

核技术利用建设项目
常营院区核医学科增加放射性药物实验室项目
环境影响报告表

首都医科大学附属北京朝阳医院

2025年08月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
常营院区核医学科增加放射性药物实验室项目
环境影响报告表

建设单位：首都医科大学附属北京朝阳医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市朝阳区工人体育场南路 8 号

邮政编码：100020

联系人：邹郁松

电子邮箱：ywc85231210@163.com 联系电话：85231210-804

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	19
表 3	非密封放射性物质	20
表 4	射线装置	21
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	22
表 6	评价依据	23
表 7	保护目标与评价标准	27
表 8	环境质量和辐射现状	35
表 9	项目工程分析与源项	39
表 10	辐射安全与防护	51
表 11	环境影响分析.....	78
表 12	辐射安全管理	96
表 13	结论与建议	101
表 14	审 批	104

表 1 项目基本情况

建设项目名称		常营院区核医学科增加放射性药物实验室项目				
建设单位		首都医科大学附属北京朝阳医院				
法人代表	纪智礼	联系人	邹郁松	联系电话	85231210-804	
注册地址		北京市朝阳区工人体育场南路 8 号				
项目建设地点		北京市朝阳区东十里堡路 3 号院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层西北角核医学科				
立项审批部门		无		批准文号	无	
建设项目总投资(万元)		800	项目环保投资(万元)	150	投资比例(环保投资/总投资)	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	52(含标记间)
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备PET用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类			
	其他					
	<p>1.1 单位概况</p> <p>首都医科大学附属北京朝阳医院（以下简称“北京朝阳医院”或者“医院”）建于 1958 年，是北京市政府举办的集医疗、教学、科研、预防于一体的三级甲等综合医院；是首都医科大学第三临床医学院，是北京市基本医疗保险A类定点医疗机构。</p> <p>医院现为一院三址，有本部院区、石景山院区和常营院区三个院区。其中，北京朝阳医院本部和石景山院区总占地面积 10.28 万平米、建筑面积 21 万平米；常营院区占地面积 7.22 万平米，建筑面积 19.8 万平米，于 2023 年 5 月 29 日正式开业。</p> <p>医院职工 5000 余人。开放编制床位 2500 张；共设 59 个临床、医技科室，</p>					

综合救治能力强大。医院年门急诊量约 488 万人次，年收治住院病人 14 万余人次，手术 6 万余例次。

医院拥有先进的大型医用设备，包括 1.5T 和 3.0T 磁共振成像系统、PET-CT、双源 CT、全数字直线加速器、数字减影血管造影 X 线机、数字化彩色超声波诊断仪、平板数字胃肠造影机等国际一流的医疗设备。

该医院为已取得《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

北京朝阳医院已取得了北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[E0149]），有效期至 2028 年 8 月 6 日，见附件 1），许可的种类和范围是：使用 V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。北京朝阳医院已许可的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 医院已许可使用的射线装置情况

序号	装置名称	类别	装置数量（台）	活动种类
1	放射治疗模拟定位装置	III	1	使用；
2	口腔(牙科)X射线装置	III	5	使用；
3	其他非医用射线装置(实验用小动物)	III	2	使用；
4	乳腺X射线机	III	1	使用；
5	双能骨密度仪	III	1	使用；
6	牙科X射线机	III	3	使用；
7	医用X射线CT机	III	9	使用；
8	医用X射线机(DR)	III	2	使用；
9	医用X射线摄影机	III	4	使用；
10	医用X射线胃肠机	III	3	使用；
11	医用X线计算机断层扫描(CT)装置	III	10	使用；
12	医用诊断X射线装置	III	25	使用；
13	移动C形臂X射线机	III	22	使用；
14	移动O形臂X射线机	III	1	使用；
15	移动床旁X射线机	III	3	使用；
16	移动式数字化医用X射线摄影系统(DR)	III	1	使用；
17	PET/CT	III	2	使用；
18	SPECT/CT	III	2	使用；
19	血管造影用X射线装置(DSA)	II	13	使用；
20	医用电子直线加速器	II	2	使用；
	合计		112	

北京朝阳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 医院已许可非密封放射性同位素使用情况

场所名称	场所等级	核素	活动种类	用途	日最大操作量 (贝可)	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)	备注
本部核医学科	乙级	F-18	使用	放射性药物诊断	2.3E+10	2.3E+7	2.2E+12	
		I-131	使用	放射性药物诊断	7.4E+8	7.4E+7	1.5E+10	
		P-32	使用	放射性药物诊断	1.85E+8	1.85E+7	1.85E+9	
		Ra-223	使用	放射性药物治疗	7.4E+6	7.4E+7	2.25E+8	
		Tc-99m	使用	放射性药物诊断	2.22E+10	2.22E+7	5.55E+12	
		Tl-201	使用	放射性药物诊断	7.4E+7	7.4E+5	1.5E+10	
病房手术室 (C座)	丙级	I-125 (粒子源)	使用	放射性药物治疗	1.78E+10	1.78E+7	1.33E+11	
东区 (常营院区) 核医学科	乙级	F-18	使用	放射性药物诊断	7.4E+9	7.40E+6	1.85E+12	门诊
		Ga-67	使用	放射性药物诊断	9.25E+8	9.25E+7	9.25E+10	门诊
		Ga-68	使用	放射性药物诊断	3.70E+8	3.70E+6	3.70E+10	门诊
		I-131	使用	放射性药物治疗	7.4E+5	7.40E+4	1.85E+8	门诊甲功
		I-131	使用	放射性药物治疗	1.48E+9	1.48E+8	1.48E+11	门诊甲亢
		Lu-177	使用	放射性药物治疗	7.40E+9	7.40E+8	3.70E+11	门诊
		Sr-89	使用	放射性药物治疗	7.4E+8	7.40E+7	7.40E+10	门诊
		Tc-99m	使用	放射性药物诊断	2.78E+10	2.78E+7	6.95E+12	门诊
		Tl-201	使用	放射性药物诊断	9.25E+8	9.25E+6	9.25E+10	门诊
		I-131	使用	放射性药物治疗	1.33E+10	1.33E+9	1.33E+12	病房

北京朝阳医院已许可的放射源使用情况见表 1-3。

表 1-3 医院已许可放射源使用情况

场所名称	核素	类别	活度 (Bq)	(枚数)
本部核医学科	Ge-68	V	3.5E+6	1
	Ge-68	V	5.5E+7	1
	Ge-68	V	5.55E+7	1

1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京朝阳医院近五年共有 4 个环评报告表项目，除了东院区新增使用 DSA 项目办理部分验收外，其他均已办理了辐射安全许可证增项手续并完成自主环保验收。具体落实情况见表 1-4。

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	竣工验收情况
1	京环审[2020]131 号	东院区新建核医学科项目	报告表	2024 年 02 月已办理自主验收
2	京环审[2020]156 号	东院区新增使用 DSA 项目	报告表	已办理分阶段验收
3	京环审[2022]66 号	本部和西院新增使用 1 台 DSA 项目	报告表	2022 年 12 月已办理自主验收
4	京环审[2023]48 号	使用 1 台 DSA 项目	报告表	2024 年 02 月已办理自主验收

1.2.3 辐射安全管理情况

1.2.3.1 辐射管理机构基本情况

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进射线装置与同位素合法的使用，北京朝阳医院专门成立了辐射防护领导小组，由党委书记/理事长担任组长，院长担任副组长，院办、放射科、核医学科、放疗科、医务处等各部门的相关人员担任组员，并医务处邹郁松专职负责辐射安全管理工作。医院其中 1 名辐射防护负责人（刘力戈）及专职人员（邹郁松）均已参加并通过辐射安全和防护考核，取得了考核证。辐射防护领导小组成员名单见表 1-5。

表 1-5 医院辐射防护领导小组成员名单

职位	姓名	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
负责人	纪智礼	管理	党委书记、理事长	院办	兼职
负责人	李海潮	管理	院长	院办	兼职
负责人	王明刚	管理	副院长	院办	兼职
负责人	刘力戈	临床医学	副院长	院办	兼职
组员	杨旗	医学影像	主任	放射科	兼职
组员	王猛	管理	处长	保卫处	兼职
组员	孟洁	管理	主任	物资器械中心	兼职
组员	杨敏福	核医学	主任	核医学科	兼职
组员	梁雷	管理	处长	基建处	兼职
组员	苏丕雄	心内科	主任	心脏中心、心外科	兼职
组员	施云建	管理	处长	总务处	兼职
组员	海涌	骨科	主任	骨科	兼职

组员	黄克武	呼吸科	主任	呼吸科	兼职
组员	刘心娟	消化内科	主任	消化内科	兼职
组员	贾燕瑞	管理	主任	护理部	兼职
组员	连勇	医学影像	干事	心脏中心	兼职
组员	胡小鹏	泌尿外科	主任	泌尿外科	兼职
组员	汪阳	神经外科	主任	神经外科	兼职
组员	王左敏	口腔科	主任	口腔科	兼职
组员	张望德	血管外科	主任	血管外科	兼职
组员	张天	放疗科	主任	放疗科	兼职
组员	邹郁松	管理	干事	医务处	专职
组员	王婷	管理	处长	医务处	兼职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

医院结合医院实际情况，已制定了多项辐射安全管理制度，包括放射（辐射）安全管理小组及其职责、放射性同位素与射线装置操作规程、辐射防护和安全保卫制度、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

医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，全院从事辐射相关工作人员共约 396 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

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

1.2.3.4 个人剂量监测

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

目前，个人剂量监测工作已委托长润安测科技有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。根据医院最近一年度（2024 年）个人年度剂量检测报告（见附

件)表明,医院辐射工作人员该年度个人剂量最大值为 1.32mSv,所有人员年度个人剂量最大值均未超过医院年剂量管理目标值,满足辐射安全管理要求。

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防护领导小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作,如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4,将对其受照原因进行调查,结果由本人和科室负责人签字后存档;必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施,保障辐射工作人员的健康。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

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

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

2024 年 03 月,医院委托长润安测科技有限公司对医院三院区全部在用射线装置、机房防护及核医学工作场所进行检测,检测结果全部合格,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。

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

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

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	仪器状态	数量	备注
1	个人防护剂量仪	FJ-3200	正常	3	本部放疗科
2	个人剂量报警仪	FJ2000	正常	2	本部放疗科
3	区域辐射剂量报警仪系统	NE600	正常	1	本部放疗科
4	射线报警仪	SB-1	正常	1	本部放疗科
5	固定报警仪	SB-1	正常	1	本部放疗科
6	智能化巡测仪	JB4000A	正常	1	本部放疗科
7	电离室巡测仪	FLUKE 451P	正常	1	本部放疗科
8	电离室巡测仪	FLUKE 451B	正常	3	本部放射科、心导管室、西区各 1 台
9	便携式X、y辐射周围剂量当量率仪兼 α 、 β 表面污染仪	主机：Rad Pavise 探头：Rad Probe-AB	正常	1	本部核医学科
10	表面污染仪	RADEYE B20	正常	1	本部核医学科
11	辐射检测仪	BDJ8000	正常	1	常营院区
12	辐射监测仪器	AT1121	正常	1	常营院区
13	辐射剂量巡测仪	FSXC-100	正常	2	常营院区核医学科
14	表面污染监测仪	Rad Pavise	正常	2	常营院区核医学科
15	固定式剂量率报警仪	DCP-ZJY	正常	1	常营院区核医学科

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

1.2.3.6 辐射事故应急管理

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

医院针对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。2024 年 11 月 6 日，医务处与核医学科共同组织了一次

放射性沾染安全应急演练，此次演练模拟了制作F-18 水模体校准源过程中发生放射性药物遗洒事故的处理全流程和过程。经过此次演练实践，核医学科全体医务人员均能按照我院《辐射应急预案》的规定进行及时正确处置，通过此次演练提高了核医学科放射工作人员面对突发事件的应急处置能力，对进一步规范我院放射防护与质控工作管理工作起到了促进作用。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

(1) 北京朝阳医院本部院区核医学科已许可PET/CT显像使用F-18 (A类)，许可SPECT/CT显像使用Tc-99m (A类)、I-131 和Tl-201 (B类)，许可使用Ra-223、P-32、I-131 核素开展门诊治疗。常营院区核医学门诊区域许可PET/CT显像核素中使用F-18、Ga-68 核素 (A类)，许可SPECT/CT显像使用Tc-99m (A类)、Ga-67 和Tl-201 (B类)，门诊许可使用I-131、Sr-89、Lu-177 (B类) 等核素开展门诊治疗。常营院区核医学科病房许可I-131 进行甲癌治疗。

(2) 放射性固体废物

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

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

常营院区核医学科门诊区域含F-18、Tc-99m (A类) 等放射性废物暂存超过30 天，剩余Ga-67、Tl-201、I-131、Sr-89、Lu-177 (B类) 及常营院区核医学科病房区域含I-131 (B类) 放射性固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于30 天后（常营院区核医学科原环评批复：确保A类废物暂存不少于 30 日，门诊区域B类废物暂存不少于 80 天，病房区域B类废物不少于 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 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。放射性废物处置管理台账见附件。

(3) 放射性废水

本部院区核医学科现有衰变池总有效容积为 16.2m³ (8.1m³ × 2)。医院于2025 年 01 月委托中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室对核医学科衰变

池废水进行了检测，监测结果显示I-131 浓度小于探测下限，符合要求。

常营院区核医学科门诊现有 1 号放射性废水衰变池总容积为 84m³（槽式，28m³/池×3 池），病房区域 2 号放射性废水衰变池总容积为 183m³（槽式，61m³/池×3 池）。衰变池废水按照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》，结合原环评批复要求（门诊区域废水暂存不少于 80 天，病房区域废水暂存不少于不少于 180 天）后，衰变池的废水在排放前委托有资质单位进行检测，符合要求后排入医院污水处理站，并详细记录“放射性液体废物暂存、处置管理台账”。

医院委托有资质的检测单位于 2025 年 04 月、2024 年 08 月对常营院区核医学科 1 号衰变池（门诊）废水进行了检测，监测结果显示，总 α <0.043Bq/L，总 β <0.015Bq/L，I-131 浓度小于探测下限，符合要求。放射性废水委托检测报告见附件。常营院区核医学科 2 号衰变池（病房）衰变池由于目前废水排放量尚未达到排放检测的要求，故还未做放射性废水监测。

1.2.3.8 其他情况

北京朝阳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 2024 年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 项目建设正当性与必要性

本项目拟将核医学科东侧现有场所改造为放射性药物实验室，使用放射性核素药物开展科学研究和动物PET/SPECT-CT一体机进行动物模拟研究，可提供生物分布、药代动力学等多方面的丰富信息，准确反映药物在动物体内摄取、结合、代谢、排泄等动态过程。小动物一体机显像可在同一只动物身上进行连续的纵向研究，监控动物生理、生化过程及各种治疗方法干涉疾病进程时的效果，因此可排除传统研究方法中由于动物个体差异造成的误差。作为生物医学研究的重要技术平台，小动物一体机在动物模型研究和临床研究之间架起了一座桥梁，本项目建成后，为快速在动物和人体进行同一试验提供了机会，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。

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。

1.3.2 项目基本情况

本项目拟在常营院区医疗综合楼住院二部（地上 12 层、地下 3 层）地下一层西北角的核医学科东侧现有场所进行改造，由于患者诊疗目前都采用预约方式，在核医学科候诊的患者较少，将调整和缩小现有注射前等候区、护士站、接诊室功能区，多余的区域拟改造为放射性药物实验室，拟使用核素F-18、Tc-99m进行质控、动物显像实验、生物分布实验等，拟增加的 1 台小动物一体机用于动物显像。门诊和病房患者通过自助机报道候诊，本次改造期间不影响门诊其它显像患者和病房患者（除了甲功患者）正常运行。甲功室只对工作人员入口门进行调整，患者的甲功检查流程没有变化（还是在给药窗口口服胶囊后，到达甲功室进行外照射剂量率测量），由于甲功患者用药量低，距甲功患者 30cm处剂量率为本底水平且该场所正常不存在表面污染情况，工作人员门未改造完成前甲功室暂停使用。

本项目涉及的小动物一体机属于Ⅲ类射线装置，无需使用校准源进行校准。根据相关环保法律法规要求，Ⅲ类射线装置对环境的影响很小，本项目进行简要的分析。

1.3.3 本项目核素使用量

本项目改造完成后常营院区核医学科将开展一系列核医学动物实验，涉及到使用同位素的场所所有放射性显像剂标记间、质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室等。本项目涉及每个房间核素的使用有先后顺序，按照流程先标记合成分装、质控、注射或使用，然后动物显像、生物分布实验等，因此标记间的用量是本项目放射性药物实验室（质控室、动物显像和生物分布实验）用量的总和。本项目新增使用 F-18、Tc-99m 两种核素，均为外购。

(1) 放射性显像剂标记间：该场所原环评是按照 20 人/天（每年 5000 人的用量）进行评价的，但核医学科日等效最大操作量未考虑该场所的用量。考虑到合成效率（约 20%~50%）等情况，标记合成分装每天的使用量 F-18 不超过 $3.70E+09Bq$ （用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过 $7.40E+08Bq$ ），Tc-

99m 不超过 1.85E+09Bq（用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过 7.40E+08Bq），动物实验标记每种核素年分别工作 62 天。每天临床试验研究约 2~5 人，临床试验研究使用的放射性药物均在标记间内热室合成，合成后的药物通过标记间传递窗送往核医学科高活室给药。核医学科门诊区域标记间用量原环评是按高活室最大用量进行核算评价，能够包含本项目用量的辐射影响。

(2) 质控室：本项目质控主要是测定放射化学纯度，采取两种方法，一种是 TLC 法（薄层色谱法），另一种是 Radio-HPLC 法（高效液相法），每次根据实验需要选择相应的方法进行质控。每种方法所使用的核素用量都很小，每次质控 F-18 使用量均不超过 1.85E+06Bq，Tc-99m 使用量均不超过 2.78E+06Bq，每种核素年分别工作 62 天。

(3) 动物显像室：每只动物显像实验小鼠 F-18 核素最大使用量为 7.4E+06Bq，每天最多实验 5 只，年最多实验 50 天，年共 250 只；每只实验小鼠 Tc-99m 核素最大使用量为 1.11E+07Bq，每天最多实验 5 只，年最多实验 50 天，年共 250 只。其中部分（1/3）的动物注射后将其解剖进行离体显像，本项目保守按有 1/2 的动物需要解剖进行估算，每种核素的动物解剖年最多工作 25 天（两种核素解剖年工作 50 天），保守按每种核素年解剖 125 只（两种核素年共解剖 250 只）。

(4) 处置室（生物分布实验）：该实验所使用的核素用量很小，每只实验鼠 F-18 使用量不超过 1.48E+06Bq，Tc-99m 使用量不超过 2.22E+06Bq。该实验每种核素每月操作 1 次（两种核素不在同一天使用），每种核素每次使用实验鼠不超过 12 只，年分别工作 12 天，每种核素年实验 144 只。生物分布实验与动物显像不在同一天进行。生物分布实验动物年最多解剖 144 只（F-18 动物 72 只、Tc-99m 动物 72 只）。

常营院区拟建放射性药物实验室核素拟使用情况如表 1-7 所示。

表 1-7 本项目拟使用的核素情况

使用环节	核素种类	每只/次最大操作量(Bq)	每日实验老鼠数量(只)	年最大使用天数(天)	日最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途
合成标记分装	F-18	/	/	62	3.70E+09	2.29E+11	
	Tc-99m	/	/	62	1.85E+09	1.15E+11	
质控	F-18	1.85E+06	/	62	1.85E+06	1.15E+08	每天 1 次
	Tc-99m	2.78E+06	/	62	2.78E+06	1.72E+08	每天 1 次
显像	F-18	7.40E+06	5	50	3.70E+07	1.85E+09	
	Tc-99m	1.11E+07	5	50	5.55E+07	2.78E+09	

生物分布实验	F-18	1.48E+06	12	12	1.78E+07	2.13E+08	每月 1 次
	Tc-99m	2.22E+06	12	12	2.66E+07	3.20E+08	每月 1 次
备注：①本次实验只使用小鼠，每天最多使用一种核素。 ②生物分布实验与动物显像不在同一天进行。标记间的使用量考虑了合成效率和临床试验量。 ③本项目每天注射F-18 核素实验的 5 只小鼠中，约有 3 只需要多次显像（每只最多显像 3 次，共 9 次），剩余 2 只分别显像 1 次（共 2 次），则每天F-18 实验小鼠显像共 11 次，年显像共约 550 次。 ④本项目每天注射Tc-99m核素实验的 5 只小鼠中，约有 3 只需要多次显像（每只最多显像 3 次，共 9 次），剩余 2 只分别显像 1 次（共 2 次），则每天Tc-99m实验小鼠显像共 11 次，年显像共约 550 次。							

表 1-8 动物显像室拟使用的射线装置情况

序号	设备名称	台数	设备型号	生产厂家	技术参数	类别	使用场所
1	小动物 PET/SPECT/CT 一体机	1	InliView-3000B	成都永新医疗设备有限公司	80kV/0.7mA	III	动物显像室

1.3.4 核素使用量及场所分级

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

依照上述通知精神，对本项目涉及核素的操作方式确定如下：

本项目的放射性药物实验室，因动物显像诊断之后，还涉及动物解剖/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”。

标记间还会操作门诊显像使用的核素，这部分操作量已包含在已许可的核医学科门诊场所内，本项目未再统计。针对本项目放射性药物实验室，由于标记间的用量是本项目放射性药物实验室（质控室、动物显像和生物分布实验）用量的总和，故本项目核素日等效核算以标记间核素用量进行统计分析。核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-9 所示。

表 1-9 本项目核素日等效最大操作量

使用环节	核素种类	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	总日等效最大操作量 (Bq)
------	------	-------------	----------	----------	---------------	----------------

合成标记分装	F-18	3.70E+09	0.01	简单操作（液体，1）	3.70E+07	日等效最大操作量为 3.70E+07Bq （每天只使用1种核素）
	Tc-99m	1.85E+09	0.01	简单操作（液体，1）	1.85E+07	

建成之后常营院区核医学科放射性药物实验室为一个相对独立的场所，本次放射性药物实验室日等效使用量为 $3.70E+07Bq$ ，故该区域为乙级水平，但考虑到本项目实验区与核医学科共用标记间、排风和排水设施，与核医学科按一个场所进行管理。

常营院区核医学科门诊及病房区域（含标记间）目前使用已批复的核素日等效最大操作量为 $2.43E+09Bq$ ，保守假设全部在一天内使用，叠加本次放射性药物实验室的日等效使用量（ $3.70E+07Bq$ ）后，日等效最大操作量不大于 $2.47E+09Bq$ ，故本项目扩建完成后核医学科场所等级仍为乙级。

1.3.5 本项目产业政策符合性

本项目药物制备属于《产业结构调整指导目录（2024年）》中鼓励类第六项“核能”中第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”类项目。本项目小动物一体机属于《产业结构调整指导目录（2024年）》中“鼓励类”第十三项第4条“高端医疗器械创新发展”中“高性能医学影像设备”项目。

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

1.3.6 目的和任务的由来

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等相关规定，本项目属于使用丙级非密封放射性物质工作场所项目，应当进行环境影响评价，编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。根据生态环境部《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019年生态环境部令第9号）最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受北京朝阳医院的委托，评价机构环评人员在现场踏勘、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价重点是核医学场所运行过程中产生的X、 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 辐射工作人员配备

医院本部核医学科现有的 12 名辐射工作人员，其中医师 7 名，技师 3 名，护士 2 名。本项目常营院区核医学科现有共计 16 名辐射工作人员，其中医师 5 名，技师 5 名，护士 4 名，物理师 1 名，化学师 1 名。全院核医学科全部辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，并已安排个人剂量计监测。

本项目拟新增 2 名辐射工作人员，其中 1 名工作人员在实验过程中只负责标记、质控、分装、解剖、处死等涉及核素的相关操作，另 1 名工作人员只负责在控制廊进行动物显像设备操作，不参与标记、质控分装等涉及核素的操作，能满足动物显像实验的使用需求。

1.3.8 辐射监测仪器配备情况

目前，常营院区核医学科门诊区域已配备辐射剂量巡测仪和表面污染监测仪各 1 台。本项目放射性药物实验室实施后拟新增 1 台表面污染监测仪、利用核医学科门诊区域现有的 1 台辐射剂量巡测仪，能够满足核医学科门诊区域及放射性药物实验室常规的监测需求。

1.3.9 核医学科改造的辐射范围

①场所改造：本项目改造区域涉及注射前等候区、接诊室、护士站、甲功室、医护通道。由于患者诊疗目前都采用预约方式，在核医学科候诊的患者较少，将调整和缩小现有注射前等候区、护士站、接诊室功能区，多余的区域拟改造为放射性药物实验室。在注射前等候区东侧设患者入口门（设门禁，利用无患者的周末或节假日进行施工改造，该区改造一般两天内能完成），以上改造区域都不涉及现有辐射工作场所；同时将甲功室南侧工作人员入门拆除并封实，在甲功室东墙增设工作人员入口门（利用无患者的周末或节假日进行施工改造，控制区改造一般两天内能完成）。场所改造前、后平面布局对比情况见图 1-1~1-2。

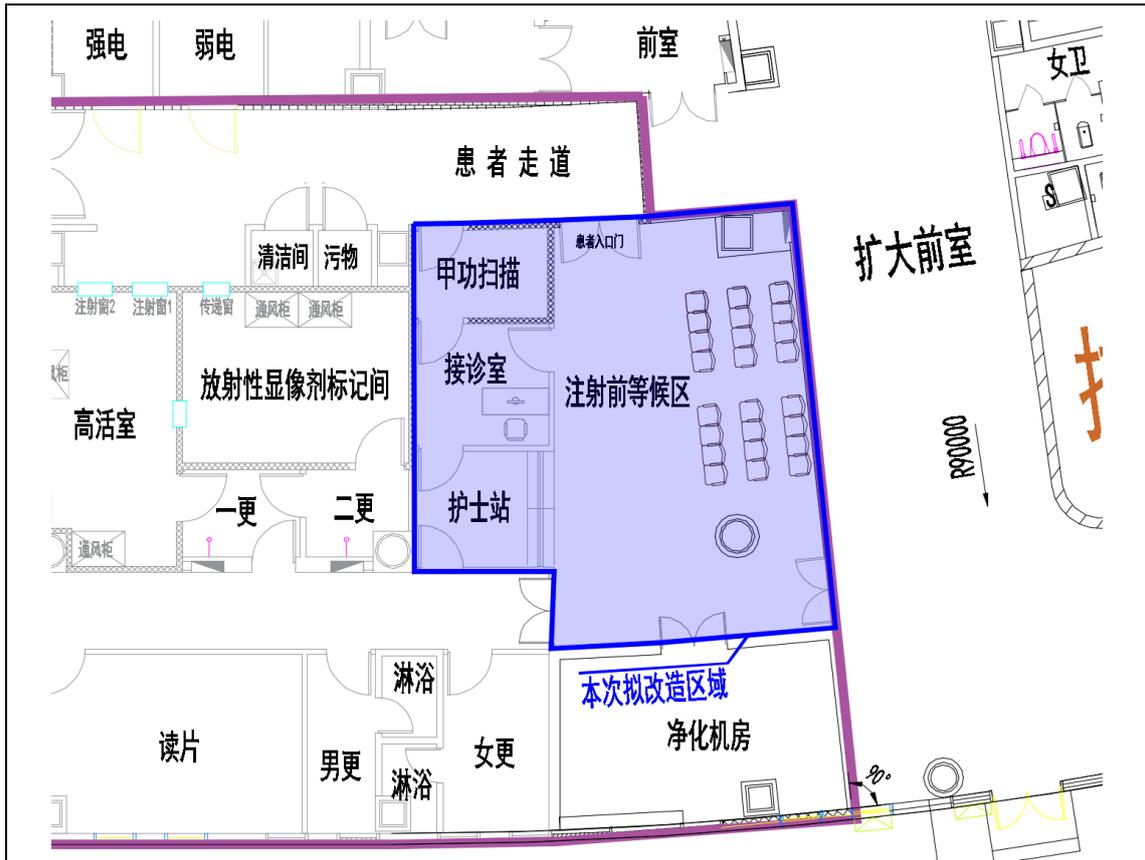


图 1-1 拟改造相关场所改造前平面布局



图 1-2 建成后放射性药物实验室平面布局

②放射性废气排风管道：本次改造完成后，门诊标记间通风橱单独一套排风系统排放（维持不变）。拟将新增的放射性药物实验室的质控室、处置室、动物显像室、废物间、动物暂存室等控制区放射性废气排风管道接入核医学门诊现有的高活室、注射后候诊、运动负荷兼抢救室、废物间、显像机房等门诊控制区排风管道，共用一套排风净化系统排放。排风管合并接入前拟设置止回阀，动物暂存室排风合并接入前还单独设置高效过滤器去除异味，同时拟将核医学科诊区排风管的排风风量由现有的 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 增大至 $4000\text{m}^3/\text{h}$ 。核医学诊区排风管的排放口距地面高度约为 50m （住院二部楼高 47m ），楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑。

放射性药物实验室其中的质控室、处置室、动物显像室、废物间控制区排风管在核医学诊区排风管，在核医学诊区排风管的水平管处（甲功室后）合并接入，放射性药物实验室的动物暂存室排风管，在核医学诊区排风的竖向排风管处（位于核医学区域外）再合并接入，两处排风管合并接入前拟设置止回阀。

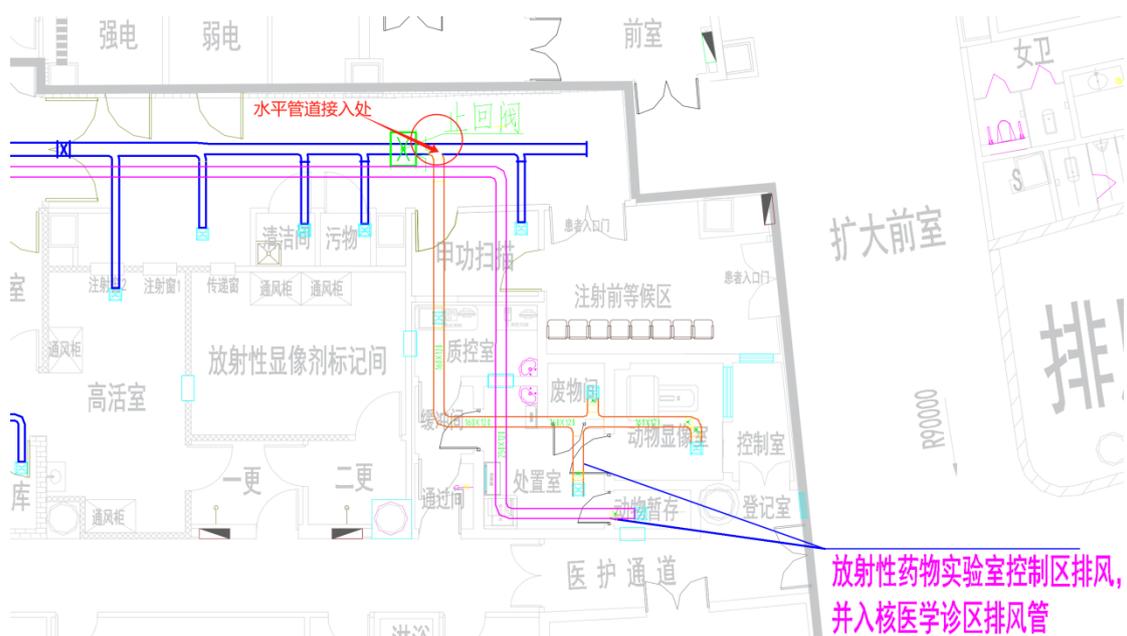


图 1-3 放射性药物实验室其它控制区排风的水平管道接入处示意图

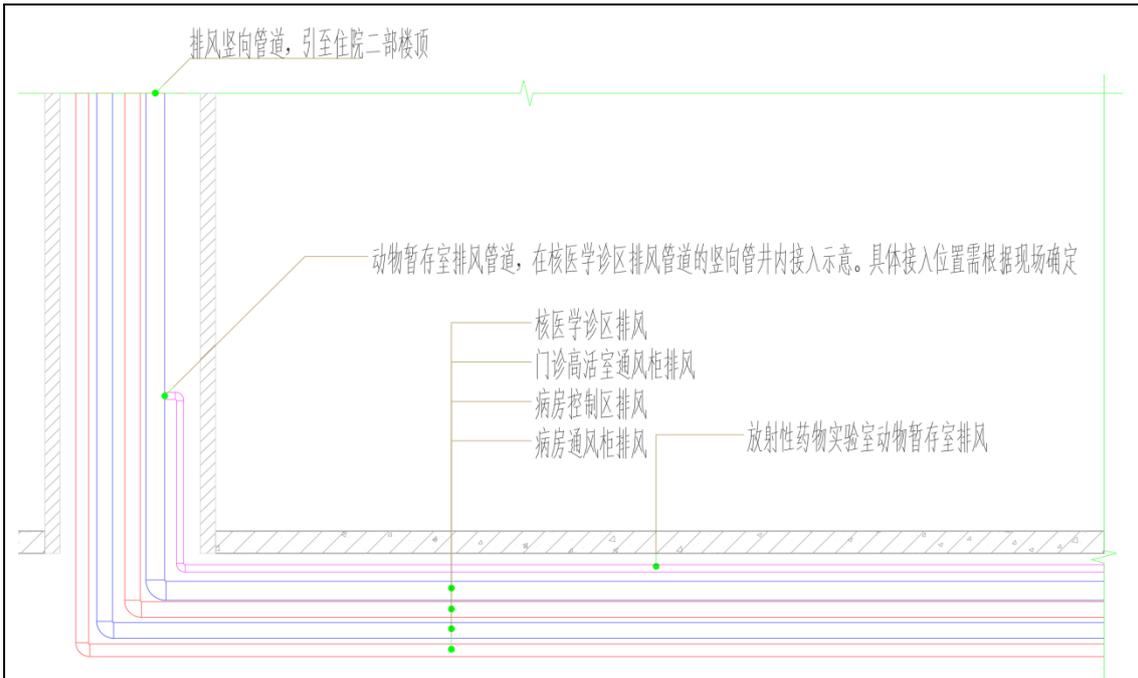


图 1-4 放射性药物实验室动物暂存室排风的竖向管道接入处示意图

③放射性废水管道：建成后的标记间、质控室、处置室、通过间废水并入现有的门诊区域放射性废水下水管道，现有衰变池不进行改造。

1.3.10 本次改造计划

医院计划于 2025 年 10 月开始核医学科现有注射前等候区、接诊室、护士站、甲功室、医护通道等场所改造安排（取得改造项目批复后开始实施），预计 2025 年 11 月底前完成，制定本项目如下实施方案。

（1）控制区（甲功室）相关场所改造：计划 2025 年 10 月开始将对现有甲功室区域的部分装饰面层、防护层（拆除防护门部分）、电气管线、照明灯具、洁具部分建筑墙体等拆除，排风管道相应位置安装止回阀等防护设施等。计划 2025 年 11 月底前完成本区域改造工程，包括完成拆除、加固建设，以及防护施工、安装排风管道等，并在改造前委托有资质单位对现有核医学科相关场所（甲功室，利用无患者的周末或节假日进行施工改造，控制区改造一般两天内能完成）、设备及配套设施（并入现有排水管和排风管区域）进行表面污染水平和剂量率检测，满足要求后才可实施改造，监测报告存档备查。且在改造过程中，核医学科工作人员使用经检定或校准合格的检测仪器对施工的位置及配套设施表面污染和辐射剂量率水平进行自行监测，辐射剂量率满足所处环境本底水平且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，才可对相关位置及配套设施拆除，如果多次检测结果都异常

时（辐射剂量大于 200nSv/h或者表面污染水平不低于 0.8Bq/cm²），立即停止拆除并做好记录，然后委托有资质单位检测，收集有异常的设施储存于废物库内，暂存一段时间符合清洁解控水平后办理解控，确保是本底水平后才可继续拆除，并详细记录自行检测数值并做好纪录。

（2）监督区相关场所改造：计划 2025 年 10 月开始将对现有注射前等候区、接诊室、护士站、患者走道、医护通道等区域的装饰面层、防护层（拆除墙体部分）、电气管线、照明灯具、洁具部分建筑墙体等拆除，安装相应位置防护设施，安装排风管道、排水管道等。计划 2025 年 11 月底前完成本区域改造工程，包括完成拆除、加固建设，以及防护施工、安装排风管道等。

（3）管道改造：改造前需要在甲功室废气水平管道汇入口、核医学诊区排风管的竖向管道汇入口相关位置进行封堵截流，以免改造期间与其余场所废气发生交叉污染。

本项目改造完成后，门诊标记间通风橱单独一套排风系统排放（维持不变）。拟将新增的放射性药物实验室的质控室、处置室、动物显像室、废物间、动物暂存室等控制区放射性废气排风管道接入核医学门诊现有的高活室、注射后候诊、运动负荷兼抢救室、废物间、显像机房等门诊控制区排风管道，共用一套排风净化系统排放。排风管合并接入前拟设置止回阀，动物暂存室排风合并接入前还单独设置高效过滤器去除异味，同时拟将核医学科诊区排风管的排风量由现有的 2000m³/h增大至 4000m³/h。核医学诊区排风管的排放口距地面高度约为 50m（住院二部楼高 47m），楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑。

放射性药物实验室其中的质控室、处置室、动物显像室、废物间控制区排风管在核医学诊区排风管，在核医学诊区排风管的水平管处（甲功室后）合并接入，放射性药物实验室的动物暂存室排风管，在核医学诊区排风的竖向排风管处（位于核医学区域外）再合并接入，两处排风管合并接入前拟设置止回阀。

（4）场所改造完成后，进行动物显像设备的安装，各项配套设施和措施均建设安全到位；

（5）项目改造完成后，按要求办理许可和环保验收相关手续。

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

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	3.70E+09	3.70E+07	2.29E+11	同位素实验	简单操作	放射性药物实验室	放射性显像剂标记间
2	Tc-99m	液体	使用	1.85E+09	1.85E+07	1.15E+11		简单操作		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(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	小动物 PET/SPECT/CT一 体机	III	1	InliView-3000B	80	0.7	动物显像	动物显像室	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（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
标记间、放射性药物实验室质控室、处置室、通过间放射性废水	液态	F-18、Tc-99m	/	/	1.55m ³	总β<10 Bq/L	依托现有84m 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80d后，经检测达标后排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
小动物放射性固体废物（废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等）	固态	F-18、Tc-99m	/	/	约39.4kg	<10 ⁴ Bq/kg	在放射性药物实验室废物间内储存	本项目产生的放射性固废均为A类，暂存30d后，经自行检测，符合《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后，对废物办理解控并作为医疗废物处理，并做好台账记录。
小动物吸水垫	固态	F-18、Tc-99m	/	/	约30kg			
动物尸体	固态	F-18、Tc-99m	/	/	23.64kg		冰柜内	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，符合要求后将尸体送医院动物室按照普通动物尸体处理
标记间通风橱排气	气态	微量F-18、Tc-99m等	/	/	少量，可忽略	/	净化过滤后排放	经通风橱自带的活性炭过滤器过滤后，在建筑楼顶排入大气环境。
气体过滤装置废滤材（依托现有）	固体	微量F-18、Tc-99m	/	/	少量	<10 ⁴ Bq/kg	暂存于核医学科废物间	暂存80d后，经检测，符合清洁解控要求后作为危险废物处置。

表 6 评价依据

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

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

	<p>康委员会，2019年8月。</p> <p>26 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，中华人民共和国生态环境部辐射源安全监管司，辐射函（2023）20号。</p> <p>27 北京市生态环境局关于发布《北京市生态环境局环境影响评价文件管理权限的建设项目目录（2024年本）》的通告（京环发〔2024〕24号），自2025年1月1日起实施。</p>
<p style="text-align: center;">技术 标准</p>	<ol style="list-style-type: none"> 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）。 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 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）。 11 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。 12 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。 13 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。 14 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）。 15 《表面污染测定第一部分β发射体（$E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$）和$\alpha$发射体》（GB/T14056.1-2008）。 16 《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）。 17 《正电子发射断层成像（PET）设备质量控制检测标准》（WS817-2023）。 18 《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》（试行版）。 19 《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）。

其他	<ol style="list-style-type: none"> 1 AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys.33 (1) , January 2006。 2 Radionuclide and Radiation Protection Data handbook 2002, Vol.98 No 1, 2002。 3 Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd 4 《中国环境天然放射性水平》，原国家环境保护局监督管理司， 1995年 8 月。 5 《辐射安全手册》， 科学出版社， 2011 年。 6 北京朝阳医院提供的与本项目相关的申请和技术资料。
----	--

(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、表面污染、放射性“三废”等。

7.2 保护目标

常营院区核医学科位于住院二部地下一层，核医学科东侧为楼内通道、电梯厅、通风机房、卫生间、急诊影像科等；西侧为核医学科病房区域；南侧为核医学科办公室、医护休息室、会议室、读片室等非辐射工作区域，窗井；北侧为电梯间、高压氧设备间、电视信号转换机房；核医学科楼上为新风机房、高压氧诊区等相关场所；楼下为空气压缩机房、配电间等辅助房间及地下车库。

本次建成后的放射性药物实验室东侧紧邻为楼内通道；南侧紧邻为医护通道、登记室；西侧紧邻为高活室、一更、二更；北侧紧邻为注射前等候区、甲功室、清洁间、污物间；楼上为走廊；楼下为地下停车位。核医学科及本项目放射性药物实验室毗邻关系、楼上和楼下毗邻关系见附图。

根据项目评价范围以及周围毗邻关系，确定本项目环境保护目标主要为核医学科从事本项目的辐射工作人员、核医学科周围其他公众成员。核医学科周围布局和人员情况见表 7-1 所示。

表 7-1 核医学科放射性药物实验室 50m范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离范围(m)	数量(人)	方位	评价范围内主要场所或建筑物
核医学科放射性药物实验室	公众(候诊患者)	0~50	>50	东侧(地下1层)	楼内通道、电梯厅、排风机房、急诊影像科
	公众	0~50	>50	东侧(楼上)	地上一层走廊、影像科等场所
	公众	0~50	0	东侧(楼下)	地下二层走道、停车位、库房，土层等场所
	核医学科工作人员	0~10	6	南侧(地下1层)	核医学科医护通道、登记室、更衣室、淋浴间、净化机房等非辐射工作区域、窗井
	公众	10~50	>50		医疗主街道行人、血透大厅等场所
	公众	0~50	>50	南侧(楼上)	地上一层走道、血透心超室、候诊室等场所
	公众	0~50	0	南侧(楼下)	地下二层空调机房、医疗/生活垃圾暂存间、停车位等
	核医学科工作人员、公众	0~42	20	西侧(地下1层)	核医学科高活室、一更、二更等门诊及病房区域
	/	42~50	0		土层

公众	0~50	1	西侧（楼楼上）	地上一层走廊、卫浴间、新房机房、医护休息、消防车道，土层等场所
公众	0~42	0	西侧（楼下）	地下二层卫浴间、清洁间、休息室、空压机房、走道等场所
/	42~50	0		土层
公众	0~36	5	北侧（地下1层）	核医学科注射前等候区、甲功室、清洁间、污物间；之外为电梯厅、新/排风机房、高压氧设备间、变配电室、电视信号转换机房等
/	36~50	0		土层
公众	0~50	>50	北侧（楼上）	地上一层高压氧诊区、排风机房、扩大前室、行车道、绿化带等
公众	0~50	25	北侧（楼下）	地下二层白衣交换站、物资器械中心、电视机房、生活冷热水泵房、土层
公众	紧邻	>50	楼上（地上一层）	急诊更衣间、接诊台、高压氧诊区、患者等候区等
公众	紧邻	>20	楼下（地下二层）	空气压缩机房、配电间等辅助房间及地下车库

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

7.3.2 剂量约束值

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

职业照射，本项目放射性药物实验室辐射工作人员取 5mSv/a 作为剂量约束值；对公众（含改造施工人员），本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

7.3.3 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

本项目周围公众除满足上述剂量约束要求外，周围剂量率还要满足以下要求，参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），并结合本项目实际情况，核医学场所及设施的剂量率控制水平拟从严控制：

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

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

(3) 动物PET/SPECT/CT机在进行CT扫描时，机房外表面 30cm处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。

(4) 标记间手套箱外表面 30cm处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

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

根据HJ1188-2021和京环办〔2018〕13号文要求，对于槽式衰变池（罐）暂存方式，A类（半衰期小于 24h）放射性废水注满后，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；B类（半衰期大于 24h）放射性废水注满后，暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后，应委托有资质（CMA或CNAS）的检测机构

对拟排放废水中I-131 核素的放射性活度浓度进行检测，活度浓度与单次排放总活度值均应满足GB18871-2002 附录A表A1 的规定。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

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

医院规定含放射性废水必须经衰变池暂存，废水的总 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 放射性废气排放管理

(1) 《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）通风要求：

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

2) 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

3) 通风橱应有足够的通风能力。排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

(2) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于通风的要求

核医学工作场所通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

7.3.6 放射性固体废物管理

本项目涉及的放射性核素为A类（半衰期小于 24h）核素。核医学科现许可核素涉及I-131 等B类核素。

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

A类固体废物暂存时间超过 30 天后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

7.4 放射性工作场所分级

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

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
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/cm^2 ）

类别		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒组	其他	
工作台、设备、	控制区	4	4×10	4×10

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

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

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

7.6 操作放射性同位素通风橱（手套箱）及排风口设置要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.3 条要求：合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s 。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）通风要求：放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

常营院区核医学科目前设置了 5 套独立排风系统：①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3 个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设 1 套排风系统。其中放射性显像剂标记间通风橱产生的废气通过排风管道引至核医学科住院二部北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以

及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前设有活性炭过滤（处理效率不低于 99%）。通风橱和排风系统的活性炭滤材每年至少更换一次。

高活室安装的通风橱操作口风速大于 0.5m/s；通风柜配套建设独立排风系统，排放口距地面高度约为 50m，楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑，排风速率满足辐射安全需要。

表 8 环境质量和辐射现状

本项目是将常营院区核医学科现有注射前等候区、护士站、接诊室等场所改造为放射性药物实验室。

常营院区核医学科项目于 2024 年 02 月已办理自主竣工环保验收，对核医学科进行了验收检测，根据竣工验收检测结果，核医学科控制区、监督区 β 放射性物质不大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；核医学科门诊场所控制区内的辐射剂量率最大值为 $1.99 \mu\text{Sv}/\text{h}$ （候诊区患者入口防护门下门缝外 30cm 处），边界外楼上和楼下最大值为 $0.13 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，不大于剂量约束值 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；核医学科病房控制区内（病房外）的剂量率水平为 $7.70 \mu\text{Sv}/\text{h}$ （病房门 1 下门缝外 30cm 处（患者走廊）），不大于剂量约束值 $10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，核医学科门诊及病房区域场所周围剂量当量率均满足原环评及批复中的剂量约束值要求。

同时根据竣工验收监测结论，按照核医学科的手术量及工作时间，常营院区核医学科正常运行状态下，估算出各操作环节工作人员的最大受照剂量为 $2.73\text{mSv}/\text{a}$ ，各场所外周围公众最大受照有效剂量为 $43.9 \mu\text{Sv}/\text{a}$ ，均低于本项目环评批复中规定的剂量约束值 $5\text{mSv}/\text{a}$ （职业人员）和 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ （公众），满足要求。且常营院区核医学科目前正常运行中，从投产至今无辐射环境问题及异常情况发生。

针对本次扩建的放射性药物实验室项目，评价单位委托有资质单位于 2025 年 07 月 01 日对本次拟改造的现有工作场所周围进行了 γ 辐射空气吸收剂量率本底监测，检测报告见附件 5。本项目的环境本底检测情况如下：

8.1 监测项目

环境 γ 辐射剂量率。

8.2 监测对象及点位布设

监测对象：本次监测针对拟改造的现有场所周边进行环境辐射现状监测。

监测点位：本次监测对拟改造的现有场所在区域及周边进行环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率监测，监测点位布设见图 8-1。

8.3 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。

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
环境剂量率仪	GH-102A/ 20170404	DLjl2025-03238 2026年03月12日	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：<±15%。

(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。

8.4 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》（HJ1157-2021）。

8.5 监测结果

拟改造的现有场所及周围的监测数据见表 8-2。

表 8-2 拟改造的现有场所环境 γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位置	检测结果 (μSy/h)		备注
		平均值	标准差	
1	患者注射前候诊区入口	0.10	0.01	
2	患者注射前候诊区	0.11	0.01	
3	净化机房门外	0.10	0.01	
4	护士站	0.09	0.01	
5	接诊室	0.11	0.01	
6	甲功室	0.10	0.01	
7	患者注射前候诊区走廊	0.10	0.01	
8	患者走廊	0.09	0.01	
9	放射性显像标记室	0.10	0.01	
10	拟改造区域楼上通道	0.11	0.01	
11	拟改造区域楼下停车场	0.10	0.01	

注：1、检测结果包含检测仪器在检测点处的宇宙射线响应值（0.03μGy/h）；
2、检测时仪器探头中心距离地面为 1m。

8.2 监测结果评价

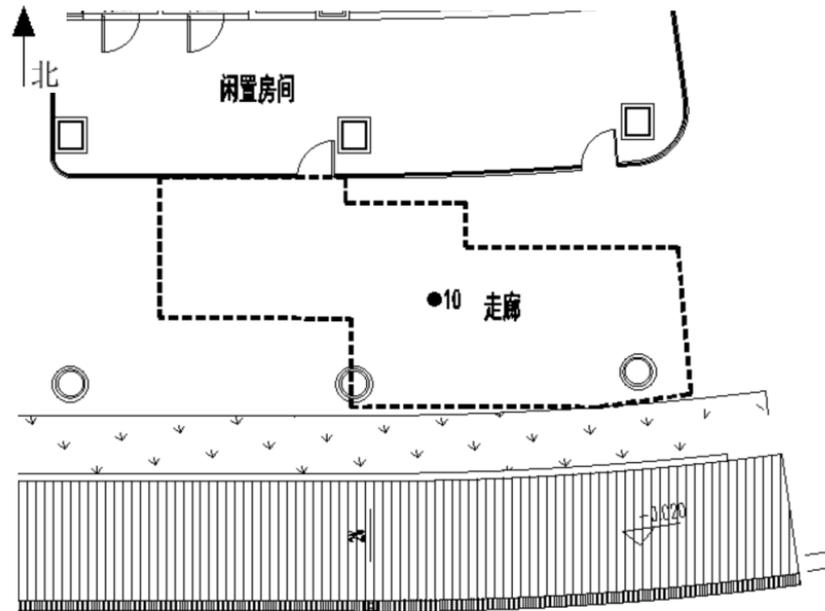
根据《中国环境天然放射性水平》（1995），北京市天然辐射水平范围为 60~123nGy/h（室外，含宇宙射线）和 69.8~182nGy/h（室内，含宇宙射线）。因此，本项目拟建场所环境 γ 辐射剂量率水平属于正常本底水平。

1、本次拟改造区域。



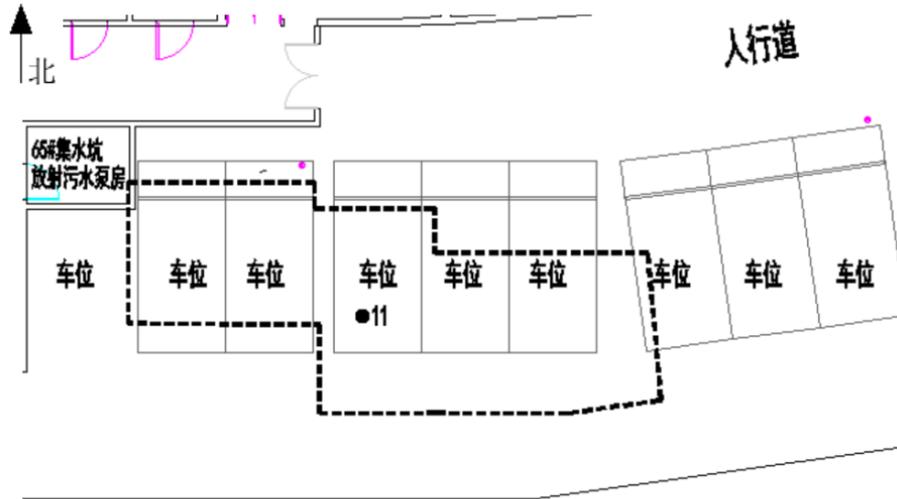
注：虚线框区域为本次拟改造区域。

2、拟改造完成后同位素实验区楼上



注：虚线框区域为本次改造后同位素实验区楼上投影区域。

3、拟改造完成后同位素实验区域楼下



注：虚线框区域为本次改造后同位素实验区楼下投影区域。

图 8-1 本项目现有场所本底检测点位图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 放射性药物实验室建设规划

本项目放射性药物实验室拟使用核素F-18、Tc-99m进行质控、动物显像实验、生物分布实验等，拟增加的 1 台小动物一体机用于动物显像。

9.1.1 标记间标记合成分装操作流程

根据实验计划确定使用的放射性同位素种类、状态和剂量；向有资质的相关同位素公司订购核素（F-18、Tc-99m），外购核素由药品公司负责送至核医学科高活室区域，点对点交接后由科室工作人员传送至放射性显像剂标记间。在标记间热室内进行标记、纯化、分装。标记间F-18、Tc-99m两种不在同一天操作，标记间每天使用的F-18 不超过 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ （本项目用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ），Tc-99m不超过 $1.85\text{E}+09\text{Bq}$ （本项目用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ），动物实验每种核素年工作 62d。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 50mm铅当量，操作者距离源项约 60cm，每次近台隔热室操作时间不超过 20min。标记主要涉及以下两种。

(1) 室温标记

- ① 根据实验需要准备标记药盒（即标记前体）；
- ② 核对药盒名称、批号、有效期；
- ③ 按药盒说明书要求加入标记所需要的无菌溶剂和标记配体；
- ④ 将放射性F-18、Tc-99m核素注入药盒中，震荡混匀；
- ⑤ 室温静置一段时间后，即完成标记；
- ⑥ 标记完成后，根据标记前体化学性质及核素类型进行纯化（如C-18、PD-10 纯化柱过滤等），取出微量核素（F-18 核素约 $1.85\text{E}+06\text{Bq}$ ，Tc-99m核素约 $2.78\text{E}+06\text{Bq}$ ）利用薄层色谱、Radio-HPLC等方式对纯化后产物进行放射性检测；
- ⑦ 质控合格后，产物通过无菌滤膜（ $0.22\mu\text{m}$ ）在标记间手套箱内分装，用于后续实验。

(2) 水浴加热标记

- ① 根据实验需要准备标记药盒（即标记前体）；

- ② 核对药盒名称、批号、有效期；
- ③ 按药盒说明书要求加入标记所需要的无菌溶剂和标记配体；
- ④ 将放射性F-18、Tc-99m核素注入药盒中，震荡混匀；
- ⑤ 金属浴加热套调至标记所需温度，带温度达到设定后将药盒置于加热套中；带反应结束后，关闭金属浴，去除药盒冷却至室温，完成标记；
- ⑥ 标记完成后，根据标记前体化学性质及核素类型进行纯化（如C-18、PD-10 纯化柱过滤等），取出微量核素（F-18 核素约 $1.85\text{E}+06\text{Bq}$ ，Tc-99m核素约 $2.78\text{E}+06\text{Bq}$ ）利用薄层色谱、Radio-HPLC等方式对纯化后产物进行放化纯检测；
- ⑦ 质控合格后，产物通过无菌滤膜（ $0.22\ \mu\text{m}$ ）在标记间手套箱内分装，用于后续实验；

9.1.2 质控分析实验

每次将待检测的核素药品置于铅转运防护盒（25mmPb铅当量），在标记间通过药品传递窗送至质控室，利用放射性薄层色谱仪（TLC）和高效液相色谱仪（Radio-HPLC）对放射性药物进行放射化学纯度分析实验。每次质控放射性样品取样活度F-18 不超过 $1.85\text{E}+06\text{Bq}$ （1.85MBq），Tc-99m不超过 $2.78\text{E}+06\text{Bq}$ （2.78MBq），两种核素分别年质控 62d。本实验配备的同类型分析仪见图 9-1。

（1）TLC法（薄层色谱法）

将标记室点样、展开后的层析纸或薄层板置于铅防护盒（铅防护当量25mm）通过传递窗送至质控室后，用放射性薄层色谱仪（TLC）进行测定。操作方式为很简单的操作，操作时间不超过 5min。

（2）Radio-HPLC法（高效液相法）

标记样品置于铅转运防护盒（25mmPb铅当量）从传递窗送至质控室，进样针吸取样品进样后利用Radio-HPLC进行分析。操作方式为很简单的操作，操作时间不超过 20min。

检测完成后测定试纸放入铅废物桶暂存 30 天后，检测表面辐射剂量率达标后，作为医疗废物处置。

质控室内放化实验通常由 1 名化学师完成。



图 9-1 同类型分析仪的图片

9.1.3 动物PET/SPECT-CT机

本项目配套使用 1 台动物PET/SPECT-CT一体机，属于III类射线装置，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、环境影响进行简要分析。动物PET/SPECT-CT一体机是将PET、SPECT和CT三种成像技术整合在一起的设备。

(1) SPECT成像：动物先摄入含有半衰期适当的放射性同位素药物，药物到达成像断层位置后，因放射性衰变从断层处发出 γ 光子。位于外层的 γ 照相机探头的灵敏点探测沿投影线进来的 γ 光子，通过闪烁体将高能 γ 射线转化为光信号，再经光电倍增管转化为电信号并放大，得到该投影线上的放射性之和。从不同角度进行观测，获取多个投影数据，通过计算机重建出断层图像，显示动物组织器官的功能、代谢等信息。

(2) PET成像：利用放射性同位素示踪原理和正电子符合探测技术。给动物注射含有正电子核素标记的药物，药物在体内参与代谢过程，正电子核素衰变产生正电子，正电子与体内的电子发生湮灭辐射，产生一对方向相反的 γ 光子。PET探测器通过探测这些 γ 光子对，经计算机处理重建出体内放射性药物分布的三维图像，从而显示动物组织器官的功能改变、细胞代谢、分子结合与信息传递等生物学特征和生化代谢过程。

(3) CT成像：利用组织对X射线吸收率的差异，通过X射线对动物进行断层扫描，探测器测量X射线穿过动物身体后的衰减程度，获取大量的投影数据，计算机根据这些数据重建出动物体内的解剖结构图像，清晰显示其组织结构和解剖学形态改变。

在动物PET/SPECT-CT一体机中，PET、SPECT和CT三种成像技术相互配

合，PET和SPECT提供功能和代谢信息，CT提供精确的解剖结构信息，通过计算机软件进行图像融合和分析，使研究人员能从多个角度全面了解动物体内的生理和病理状况。



图 9-1 动物PET/SPECT-CT机设备外观

9.1.4 动物显像实验（含解剖）

在动物显像室拟配置 1 台动物PET/SPECT-CT一体机成像装置，使用F-18、Tc-99m核素，利用实验小鼠进行放射性药物临床前实验研究，显像室全年运行时间不大于 50d。

在处置室内，打开从质控室传递来的前转运防护盒，取出分装好的一次性注射针剂，给试验动物（小鼠）注射标记好的放射性药物（注射F-18 药物的使用活度为 7.4MBq，Tc-99m药物的使用活度为 11.1MBq），试验动物注射后，对动物进行麻醉，待药物有一定程度的代谢后，进行动物PET/SPECT/CT扫描检查。对动物进行PET/SPECT/CT扫描分析，主要在于鉴定所生产和研制的放射性药物。本项目使用的动物为小鼠，每年使用量较少，不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。具体操作流程如下：

① 药物注射：在处置室内，打开从质控室传递来的前转运防护盒，取出分装好的一次性注射针器，给试验动物（小鼠）注射标记好的放射性药物（注射F-18 药物的使用活度为 7.4MBq，Tc-99m药物的使用活度为 11.1MBq），然后将废注射器置入铅废物桶内暂存。每种核素每天实验动物不超过 5 只。

② 动物麻醉：把注射药物后的实验鼠转移到动物显像室内，显像前对注

射药物后的实验动物（小鼠）进行麻醉。

③ 整体扫描成像：把麻醉状态的实验鼠置于一体机配套小鼠床，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显像装置内进行扫描，记录实验数据。PET/SPECT扫描 5-15min，MicroCT扫描时间 30s~1min。扫描后部分（约 1/3）动物直接处死，处死/解剖后的动物尸体然后置入废物间中的冰柜（50L）中暂存。另有部分（约 1/3）实验小鼠需要进行多时点成像（最多 3 次），操作步骤同上，本项目评价时保守有 3 只需要进行多次显像进行估算。显像完成后，将处于麻醉状态下的小鼠处死。

④ 离体成像：其余部分小鼠（约 1/3）需要进行组织离体成像。将麻醉状态下的小鼠直接处死、解剖，取出器官进行离体成像。离体成像解剖动物每种核素年最多工作 25d，每种核素年最多解剖 125 只，共 250 只（年最多一共工作 50d）。

⑤ 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。操作完成后清理实验台面，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。实验完成后工作人员离开时在通过间 2 开展人体表污染监测，重点是手部和脚部，确认没有污染后离开控制区。动物显像实验操作流程见图 9-3。

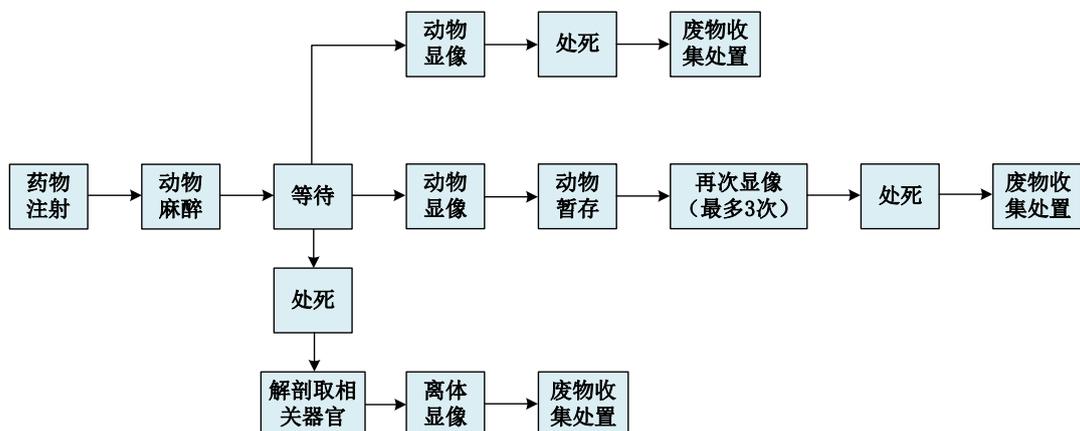


图 9-3 动物显像实验操作流程示意

9.1.5 生物分布实验（含解剖）

生物分布实验与动物显像实验不同时进行。本项目开展的生态分布实验包括动物取血、解剖、处死及相关操作。生物分布实验使用F-18、Tc-99m两种核核，不在同一天进行（每天只使用 1 种核素），该实验在处置室操作，每种核

素平均一个月做 1 次生物分布实验，做一次分布实验根据核素不同需要 3 个时间点（30min，60min和 180min，每时间点注射不超过 4 只），每种核素每次不超过 12 只实验鼠，每种核素每年分别最多 12d，年 144 只，本次F-18、Tc-99m两种核素一共年工作 24d，年 288 只。

① 将放射性药物从尾静脉注小鼠体内，给药量F-18 不超过 $1.48\text{E}+06\text{Bq}$ ，Tc-99m不超过 $2.22\text{E}+06\text{Bq}$ ，每只注射 30s~1min左右。注射后的实验小鼠（4 只一组）置于普通笼具中，然后放置在设置的笼具暂存铅箱内暂存。

② 在给药后的不同时间点（30min，60min和 180min），在处置室分别把每组（4 只一组）实验鼠依次取出，将其固定在L型铅防护屏后的装置内进行取血、处死，然后解剖（生物分布实验注射F-18、Tc-99m核素的动物年最多分别解剖 72 只，共 144 只），每只动物解剖时间约 2~10min。

③ 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生物分布计数。

④ 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。生物分布实验操作流程见图 9-4。

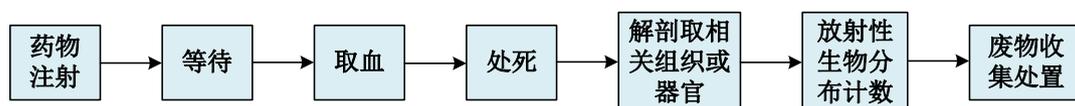


图 9-4 生物分布实验操作流程示意

动物解剖实验和动物显像室动物药物注射、摆位由同 1 名工作人员完成。

9.2 放射性核素使用量

(1) 标记室：本项目外购的放射性同位素在标记间的手套箱中进行的标记、分装等操作。手套箱中每天使用的F-18 不超过 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ （本项目用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ），Tc-99m不超过 $1.85\text{E}+09\text{Bq}$ （本项目用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ），每种核素年分别工作 62 天。

(2) 质控室：每次质控F-18 使用量均不超过 $1.85\text{E}+06\text{Bq}$ ，Tc-99m使用量均不超过 $2.78\text{E}+06\text{Bq}$ ，每种核素年分别工作 62 天。

(3) 动物显像室：每只实验鼠操作的活度F-18 不超过 $7.4E+06Bq$ ，Tc-99m 不超过 $1.11E+07Bq$ ，每天最多使用 5 只实验小鼠。

(4) 处置室：对动物进行解剖、注射、生物分布实验等操作。动物显像注射的活度F-18 不超过 $7.4E+06Bq$ ，Tc-99m不超过 $1.11E+07Bq$ ，动物显像每天最多 5 只；生物分布实验每只实验鼠F-18 不超过 $1.48E+06Bq$ ，Tc-99m不超过 $2.22E+06Bq$ ，该实验每种核每月操作 1 次（两种核素不在同一天使用），每次使用实验鼠不超过 12 只。动物显像注射、生物分布实验不在同一天进行。

处置室内年最多解剖注射F-18、Tc-99m药物的动物共 394 只（每种核素各一半），其中显像动物 250 只（F-18 动物 125 只、Tc-99m动物 125 只），生物分布实验动物 144 只（F-18 动物 72 只、Tc-99m动物 72 只）。

9.3 药物转移流程

核素从标记室内标记、分装好的药物→通过东侧传递窗送至质控室→再从质控室传递窗送至处置室，在处置室进行注射，注射药物后的小鼠分别进行动物显像实验、动态分布实验、解剖等。本项目药物放在核医学科门诊现有的转运防护盒（25mmPb）内进行转移，经屏蔽后，防护罐表面剂量率低于 $2.5\mu Sv/h$ 。

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 、 $\gamma511$
2	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	$\gamma141$

9.5 核医学科改造方案

9.5.1 核医学科改造前的工作流程

(1) 改造前的准备工作，对现有核医学科设施相关情况的详细调查，改造区域甲功室的废物都提前转移到废物间存储；

(2) 委托有资质单位对拟改造的区域（监测位置：甲功室南墙、东墙；拆除过程中监测 1 次）及配套设施（并入现有排水管和排风管区域）进行辐射环境 γ 射线率、表面污染进行监测；

(3) 控制区（甲功室改造部分，利用无患者的周末或节假日进行施工改造，

控制区改造一般两天内能完成)内相关设施拆除前除了委托有资质单位检测外,还需要由核医学科技师使用手持多功能监测仪进行检测,辐射剂量率满足所处环境本底水平且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后,才开始拆除设施,确保实施过程中处于无污染状态,如果多次检测结果都异常时(辐射剂量大于 $200\text{nSv}/\text{h}$ 或者表面污染水平不低于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$),立即停止拆除并做好记录,然后委托有资质单位检测,收集有异常的设施储存于废物库内,暂存一段时间符合清洁解控水平后办理解控,确保是本底水平后才可继续拆除;

(4) 按照环评文件及环评审批批复要求实施改造。

9.5.2 改造原则

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

(1) 辐射工作场所(甲功室)达到无限制开放使用要求后才可进行核医学科改造工作。

(2) 改造过程中产生的放射性废物尽可能做到最小化、减量化、无害化。

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

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

(5) 对参与改造的工作人员尽可能做到辐射防护最优化。

9.5.3 改造工作流程及时间规划

对于本项目改造工作,医院拟划分准备阶段、实施阶段、验收阶段等三个阶段完成相关工作。改造各阶段的工作流程及时间规划见表 9-2。

表 9-2 本项目改造各阶段的工作流程及时间规划

阶段划分	工作流程	时间规划
准备阶段	①制定改造方案,制定放射性污染事件应急预案,建立改造组织机构,并明确构成和职责分工。组织改造工作人员放射防护知识培训,开展改造前的准备工作,准备防护用品、检测仪器,准备放射性废物贮存(包装)用品等。	2025年10月前完成
	②开展源项调查,确定放射性物质和有毒有害物质的存量和分布;	
	③清理清查,清除可能积存的物料、运行期间产生的废物等,结合运行期间的台账和记录开展,确保账物相符。	
	④核医学科辐射环境现状检测;	

	⑤如发现改造场所存在表面污染，制定去污方案，进行去污并实施监测；	
	⑥开展改造项目的环境影响评价，出具环境影响报告表，并报生态环境部门审批；	
实施阶段	⑦按照环评文件及环评批复要求分期实施改造，改造过程中做好改造工作人员的安全和防护工作，改造前产生的固体废物先转移至废物间暂存，对改造过程中产生的放射性废物妥善处置； ⑧改造施工人员严格按照核医学科管理要求，患者走廊东侧增设患者入口门和甲功室改造利用无患者的周末或节假日进行改造，控制区改造一般两天内能完成，进出现场需要登记和检测； ⑨待患者走廊东侧增设患者入口门和甲功室改造完成后，再启用放射性药物实验室的改造，在改造期间，患者统一由增设的患者入口门进入。	2025年11月底完成
验收阶段	⑩核医学科辐射工作场所改造工作完成后，办理辐射安全许可证手续，并开展竣工环保验收手续。	2025年02月底完成

9.5.3 改造工作实施方案

(1) 任务分工

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

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

(2) 改造过程

①准备工作

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

②工作人员在现状监测数据指导下，对场所污染区、清洁区进行识别和标识等；

③分类规划整理改造设施和物品，将放射性固体废物转移至废物间内存储；

④利旧设备及物品拆卸迁出工作

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

改造施工人员严格按照核医学科管理要求，甲功室改造利用无患者的周末或节假日进行施工改造，一般两天内能完成，进出现场需要登记和检测。待甲功室改造完成后，再启用放射性药物实验室的改造。

进入辐射工作场所控制区前，首先由核医学科工作人员手持表面污染仪和辐射剂量巡测仪对将要拆卸的利旧设备及物品展开巡测，待确定表面无污染后，由施工人员携带拆卸工具对设备及物品开展拆卸工作。利旧设备及物品拆除后，由核医学科工作人员再一次开展监测，确定设备及物品拆卸接口或仪器内侧无污染后，由总务处组织人员将利旧设备及物品，在无检查患者期间（如周末或节假日）经过核医学科患者出口运出，将利旧设备及物品搬入核医学科库房。如果拆卸过程中，施工人员个人剂量报警仪发生报警情况，则立即停止拆卸，并由核医学科组织人员排查辐射水平异常原因，并及时对污染区域展开去污，去污完成后，经过监测，确保无污染，方可进行下一步拆卸工作。

⑤报废设备及物品拆卸处置工作

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

⑥报废管道拆除及处置工作

施工人员进入辐射工作场所控制区前按照要求佩戴个人剂量报警仪，穿戴一次性防护服、帽子、口罩、手套、鞋套等个人防护用品。进入辐射工作场所后，基建处根据改造场所施工图纸，指导施工人员对部分排风、排水管道进行部分改造工作。改造前需要在甲功室废气水平管道汇入口、核医学诊区排风管的竖向管道汇入口相关位置进行封堵截流，以免改造期间与其余场所废气发生交叉污染。由核医学科人员对管道展开巡测，确保表面无污染后，方可由施工人

员进行拆除工作，当管道内侧暴露时的第一时间停止拆卸工作，并由核医学科人员对管道内壁污染情况展开监测，确保管道内侧无残留污染物，方可继续开展管道拆卸工作。如果存在放射性污染，采取封存衰变或擦拭去污等措施，最终使其表面污染水平符合解控要求，作为普通物品继续使用或处置。拆卸下来的管道，须经过监测，无污染的部分，由总务处组织人员运往医院废物处理场所，如果部分管道内存在残留污染物，则储存于核医学科放射性废物储藏室内，暂存一段时间符合清洁解控水平后办理解控。

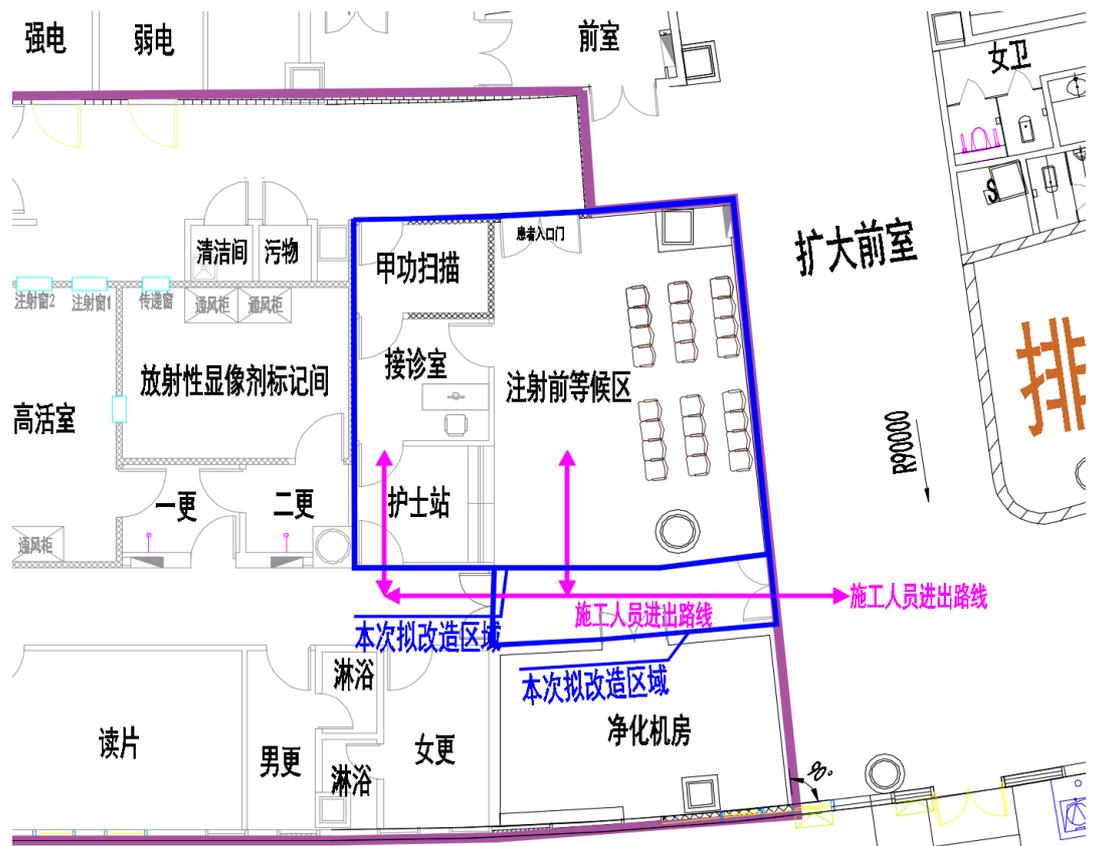


图 9-4 改造期间施工人员拟定进出路线示意图

9.6 使用放射性核素污染途径分析

9.6.1 正常工况的污染途径

(1) γ 射线辐射：在实验过程中，F-18、Tc-99m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：本项目所合成的示踪药物F-18、Tc-99m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) 放射性废水。使用放射性物质过程中，将实验后的药品（放射性废液）收集起来按固体废物办理清洁解控，可不考虑这部分废液对放射性废水的影响。本项目放射性废水主要来自于实验废水、洗手废水、清洁废水及应急淋浴水。

(4) 放射性固体废物：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。

(5) 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℃冰柜中，暂存30d后，解控为医疗废物处置。

(6) 放射性废气：本项目使用的核素具有一定的稳定性，不易挥发。药物合成、分装均在专用手套箱中操作，使用过程中产生的放射性气体十分微量，另外手套箱废气经内部设置的高效过滤器过滤后，再由管道组织引至住院二部顶部排风口（设活性炭过滤器）排放，涉及到动物实验，注射时间很短，放射性核素挥发不予考虑。

9.6.2 非正常情况的污染途径

(1) 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，放射性同位素泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染，也可能导致局部环境的放射性污染。

(2) 放射性核素管理失控：因放射性药物保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染。放射性药物实验室淋洗标记室暂存的放射性同位素，采用视频监控和门禁管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盗和丢失事件的发生。

(3) 放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目选址与合理性分析

本项目拟将核医学科现有的注射前等候区、接诊室、护士站改造成放射性药物实验室，核医学科场所整体边界维持不变，放射性药物实验室域辐射工作场所位于相对独立的区域，距离院区边界及周围环境敏感点较远，评价范围内无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无商场和超市等人员密集场所，使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响较小，该项目选址基本合理。

10.2 场所平面布局与分区

10.2.1 场所平面布局

本次建成后的放射性药物实验室东侧紧邻为楼内通道；南侧紧邻为医护通道、登记室；西侧紧邻为高活室、一更、二更；北侧紧邻为注射前等候区、甲功室、清洁间、污物间；楼上为走廊；楼下为地下停车位。

综上所述，建成后放射性药物实验室与核医学科门诊、病房区域相对独立开来，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。常营院区核医学科改造前平面布局及辐射分区，人流、物流情况见图 10-3~10-4；改造后核医学科平面布置见图 10-5。

10.2.2 功能分区

放射性药物实验室建成后，标记间、质控室、处置室、动物显像室、废物间、动物暂存室划为控制区管理，医护通道、通过间、缓冲间、控制室划分为监督区。核医学科门诊、病房区域其它场所本项目不涉及，分区情况维持不变。改造后核医学科辐射分区（控制区、监督区）见图 10-6。

10.3 工作流程及路径合理性分析

本次改造完成后，门诊及病房的工作人员动线、药物动线、废物动线均不发生变动，仅仅门诊及病房患者入口门稍有变动。本次仅针对改造后门诊区域发生变动的动线、放射性药物实验室相关动线进行分析。本次改造后，在注射前等候区东侧设置 1 个患者门（设门禁）。患者门入口路径单向设计。

(1) 门诊/病房患者路径

① 门诊患者：患者按照预约时间，从地下一层核医学科注射前等候区东

侧患者入口门进入核医学科，到达注射前等候区候诊→显像/治疗患者到高活室注射区完成显像（治疗）核素注射→显像患者到注射后候诊室候诊，门诊治疗患者用药后直接从西北侧患者专用电梯出口离开核医学科→显像患者依次完成SPECT/CT或PET/CT显像检查→受检者在扫描检查后，显像患者从西北侧患者专用电梯出口离开核医学科。给药后患者与给药前患者不交叉。

② 病房患者：患者按照预约时间，从地下一层核医学科注射前等候区东侧患者入口进入核医学科，患者办理住院手续后到护士站→接诊护士安排患者到指定病房，并进行入院辐射防护知识教育→分批服用 ^{131}I 药物，在病房休养（尽可能在床上休息）→治疗周期（3d~4d），且体内 ^{131}I 残留活度低于400MBq时→通过病房北侧门禁离开病房，从西北侧患者专用电梯出口离开核医学科，直通一层西侧室外庭院，或者坐电梯到地下二层停车场坐车离开。核医学科病房设置受检者检查区出入口，设有门禁系统。给药后患者与给药前患者不交叉。

（2）动物实验工作人员路径

① 动物显像扫描操作人员：工作人员从地下一层核医学科东南侧医护通道到达核医学科非辐射工作场所→从医护通道进入控制室→在控制室操作设备→工作完毕，原路离开核医学科场所。设备操作人员不涉及药物操作，仅负责设备扫描工作。

② 标记间操作人员：工作人员从地下一层核医学科东南侧医护通道到达核医学科非辐射工作场所→从医护通道进入一更室，在此更换工作服和拖鞋→从标记间西墙传递窗接收来自高活室送来的药物，在标记间标记药物→标记/分装好的药物→放到铅防护转运盒内，再放在标记间东墙与质控室相连的传递窗内→在一更利用核医学科现有的检测仪器进行表面污染监测无污染后，然后经通过间进入放射性药物实验室。

③ 动物药物注射操作人员：工作人员从核医学科东南侧医护通道入口进入通过间，在此更换工作服和拖鞋→工作人员来到质控室接受来自标记间分装好的药物，进行质控等操作，完成之后将药物从质控室南墙传递窗将药物传递至处置室→再到达动物暂存室接受运来的小动物，在处置给小动物室进行药物注射（包含解剖、计数、称重等操作）→再将小动物转移到动物显像室，给小

动物进行摆位→工作完成后,在通过间利用拟新购买的检测仪器进行表面污染监测,然后原路离开实验区。

(3) 小动物路径

本项目的实验动物从地下一层核医学科东南侧医护通道运至动物暂存室南侧,将动物从传递窗运至动物暂存室内→再送到处置室进行注射(包含解剖、计数、称重等操作)→注射后等待完成后,部分动物在处置室直接处死、解剖,转移至动物显像室进行离体显像;部分直接转移至动物显像室显像→显像完成后部分动物直接处死,部分需要多次显像的动物暂存在动物暂存室,多次显像完成后直接处死。处死、解剖后的动物放置废物间的冰柜内暂存→衰变完成后动物尸体从废物路径运出。

(4) 放射性药品转移路径

动物实验使用的药物和核医学科现有使用的药物一起委托有资质的供货公司将放射性药物由运输车辆运至住院二部地下二层停车场,送药人员乘受检者专用电梯到达核医学科的门诊西侧患者出口或病房入口,通过门禁可视对讲与负责交接药物的工作人员联系,开门后进入核医学科高活室,进行“点对点”交接,核对放射性药物规格和数量,办理签收手续。交接完成后,工作人员将动物实验使用药物从高活室东墙传递窗传递至标记间进行标记、分装,分装完成后再从标记间东侧传递窗进行传递,由动物实验相关使用工作人员转移使用。核医学科高活室或标记间已安装监控装置,满足生态环境和公安部门关于放射性物品存放的要求。

本次申请使用的放射性药物转移路径与核医学科现有使用的药物路径一致。本次改造后核医学科放射性药物实验室人流、物流路径图见图 10-7。

可见,放射性药物从住院二部进入控制区,然后送入高活室或标记间,可避免送药环节对普通场所潜在放射性污染,避免对其它受检人员的不必要照射。

(5) 放射性固体废物转移路径

本项目核医学科标记间目前已设置 1 个铅废物桶,存放废弃的放射性药物、包装物、棉棒、一次性用品等。质控室、处置室、动物显像室拟设置分别 1 个铅废物桶,内衬不易破损的塑料袋,收集工作期间产生的放射性废物,次

日早晨标注日期等转移至废物间。废物间拟放置 1 个 50L 的冰柜，用于暂存处死后的动物，冰柜内拟设置 1 个铅废物桶。同时废物间拟设置 2 个铅废物桶，废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置一个月和 10 个半衰期后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 A 类固体废物管理要求，解控作为医疗废物处置，从控制区西北侧出口运出，并记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括废物分类、所含核素名称，重量，暂存起止时间，表面污染和辐射剂量自测结果，废物处置日期，处置操作人员，废物去向，部门审核人员等内容。

(6) 放射性废气收集与排放流程

常营院区核医学科目前实际建设 5 套排风：①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3 个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设 1 套排风系统。

本次改造完成后，拟将新增的放射性药物实验室的质控室、处置室、动物显像室、废物间、动物暂存室等控制区放射性废气排风管道接入核医学门诊现有的高活室、注射后候诊、运动负荷兼抢救室、废物间、显像机房等门诊控制区排风管道，共用一套排风净化系统排放。排风管合并接入前拟设置止回阀，动物暂存室排风合并接入前还单独设置高效过滤器去除异味，同时拟将核医学科诊区排风管的排风量由现有的 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 增大至 $4000\text{m}^3/\text{h}$ 。其余几条排风管道不变。核医学科改造前、后的排风路径见图 10-8~10-9。

(7) 放射性废水暂存和排放流程

本目标记间、质控室、处置室内产生的少量放射性废水，以及通过间产生少量淋浴废水。本项目新增产生的废水与核医学科原有控制区的废水→经专用管道一并先排入地下二层 65 号集水坑→通过污水提升设备→泵到住院二部外西侧地下 1 号放射性废水衰变池暂存→符合要求后排至医院污水处理站处理→市政污水管网。核医学科废水排放路径不变。

为便于管理、减少交叉污染，本项目在布局时利用现有场所，已尽可能合理安排人流、物流的流向。本项目涉及同位素操作的房间布局相对集中，便于

统一管理。放射性药物实验室相对独立，与患者不存在交叉污染，设置有独立的废物间，涉及同位素操作的相关房间周围也无长期停留的公众点，物料的进出途径也比较合理。整体上来看，本项目场所的布局改造是合理可行的。

10.4 辐射安全防护设施

10.4.1 辐射屏蔽设计

本次拟将现有的常营院区核医学科现有场所改造成放射性药物实验室。涉及的标记间屏蔽防护维持现有，将甲功室南墙防护门拆除后封堵，同时在甲功室东墙新设一个防护门。另外在注射前等候室东墙增设一个患者入口门。

场所根据辐射防护要求，设计了含铅的墙体、铅防护门、铅玻璃等屏蔽场所。此外，还配备有铅废物桶，药品盛装转运铅盒等防护器具等，以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品。改造后相关场所的实体屏蔽方案见表 10-1，核医学科辐射安全防护设施见表 10-2，本次改造后墙体利旧及新增建设情况见图 10-1。

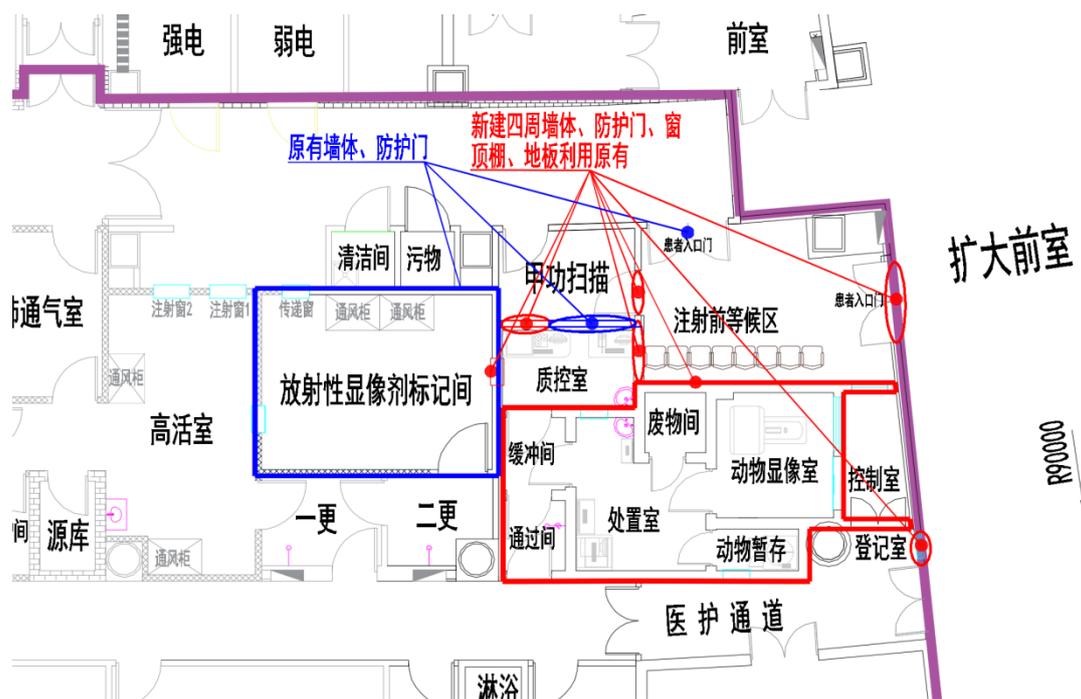


图 10-1 本次改造后墙体利旧及新增建设情况

表 10-1 本次改造后主核医学科要场所的屏蔽防护（改造后）

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽材料及厚度	周围环境	备注
1	动物显像室	东墙	3mmpb	控制室	新增
		南墙	3mmpb	动物暂存室、登记室	新增

		西墙	3mmpb	废物间、处置室	新增
		北墙	3mmpb	注射前等候区	新增
		防护门（东）	3mmpb	控制室	新增
		防护门（西）	3mmpb	处置室	新增
		观察窗	3mmpb	控制室	新增
		顶棚	27cm混凝土	走廊	利用原有
		地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有
2	动物暂存室	东墙	3mmpb	登记室	新增
		南墙	3mmpb	医护通道	新增
		西墙	3mmpb	处置室	新增
		北墙	3mmpb	动物显像室	新增
		防护门	3mmpb	处置室	新增
		传递窗	6mmpb	医护通道	新增，双层
		笼具暂存铅箱	(底面 2mmPb铅当量，其余 5 面 10mmPb铅当量)	/	新增 1 个
		顶棚	27cm混凝土	走廊	利用原有
		地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有
3	质控室	东墙	3mmpb	注射前等候区、废物间	新增
		南墙	3mmpb	处置室、缓冲间	新增
		西墙	6mmpb	放射性显像剂标记间	新增
		北墙	3mmpb	甲功室	新增
		防护门（南）	3mmpb	处置室、缓冲间	新增
		传递窗（南）	6mmpb	处置室、缓冲间	新增，双层
		传递窗（西）	40mmpb	放射性显像剂标记间	新增
		顶棚	27cm混凝土	走廊	利用原有
		地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有
4	处置室	东墙	3mmpb	动物显像室、动物暂存室	新增
		南墙	3mmpb	医护通道	新增
		西墙	3mmpb	通过间、缓冲间	新增
		北墙	3mmpb	废物间、质控室	新增
		防护门（东北）	3mmpb	动物显像室	新增
		防护门（东南）	3mmpb	动物暂存室	新增
		防护门（西北）	3mmpb	缓冲间	新增
		防护门（北）	3mmpb	废物间	新增
		传递窗（北）	6mmpb	质控室	新增，双层
		顶棚	27cm混凝土	走廊	利用原有
		地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有

5	废物间	东墙	3mmpb	动物显像室	新增
		南墙	3mmpb	处置室	新增
		西墙	3mmpb	处置室、质控室	新增
		北墙	3mmpb	注射前等候区	新增
		防护门（南）	3mmpb	处置室	新增
		顶棚	27cm混凝土	走廊	利用原有
		地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有
6	通过间	东墙	3mmpb	处置室	新增
		南墙	3mmpb	医护通道	新增
		西墙	3mmpb	二更	新增
		北墙	3mmpb	缓冲间	新增
		防护门（南）	3mmpb	医护通道	新增
		防护门（北）	3mmpb	缓冲间	新增
		地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有
7	缓冲间	东墙	3mmpb	处置室	新增
		南墙	3mmpb	通过间	新增
		西墙	6mmpb	放射性显像剂标记间	新增
		北墙	3mmpb	质控室	新增
		防护门（南）	3mmpb	通过间	新增
		防护门（北）	3mmpb	质控室	新增
		地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有
8	放射性显像剂标记间	东墙	6mmpb	甲功室、质控室	利用原有
		南墙	6mmpb	一更、二更	利用原有
		西墙	6mmpb	高活室	利用原有
		北墙	6mmpb	清洁间、污物间	利用原有
		防护门（南）	6mmpb	二更	利用原有
		传递窗（北）	40mmpb	患者走道	利用原有
		传递窗（西）	40mmpb	高活室	利用原有
		传递窗（东）	40mmpb	动物质控室	新增，双层
		通风橱（2个）	50mmpb	/	利用原有
		地板	27cm混凝土	停车位	利用原有
9	甲功室	东墙	1mmpb	注射前等候区	利用原有
		南墙	3mmpb	质控室	改造前为1mmpb，改造后为3mmpb
		西墙	1mmpb	污物间、放射性显像剂标记间	利用原有

	北墙	1mmpb	患者走廊	利用原有
	防护门 (南墙, 拟拆除)	1mmpb	质控室	拆除南防护门, 封堵为3mmpb铅墙
	防护门(北)	1mmpb	患者走廊	利用原有
	防护门(东)	1mmpb	注射前等候区	新增
	顶棚	27cm混凝土	闲置房间、走廊	利用原有
	地板	27cm混凝土	地下停车位	利用原有

备注: 混凝土密度不低于 2.35t/m³。

表 10-2 丙级场所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	工作场所功能、设置及分区布局	√	拟设有质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室、废物间、通过间、缓冲间、控制室等场所, 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	√	标记间配有通风橱
5*		防止放射性液体操作造成污染的措施	√	墙面、地面均为光滑饰面
6*		放射性废水处理系统及标识	√	与核医学科诊断区域控制区共用一个衰变池, 在周围标识放射性废水衰变池说明。本项目标记间、质控室、处置室、通过间产生的废水与核医学科原有控制区废水一并排入现有 1 号放射性废水衰变池(槽式, 总容积为 84m ³ , 28m ³ /池×3 池)。
7*		放射性物料与成品暂存场所或设施	√	标记间配备通风橱, 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	√	新增 1 台表面污染监测仪、利用核医学科门诊区域现有的 1 台辐射剂量巡测仪
11		个人剂量计	√	所有工作人员配备TLD个人剂量计
12*	C防护用品	个人辐射防护用品	√	设铅玻璃, 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	√	配备洗涤灵、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/。

10.4.2 动物显像室辐射防护措施

(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。本项目涉及的放射性显像剂标记间、质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室、废物间为控制区，医护通道、控制室、通过间、缓冲间等为监督区。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、动物显像室、质控室、处置室、动物暂存室、废物间等门上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要进入。在动物显像室、控制室防护门上方设置工作状态指示灯，安装门-灯联锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

(2) 放射性表面污染控制措施：质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室、废物间等场所地面用无缝隙、防渗，且容易清洗和去污的材料覆盖（如地胶等），墙面 1.5m 高度张贴防渗的墙面（如铝塑面板或釉面砖）等，便于去污。放射性显像剂标记间手套箱和工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。工作人员进入辐射工作区，穿工作服，涉及放射性药物的操作佩戴乳胶手套。工作人员相关操作后应使用仪器及时监测个人防护用品外表面、操作用品和操作场所的表面污染。

(3) 外照射防护：本次涉及的放射性显像剂标记间目前已配备 2 个具有防护功能的铅防护传递窗（均为 40mmPb 当量）；本次拟在标记间东墙上增设 1 个铅防护传递窗（40mmPb 当量）；质控室南墙拟设置 1 个铅防护传递窗（6mmPb 当量）；处置室拟设置 1 个 L 型铅防护屏，用于解剖时工作人员防护。为本项目药物转移防护，拟利用现有 1 个 25mmPb 的转运防护盒。可有效减少注射过程中工作人员受照剂量。另外新增 2 套 0.5mmPb 铅防护用品（每套包括铅衣、铅围裙、铅围脖），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量。放射性药物实验室的控制区边界、核素操作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，动物显像室等场所安装铅防护门（具有防夹功能），进、出通道门安装门禁系统，以保证核医学科控制区边界外的辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。

(4) 内照射的防护：本项目运进来的核素在标记间进行分装，分装好后通过东墙传递窗转运到质控室。放射性显像剂标记间拟配备具有防护功能 50mmPb 当量的通风橱，并带有大活性炭过滤器，设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。通风橱可能产生的废气排放前分别经过带有大活性炭过滤器净

化后，通过排风管道分别引至核医学科住院二部西北侧管井和北侧管井从楼顶排出，进管井前设有活性炭过滤器过滤。通风橱的风量满足要求（半开情况下，风速大于 1m/s）。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。

本次改造完成后，门诊标记间通风橱单独一套排风系统排放（维持不变）。拟将新增的放射性药物实验室的质控室、处置室、动物显像室、废物间、动物暂存室等控制区放射性废气排风管道接入核医学门诊现有的高活室、注射后候诊、运动负荷兼抢救室、废物间、显像机房等门诊控制区排风管道，共用一套排风净化系统排放。排风管合并接入前拟设置止回阀，动物暂存室排风合并接入前还单独设置高效过滤器去除异味，同时拟将核医学科诊区排风管的排风风量由现有的 2000m³/h 增大至 4000m³/h。核医学诊区排风管的排放口距地面高度约为 50m（住院二部楼高 47m），楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑。

(5) 妥善收集固体放射性废物：标记间手套箱旁利用现有的 1 个铅废物桶（20mmPb，容积为 30L），暂存废弃的放射性药物包装物、棉棒、一次性用品等，每周星期一早上转移至核医学科门诊废物间。质控室、处置室、动物显像室分别新增 1 个铅废物桶（2mmPb，10L）；动物暂存室及处置室各新增 1 个笼具暂存铅箱（底面 2mmPb 铅当量，其余 5 面 10mmPb 铅当量），用于暂存小动物，2 小时内在笼具暂存铅箱中暂存饲养，之后转至普通暂存柜中暂存饲养。废物间新增 2 个铅废物桶（2mmPb，10L）贮存放射性废物，同时在废物间内新增 1 个冰柜（50L），冰柜内新增 1 个铅废物桶（2mmPb，20L）用于贮存处死后的动物。

废弃的放射性药物注射器、包装物、一次性用品等物品按类别、日期放入废物间内。放射性固废放置满足清洁解控后，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）。放射性固废依照 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求了解控处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。

(6) 放射性废水收集处置设施：标记间、质控室、处置室、通过间内产生

的废水与核医学科门诊原有控制区产生的废水，经专用管道一并先汇入地下二层 65 号集水坑（四周为混凝土+土层，盖板为 20cm 混凝土，盖板上的检修口盖为 10mmPb），然后泵到住院二部外西侧地下 1 号放射性废水衰变池（槽式，总容积为 84m³，28m³/池×3 池）。排放的废水能够满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的清洁解控要求。经检测合格满足清洁解控排放的废水，排入医院医疗污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”。

(7) 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。在核医学科高活室内登记交接后，贮存在门诊区域放射性显像剂标记间手套箱内。注射后的注射器立即放回屏蔽包装内，防止被盗和污染，由放射性药品供货公司取回。

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

(9) 本项目放射性药物实验室实施后拟新增 1 台表面污染监测仪、利用核医学科门诊区域现有的 1 台辐射剂量巡测仪，能够满足核医学科门诊区域及放射性药物实验室常规的监测需求。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。

(10) 定期开展工作场所和环境辐射监测。每月自行对辐射工作场所卫生通过间、工作人员操作位、走廊等工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的区域进行常规的 X/γ 剂量率。每天工作结束后，对标记间、质控室、处置室、动物显像室台面、地面，手套箱台面等进行表面污染监测，监测数据记录存档 β 表面污染监测。每年委托有能力的检测单位对辐射场所的剂量率水平和表面污染水平监测。

(11) 本项目所使用的核素与核医学门诊药物一起订购运送至单位核医学科，外单位送药时间一般安排在上午 7:00，科室病患较少的时间，可以减少与送药人员的交汇。核医学科设专门人员负责在门诊高活室内摄像头下“点对点”接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

本项目实施后放射性同位素实验室拟配备的防护设施见表 10-3。

表 10-3 本项目配备的防护设施表

序号	名称	数量 (个)	规格	使用场所	备注
1	手套箱	2	50mmPb	核医学科标记间	利旧
2	传递窗	1	40mmPb	核医学科标记间西侧	利旧
3	传递窗	1	40mmPb	核医学科标记间东侧	新增
4	传递窗	2	6mmPb	质控室南侧、动物暂存室南侧	新增
5	转运防护盒	1	25mmPb	核医学科标记间	利旧
6	笼具暂存铅箱	2	底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量	小动物暂存室、处置室	新增
7	冰柜	1	50L	门诊废物间	拟新增
8	L型铅防护屏	1	3mmPb	处置室	拟新增
9	铅废物桶	5	2mmPb, 10L	质控室、处置室、动物显像室各 1 个, 废物间 2 个	拟新增
10	铅废物桶	1	2mmPb, 20L	废物间的冰柜里	拟新增
11	铅衣	2	0.5mmPb	动物显像室	拟新增
12	铅围裙	2	0.5mmPb	动物显像室	拟新增
13	铅围脖	2	0.5mmPb	动物显像室	拟新增

10.5 核医学科排风系统

常营院区核医学科目前实际建设 5 套排风：①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3 个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设 1 套排风系统。

其中放射性显像剂标记间通风橱产生的废气通过排风管道引至核医学科北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前均安装了活性炭过滤（处理效率不低于 99%），且管道内均安装止回阀，防止气体回流。排放口距地面高度约为 50m，楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑。活性炭过滤装置 1 年更换 1 次。该通风柜操作口风速不小于 0.5m/s

本次改造完成后，拟将新增的放射性药物实验室的质控室、处置室、动物显像室、废物间、动物暂存室等控制区放射性废气排风管道接入核医学门诊现有高活室、注射后候诊、运动负荷兼抢救室、废物间、显像机房等门诊控制

区排风管道，共用一套排风净化系统排放。排风管合并接入前拟设置止回阀，动物暂存室排风合并接入前还单独设置高效过滤器去除异味，同时拟将核医学科诊区排风管的排风风量由现有的 2000m³/h增大至 4000m³/h。其余几条排风管道不变。核医学科改造前、后的排风图见图 10-8~10-9。

10.6 放射性废水暂存和排放

本项目标记间、质控室、处置室内产生的少量放射性废水，以及通过间产生少量淋浴废水。本项目新增产生的废水与核医学科原有控制区的废水，经专用管道一并先排入地下二层 65 号集水坑，然后泵到住院二部外西侧地下 1 号放射性废水衰变池（槽式，总容积为 84m³，28m³/池×3 池）。核医学科 1 号衰变池的平剖面图见图 10-12。

衰变池结构及控制管理如下：

（1）1 号衰变池结构

① 采用C30 抗渗混凝土建造，四周池壁厚不小于 300mm 砼，池内壁采用 20mm 厚的硫酸钡水泥砂浆，四周都是地下土层，槽与槽之间隔板厚 300mm，底板厚 300mm，顶板厚 300mm。采取防渗措施。

② 总容积约为 84m³（28m³+28m³+28m³）。

（2）衰变池控制和管理

① 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。

② 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。

③ 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。

④ 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”方式，各衰变池循环运作。

⑤ 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。

⑥ 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 10 个半衰变期（原环评批复要求 1 号的废水至少暂存 80 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。

⑦ 池壁和池底采取了防渗措施，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

放射性废水排放情况如下：

本目标记间、质控室、处置室内产生的少量放射性废水，以及通过间产生少量淋浴废水，与核医学科门诊原有控制区产生的废水（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场所产生的废水以及应急淋浴水等）汇合后，将这些放射性废水统一经独立的排水管道排入 1 号衰变池，衰变池的废水排出前，至少经 80 天衰变并检测合格后将经医院污水管网，排至市政污水处理厂。

1 号衰变池收集排放系统示意图见图 10-2。核医学科改造前、后废水路由图见图 10-10~10-11。

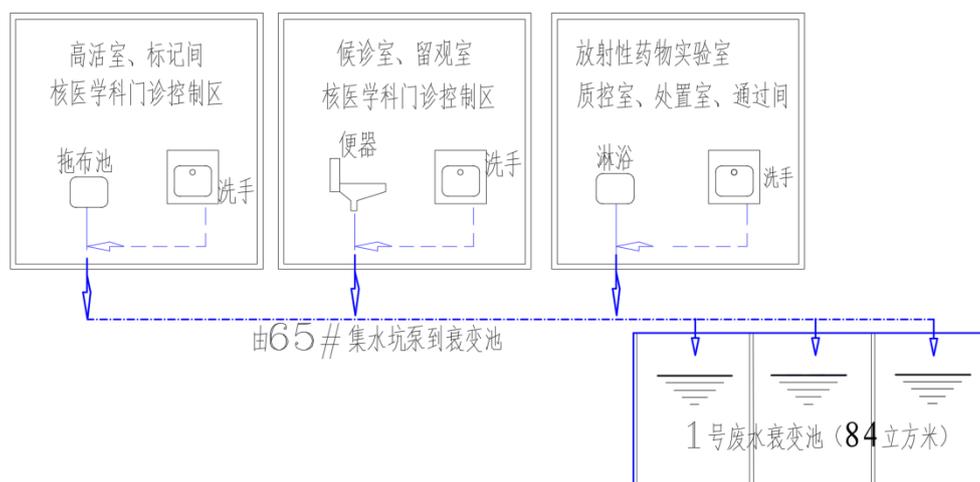


图 10-2 核医学科 1 号衰变池收集排放系统示意图

10.7 “三废”的治理

放射性药物实验室相关场所放射性废气经通风系统的活性炭过滤后，在住院二部楼顶排放。放射性废水汇入放射性废水衰变池，暂存后解控处置。放射

性固体废物分类贮存于废物间内，定期进行解控处置。

10.8 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，现对北京朝阳医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

10.8.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-4 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-4 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	应具备条件	落实情况	符合情况
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，应当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。	医院已成立了辐射防护和安全管理委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理的工作，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确，本项目是已有科室改造项目，相关部门负责人不变。	近期符合
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。	本项目至少拟新增 2 人辐射工作人员，在上岗前需通过辐射安全与防护考核合格，并取得考核证。	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。	本项目不涉及放射源。	/
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。	在放射性药物实验室控制区出入口防护门拟安装门禁系统，相关场所门上张贴电离辐射警告标识和中文警示说明。在动物显像室拟安装有门-灯连锁安全装置及工作警示灯。	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。	本项目实施后拟新增 1 台表面污染监测仪、利用核医学科门诊区域现有的 1 台辐射剂量巡测仪，能够满足核医学科门诊区域及放射性药物实验室常规的监测需求。	落实后符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善和制定规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	落实后符合
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，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。	标记间内配备手套箱，设置专用排风管道，排风引至住院二部楼顶排放。放射性药物实验室内产生的废水与核医学科门诊原有控制区产生的废水，经专用管道一并进入 1 号放射性废水衰变池，排放前委托有资质的检测机构。妥善收	落实后符合

		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。	
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据本项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	落实后符合

10.8.2 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10-5 所示。

表 10-5 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	落实情况	是否符合要求
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全连锁、报警装置或者工作信号。	机房外拟设置醒目的电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明。机房安装有门-灯连锁安全装置及工作警示灯。放射性药物实验室出入口防护门拟设门禁系统等。	落实后符合
2	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。将每半年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。每天对标记间、质控室、处置室等机房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。	近期符合
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。	本项目至少拟新增 2 人辐射工作人员，在上岗前需通过辐射安全与防护考核合格，并取得考核证。	落实后符合
5	第二十三条	将为所有从事放射性工作的人	落实后

	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、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。	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）。	符合
6	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合

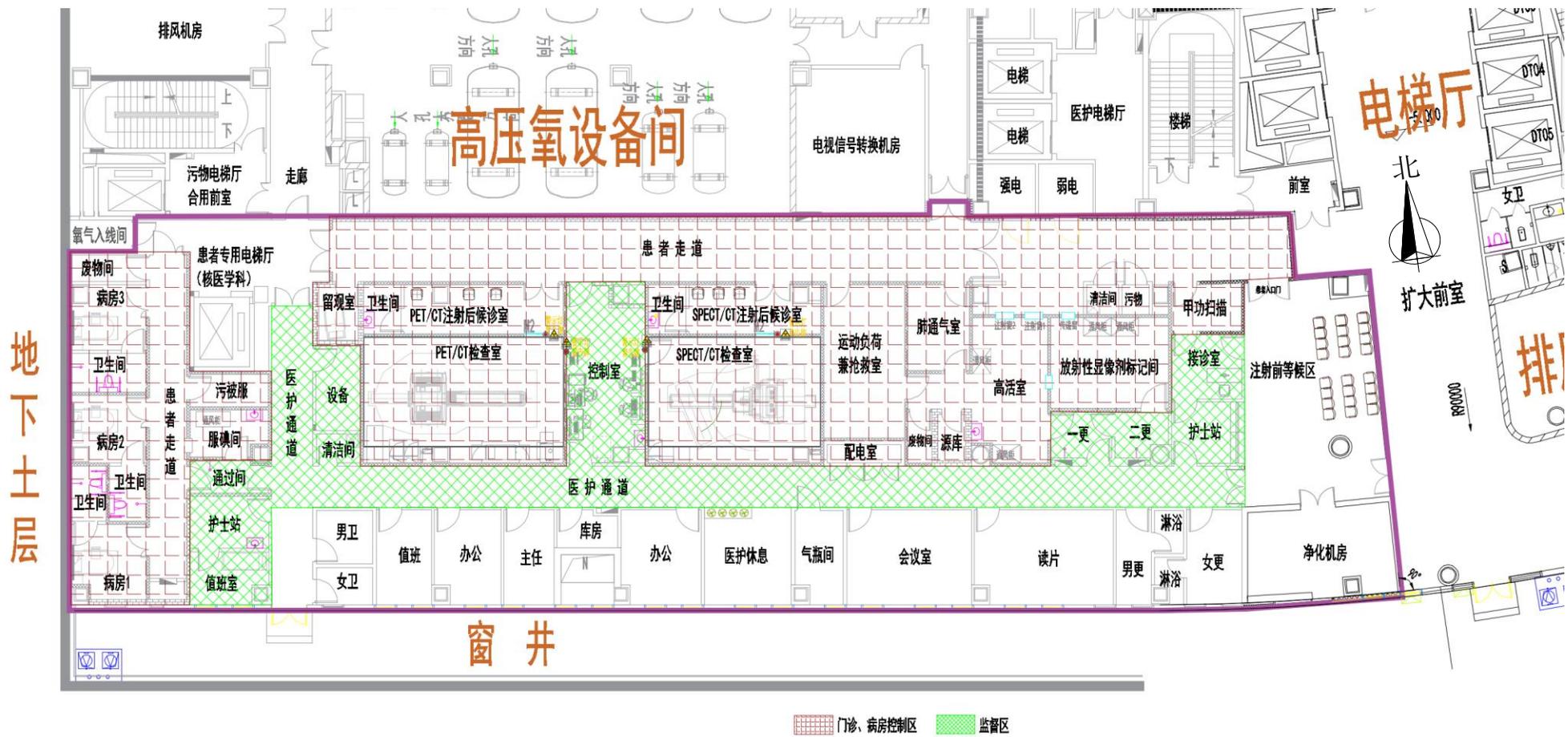


图 10-3 常营院区核医学科平面布局及辐射分区示意图（改造前）

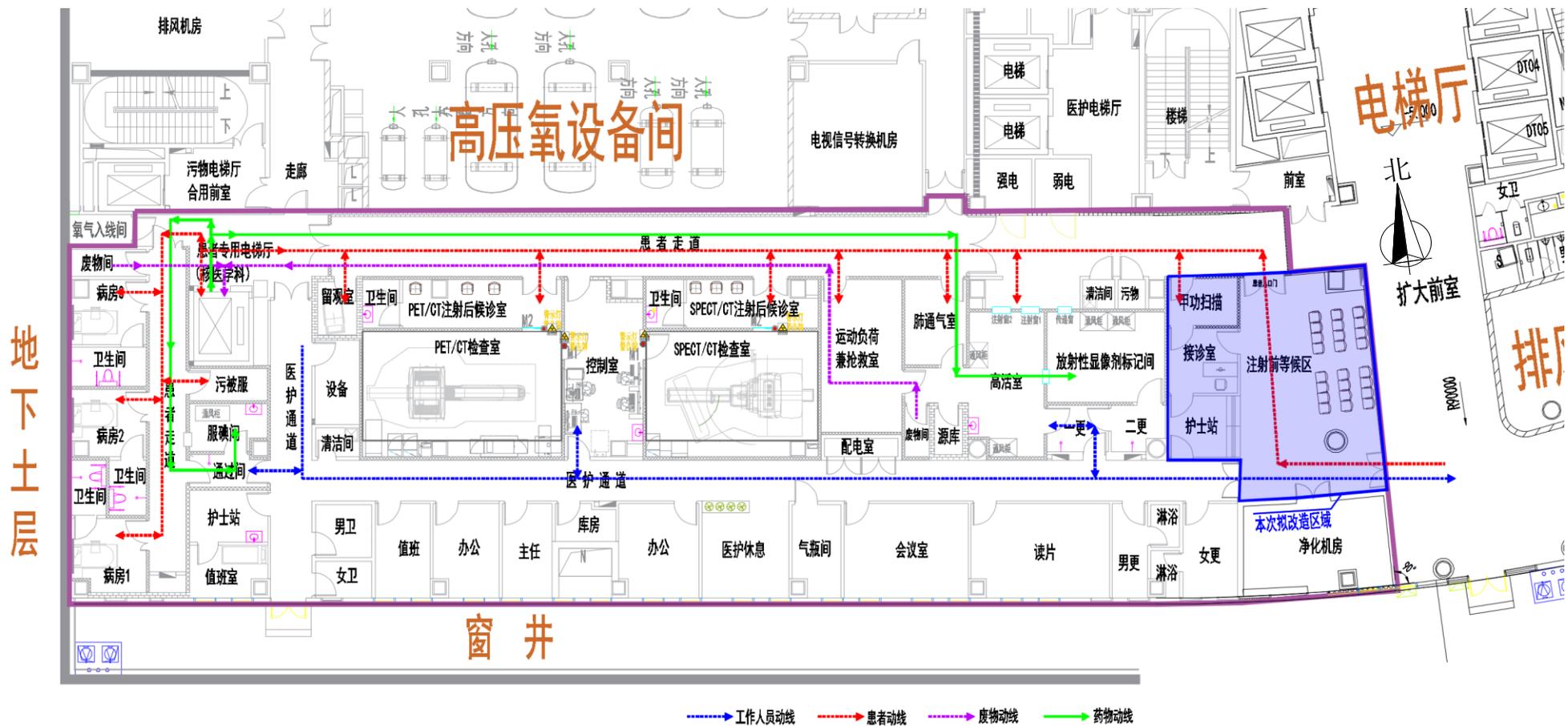


图 10-4 常营院区核医学科人流、物流示意图（改造前）

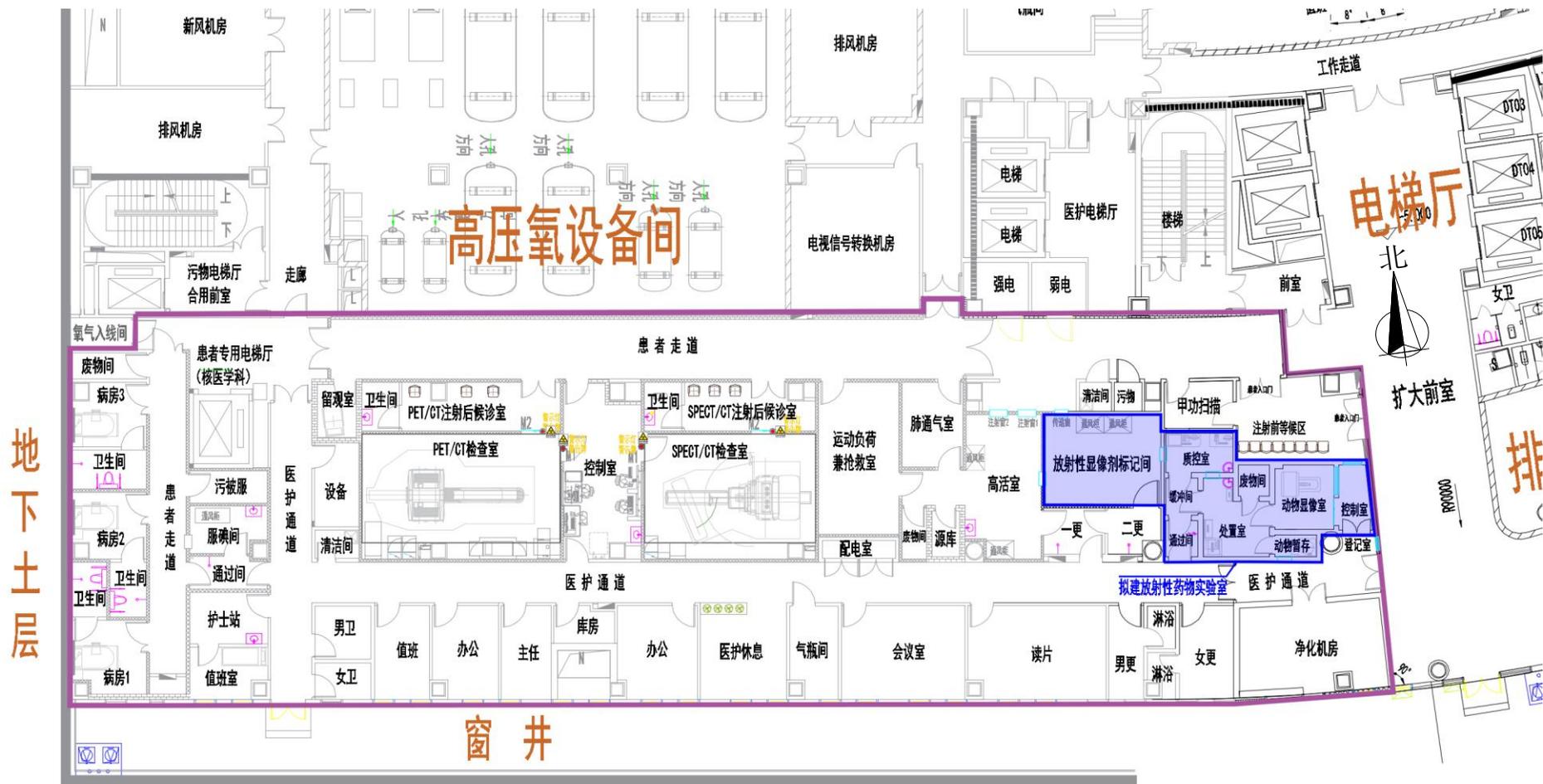


图 10-5 常营院区核医学科放射性药物实验室平面布局示意图（改造后）

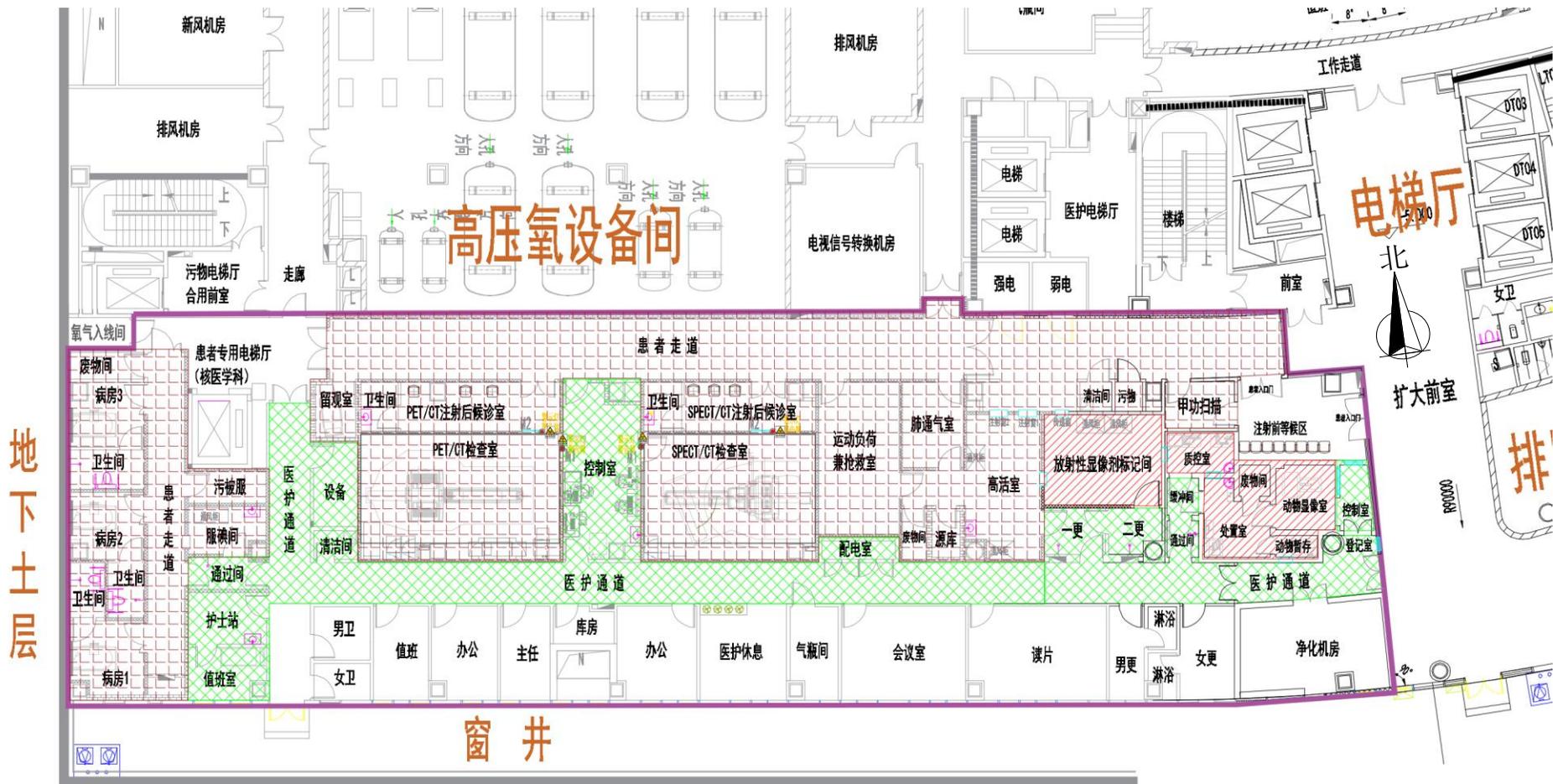


图 10-6 常营院区核医学科平面布局及辐射分区图 (改造后)

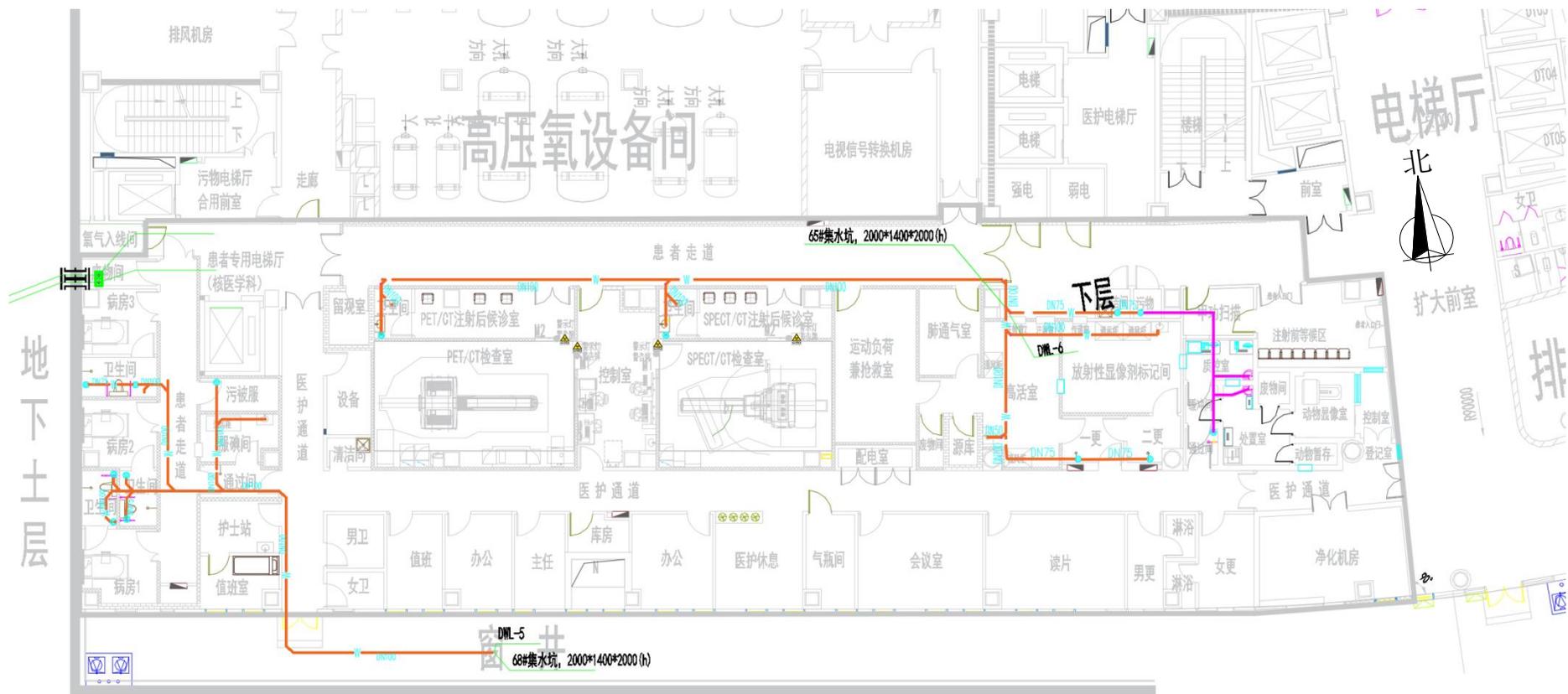


图 10-11 核医学科控制区的排水图 (改造后)

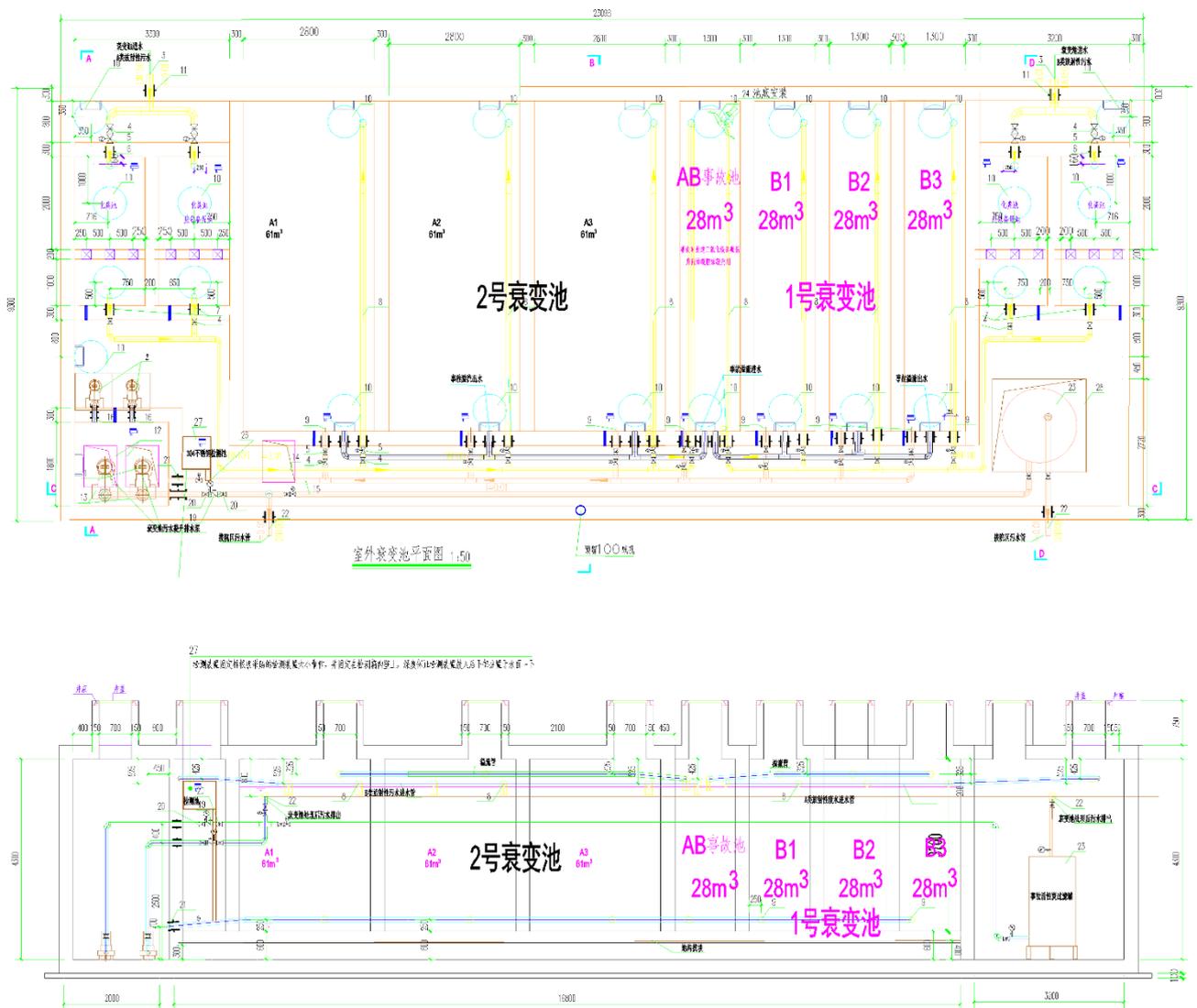


图 10-12 核医学科衰变池的平、剖面图（门诊区域、放射性药物实验室废水排入 1 号衰变池）

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

对于本项目而言，项目建设过程主要是在楼内进行改造施工活动，故本次对甲功室、注射前候诊室等改造期间的影晌进行简单评价如下：

改造前委托有资质单位对现有核医学科相关场所（甲功室和患者入口区域）、设备及配套设施（并入现有排水管和排风管区域）进行表面污染水平和剂量率检测，且在改造过程中，核医学科工作人员使用经检定或校准合格的检测仪器对施工的位置及配套设施表面污染和辐射剂量率水平进行自行监测，辐射剂量率满足所处环境本底水平且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，才可对相关位置及配套设施拆除改造，因此改造时，可以忽略辐射影响。

门诊和病房患者通过自助机报道候诊，本次改造期间不影响门诊其它显像患者和病房患者（除了甲功患者）正常运行。

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

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

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

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

11.2 动物实验室运行后对环境影晌

11.2.1 动物实验区的使用规划

本项目启用后将开展一系列核医学动物实验，标记、分装拟在现有的放射性显像剂标记间进行，使用的核素均为外购，核素使用情况预计如下。

表 11-1 核医学科放射性药物实验室的使用规划

序号	核素种类	类别	最大工作量			备注
			只/天	天数/年	用量/年(Bq)	
1	F-18	A	/	62	2.29E+11	标记合成分装（用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ）

2	Tc-99m	A	/	62	1.15E+11	标记合成分装（用于放射性药物实验室标记合成量一般不超过7.40E+08Bq）
3	F-18	A	1	62	1.15E+08	质控
4	Tc-99m	A	1	62	1.72E+08	质控
5	F-18	A	5	50	1.85E+09	年显像扫描 550 次；解剖 125 只
6	Tc-99m	A	5	50	2.78E+09	年显像扫描 550 次；解剖 125 只
7	F-18	A	12	12	2.13E+08	生物分布实验；解剖 72 只
8	Tc-99m	A	12	12	3.20E+08	生物分布实验；解剖 72 只

备注：①本次实验只使用小鼠，每天最多使用一种核素。
 ②生物分布实验与动物显像不在同一天进行。标记间的使用量考虑了合成效率。
 ③本项目每天注射F-18核素实验的5只小鼠中，约有3只需要多次显像（每只最多显像3次，共9次），剩余2只分别显像1次（共2次），则每天F-18实验小鼠显像共11次，年显像共约550次。
 ④本项目每天注射Tc-99m核素实验的5只小鼠中，约有3只需要多次显像（每只最多显像3次，共9次），剩余2只分别显像1次（共2次），则每天Tc-99m实验小鼠显像共11次，年显像共约550次。

综上，本项目每天只使用1种核素，生物分布实验与动物显像不在同一天进行。两种核素每年使用动物显像共计500只，使用小动物PET/SPECT/CT一体机显像共约1100次；生物分布实验年使用动物288只；解剖动物实验共计394只（其中显像动物解剖250只，生物分布动物解剖144只）。

11.2.2 剂量估算源项

(1) 本项目Tc-99m单只小鼠用量一般不超过1.11E+07Bq。保守按照最大注射11.1MBq的99mTc药物估算其辐射影响。核素Tc-99m源的 K_{γ} 常数为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，距1.11E+07Bq Tc-99m 1m处的裸源剂量率为 $0.34\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 本项目F-18单只小鼠用量一般不超过7.4E+06Bq。参考AAPM Task Group 108报告，核素F-18的 K_{γ} 常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，动物显像时给小鼠注射7.4E+06Bq的F-18，注射时裸源1m处剂量率为 $1.1\mu\text{Sv/h}$ ；生物分布实验给小鼠注射1.48E+06Bq的F-18，注射时裸源1m处剂量率为 $0.21\mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 本次动物实验涉及的核素需要在标记间进行标记合成分装，保守按F-18进行估算，每次转运防护罐盛装最大量一般不超过3.7E+09Bq，储存在手套箱内有40mmPb的铅罐和50mmPb手套箱屏蔽（90mmPb的衰减因子为3.79E-06），屏蔽后剂量率为 $2.23\text{E}-02\mu\text{Sv/h}$ （手套箱外0.3m），因此在储存状态对环境的影响可忽略。在操作上述活度的溶液时，只经过50mmPb手套箱屏蔽（衰减因子为9.73E-04），屏蔽后剂量率为 $1.43\mu\text{Sv/h}$ （取0.6m估算），则放射性药物的通风柜

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。

(4) 本项目部分需要进行多次显像的动物, 2 小时内放置在笼具暂存铅箱(底面 2mmPb铅当量, 其余 5 面 10mmPb铅当量)中于动物暂存室饲养, 之后在普通笼具中暂存饲养, 在最多进行 3 次显像后立即处死, 每只动物F-18 注射量为 7.40E+06Bq, 动物暂存室最多同时暂存显像动物小鼠 3 只, 则 1m处剂量率为 3.3 μ Sv/h。

处置室的生物分布实验每只动物F-18 注射量为 1.48E+06Bq, 处置室每次实验最多有 8 只动物在笼具暂存铅箱(底面 2mmPb铅当量, 其余 5 面 10mmPb铅当量)中暂存, 则 1m处剂量率为 1.68 μ Sv/h。生物分布实验动物给药量远小于动物显像给药量, 本项目所有动物的注射均是在处置室进行, 故处置室、动物暂存室均保守按动物显像的剂量估算。

(5) 本次使用的动物PET/SPECT/CT机为自屏蔽设备, 无需校准源校准。根据建设单位提供的资料显示, 设备整体的X线屏蔽效果为 10cm处设备漏剂量小于 1 μ Sv/h(见附件)。

(6) 质控室、处置室、动物显像室及废物间的废物桶铅当量不低于 2mm铅当量(相对F-18 的衰减因子为 7.58E-01), 保守每次注射器中残留量按动物显像注射量的 1/10(0.74MBq), 则距废物桶 30cm处(约 0.5m)的附加剂量率为 0.32 μ Sv/h。假设上午 5 只小鼠全部注射完成, 考虑到时间的衰减, 剂量率不大于 0.912 μ Sv/h; 目前标记间已设置的废物桶铅当量为 20mmpb, 放射性药物实验室其它场所设置的废物桶铅当量为 2mmpb, 各场所内暂存的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处的剂量率能够满足不大于 2.5 μ Sv/h的要求。

冰柜中废物桶铅当量不低于 2mm铅当量, 每天需要转移到动物暂存室暂存等待多次显像的这部分动物经过大约一天时间的衰减后剂量率已经大大降低; 其余小鼠注射完成后直接处死解剖离体显像或显像完成后直接处死, 再转移至冰柜里暂存, 经过衰变后也能够满足距废物桶 30cm处 2.5 μ Sv/h的要求。

(7) 根据AAPM Task Group 108 报告, 注射F-18 核素后经过(60min、90min)后的活度衰减因子为 0.68、0.57, 显像期间(60min、40min、20min)平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.88、0.94。

11.2.3 估算方法

1. 关注点的选取

参考AAPM108 号报告，给出了计算关注点的原则，即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m处，屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m处，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。

2. 估算公式

剂量估算中，将接受药物注射后的小鼠、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，估算标记间、显像室、暂存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，以及职业人员在小鼠摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

(1) 辐射剂量率估算公式

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

式中：

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

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

r —关注点距源中心的距离，m；

d —屏蔽厚度，cm；

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

(2) 年有效剂量

附加年有效剂量计算公式：

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

式中： E —年有效剂量， μSv ；

\dot{H} —计算点附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T —人员的居留因子；

t —年曝光时间，h/a

11.2.4 辐射环境影响预测

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），估算标记间、显像室、暂存室等场所周围（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 放射性药物实验室相关场所周围不同位置的剂量率

场所名称	编号	估算点位	屏蔽材料与厚度	距离/m	衰减因子 B	屏蔽后附加剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	备注
1、动物显像室 (注射 F-18, $1.1\mu\text{Sv/h}@1\text{m}$)	a1	东墙观察窗外控制室	3mmpb	2.5	6.60E-01	1.16E-01	监督区工作人员
	a2	南墙外动物暂存室	3mmpb	2.6	6.60E-01	1.07E-01	控制区
	a3	西墙外废物间	3mmpb	1.2	6.60E-01	5.04E-01	控制区
	a4	北墙外注射前等候区	3mmpb	1.3	6.60E-01	4.29E-01	公众
	a5	西墙防护门外处置室	3mmpb	2	6.60E-01	1.81E-01	控制区
	a6	东墙防护门外控制室	3mmpb	2.6	6.60E-01	1.07E-01	监督区工作人员
	a7	东南墙外登记室	3mmpb (未考虑斜射屏蔽)	3.5	6.60E-01	5.92E-02	监督区工作人员
	a8	楼上走廊	27cm 混凝土	5.5	2.92E-02	1.06E-03	公众
	a9	楼下地下停车位	27cm 混凝土	4.3	2.92E-02	1.74E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土	5.3	2.92E-02	1.14E-03	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土	1.3	2.92E-02	1.90E-02	公众
2、动物暂存室 (注射 F-18, $1.1*3=3.3\mu\text{Sv/h}@1\text{m}$)	b1	东墙外登记室	3mmpb+笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	1	1.65E-01	5.44E-01	监督区工作人员
	b2	南墙外医护通道	3mmpb+笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	1	1.65E-01	5.44E-01	监督区工作人员
	b3	西墙防护门外处置室	3mmpb+笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	1.8	1.65E-01	1.68E-01	控制区
	b4	北墙外小动物显像室	3mmpb+笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	1.1	1.65E-01	4.49E-01	控制区
	b5	南墙传递窗外医护通道	3mmpb+笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	1.2	1.65E-01	3.78E-01	控制区
	b6	楼上走廊	27cm 混凝土笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	5.5	7.30E-03	7.97E-04	公众
	b7	楼下地下停车位	27cm 混凝土+笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	4.3	2.22E-02	3.95E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土+笼具暂存铅箱 (底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量)	5.3	7.30E-03	8.58E-04	公众

	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土+笼具暂存铅箱（底面 2mmPb 铅当量，其余 5 面 10mmPb 铅当量）	1.3	2.22E-02	4.33E-02	公众
3、处置室（注射 7.4MBq F-18，1.1μSv/h@1m）	c1	东墙外动物暂存室	3mmpb	3.2	6.60E-01	7.09E-02	控制区
	c2	南墙外医护通道	3mmpb	0.9	6.60E-01	8.96E-01	监督区工作人员
	c3	西墙外通过间	3mmpb	1	6.60E-01	7.26E-01	监督区工作人员
	c4	北墙外质控室	3mmpb	1.3	6.60E-01	4.29E-01	控制区
	c5	西墙防护门外缓冲间	3mmpb	1.7	6.60E-01	2.51E-01	监督区工作人员
	c6	楼上走廊	27cm 混凝土	5.5	2.92E-02	1.06E-03	公众
	c7	楼下地下停车位	27cm 混凝土	4.3	2.92E-02	1.74E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土	5.3	2.92E-02	1.14E-03	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土	1.3	2.92E-02	1.90E-02	公众
4、质控室（1.85MBq F-18，0.27μSv/h@1m）	d1	东墙外注射前等候区	3mmpb	1.1	6.60E-01	1.47E-01	公众
	d2	南墙外处置室	3mmpb	1.8	6.60E-01	5.50E-02	控制区
	d3	西墙外标记间	6mmpb	1.2	4.35E-01	8.16E-02	控制区
	d4	北墙外甲功室	3mmpb	1.1	6.60E-01	1.47E-01	控制区
	d5	南墙防护门外缓冲间	3mmpb	1.6	6.60E-01	6.96E-02	监督区工作人员
	d6	楼上走廊	27cm 混凝土	5.5	2.92E-02	2.61E-04	公众
	d7	楼下地下停车位	27cm 混凝土	4.3	2.92E-02	4.27E-04	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土	5.3	2.92E-02	2.81E-04	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土	1.3	2.92E-02	4.67E-03	公众
5、放射性显像剂标记间（手套箱表面 2.5μSv/h@1m）	e1	东墙外甲功室	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 墙	2.4	1.36E-02	5.89E-03	控制区
	e2	南墙外一更室	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 墙	3.5	1.36E-02	2.77E-03	监督区工作人员
	e3	西墙外高活室	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 墙	2.5	1.36E-02	5.43E-03	监督区工作人员
	e4	北墙外污物间	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 墙	1.2	1.36E-02	2.36E-02	控制区
	e5	南墙防护门外二更室	25mmpb 转运防护盒+6mmpb 门	2.6	1.36E-02	5.02E-03	监督区工作人员
	e6	楼上走廊	27cm 混凝土	5.5	2.92E-02	2.42E-03	公众
	e7	楼下地下停车位	27cm 混凝土	4.3	2.92E-02	3.95E-03	公众
	/	楼上 30cm 处	27cm 混凝土	5.3	2.92E-02	2.60E-03	公众
	/	楼下 30cm 处	27cm 混凝土	1.3	2.92E-02	4.32E-02	公众

注：*距离为患者到屏蔽体外 30cm 处估算点。砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm³，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。

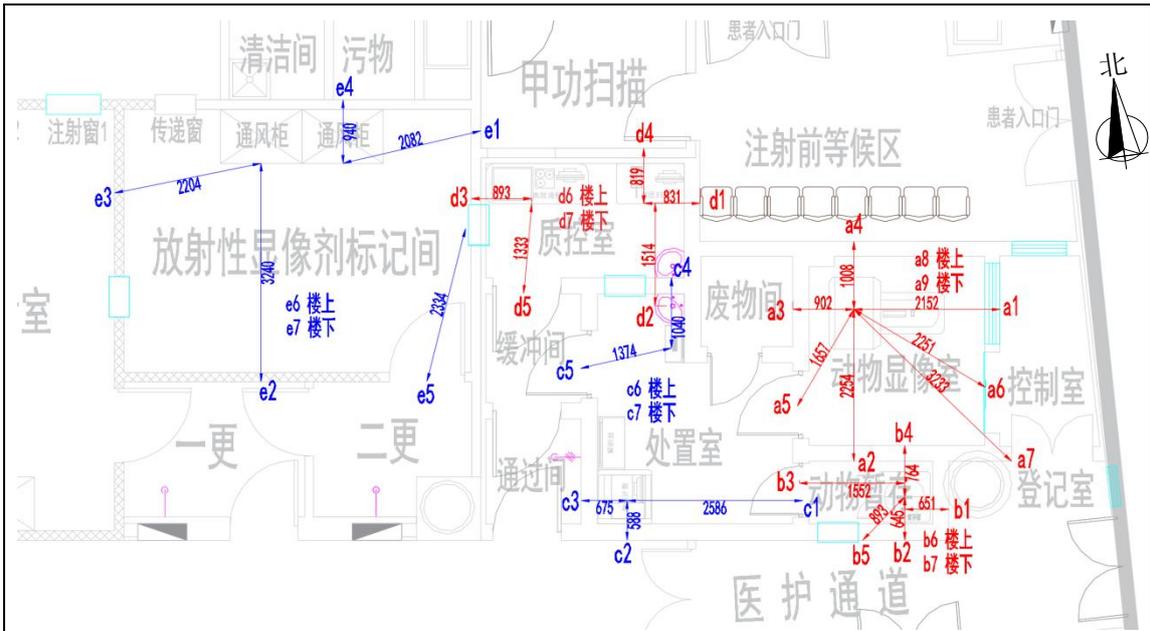


图 11-1 放射性药物实验室相关场所周围估算点位图

由表 11-2 可见：

(1) 本项目运行后，放射性药物实验室相关场所的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平不大于为 $8.96E-01\mu\text{Sv/h}$ （处置室南墙外c2），对楼上（走廊）的附加剂量最大值为 $1.14E-03\mu\text{Sv/h}$ ，对楼下（地下停车位）的附加剂量最大值为 $1.90E-02\mu\text{Sv/h}$ ，均满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求。

(2) 本次甲功室南墙增加屏蔽防护，改造后的防护门屏蔽厚度不低于现有屏蔽，且其余墙体屏蔽防护不变，因此类比分析可知本项目改造后甲功室的影响不会高于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求，故本次改造后甲功室的影响不影响原环评的结论。

2. 小动物一体机中CT的剂量叠加分析

动物显像室四周墙体、顶棚、地板、观察窗和防护门采取的辐射屏蔽措施均不低于 3mmPb 铅当量。

本项目配置的小动物一体机拟将带有自屏蔽系统，根据厂家提供的数据（见附件 5），CT使用时设备 10cm 处设备泄露剂量率小于 $1\mu\text{Sv/h}$ 。

类比同类型设备剂量情况（见附件）： 80kVp 工况下普通CT周围的剂量率分布曲线， 1m 处的杂散辐射为 $0.004\mu\text{Gy/mAs}$ （垂直）和 $0.219\mu\text{Gy/mAs}$ （水平），本项目小动物一体机中CT扫描最大管电流为 0.7mA ，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 $551.88\mu\text{Gy/h}$ ，故以此为例评价CT运行时叠加辐射影响。

根据本项目动物显像室的屏蔽设计，相对于CT的铅当量不小于 3.0mmPb（不含本项目自屏蔽铅屏蔽厚度），透射系数小于 8.18E-06，本项目关注点距散射点的最近距离为 1.1m（动物显像室北墙），CT运行所致周围的附加剂量率约为 0.004 μ Gy/h。

本项目保守假设全部的实验小鼠均做CT扫描，则年显像时间合计为 302.5h，对机房周围全居留人员的最大附加剂量贡献不大于 1.13 μ Sv。

小动物一体机中CT运行时工作条件低于放射科诊断CT，可以预计，小动物一体机的CT装置运行时，机房周围剂量率水平将保持在正常本底水平，对给药患者发射的 γ 射线和刻度源的叠加效果可以忽略，主要是要关注施工过程中防护材料的搭接问题（如门体与门框、铅玻璃与墙面的搭接等），如果能保证施工工艺的情况下，可以忽略小动物一体机中CT的影响。

11.2.5 周围公众受照剂量估算

本项目实行每日一班制，动物实验一共使用两种核素（每天只使用一种），其中标记间标记合成分装、质控分析实验每种核每年分别工作 62d；动物显像实验每种核每年分别工作 50d，生物分布实验每种核每年分别工作 24d；动物解剖每种核素每年工作 37d。根据表 11-1 所列最大工作量进行剂量估算。

(1) 标记间：

手套箱内药物标记每次近台隔热室操作时间不超过 20min，保守按不超过 1h 估算，年操作约 124 次（动物显像F-18、Tc-99m各 50 次，生物分布F-18、Tc-99m各 12 次），年合成时间为 124h；每次分装核药操作不超过 20min，年最多 124 次，年分装时间为 41.3h。则标记间全年标记、分装操作时间合计不超过 165.3h。

(2) 质控室：

全年工作保守按 124 次。放射化学纯度TLC法的测定时间不超过 5min，Radio-HPLC法的测定时间不超过 20min，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，则全年质控不大于 62h。

(3) 处置室：

①解剖实验每只动物解剖时间最长为 10min，每年解剖动物的数量不大于 394 只（显像动物解剖 250 只，生态分布实验动物解剖 144 只），则年解剖操作总时间为 65.7h。

②每只实验鼠均采用直接注射的方式，注射时间约 30s~1min/只，开展动物显像的实验小鼠全年注射F-18、Tc-99m药物分别 250 只，年注射时间合计为 8.4h。

③生态分布实验需注射的小鼠两种核素年最多 288 只（每月开展 1 次，每种核素不超过 12 只），则年注射时间合计不超过 4.8h。

④处置室年操作时间共计 78.9h。

(4) 动物显像室：

①根据表 11-1，本项目注射F-18 核素实验的小鼠每天显像共 11 次，年显像共约 550 次。注射Tc-99m核素实验的每天显像共 11 次，年显像共约 550 次。本项目两种核素年显像共约 1100 次。PET、SPECT分别扫描 5-15min，MicroCT扫描时间 30s~1min内，则年显像时间合计为 293.3h。

②动物显像室摆位时间 30s/只，F-18 实验小鼠年摆位共约 550 次，Tc-99m核素实验小鼠年摆位共约 550 次，全年摆位时间合计为 9.2h。

③动物显像室年工作时间共计 302.5h。

(5) 动物暂存室：

①动物显像实验需要进行多次显像的小鼠，在暂存室使用的F-18 核素一般暂存时间不超过 2 小时，保守按暂存 4h估算，则注射F-18 的小鼠年暂存时间约 200h；Tc-99m核素偶尔第二天可能需要进行显像一次后再处死，保守按暂存 10h估算，年暂存时间分别约为 500h。

②开展生态分布实验时，每次不超过 12 只实验鼠。分为 3 组，1 组（4 只）在处置室给药后直接进行分布实验，另外最多 8 只实验鼠在动物暂存室暂存。每次暂存时间不超过 1h，每月每种核素最多开展一次分布实验，则全年处置室动物暂存时间最多 24h。

③动物暂存室年实验鼠暂存总时间为 724h。

表 11-3 小动物使用主要位置的公众年附加剂量估算

场所名称	编号	估算点位	附加剂量率 μSv/h	居留因子	全居留时间 (h/a)	年附加剂量 (μSv/a)
动物显像室 (注射 7.4MBq F-18, 1.1 μSv/h@1m)	a8	楼上走廊	1.14E-03	1/16	302.5	2.16E-02
	a9	楼下地下停车位	1.90E-02	1/16	302.5	3.59E-01
动物暂存室 (注射 7.4MBq F-18, 1.1*3=3.3 μSv/h@1m)	b6	楼上走廊	8.58E-04	1/16	724	3.88E-02
	b7	楼下地下停车位	4.33E-02	1/16	724	1.96E+00
处置室(注射 7.4MBq F-18, 1.1 μSv/h@1m)	c6	楼上走廊	1.14E-03	1/16	78.9	5.62E-03
	c7	楼下停车位	1.90E-02	1/16	78.9	9.37E-02

质控室 (1.85MBq F-18, 0.27 μSv/h@1m)	d6	楼上走廊	2.81E-04	1/16	62	1.09E-03
	d7	楼下停车位	4.67E-03	1/16	62	1.81E-02
放射性显像剂标记间 (手套箱表面 2.5 μSv/h@1m)	e6	楼上走廊	2.60E-03	1/16	165.3	2.52E-02
	e7	楼下地下停车位	4.32E-02	1/16	165.3	4.19E-01

备注：均未考虑F-18 用药后暂存期间药物活度的衰减的影响。

由上表可见,放射性药物实验室对公众的辐射照射剂量最大不超过 1.96μSv/a (动物暂存室楼下停车位), 满足本项目设定的 0.1mSv/a的剂量约束值要求。

11.2.6 工作人员年受照剂量

1. 标记间辐射影响

(1) 药物标记合成、分装环节：该场所F-18、Tc-99m核素均需要在标记间进行标记合成, 然后分装, 标记间手套箱为 50mmpb, 放射性药物分装的通风柜外表面 30cm处的周围剂量当量率保守按照 2.5μSv/h估算。手套箱内药物则标记间全年标记、分装操作时间合计不超过 165.3h。则工作人员所受的年附加剂量约为 413.25μSv。

(2) 药物转移环节：本项目放射性药物标记完成后, 分装到注射器, 注射器置于转运防护盒 (25mmPb铅当量) 内转移到质控室、处置室, 防护盒外表剂量率低于 2.5μSv/h, 本项目运输过程中距工作人员的距离按 50cm估算。每次转移按 30s估算, 年转运 124 次, 则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 2.5μSv/h×30s/次×124 次×1/3600s/h≈2.58μSv。

(3) 标记间相关环节辐射工作人员年附加剂量合计为 415.83μSv。

2. 质控室辐射影响

药物质控：放射性药物运至标记间标记完成后, 分装在注射器或西林瓶内, 置于注射器防护盒 (铅防护当量 25mmpb), 通过传递窗移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质控分析实验。实验工作人员取样F-18、Tc-99m核素分别年质控 62 次, 年质控共计 124 次, 全年质控时间不大于 62h。

每次质控F-18 使用量均不超过 1.85E+06Bq (1.85MBq), Tc-99m使用量均不超过 2.78E+06Bq (2.78MBq), 本项目以F-18 代表进行估算, 1m处操作位剂量约为 0.27μSv/h (0.143Sv·m²/h·MBq×7.4MBq)。工作人员的操作距离取 1m, 则辐射工作人员年附加剂量为 4.43μSv。

3. 处置室辐射影响

(1) 注射：给实验动物注射标记好的放射性药物，注射的最大活度保守按动物显像时F-18 核素不大于 $7.40\text{E}+6\text{Bq}$ (7.4MBq)，Tc-99m不大于 $1.11\text{E}+7\text{Bq}$ (11.1MBq) 进行估算分析，以F-18 代表估算，1m处剂量为 $1.1\mu\text{Sv/h}$ ($0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}\times 7.4\text{MBq}$)。操作时间 $30\text{s}\sim 1\text{min}/\text{只}$ ，操作距离 0.5m ，注射过程所受剂量为 $0.07\mu\text{Sv}$ ($1.1\mu\text{Sv/h}/(0.5\text{m}\times 0.5\text{m})/60\text{min}$)，处置室全年注射共计 788 只（注射F-18、Tc-99m药物分别 250 只；生态分布实验需注射的小鼠两种核素年最多 288 只（每月开展 1 次，每次不超过 12 只）），辐射工作人员的年附加剂量约为 $0.07\times 788=55.16\mu\text{Sv}$ 。

(2) 解剖操作：根据需要进行动物解剖等操作，工作人员的操作距离为 0.5m ，每只动物解剖时间约 $2\sim 10\text{min}$ （每只解剖和测量按 10min 估算），每年解剖动物的数量不大于 394 只（显像动物解剖 250 只，生态分布实验动物解剖 144 只），则年操作时间为 65.7h 。每只给药量保守按F-18 影响估算，F-18 核素每只实验鼠给药不大于 $7.40\text{E}+6\text{Bq}$ (7.4MBq)， 0.5m 处操作位剂量约为 $4.4\mu\text{Sv/h}$ （保守按F-18 影响估算， $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}\times 7.4\text{MBq}/(0.5\text{m}\times 0.5\text{m})$ ），则辐射工作人员年附加剂量约为 $289.08\mu\text{Sv}$ ($4.4\mu\text{Sv/h}\times 65.7\text{h}$)。

(3) 处置室工作人员受到年照射剂量为 $344.24\mu\text{Sv}$ ($55.16\mu\text{Sv}+289.08\mu\text{Sv}$)。

4. 动物显像室辐射影响

(1) 摆位：工作人员给注射了 7.4MBq F-18 核素以及 11.1MBq Tc-99m核素的动物鼠进行摆位，摆位距离 0.5m ，动物显像室摆位时间 $30\text{s}/\text{次}$ ，F-18 实验小鼠年摆位共约 550 次，Tc-99m核素实验小鼠年摆位共约 550 次，全年摆位时间分别为 4.6h ，则摆位时工作人员受到的年附加剂量 $1.1\mu\text{Sv/h}/(0.5\times 0.5)\times 9.2\text{h}=40.48\mu\text{Sv}$ 。

(2) 扫描：本项目配置的动物PET/SPECT/CT将带有自屏蔽系统，类比同类型自屏蔽的动物PET/SPECT-CT一体机，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 3mmPb 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。

5. 动物暂存室及动物转移辐射影响

(1) 显像动物转移：本次动物显像的F-18，Tc-99m核素实验鼠（每天 5 只）注射完成之后放到普通笼具中转移到动物显像室、动物暂存室，1m处剂量约为

1.1 μ Sv/h（以F-18代表，0.143 μ Sv·m²/h·MBq×7.4MBq）。每只动物每天最多显像3次，保守假设5只显像动物都按多次显像估算，则每种核素每天多次显像的动物往返转移次数为30次（5只×往返6次/只），两种核素每年最多共转移3000次（30次/天×50d×2种核素）。每次转移按30s估算，距离取0.5m，则转移到动物显像室、动物暂存室时工作人员的受照剂量为1.1 μ Sv/h×3000×（30/3600h）/（0.5×0.5）≈110 μ Sv。

（2）生物分布实验动物转移：该实验每种核素每年工作12次，保守按每天注射之后12只均需要放到普通笼具中转移到笼具暂存铅箱中暂存等待实验，每只1m处剂量约为0.21 μ Sv/h（以F-18代表，0.143 μ Sv·m²/h·MBq×1.48MBq）。每种核素12只实验鼠分为每3组（4只）转移1次，每组往返共2次，则两种核素动物转移过程中，每天相当于受到了48只动物量的照射（12只×2次×2种），则两种核素动物转移过程中，每年相当于受到了576只动物量的照射（48×12d）。每次转移按30s估算，距离取0.5m，则两种核素生物分布实验，转运到操作位时工作人员的受照剂量为0.21 μ Sv/h×576×（30/3600h）/（0.5×0.5）≈4.03 μ Sv。

（3）动物转移时，工作人员受到年照射剂量为114.03 μ Sv（110 μ Sv+4.3 μ Sv）。但暂存时一部分动物剂量已经随着暂存时间发生衰减，转移时的工作人员受照剂量远低于估算的剂量。

（4）动物暂存影响：实验鼠在处置室注射药物之后放置于笼具暂存铅箱中在动物暂存室暂存。动物在暂存时，工作人员一般在显像室或处置室操作，距离较远，加上时间的衰减，故这部分受照剂量可忽略。

6. 质控时厂家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、单光子发射断层显像设备（SPECT）质量控制检测规范》WS523-2019中的相关规定，医院需自行或委托有能力机构进行定期质控检测，故需对进行质控检测的工作人员进行附加剂量估算：

本次小动物一体机委托厂家工作人员一年校准一次，分别使用F-18、Tc-99m核素进行校准，无需使用校准源。

本项目工作人员每次校准使用F-18药物活度为37MBq（包括SUV、灵敏度、空间分辨力等各项指标所需），操作距离按50cm，每台操作时间为10min/a

(0.17h/a)，由 1MBq F-18 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 1.81 μ Sv/h，37MBq 对应 30cm 处剂量率为 66.97 μ Sv/h，即操作位附加剂量率约为 24.11 μ Sv/h (50cm 处)，则工作人员附加剂量约为 4.02 μ Sv/a。

工作人员每次校准使用 Tc-99m 药物活度约为 37MBq (包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需)，操作距离为 30cm，操作时间为 1h/a，由 1MBq Tc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 0.26 μ Sv/h，37MBq 对应 30cm 处剂量率为 9.62 μ 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 1.07 μ Sv/h (50cm 处)，则工作人员附加剂量为 1.07 μ Sv/a。

11.2.6 放射性药物实验室受照剂量总结

(1) 工作人员

据以上估算，放射性药物实验室各环节工作人员的附加有效剂量见表 11-4。

表 11-4 放射性药物实验室各环节工作人员附加有效剂量 (μ Sv/a)

环节	标记间	质控室	处置室	动物显像室	动物暂存室	厂家质控
附加剂量 (μ Sv/a)	415.83	4.43	344.24	40.48	114.03	5.09
合计	919.0					5.09
备注	以上相关环节操作拟由动物实验区 1 名工作人员完成					厂家人员

根据表 11-4 中数据，假设 1 名工作人员从事本项目所有放射工作环节，则致其年附加有效剂量为 919.0 μ Sv，则本项目工作人员附加有效剂量能够满足工作人员年剂量约束值 (5mSv) 的要求。

本次甲功室南墙增加屏蔽防护，改造后的防护门屏蔽厚度不低于现有屏蔽，且其余墙体屏蔽防护不变，因此本项目改造后甲功室对工作人员的影响不影响原环评的结论，附加有效剂量能够满足工作人员年剂量约束值 (5mSv) 的要求。

(2) 公众

根据表 11-3 中估算结果，本项目对公众的辐射照射剂量约为 1.96 μ Sv/a，满足本项目设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

11.2.7 放射性废物产生及排放情况

1. 放射性废气

常营院区核医学科目前实际建设 5 套排风：

①病房服碘室内的通风橱排风系统；②病房区域的服碘室、3 个病房和放射性废物间排风系统，各房间均设排风口；③门诊高活室通风橱与肺通气室的排风

系统；④放射性显像剂标记间通风橱排风系统；⑤注射室、注射后候诊、废物间、机房等门诊控制区均设排风口，设 1 套排风系统。其中放射性显像剂标记间通风橱产生的废气通过排风管道引至核医学科北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出。

其中放射性显像剂标记间通风橱产生的废气通过排风管道引至核医学科北侧管井从楼顶排出、其它通风橱以及门诊和病房区域所产生的废气通过各自排风管道引至核医学科西北侧管井从楼顶排出，进管井前均安装了活性炭过滤（处理效率不低于 99%），且管道内均安装止回阀，防止气体回流。排放口距地面高度约为 50m，楼顶排风口位置高于评价范围内其它建筑。活性炭过滤装置 1 年更换 1 次。该通风柜操作口风速不小于 0.5m/s。

本次改造完成后，拟将新增的放射性药物实验室的质控室、处置室、动物显像室、废物间、动物暂存室等控制区放射性废气排风管道接入核医学门诊现有的高活室、注射后候诊、运动负荷兼抢救室、废物间、显像机房等门诊控制区排风管道，共用一套排风净化系统排放。排风管合并接入前拟设置止回阀，动物暂存室排风合并接入前还单独设置高效过滤器去除异味，同时拟将核医学科诊区排风管的排风风量由现有的 2000m³/h 增大至 4000m³/h。其余几条排风管道不变。

医院委托设备厂家定期检查维护药物通风橱的吸附过滤装置，工作期间每个月至少检查一次通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不得超过厂家推荐的使用时间（每年更换一次），确保过滤效率满足设计要求。更换滤材操作时执行辐射监测制度，并采取个人防护措施和场所去污措施。拆下的废弃滤材及更换的部件应妥善收集，密封包装暂存于废物间，按照放射性固体废物进行暂存，存放超过至少 80 天后经检测满足解控水平后按照普通医疗废物进行处置。

放射性药物分装、活度测定均在标记间通风橱内进行，使用的含 F-18、Tc-99m 显像药物，物理性质稳定，均为液体，口服或注射环节挥发到空气中的份额可以忽略不计。

若操作放射性物质发生意外泼洒情况时，经过吸附收集处理后，可能有微量的放射性物质随挥发性废气通过排风系统排放至周围环境空气中。排放的极少量

放射性物质经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的剂量贡献很小。

2. 放射性液体废物

本目标记间、质控室、处置室内产生的少量放射性废水，以及通过间产生少量淋浴废水。本项目产生实验废水、洗手废水等保守按 20L/d 考虑，清洁废水按 10L/d，另外应急淋浴水保守每年按一次 50L，则年产生废水约为 $30L \times 50 + 50L = 1.55m^3$ ，新增产生的废水量较少，叠加现有项目的废水量，影响不大。拟将标记间、质控室、处置室及淋浴废水与门诊原有控制区产生的废水，经专用管道一并先排入地下 2 层设置的 65 号集水坑，然后泵到住院二部外西侧地下 1 号放射性废水衰变池（槽式，总容积为 $84m^3$ ， $28m^3/池 \times 3$ 池），废水通过衰变后排放至医院污水处理站进一步处理后，最终进入市政污水管网。

原环评结论核医学门诊年产生废水约 $105m^3$ ，叠加上本项目的废水，现实际配备的 1 号放射性废水衰变池的总容积为 $84m^3$ （ $28m^3 \times 3$ ），废水从充满至排放可贮存衰变约 180 天。不影响原环评关于放射性废水暂存衰变满 10 个半衰期（按本项目最长半衰期核素为 I-131，十个半衰期为 80 天）的要求。

综上，本项目改造完成后核医学科废水排放情况能够满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 B 类放射性废水暂存衰变满 10 个半衰期（原环评批复中要求门诊区域废水暂存不少于 80 天）的要求。排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，经监测符合相关活度浓度和总活度后，方可解控作为医疗废水处理。排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

3. 放射性固体废物

（1）一般放射性固体废物

本项目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标记间自行衰变。

本项目全年开展动物显像 500 只，分布实验动物 288 只，平均按每只新增产生含放射性固体废物（废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等） $0.05kg$ ，则项目满负荷运行年产生量约 $39.4kg$ ；加上动物注射等操作会在吸水垫上操作，暂存室的小鼠排放尿液产生的吸附在吸水垫上，少量的小动物血液量完全被吸水垫吸收后按照固体废物处理，满负荷运行年产生量不大于 $30kg$ ，则项目满负荷运行年产生量约 $69.4kg$ 。

拟将废弃的药瓶、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。放射性废物暂存至少一个月，经监测确认达到清洁解控水平要求后，作为医疗废物处置。在废物间放置 1 个冰柜，里放 1 个铅废物桶，储存实验后的实验鼠。

(2) 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 788 只小鼠，每只实验小鼠体重常规是 18-25g，保守按照 30g 计算，年产生的动物尸体及组织约为 23.64kg。实验结束后，动物均被处死，尸体装入密封袋，暂存于废物间内配置的冰柜中，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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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。

(3) 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 788 只），不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。每只小老鼠注射量不大，实验动物的数量和每只实验动物的药物用量均小于人的检测，对动物进行放射性药物注射也在动物实验室内进行。每天每次动物显像实验老鼠不超过 5 只，分布实验老鼠平均至每天按 1 只估算，实验完处死后的小鼠标明核素种类、时间。每半年实验小鼠不大于 394 只，冷冻 394 只小鼠，体积不超过 25 立方分米，一般冰柜均可满足要求。394 只小鼠尸体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。

本项目除了以上产生的固体废物外，其它的固体废物量（更换活性炭）依托现有，能够满足使用要求。

本项目产生的所有实验动物尸体均应冷冻暂存。实验动物尸体或组织应按照所含核素种类分类收集，动物尸体或组织装入密封袋、标注所含核素种类和产生日期后，送至对应的废物间的专用冰柜内冷冻暂存。

本项目使用核素为 A 类核素，参照 HJ1188 和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，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。

11.3 本项目异常事件分析与防范措施

11.3.1 本项目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，导致不必要的照射。

（4）放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

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

（5）屏蔽措施不当

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

11.3.2 风险防范与事故应急处理措施

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

（1）放射性药品由专业公司送达医院后，核医学科工作人员与送药人员在标记间内摄像头下“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。

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

(4) 核医学科标记间、质控室、处置室、动物显像室、废物间，均配置放射性废物桶，收集放射性废物，并在放射性废物贮存室暂存，暂存超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后，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。放射性场所场设置有排风系统，废气有组织在楼顶排放，可有效减少放射性废气排放对环境的影响。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理小组

医院已经设置了辐射安全管理委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。本项目为新建，相关负责人将继续担任辐射安全管理委员会成员，负责相关科室的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

(1) 在医院辐射安全防护领导小组组长、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室、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全防护组组长的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

(5) 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

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

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

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

12.1.2 辐射工作人员

本项目拟增加辐射工作人员 2 人。医院辐射防护负责人员、专职人员及所有辐射工作人员将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并参加每五年一次的重新考核，并制定辐射工作人员考核计划。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

医院已制定多项辐射安全管理制度，包括放射性同位素与射线装置质量控制与安全防护管理办法，辐射安全防护措施管理规定，射线装置检修维护管理规定，设备台账管理制度，从业人员辐射安全培训制度，辐射工作场所监测制度，个人剂量和健康管理制度，辐射事故（件）应急制度，《放射性废物（废气、废水、固废）暂存、处置方案及衰变池管理制度，操作规程，常营院区核医学科病房管理制度，常营院区核医学科病人异常事件及应急措施，临床实验项目相关制度等。医院辐射安全管理严格遵循国家的各项相关规定，针对本项目，将补充动物实验操作规程，修订辐射监测方案等，确保全部辐射工作有章可循，辐射工作安全受控，严格执行后能确保本项目的顺利实施。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

医院已制订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医院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求医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。医院每年对全院所有辐射工作场所至少监测一次，监测频度为每 3 个月检测一次。医院将严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，医院严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

如发现监测数据异常，将立即暂停其辐射工作，查明原因并妥善解决后方可继续开展辐射工作。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

（1）委托监测

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

（2）本项目自行监测方案

本项目放射性药物实验室实施后拟新增 1 台表面污染监测仪、利用核医学科门诊区域现有的 1 台辐射剂量巡测仪，能够满足核医学科门诊区域及放射性

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

(1) 监测项目： 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：点位包括动物显像室、暂存室等机房和其楼上、楼下，控制区边界外 30cm 处的剂量率水平（如控制室等有代表性点位不少于 1 次/月），监测数据记录存档。本项目相关场所监测点位计划见表 12-1 和表 12-2，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
a1-a8	动物显像室	四周、防护门外及楼上、楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
b1-b5	动物暂存室	四周、防护门外及楼上、楼下	1 次/年
c1-c6	处置室	四周、防护门外及楼上、楼下	1 次/年
d1-d7	质控室	四周、防护门外及楼上、楼下	1 次/年
e1-e7	放射性显像剂标记间	四周、防护门外及楼上、楼下	1 次/年

(5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后，对标记间台面、地面，手套箱台面，处置室注射台面、地面以及相关设备表面等场所进行表面污染监测，监测数据记录存档。

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	β 表面污染 (Bq/cm ²)
A1-A2	动物显像室	房间地面、设备表面	
B1-B2	动物暂存室	暂存柜表面、地面	
C1-C5	处置室	3 个操作台面、地面、墙面	
D1-D5	质控室	2 个操作台面、地面、2 个传递窗	
E1~E3	放射性显像剂标记间	手套箱台面、地面、传递窗	

表 12-3 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a和 5mSv/a；放射性表面污染控制水平满足GB18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在动物显像室、暂存室等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。标记间和动物显像室等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	实验室工作场所实行分区管理，在控制区出入口分别安装门禁系统，限制无关人员出入；标记间、质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室、废物间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满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。
监测仪器	本项目实验室拟新增 1 台表面污染监测仪、利用核医学科门诊区域现有的 1 台辐射剂量巡测仪，能够满足核医学科门诊区域及放射性药物实验室常规的监测需求。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	放射性药物实验室配置满足需要的放射性废物存贮设施，配备铅废物桶；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；标记间安装手套箱，操作口风速大于 0.5m/s；通风柜配套建设独立排风系统，排放口设置在所在建筑楼顶高处，排风速率满足辐射安全需要。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

北京朝阳医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证。医院为了进一步提升科室科研基础能力，本项目拟将核医学科现有场所改造成放射性药物实验室，拟新增 1 台小动物一体机，同时增加F-18、Tc-99 核素使用量，开展动物显像、生物分布实验等同位素实验。

13.1.2 实践正当性分析

本项目使用放射性核素药物开展科学研究和动物PET/SPECT-CT一体机进行动物模拟研究，在新型核素与新型示踪剂研发中有重要作用，是进行动物模型研究的强有力工具，可提供生物分布、药代动力学等多方面的丰富信息，准确反映药物在动物体内摄取、结合、代谢、排泄等动态过程。小动物一体机显像可在同一只动物身上进行连续的纵向研究，监控动物生理、生化过程及各种治疗方法干涉疾病进程时的效果，可排除传统研究方法中由于动物个体差异造成的误差。

本项目建成后，为快速在动物和人体进行同一试验提供了机会，并便于直接比较或统一基础与临床研究，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“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址与布局合理性分析

本项目辐射工作场所位于住院二部地下一层西北角，为相对独立的区域，距离院区边界及周围环境敏感点较远，评价范围内无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无商场和超市等人员密集场所，使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响较小，该项目选址基本合理。

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。

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,本次项目正常运行后,预计工作人员和公众的年受照剂量均低于本项目设定的年剂量约束值 5mSv/a 和 $100\mu\text{Sv/a}$ 要求,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求。通过对辐射屏蔽措施分析可知,控制区外周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况,单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

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

(3) 放射性“三废”排放。预计本项目运行后,核医学科放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求;本项目工作场所运行每年产生放射性固体废物收集暂存衰变,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住院二部楼顶排出,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。医院将根据本项目申请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,首都医科大学附属北京朝阳医院常营院区核医学科增加放射性药物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,北京朝阳医院承诺:

- (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

