞留于骨骼组织,其余部分在最初 6h 和最初 48h 随尿液分别排出可排泄部分大约 35%和 80%~90%。按治疗结束后排便 1 次,保守排出按 50%估算($35\% \times 50\%$),则每次 Sr-89 随尿液排出的活度不大于 $148\text{MBq} \times 40\% \times 35\% \times 50\% \approx 1.04 \times 10^7\text{Bq}$ 。本项目运行后每周最多 2 名患者使用 Sr-89 治疗,每月约 8 名患者,保守预计 50%的患者在治疗期间使用工作区卫生间,则每月排放进入衰变池的 Sr-89 总活度约 $4.16 \times 10^7\text{Bq}$ (按照第 2 和第 4 周分别排便一次),每格废水池充满约需 62 日历天,废水满前 Sr-89 总活度不大于 $3.67 \times 10^7\text{Bq}$ (考虑储存期间衰变的影响)。每级衰变池贮存周期至少 180 天,废水中的 Sr-89 在衰变池内经过稀释扩散大约经过 180 天贮存后,其总活度和活度浓度将进一步下降,总活度约为 $3.1 \times 10^6\text{Bq}$ (低于放射性核素 Sr-89 的每月排放限值($\leq 2.7 \times 10^7\text{Bq}$)),排放总活度能满足废水排放含放射性核素 Sr-89 污染控制要求,实际每个衰变池能储存 205 天,理论上总活度更小,更能满足月排放限值要求。

核医学科总放射性废水暂存衰变超过 180 天,排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测,废水中 I-131 核素的放射性活度浓度和总 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) 衰变池辐射防护与安全管理

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

放射性核素废水在污水收集、暂存设施存留时释放的 γ 射线可能对周围环

境产生影响。在放射性废水衰变池附近拟放置辐射警告标识或设置围挡，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

核医学科按需申请放射性药物，如有剩余的放射性药物，连同包装容器暂存于废物间自行衰变。高活室内配置 4 个铅质废物桶，将废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等固体放射性废物，暂存于该废物桶内，标注日期于每周一早晨转移至废物间内的废物桶内。动物 PET 室冰柜里放 2 个 5mmPb 铅废物桶，储存实验后的老鼠。

（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 10970 人次，平均每次产生含放射性固体废物 0.02kg（含患者注射器每支 4g），则项目满负荷运行年产生量约 219kg。依据 HJ1188 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，本项目使用核素为 A 类和 B 类废物分开储存，A 类固体废物暂存时间超过 30 天、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（B 类核素 I-131、Sr-89 与 Sr-89 存放超过 505 天）后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 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

放射性药物标记实验室场所每年更换热室和楼顶活性炭过滤器，预计额外产生 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 I-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天），使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08Bq/cm^2 和 0.8Bq/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 500 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 150kg。实验结束后，动物均被处死，尸体装入密封袋，暂存于动物 PET 室内配置的冰柜中，暂存 30d 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 0.08Bq/cm^2 和 0.8Bq/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 500 只），不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。每只小鼠注射量不大于 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 PET 室内进行。每天实验老鼠不超过 5 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 。每半年实验小鼠不大于 250 只，冷冻 250 只小鼠，体积不超过 25 立方分米，一般冰柜均可满足要求。250 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。

11.4 本项目异常事件分析与防范措施

11.4.1 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，发生遗失或被盜。放射性物品失控可能造成环境放射性污染。

(2) 由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；放

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） 储源室和高活室设置闭路监视和防侵入系统，依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）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） 病人注射或者给药前，要认真核对患者的姓名、性别、给药量，防止因错误给药导致他人受到不必要的照射，或者因给药活度不准确影响诊疗效

果。在热室内分装、标记放射性药物，实验台操作同位素。一旦发生撒漏导致台面和地面污染的情况，及时采取擦拭方法去污，并用表面污染监测仪检测，直至表面污染水平满足 GB18871-2002 要求，工作人员离开控制区，在缓冲间更换工作鞋和工作服，防止放射性污染扩散至控制区之外。

（4）核医学科高活室，配置放射性废物桶，收集放射性废物，并在放射性废物贮存室暂存，暂存超过10 倍最长半衰期且不少于30 天后（含I-131、Sr-89核素的放射性固体废物暂存超过505天），达到解控水平后办理清洁解控，该措施可有效避免放射性废物对环境造成污染和影响。候诊场所配备有专用厕所，病人的排泄物进入衰变池暂存，达标后排放，该措施可有效防止放射性废水对环境造成污染和影响。

放射性场所场设置有排风系统，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11-6。

表11-6 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在核医学场所出入口、高活室、扫描机房、病人等候室门外设置放射性警告标识和中文警示说明。
布局和屏蔽设	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

计	施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	核医学科工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入；注射区、高活室、检查室、储源室、废物间、等候室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。采用实体屏蔽措施，安装视频监控系统等装置；储源室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、视频监控系统和防盗窃报警装置，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 12 个；建设有满足环境管理要求的放射性废水衰变池，且有运行管理记录；高活室安装手套箱，操作口风速大于 0.5m/s；手套箱配套建设独立排风系统，排放口设置在所在建筑顶部高处，排风速率满足辐射安全需要。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员通过辐射安全与防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理小组

医院已经设置了辐射安全防护领导小组，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。辐射安全管理小组的职责：

辐射安全防护领导小组的职责：

1. 在医院辐射安全防护领导小组主席、委员的领导下，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，在管理委员会主席的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6. 建立射线装置档案，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 24 人，需要新增 13 人（拟新增增医师 4 人、技师 5 人、物理师 1 人、化学师 1 人、护士 2 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

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

本项目实施后，北京积水潭医院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

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

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。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，确定好送检剂量计的时间为每年 2、5、8、11 月的前三个工作日，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，所涉及辐射工作人员将继续进行个人剂量监测。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

北京积水潭医院已配置必要的辐射监测仪器，详细清单见表 1-6。本场所拟新配 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
1~3	核医学科诊疗场所	控制区出入口处	1 次/年
4	高活室	西侧缓冲间	1 次/年
5~7	运动负荷室	西侧会议室，南侧功能检查室、诊室	1 次/年
8	注射后 PET 等候室	西侧库房	1 次/年
9	注射后 SPECT 等候室	西侧全检质控室	1 次/年
10~12	注射后 VIP 室	东侧走廊，南侧诊室，北侧设备间	1 次/年
12~18	PET/CT 室	四周及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
19~26	SPECT/CT 室	周围及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
27	留观室	西侧动物 PET 室	1 次/年
28	废物间	防护门外	1 次/月
29	储源室	西侧门外	1 次/年
30~31	合成高活室	西侧卫生间、更衣室	1 次/年
32	放化质控室	西侧走廊	1 次/年

33	固废间	防护门外	1 次/月
34~35	动物 PET 室	西侧控制室	1 次/月
36	衰变池	衰变池上方	1 次/年

(5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及相关设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档，表面污染水平监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-2 表面污染水平监测点位设置

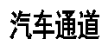
编号	场所名称	监测点位置	表面污染 (Bq/cm ²)
1~8	核医学科高活室	手套箱台面、高活室地面、注射窗、运动负荷室	
9~10	甲功室	地面、台面	
11~13	注射后 SPECT 等候室	等候室地面、候诊椅、卫生间	
14~16	注射后 PET 等候室	等候室地面、候诊椅、卫生间	
17~19	注射后 VIP 室	病人床、地面	
20~21	PET/CT 室	病人床、地面	
22~23	SPECT/CT 室	病人床、地面	
24~26	留观室	等候室地面、候诊椅、卫生间	
27~28	合成高活室	台面、地面	
29~30	放化质控室	台面、地面	
31~34	动物 PET 室	台面、地面、扫描床	
35~	其他必要点位	废物桶、包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	

12.4 辐射事故应急管理

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

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防

北



(标注★为剂量率检测位置, ▲为表面污染水平检测位置)

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

北京积水潭医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证（京环辐证[B0064]），其种类和范围为：使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。

由于医疗功能是北京市非首都功能疏解工程的重点之一，同时优化提升回天地区公共服务的北京市重点民生工程，为了解决回龙观院区床位从 500 张调整至 1000 张后导致患者检查量的增加，医院拟在回龙观二期医技病房楼地下二层中部北侧新建回龙观院区核医学科（包括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/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；核医学科拟同时开展 I-131 甲功检查、甲亢治疗和 Sr-89 骨转移瘤治疗，Ra-223 前列腺癌骨转移治疗。使用 F-18 和 Ga-68 核素开展科学研究和动物 PET/CT 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

北京积水潭医院核医学科位于医技病房楼（二期）地下二层，本项目周围 50m 区域除了北侧部分区域为马路外，都是医院内部，项目场址环境辐射本底未见异常，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

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

13.1.4 辐射安全与防护能力分析

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

核医学科工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入；注射区、高活室、检查室、储源室、废物间、等候室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。储源室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、视频监控系统和防盗报警装置，满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。

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2.5μSv/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) 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 247kg（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，北京积水潭医院回龙观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，北京积水潭医院承诺：

- （1）妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；
- （2）严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。
- （3）严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进行监测，并将监测记录保存留档；
- （4）项目竣工后按照生态环境主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并接受生态环境主管部门的监督检查。
- （5）在辐射项目运行中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	
年 月 日	经 办 人

审批意见：	
公 章	
年 月 日	经 办 人

