

常营院区核医学科增加放射性药物实验室项目
竣工环境保护验收监测报告表

建设单位：首都医科大学附属北京朝阳医院

编制单位：北京辐环科技有限公司

2026 年 07 月

建设单位法人代表： (签字)

编制单位法人代表： (签字)

项目负责人： (签字)

填表人： (签字)

建设单位：首都医科大学附属北京朝阳医院（盖章）	编制单位：北京辐环科技有限公司（盖章）
电话：85231210-804	电话：010-57851588
传真：/	传真：/
邮编：100020	邮编：100142
地址：北京朝阳区工人体育场南路 8 号	地址：北京市海淀区西四环北路 160 号玲珑天地 A 座 331 室

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 项目建设情况	9
表 3 辐射安全与防护设施及措施	23
表 4 环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定	42
表 5 验收监测质量保证及质量控制	46
表 6 验收监测内容	47
表 7 验收监测	48
表 8 验收监测结论	65
附图 1 医院地理位置示意图	66
附图 2 北京朝阳医院（常营院区）总平面布局图	67
附图 3 常营院区住院二部 B1 层核医学科及放射性药物实验室周边关系图	68
附图 4 常营院区住院二部 B1 层核医学科毗邻关系示意图（改造前）	69
附图 5 核医学科及放射性药物实验室毗邻关系示意图（改造后）	70
附图 6 常营院区核医学科及放射性药物实验室平面布局及辐射分区图（改造后）	71
附图 7 常营院区核医学科及放射性药物实验室的人流、物流示意图（改造后）	72
附图 8 常营院区核医学科地上一层毗邻关系示意图（放射性药物实验室上方）	73
附图 9 常营院区核医学科地下二层毗邻关系示意图（放射性药物实验室下方）	74
附图 10 核医学科及放射性药物实验室控制区的排水图（改造后）	75
附图 11 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）	76
附图 12 核医学科及放射性药物实验室控制区的排风图（改造后）	77
附图 13 放射性药物实验室控制区排风并入核医学门诊诊区排风竖向管道剖面示意图	78
附件 2 环评批复	79

附件 1 辐射安全许可证、附件 3 个人剂量检测报告、附件 4 辐射工作场所验收检测报告、附件 5 规章制度文件、附件 6 改造前及改造中自行监测情况：略

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			
建设单位名称		首都医科大学附属北京朝阳医院			
项目性质		□新建 □改建 √扩建			
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			
源项		放射源		/	
		非密封放射性物质		F-18、Tc-99m	
		射线装置		使用 1 台小动物 PET/SPECT-CT 一体机	
建设项目环评批复时间		2025.08.27	开工建设时间		2025.12.16
取得辐射安全许可证时间		2026.06.15	项目投入运行时间		2026.06.16
辐射安全与防护设施投入运行时间		2026.06.16	验收现场监测时间		2026.06.25
环评报告表审批部门		北京市生态环境局	环评报告编制单位		北京辐环科技有限公司
辐射安全与防护设施设计单位		/	辐射安全与防护设施施工单位		/
投资总概算（万元）	800	辐射安全与防护设施投资总概算（万元）		150	比例 18.75%
实际总概算（万元）	800	辐射安全与防护设施实际总概算（万元）		150	比例 18.75%
验收依据	1.1 环境保护相关法律、法规和规章制度				
	（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 日起施行）。				
	（2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订并施行）。				
	（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 日起施行）。				
	（4）《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日修订并施行）。				
	（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，2019 年 3 月 2 日修订并施行）。				

	(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(生态环境部令 第 20 号), 2021 年 1 月 4 日起实施)。 (7)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部第 18 号令, 2011 年 5 月 1 日起施行)。 (8)《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)。 (9)《北京市环境保护局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》(京环办[2018]24 号, 2018 年 1 月 25 日)。 (10)《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)。 (11)《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)。 (12)《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), 2011 年 11 月 29 日)。 (13)关于印发《核技术利用建设项目重大变动清单(试行)》的通知, 环办辐射函〔2025〕313 号, 生态环境部办公厅 2025 年 8 月 29 日。 (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。 (15)《辐射安全与防护监督检查技术程序》, 生态环境部, 2020 年 2 月。 1.2 验收技术规范及其它标准 (1)《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326-2023)。 (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。 (3)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)。 (4)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。
--	--

	(5)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)。 (6)《北京市水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013)。 (7)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)。 (8)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。 (9)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)。 (10)《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)。 (11)《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)。 (12)《正电子发射断层成像(PET)设备质量控制检测标准》(WS817-2023)。 (13)《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》(试行版)。 1.3 环境影响报告表及其审批部门审批决定 (1)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环境影响报告表》(项目编号:京辐0150202500076),2025.08。 (2)北京市生态环境局关于《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的批复》(京环审[2025]84号),2025年08月27日。 1.4 其他相关文件 (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) 医院提供的与建设项目相关的其他技术资料。				
验收执行标准	1.5 基本剂量限值 根据《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 1-1。 表 1-1 个人剂量限值 (GB18871-2002) <table border="1"> <tr> <th>辐射工作人员</th><th>公众关键人群组成员</th></tr> <tr> <td>连续五年平均有效剂量 20mSv, 且任何一年有效剂量 50mSv</td><td>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</td></tr> </table> 1.6 剂量约束值 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。 1.7 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平 根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如下: (1) 在控制区外人员可达处, 距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5μSv/h。 (2) 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 2.5μSv/h。 (3) 小动物 PET/SPECT-CT 一体机在进行 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 2.5μSv/h。 (4) 标记间手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h。 (5) 固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量	辐射工作人员	公众关键人群组成员	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
辐射工作人员	公众关键人群组成员				
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				

	率不大于 2.5μSv/h。 1.8 射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》(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。 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,委托有资质的检测机构对排放废水中 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。 1.9 放射性废气排放管理 (1) 参照《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。 1.10 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。 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。

1.11 放射性工作场所分级

按照 GB18871-2002 标准要求，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 1-3。

表 1-3 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 $\sim 2\times 10^7$

1.12 工作场所放射性表面污染控制水平

按照 GB18871-2002 标准要求，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 1-4。

表 1-4 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm^2)

类别		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒组	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	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，经适当去污后，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 100cm²，地板取 1000cm²。 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 1-4 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 1.13 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求 《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。
--	---

表 2 项目建设情况

2.1 项目建设内容

2.1.1 建设单位情况

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。

医院现为一院三址，有本部、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。

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，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。

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），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。

2.1.2 项目建设内容及规模

本项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院，调整常营院区医疗综合楼住院二部地下一层西北角核医学科东侧布局，新建放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III 类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所（F-18、Tc-99m 年最大操作量保持不变）。

2.1.3 项目建设地点、总平面布置和周围环境敏感目标

（1）项目建设地点、总平面布置

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。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。

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。

医院常营院区地理位置见附图 1，总平面布局见附图 2，常营院区住院二部 B1 层周边关系见附图 3，核医学科本项目改造前、后的毗邻关系示意图见附图 4~附图 5，核医学科及放射性药物实验室楼上（1 层）、楼下（B2）毗邻关系平面布局示意图见附图 6~7。

根据现场勘察，本项目放射性药物实验室的场所位置、布局、毗邻关系均与环评方案一致。

（2）环境敏感目标分布情况

放射性药物实验室边界 50m 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，50m 评价范围均属医院内部。

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，详见表 2-1。机房周围 50m 范围内敏感目标分布示意情况见图 2-1。

表 2-1 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（楼上）	地上一层走道、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

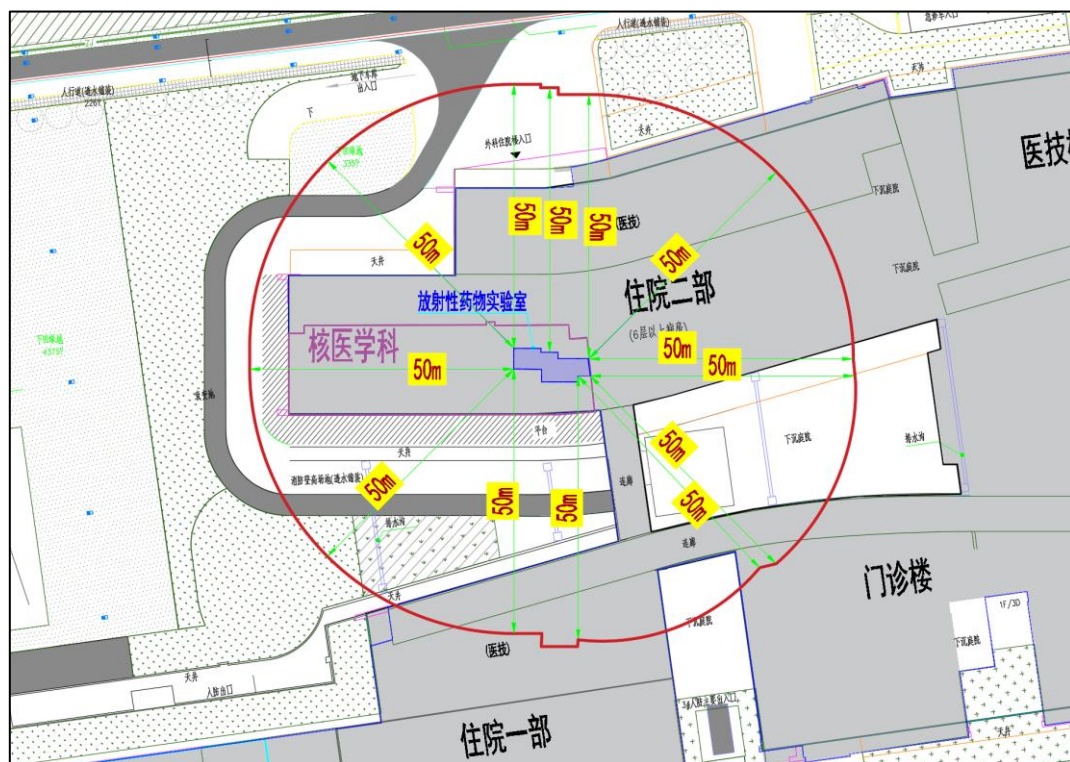


图 2-1 放射性药物实验室周围 50m 范围内敏感目标示意图

2.1.4 环评及批复建设内容与实际建设内容对照情况

本项目环评及批复的建设内容与实际建设内容对照见表 2-2 所示。

表 2-2 环评及批复的建设内容与实际建设内容对照一览表

序号	环评及审批决定建设内容	实际建设内容
1	本项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院，内容为调整常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科布局，新建放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验（详见附件）。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所（F-18、Tc-99m 年最大操作量保持不变）。项目总投资 800 万元，主要环境问题是辐射安全和防护。	本项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科，已调整核医学科布局并建成了放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III类射线装置，设备参数为 80kV/0.7mA），用于开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所（F-18、Tc-99m 年最大操作量保持不变）。项目总投资 800 万元。目前放射性药物实验室及新增的小动物 PET/SPECT-CT 一体机相关内容已建成，落实了环评批复及环评中防护措施，并已重新申领了辐射安全许可证。

经现场勘察，本项目实际建设地点、建设内容与环评及批复内容一致。

2.2 源项情况

本项目位于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，本次验收内容为调整核医学科布局，新建放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验。

本项目验收的设备参数见表 2-3。

表 2-3 本次验收项目使用的射线装置情况

序号	工作场所	设备名称	设备型号	序列号	生产厂家	管电压 (kV)	输出电流 (mA)	类别	备注
1	放射性药物实验室	小动物 PET/SPECT-CT 一体机	InliView-3000B	0015	成都永新医疗设备有限公司	80	0.7	III	动物显像室

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。本项目验收的核素使用情况见表 2-4。

表 2-4 本次验收项目核素使用情况表

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	7.40E+08	4.59E+10	
	Tc-99m	/	/	62	7.40E+08	4.59E+10	
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。
 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。

《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 2-5 所示。

表 2-5 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)	备注
合成标记分装	F-18	7.40E+08	0.01	简单操作 (液体, 1)	7.40E+06	日等效最大操作量为 7.40E+06Bq (每天只使用 1 种核素)
	Tc-99m	7.40E+08	0.01	简单操作 (液体, 1)	7.40E+06	

建成之后常营院区核医学科放射性药物实验室虽然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 7.40E+06Bq(每天只使用 1 种核素),故该区域为丙级水平,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 1.10E+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(7.40E+06Bq)后,日等效最大操作量不大于 1.10E+09Bq,故本项目扩建完成后核医学科场所等级仍为乙级。

经现场勘察,上述本次验收内容使用的非密封放射性核素及相关射线装置均已重新申领了辐射安全许可证,实际建设内容(核素类别、操作量、级别、建设地点)均与环评及批复的建设内容一致,符合要求。

2.3 工程设备与工艺分析

2.3.1 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。标记间每天 F-18、Tc-99m 的使用量均不超过 7.40E+08Bq, F-18、Tc-99m 两种核素不在同一天操作,标记间动物实验每种核素年分别工作 62 天。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。

(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;
- 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。

2.3.2 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 2-2。

(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。

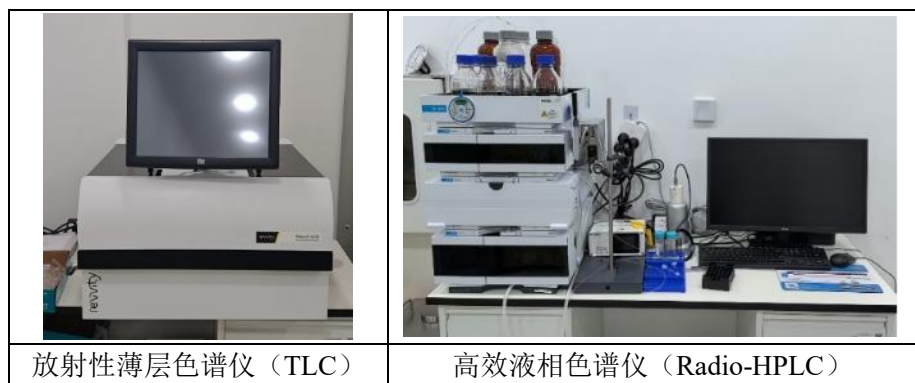


图 2-2 本项目配备的分析仪图片

2.3.3 小动物 PET/SPECT-CT 一体机

本项目配套使用 1 台动物 PET/SEPCT-CT 一体机，是将 PET、SPECT 和 CT 三种成像技术整合在一起的设备，属于 III 类射线装置。

（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。

在小动物 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。其设备如图 2-3。



图 2-3 本项目小动物 PET/SPECT-CT 一体机设备外观图

2.3.4 动物显像实验（含解剖）

在动物显像室配置 1 台小动物 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（22L）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）。

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 2-4。

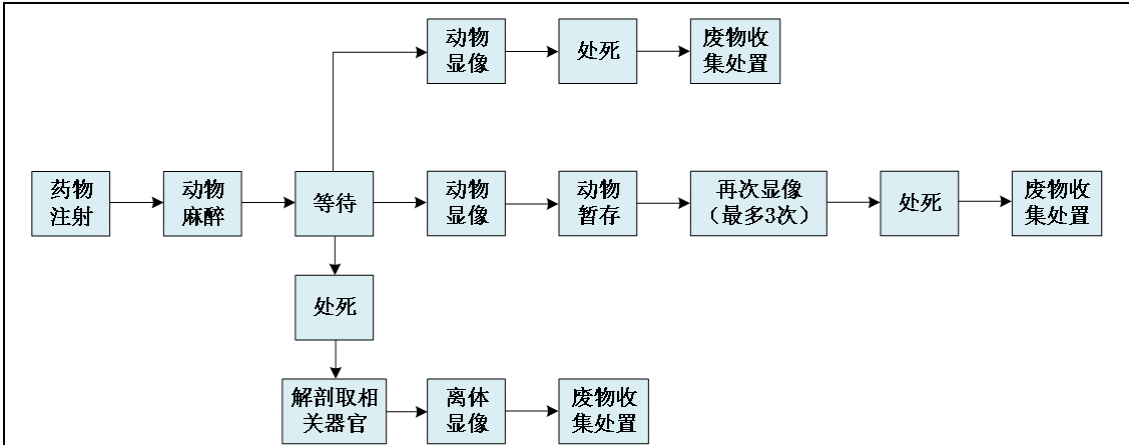


图 2-4 动物显像实验操作流程示意图

2.3.5 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 两种核素，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 1.48E+06Bq，Tc-99m 不超过 2.22E+06Bq，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。

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，置于废物间的冰柜内冷冻暂存。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 2-5。

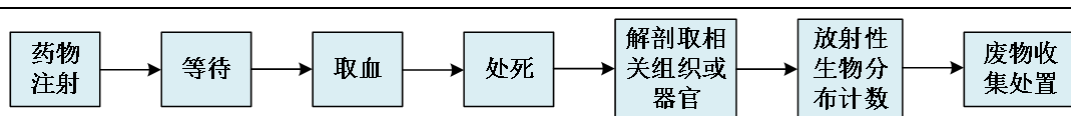


图 2-5 生物分布实验操作流程示意

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。

2.3.6 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 F-18、Tc-99m 的使用量均不超过 $7.40\text{E}+08\text{Bq}$ ，F-18、Tc-99m 两种核素不在同一天操作，标记间动物实验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 $7.4\text{E}+06\text{Bq}$ ，Tc-99m 不超过 $1.11\text{E}+07\text{Bq}$ ，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 $7.4\text{E}+06\text{Bq}$ ，Tc-99m 不超过 $1.11\text{E}+07\text{Bq}$ ，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 $1.48\text{E}+06\text{Bq}$ ，Tc-99m 不超过 $2.22\text{E}+06\text{Bq}$ ，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）。

2.3.7 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2.3.8 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 2-6。

表 2-6 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	$\gamma141$

2.3.9 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、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。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。由管道汇入门诊 1 号废水衰变池，暂存后解控处置。

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。

(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。

2.3.10 人员配置情况

本项目常营院区放射性药物实验室已新增 2 名辐射工作人员，均已通过辐射安全与防护考核，且在有效期内，并已安排个人剂量计监测，能满足动物显像实验的使用需求，实际建设情况与环评及批复要求一致。

表 3 辐射安全与防护设施及措施

本项目环境保护设施主要为环境影响报告表及环评批复中提出的确保放射性药物实验室安全运行的各项辐射安全防护设施，如屏蔽机房、警示标识、工作状态指示灯、通风设施和辐射监测仪器等。

3.1 工作场所布局及辐射分区

(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。

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。

(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。

综上分析，两区划分明确，平面布局既满足核医学诊疗工作要求，又有利于辐射防护，本项目平面布局合理。

经现场勘察，本项目平面布局和管理分区与环评及批复要求一致，核医学科和放射性药物实验室的人流、物流路径与环评一致，符合环评及批复要求。

常营院区核医学科及放射性药物实验室平面布局及辐射分区见附图 6，人流、物流见附图 7。

3.2 屏蔽设施建设情况

医院已在原计划场所位置完成设备安装及相应的辐射安全防护设施配套建设，屏蔽措施及厚度满足环评的要求。本项目场所的屏蔽厚度情况见表 3-1。

表 3-1 放射性药物实验室相关房间屏蔽材料及厚度对比情况表

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	环评设计 屏蔽材料及厚度	实际建设 屏蔽材料及厚度	是否符合 要求
1	动物显像室	东、南、西、北墙	3mmpb	3mmpb	符合
		2 个防护门（东、西）	3mmpb	3mmpb	符合
		观察窗	3mmpb	3mmpb	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
2	动物暂存室	东、南、西、北墙	3mmpb	3mmpb	符合
		防护门	3mmpb	3mmpb	符合
		传递窗	6mmpb（双层）	6mmpb（双层）	符合
		笼具暂存铅箱	（底面 2mmPb 铅当量，其余 5 面 10mmPb 铅当量）	（底面 2mmPb 铅当量，其余 5 面 10mmPb 铅当量）	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
3	质控室	东、南、北墙	3mmpb	3mmpb	符合
		西墙	6mmpb	6mmpb	符合
		防护门（南）	3mmpb	3mmpb	符合
		传递窗（南）	6mmpb（双层）	6mmpb（双层）	符合
		传递窗（西）	40mmpb	40mmpb	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
4	处置室	东、南、西、北墙	3mmpb	3mmpb	符合
		4 个防护门（东北、东南、西北、北）	3mmpb	3mmpb	符合
		传递窗（北）	6mmpb（双层）	6mmpb（双层）	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
5	废物间	东、南、西、北墙	3mmpb	3mmpb	符合
		防护门（南）	3mmpb	3mmpb	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
6	通过间	东、南、西、北墙	3mmpb	3mmpb	符合
		2 个防护门（南、北）	3mmpb	3mmpb	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
7	缓冲间	东、南、北墙	3mmpb	3mmpb	符合
		西墙	6mmpb	6mmpb	符合
		2 个防护门（南、北）	3mmpb	3mmpb	符合

		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
8	放射性显像剂标记间	东、南、西、北墙	6mmpb	6mmpb	符合
		防护门（南）	6mmpb	6mmpb	符合
		传递窗（北、西）	40mmpb	40mmpb	符合
		传递窗（东）	40mmpb（双层）	40mmpb（双层）	符合
		通风橱（2 个）	50mmpb	50mmpb	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
9	甲功室	东、西、北墙	1mmpb	1mmpb	符合
		南墙（原防护门封堵）	3mmpb	3mmpb	符合
		防护门（北、东）	1mmpb	1mmpb	符合
		顶棚	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合
		地板	27cm 混凝土	27cm 混凝土	符合

备注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.4g/cm³。

3.3 辐射安全与防护措施

本项目环境保护设施主要为环境影响报告表及环评批复中提出的确保射线装置和同位素安全使用的各项辐射安全防护设施，如屏蔽机房、警示标识、工作状态指示灯、辐射监测仪器等。见表 3-2：

表 3-2 辐射安全措施与环评报告表或批复对比情况

序号	环评要求	环评批复要求	落实情况	是否符合
1	建设地点：该项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科	该项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科	该项目建成后位于朝阳区东十里堡路 3 号院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科。建设地点与环评及批复一致。	是
2	建设内容：本项目拟调整常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科布局，新建放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所。	调整常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科布局，新建放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所（F-18、Tc-99m 年最大操作量保持不变）。	该项目调整了常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科布局，新建了放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所，建设内容与环评及批复一致。	是
3	外照射防护：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 2.5μSv/h。	核医学科公众照射、职业照射剂量约束值分别执行 0.1mSv/a、5mSv/a。你单位须采取屏蔽防护措施，确保场所控制区人员可达处、各边界外表面 30cm 处的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。控制区、监督区 β 放射性物质表面污染控制水平分别不大于 40Bq/cm ² 、4Bq/cm ² 。	墙体已采取不低于报告表中的铅板，顶棚、地板采取混凝土材料，观察窗采取铅玻璃等实体屏蔽防护措施。 根据验收检测结果可知，本项目常营院区放射性药物实验室场所控制区、监督区 β 放射性物质不大于 40Bq/cm ² 、4Bq/cm ² ；常营院区放射性药物实验室场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h，均满足环评及批复中的剂量率要求。 根据验收检测结果，按照该项目工作时间，估算出常营院区放射性药物实验室辐射工作人员和公众年受照总剂量分别不大于 0.27mSv 和 17.8μSv（未扣除本底），满足环评及批复的年剂量约束值 5mSv/a 和 0.1mSv/a（100μSv/a）要求。项目正常运行期间，职业人员和公众所接受的最大年附加有效剂量可以满足剂量约束值的要求。	是
4	实行控制区和监督区分区管理。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	须对辐射工作场所实行分区管理，设置明显的控制区、监督区标识以及放射性标志、中文警示说明，配置门禁、通风橱、隔室操作等防护措施。	辐射工作场所已实行控制区和监督区分区管理，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。本项目在防护门上张贴了醒目的控制区、监督区标志。 本项目进出控制区的防护门均设置门禁，主要	是

序号	环评要求	环评批复要求	落实情况	是否符合
	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。		包括卫生通过间入口门（外侧刷卡，内侧手控）、进入控制室门位置处（外侧刷卡，内侧手控），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，工作状态指示灯的控制开关与2个机房门同时连接，当2个机房门同时关闭时，工作状态指示灯亮，当2个机房门中任意1个机房门打开时，工作状态指示灯灭。	
5	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。	增配1台表面污染仪以及防护用品，定期开展场所和周围环境辐射水平监测。	本项目放射性药物实验室实施后已新增1台表面污染监测仪、同时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。制定了自行监测方案，投产后按要求定期开展场所和周围环境辐射水平监测。按要求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。	是
6	定期开展工作场所和环境辐射监测。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。			是
7	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。	/	质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室、废物间等场所地面已采用无缝隙、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。	是
8	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	配备具有防护功能的废物桶，收集放射性固体废物；配备1个转运防护盒，用于放射性	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	是

序号	环评要求	环评批复要求	落实情况	是否符合
	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）。	药物的转运。	当量）；本次验收已在标记间东墙上增设 1 个铅防护传递窗（40mmPb 当量）；质控室、动物暂存室南墙均设置了 1 个铅防护传递窗（6mmPb 当量）；处置室设置了 1 个 L 型铅防护屏，用于解剖时工作人员防护。 本项目利用现有 1 个 25mmPb 的转运防护盒。已配备 2 套前 0.5mmPb，后 0.25mmPb 铅衣、2 套 0.5mmPb 铅围裙、铅围脖。	
9	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。		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、动物显像室分别新增了 1 个铅废物桶（2mmPb，10L）；处置室配备了 1 个铅废物桶（10mmPb，10L） 动物暂存室及处置室各新增了 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。 废物间配备了 2 个铅废物桶（2mmPb，10L）贮存放射性废物，同时在废物间内配备了 1 个铅箱（六面均为 2mmPb，内设冰柜，冰柜容积为 22L），将处死后的动物尸体包装后放在冰柜内冷冻暂存，能够满足贮存要求。放射性废物暂存超过 30 天，并经监测合格后实施清洁解控。	是
10	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	须建立放射性废物、废水管理台账，分别记录收集、暂存、检测、解控、排放和处置等信息。新建 1 套放射性废水排放管路，并接入现有核医学科 1 号放射性废水槽式衰变池，收集暂存放射性废水。以上放射性废物、废水须分别暂存超过 30 天和 80 天，并经监测合格后，方可实施清洁解控。	本项目新建 1 套放射性废水排放管路并接入现有核医学科 1 号放射性废水槽式衰变池，收集暂存放射性废水。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）。	是

序号	环评要求	环评批复要求	落实情况	是否符合
	集管网，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”。		放射性废水暂存超过 81 天，并经监测合格后实施清洁解控。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”。	
11	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（风速应不小于 0.5m/s）。 一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。 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。	新建 1 套放射性废气排风管路，并入现有核医学科排风系统，设置止回阀，经过滤后从本建筑最高处排放。增大核医学科诊区排风量至 4000m³/h。	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。标记间配备具有防护功能 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。 本项目门诊标记间通风橱单独一套排风系统排放（维持不变，依托核医学科原有动力通风系统），通风橱可能产生的废气经通风橱自带大活性炭过滤器净化后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，进管井前设有活性炭过滤器过滤。根据验收检测结果，通风橱的风速不小于 0.57m/s，满足要求。 本项目实际建设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并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。 排风管合并接入前设置止回阀，还单独设置高效过滤器去除异味，同时已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。 医院委托设备厂家定期维护和检修活性炭过滤装置并更换活性炭，更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	是
12	须加强场所改造过程管理，同核医学科运行时间错峰施工。改造前须开展场所辐射监测，辐射剂量率小于 0.2μSv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm² 时方可施工。	须加强场所改造过程管理，同核医学科运行时间错峰施工。改造前须开展场所辐射监测，辐射剂量率小于 0.2μSv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm² 时方可施工。	本项目改造期间加强场所改造过程管理，与核医学科运行时间错峰施工。改造前开展场所辐射监测，辐射剂量率小于 0.2μSv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm² 时才开始施工。	是

序号	环评要求	环评批复要求	落实情况	是否符合
13	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。	本项目新增 2 名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核，并进行个人剂量监测。	本项目已新增 2 名辐射工作人员，在上岗前已通过辐射安全与防护考核，并已安排个人剂量计监测。	是
14	制定相关的操作规程；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。	须完善辐射安全管理规章制度，特别是同位素药物实验操作规程、动物实验操作规程、场所监测方案、应急预案等。规范编写、按时上报年度评估报告。	已补充完善辐射安全管理规章制度，补充了同位素药物实验操作规程、动物实验操作规程、场所监测方案、应急预案等。 2025 年度评估报告已上报，往后按时编制年度评估报告并上报。	是
15	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。	/	医院按需要量制备或订购同位素，到货同位素，核医学科安排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。	是
16	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。	是

本项目实施后放射性同位素实验室科配备的防护设施见表 3-3。

表 3-3 本项目配备的防护设施表

序号	名称	环评拟配备要求			实际配备情况	是否符合要求
		数量 (个)	规格	使用场所		
1	手套箱	利旧 2 个	50mmPb	核医学科标记间	与环评一致	是
2	传递窗	利旧 2 个	40mmPb	核医学科标记间西、北侧	与环评一致	是
3	传递窗	新增 1 个	40mmPb	核医学科标记间东侧	与环评一致	是
4	传递窗	新增 2 个	6mmPb	质控室南侧、动物暂存室南侧	与环评一致	是
5	转运防护盒	利旧 1 个	25mmPb	核医学科标记间	与环评一致	是
6	笼具暂存铅箱	新增 2 个	底面 2mmPb 铅当量, 其余 5 面 10mmPb 铅当量	小动物暂存室、处置室	与环评一致	是
7	L 型铅防护屏	新增 1 个	3mmPb	处置室	与环评一致	是
8	铅废物桶	新增 5 个	2mmPb, 10L	质控室、处置室、动物显像室各 1 个, 废物间 2 个	处置室 1 个和废物间 2 个均为 10mmPb; 质控室、动物显像室各 1 个为 2mmPb。容积均与环评一致	是
9	铅废物桶	新增 1 个	2mmPb, 20L	废物间的冰柜里	实际: 同时在废物间内配备了 1 个铅箱 (六面均为 2mmPb, 内设冰柜, 冰柜容积为 22L), 将处死后的动物尸体包装后放在冰柜内冷冻暂存, 能够满足贮存要求。	是
10	冰柜	新增 1 个	50L	门诊废物间		是
11	铅衣	新增 2 件	0.5mmPb	动物显像室	新增 2 件, 前 0.5mmPb, 后 0.25mmPb	是
12	铅围裙	新增 2 件	0.5mmPb	动物显像室	与环评一致	是
13	铅围脖	新增 2 件	0.5mmPb	动物显像室	与环评一致	是

3.4 场所安全防护设施运行效果

本次验收对放射性药物实验室的各项辐射安全防护设施进行了如实查验, 辐射监测仪性能良好、运行正常, 现场显示机房外指示灯功能正常, 其它设施功能完好。通过与放射性药物实验室辐射安全防护设施与运行核查项目的比较 (见表 3-4 所示), 表明本项目安全防护设施能够避免人员受到意外照射。

表 3-4 放射性药物实验室辐射安全防护设施与运行核查情况

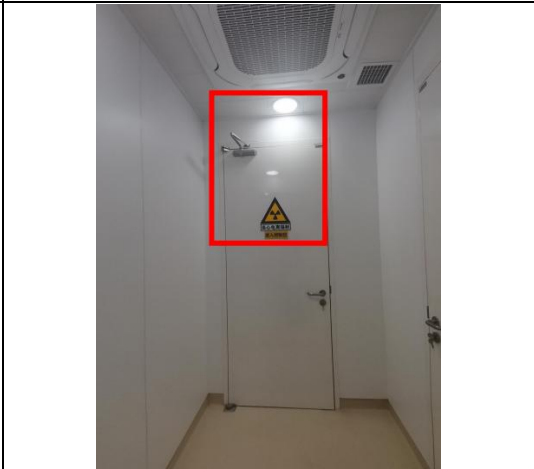
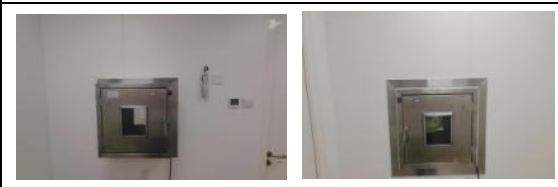
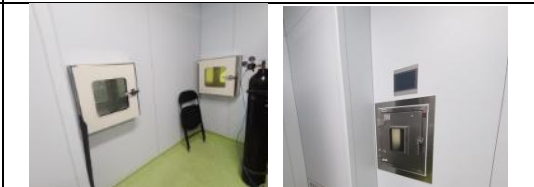
序号	项目	内容	环评及批复要求内容	现场核查情况	是否符合要求
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	拟设有质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室、废物间、通过间、缓冲间、控制室等场所, 并按控制区和监督区管理	设有质控室、处置室、动物显像室、动物暂存室、废物间、通过间、缓冲间、控制室等场所, 并按控制区和监督区管理。	是
2*		场所分区的管控措施及标识	拟在地面使用不同颜色区分控制区和监督区	本项目在防护门上张贴了醒目的控制区、监督区标志。	是
3*		电离辐射警告标志	出入口防护门上粘贴电离辐射警示标志	在控制区出入口、动物显像室、质控室、处置室、动物暂存室、	是

				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。	
4		通风柜	标记间配有通风橱	标记间配有通风橱。	是
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	墙面、地面均为光滑饰面。	是
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84m³，28m³/池×3池）。	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84m³，28m³/池×3池）。	是
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	标记间配备通风橱，贮存放射性试剂。	是
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	已设置废物间，贮存放射性废物。	是
9		安保设施	拟在出入口设门禁系统	本项目进出控制区的防护门均设置门禁，主要包括卫生通过间入口门（外侧刷卡，内侧手控）、进入控制室门位置处（外侧刷卡，内侧手控），防止无关人员进入控制区。	是
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	已新增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	是
11		个人剂量计	所有工作人员配备TLD个人剂量计	所有工作人员已配备TLD个人剂量计	是
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	已设铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套等	是
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	已配备洗涤灵、酒精和棉球	是

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/。

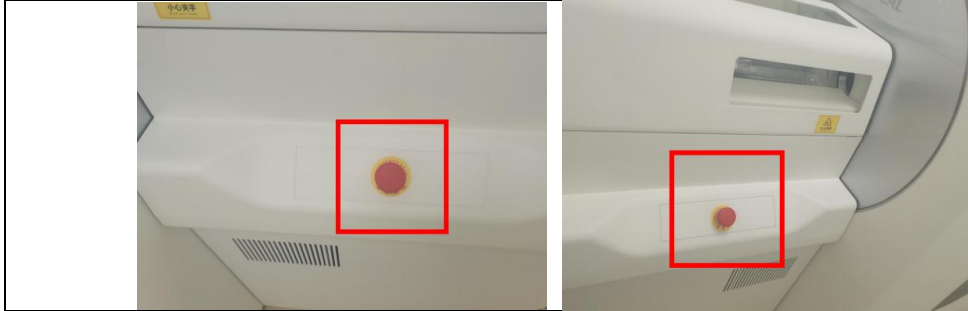
常营院区放射性药物实验室的相关防护措施见图 3-1。



	
动物暂存室防护门、电离辐射警告标志、自动闭门装置；传递窗	废物间防护门、电离辐射警告标志、自动闭门装置
	
处置室防护门、电离辐射警告标志、自动闭门装置	质控室防护门、电离辐射警告标志、自动闭门装置
	
卫生通过间门禁	控制室入口门门禁
	
质控室传递窗	标记间传递窗



小动物PET/SPECT-CT一体机、铭牌



设备机架两侧紧急停机按钮



控制区、监督区分区照片

			
通风柜	屏蔽储存盒/转运盒 (25mmPb铅当量)	L型铅防护屏 (3mmPb铅当量)	
			
笼具暂存铅箱			
			
1 个铅箱 (六面均为 2mmpb, 内设冰柜)	处置室铅废物桶 (10mmpb)		
			
废物间铅废物桶 (10mmpb)	动物显像室铅废物桶 (2mmpb)	质控室铅废物桶 (2mmpb)	
			
铅防护用品 (2 套)	去污用品	麻醉机	伽马计数仪

	
放射性薄层色谱仪 (TLC)	高效液相色谱仪 (Radio-HPLC)
	
改造后显像区患者入口门、入口门禁（防护门上有电离辐射标）	改造后显像区登记室，医护通道
	
改造后显像区注射前候诊室，甲功室	
	
小动物一体机模体	活度计

	
门诊现有 1 台辐射检测仪，放射性药物实验室共用	动物实验区新增 1 台表污仪

图 3-1 放射性药物实验室现场相关防护措施现场照片

3.5 辐射安全管理情况

(1) 辐射安全管理制度

医院已经设置了辐射安全与环境保护管理领导小组作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。医院已将常营院区放射性药物实验室纳入辐射安全管理范围，相关科室负责人担任辐射安全与环境保护管理领导小组成员，负责实验室的日常管理。

医院已更新并修订了《放射防护与辐射安全管理制度》，其中包含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管理制度，常营院区核医学科病人异常事件及应急措施等，该制度明确辐射安全管理小组相应的职责。

(2) 辐射工作人员

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。全院现有辐射工作人员、辐射防护负责人及专职管理人员都分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核，且在有效期内，并已安排个人剂量计监测。

本项目常营院区放射性药物实验室已新增 2 名辐射工作人员，均已通过辐射安全与防护考核，且在有效期内，并已安排个人剂量计监测，能满足动物显像

实验的使用需求，实际建设情况与环评及批复要求一致。

本次放射性药物实验室辐射工作人员信息见表 3-5。

表 3-5 常营院区放射性药物实验室辐射工作人员信息表

序号	姓名	性别	工作岗位	毕业学校	学历	专业	辐射安全与防护培训时间	培训证号	备注
1	段世达	男	核医学科	首都医科大学	硕士研究生	影像医学与核医学	2023/07/10 至 2028/07/10	FS23BJ0300356	核医学动物实验
2	张欣	女	核医学科	北京大学	博士研究生	放射医学	2023/07/10 至 2028/07/10	FS23BJ0300349	核医学动物实验

(3) 个人剂量监测

医院已经为全部辐射工作人员配备了个人剂量计，并安排进行个人剂量监测，制定了个人剂量监测的管理要求，并已将辐射工作人员个人剂量监测工作纳入全院辐射监测计划体系，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，并建立相应的个人剂量监测档案。

全院辐射工作人员的个人剂量监测工作目前已委托长润安测科技有限公司承担，监测频度为每 1 个季度检测一次。

(4) 辐射场所监测

医院已更新辐射安全管理制度，包含了放射性实验室和动物一体机的操作规程及本项目辐射场所监测方案。本项目实施后，工作人员利用监测仪器对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 3-6 和表 3-7，监测点位见图 3-3 所示。

表 3-6 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 3-7 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	

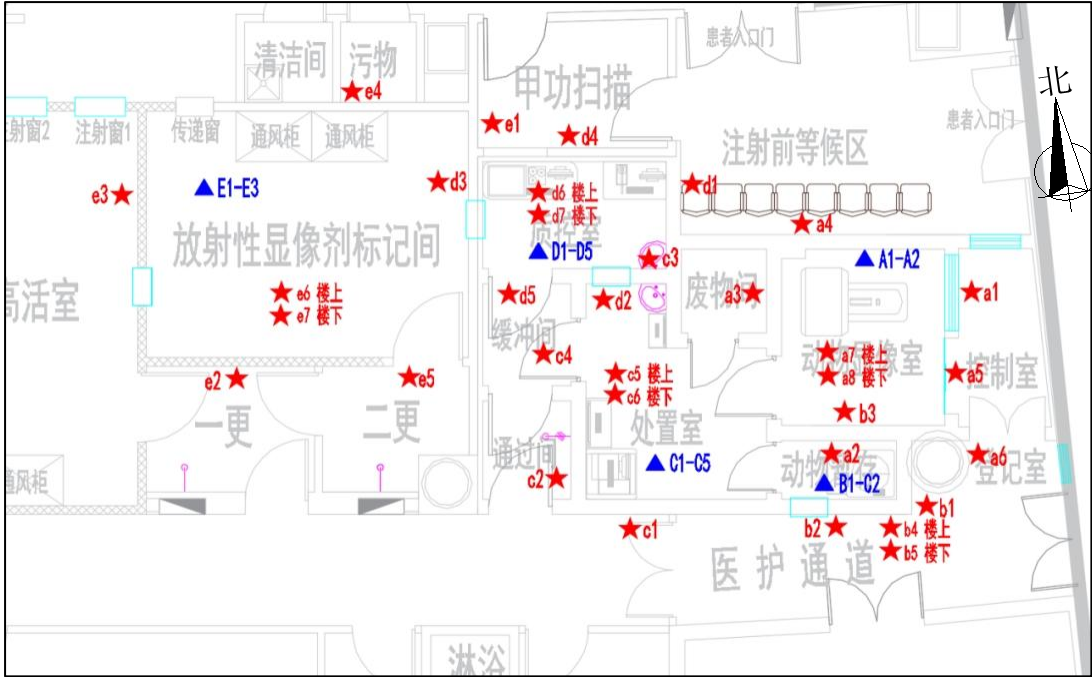


图 3-3 常营院区放射性药物实验室周围自行检测点位图
(标注★为剂量率检测点位，▲为表面污染水平检测点位)

3.4 放射性三废处理设施情况

(1) 放射性废气

经现场查勘：本项目门诊标记间通风橱单独一套排风系统排放（维持不变，依托核医学科原有动力通风系统），通风橱可能产生的废气经通风橱大活性炭过滤器净化后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，进管井前设有活性炭过滤器过滤（处理效率不低于 99%），且管道内均安装止回阀，防

止气体回流。

本项目实际建设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并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。通过排风管道引至核医学科住院二部西北侧管井从楼顶排出，进管井前设有活性炭过滤器过滤（处理效率不低于 99%）。

排风管合并接入前设置止回阀，还单独设置高效过滤器去除异味，同时已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。改造后的排风管道示意附图。

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 81 天后经检测满足解控水平后按照普通医疗废物进行处置。

综上可知，本项目放射性工作区域与其他非放射性工作区域不混用，且排风管道室外排风口高度高于本建筑屋脊，设置活性炭吸附装置，则本项目放射性废气处理措施符合要求，故常营院区放射性药物实验室控制区实际建设的放射性废气排放路径符合环评及批复要求。

（2）放射性废水

经现场查勘：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，与核医学科门诊原有控制区产生的废水经专用管道一并汇合后，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 84m^3 ， $28\text{m}^3/\text{池}\times 3$ 池，平、剖面见附图），衰变池的废水排出前，至少经 81 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。核医学科废水排放路径不变。

常营院区放射性药物实验室控制区实际建设的放射性废水排放路由及暂存

情况符合环评及批复要求。

(3) 放射性固体废物

经现场查勘：本项目涉及的放射性废物主要是动物尸体、动物所用垫料、废弃的药瓶、注射器等，排风过滤器废活性炭依托现有。本项目配备了铅废物桶（质控室、处置室、动物显像室各 1 个，废物间 2 个），废物间内设 1 个铅箱（内设冰柜），用于暂存放射性废物，动物实验所产生的动物所用垫料、废弃的药瓶、注射器等放射性废物放置在铅废物桶内进行暂存衰变（动物尸体放置在设有铅废物盒的冰柜内暂存衰变）。

铅废物桶、铅箱（内设冰柜）外均张贴有电离辐射警示标志，铅废物桶内放置专用（不易破损）塑料袋直接收纳废物，每袋放射性废物的质量均不超过 20kg，装有放射性废物的废物袋密封后，及时转送废物间暂存，本项目产生的与 F-18、Tc-99m 核有关的放射性废物按要求暂存时间超过 30 天后，使用经检定合格的监测仪器对废物逐袋进行表面巡测， β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，（动物尸体送医院动物室按照普通动物尸体处理）。

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。

3.5 工程变动情况说明

经现场核实，本项目常营院区放射性药物实验室验收内容的项目性质、规模、地点、工作方式和辐射防护措施等均与环评审批参数一致，同时动物显像室使用的小动物 PET/SPECT-CT 一体机装置类别、类型、性能参数、工作方式等也均与环评审批参数一致，对照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），本次验收内容不属于重大变动。本次验收项目符合《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等相关规定，未对环境及公众健康产生不利影响。

表 4 环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

4.1 环境影响报告表主要结论与建议

(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 μ 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 μ 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。

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。

4.2 主要审批决定

(1) 该项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院,内容为调整你院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科布局,新建放射性药物实验室,新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机(III类射线装置),开展

F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验（详见附件）。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所（F-18、Tc-99m 年最大操作量保持不变）。项目总投资 800 万元，主要环境问题是辐射安全和防护，在全面落实环境影响报告表和本批复提出各项污染防治措施后，对环境的影响是可以接受的。同意该环境影响报告表的总体结论。

（2）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环境影响报告表预测，你单位核医学科公众照射、职业照射剂量约束值分别执行 0.1mSv/a、5mSv/a。你单位须采取屏蔽防护措施，确保场所控制区人员可达处、各边界外表面 30cm 处的辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。控制区、监督区 β 放射性物质表面污染控制水平分别不大于 40Bq/cm²、4Bq/cm²。

（3）须对辐射工作场所实行分区管理，设置明显的控制区、监督区标识以及放射性标志、中文警示说明，配置门禁、通风橱、隔室操作等防护措施，防止工作人员和公众受到意外照射。

（4）须完善辐射安全管理规章制度，特别是同位素药物实验操作规程、动物实验操作规程、场所监测方案、应急预案等。本项目新增 2 名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核，并进行个人剂量监测。增配 1 台表面污染仪以及防护用品，定期开展场所和周围环境辐射水平监测，规范编写、按时上报年度评估报告。

（5）须建立放射性废物、废水管理台账，分别记录收集、暂存、检测、解控、排放和处置等信息。配备具有防护功能的废物桶，收集放射性固体废物；配备 1 个转运防护盒，用于放射性药物的转运。新建 1 套放射性废水排放管路，并入现有核医学科 1 号放射性废水槽式衰变池，收集暂存放射性废水。以上放射性废物、废水须分别暂存超过 30 天和 80 天，并经监测合格后，方可实施清洁解控。新建 1 套放射性废气排风管路，并入现有核医学科排风系统，设置止回阀，经过滤后从本建筑最高处排放。增大核医学科诊区排风量至 4000m³/h。

（6）须加强场所改造过程管理，同核医学科运行时间错峰施工。改造前须开展场所辐射监测，辐射剂量率小于 0.2 μ Sv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm² 时方可施工。

(7) 项目实施须严格执行配套的放射防护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环境保护“三同时”制度。

(8) 自环境影响报告表批复之日起五年内项目未能开工建设的，本批复自动失效。项目性质、规模、地点或环保措施发生重大变化，应重新报批建设项目环评文件。

(9) 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的有关规定，你单位须据此批复文件、满足相关条件重新办理辐射安全许可证后，相关场所、设施与装置方可投入使用。项目竣工后须按照有关规定及时开展环保验收。

附件：表 1 本项目非密封放射性同位素明细

表 2 本项目射线装置明细

表 3 辐射防护用品明细表

附件

表 1 本项目非密封放射性同位素明细表

场所名称	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	工作制度 (天/年)	年最大用量 (Bq)
放射性药物实验室	F-18	7.4E+8Bq	7.4E+6Bq	≤62	4.59E+10Bq
	F-18	7.4E+8Bq	7.4E+6Bq	≤62	4.59E+10Bq

注：1.实验动物数量不超过 788 只/年。

2.每天最多使用一种核素，生物分布实验与动物显像实验不在同一天进行。

表 2 本项目射线装置明细表

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所
1	小动物 PET/SPECT-CT 一体机	III	1	InliView-3000B	80	0.7	动物显像室

表 3 辐射防护用品明细表

序号	名称	规格	数量 (个)	存放位置
1	手套箱	50mmPb	2	核医学科标记间
2	传递窗	40mmPb	1	核医学科标记间西侧
3	传递窗	40mmPb	1	核医学科标记间东侧
4	传递窗	6mmPb	2	质控室南侧、动物暂存室南侧
5	转运防护盒	25mmPb	1	核医学科标记间
6	笼具暂存铅箱	底面 2mmPb 铅当量，其余 5 面 10mmPb 铅当量	2	小动物暂存室、处置室
7	冰柜	50L	1	门诊废物间

8	铅废物桶	2mmPb, 10L	5	质控室、处置室、动物显像室 各 1 个, 废物间 2 个
9	铅废物桶	2mmPb, 20L	1	废物间的冰柜里
10	铅衣	0.5mmPb	2	动物显像室
11	铅围裙	0.5mmPb	2	动物显像室
12	铅围脖	0.5mmPb	2	动物显像室
13	L 型铅防护屏	3mmPb	1	处置室

表 5 验收监测质量保证及质量控制

深圳市瑞达检测技术有限公司接受委托对本项目相关场所进行了验收监测。本次监测使用方法、仪器及人员均符合深圳市瑞达检测技术有限公司质量管理体系要求：

（1）监测方法严格遵循深圳市瑞达检测技术有限公司制定的《电离辐射工作场所检测作业指导书》。

（2）合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性

（3）监测使用设备均通过检定并在有效期内，满足监测要求。

（4）监测人员已通过放射卫生检测与评价技术培训。

（5）监测单位获得资质认证和放射卫生技术服务机构资质。

表 6 验收监测内容

6.1 监测项目

本项目已委托深圳市瑞达检测技术有限公司于 2025 年 06 月 25 日对本项目相关场所进行了验收监测，并出具了检测报告。本项目验收监测内容主要为放射性药物实验室外毗邻场所周围剂量当量率、表面污染水平及风速。

6.2 监测点位

监测点位包括常营院区放射性药物实验室外毗邻场所、操作位及相其他关辐射场所位置。

6.3 监测仪器

本项目采用的监测仪器及性能指标相关信息见表 6-1 所示。

表 6-1 监测仪器及性能指标

仪器名称	仪器型号	仪器编号	检定证书编号	检定有效期	技术参数
辐射检测仪	AT1121	20170421	DLjl2025-10783	2026.08.18	测量范围：50nSv/h~10Sv/h（10nSv~10Sv）； 能量范围：0.015-10MeV；
表面污染仪	CoMo170	20170407	DLhd2026-00477	2027.02.09	探测器尺寸：170cm ² ； 探测效率：37%（β）、18%（F-18）、3%（Tc-99m）、42%（Y-90）。
风速仪	Testo 405-V1	20210640	LSvm2025-04488	2026.07.31	探测范围：0.1-32m/s

6.4 监测方法

周围剂量当量率检测首先在各点位附近进行巡测，重点对 X-γ 辐射剂量率较高的位置进行测量，一般为距地面 1m 处，包括防护门四周门缝外 30cm 处、观察窗外 30cm 处、墙体外表面 30cm 处，每个监测点位连续测量 3 次，每次测量 10s，取平均值。

表 6-2 监测方法及依据

监测项目	监测方法
周围剂量当量率、 表面污染仪、 风速仪	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） 《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体(E _{βmax} >0.15MeV)和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008） 《排风罩的分类及技术条件》（A.2.1.2）（GB/T 16758-2008）

表 7 验收监测

7.1 验收监测工况

本项目在进行验收监测时主体工程工况稳定，常营院区放射性药物实验室辐射安全与防护设施已建成，设备运行正常，监测时记录的实际工况见表 7-1，表 7-2。

7.2 验收监测结果

7.2.1 验收监测结果

深圳市瑞达检测技术有限公司对本次验收的常营院区放射性药物实验室进行了相关场所的表面污染和周围剂量当量率、手套箱（通风橱）风速进行了辐射监测，并出具了检测报告。

常营院区放射性药物实验室相关场所表面污染和周围剂量当量率监测结果见表 7-1～表 7-2。手套箱（通风橱）风速检测结果见表 7-3。

（1）常营院区放射性药物实验室相关场所周围剂量当量率的检测结果见表 7-1。

表 7-1 常营院区放射性药物实验室相关场所周围剂量当量率检测结果

表 1 标记间检测结果				
场所代码	A			
场所名称	标记间			
检测条件	A1: 铅罐内约有 20×37MBq ¹⁸ F 药物 A2: 约 20×37MBq ¹⁸ F 药物放置于西侧手套箱内台面中央，手孔打开，工作人员分装药物（Tc-99m 影响低于 F-18，保守都按 F-18 检测） A3: 约 20×37MBq ¹⁸ F 药物放置于西侧手套箱内台面中央，手孔打开，工作人员分装药物（Tc-99m 影响低于 F-18，保守都按 F-18 检测） A4、A6-A19: 约 20×37MBq ¹⁸ F 药物放置于西侧手套箱内台面中央，手孔打开 A5: 约 20×37MBq ¹⁸ F 药物放置于转运铅盒内东侧传递窗旁 A20: 约 0.05×37MBq ¹⁸ F 药物放于转运盒内（一只老鼠的质控用量） A21: 约 0.21×37MBq ¹⁸ F 药物放于转运盒内（一只老鼠的显像注射用量）			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）	场所分区
A1	¹⁸ F 药物运输铅罐表面 30cm		1.98	控制区
A2	西侧手套箱	操作位	1.61	控制区
		观察窗 30cm	1.75	
		正表面 30cm	0.27	
		左表面 30cm	0.25	

A3	东侧手套箱	操作位	1.55	控制区
		观察窗 30cm	1.66	
		正表面 30cm	0.27	
		右表面 30cm	0.22	
A4	防护门	上侧	0.14	控制区
		下侧	0.14	
		左侧	0.14	
		右侧	0.14	
		中部	0.14	
A5	防护门	上侧	0.31	控制区
		下侧	0.34	
		左侧	0.30	
		右侧	0.31	
		中部	0.29	
A6	东墙	缓冲间	0.19	监督区
A7	东墙	质控室	0.19	控制区
A8	东墙	甲功扫描室	0.19	控制区
A9	南墙	二更	0.14	监督区
A10	南墙	一更	0.14	监督区
A11	西墙	高活室	0.14	控制区
A12	西墙	高活室	0.14	控制区
A13	北墙	清洁间	0.14	控制区
A14	北墙	污物间	0.14	控制区
A15	楼上	走廊	0.11	/
A16	楼下	停车场	0.11	/
A17	东侧传递窗		0.22	控制区
A18	西侧传递窗		0.23	控制区
A19	北侧传递窗		0.14	控制区
A20	转运铅盒	表面 5cm	2.31	控制区
		表面 30cm	0.87	控制区
A21	转运铅盒	表面 5cm	7.60	控制区
		表面 30cm	3.01	控制区

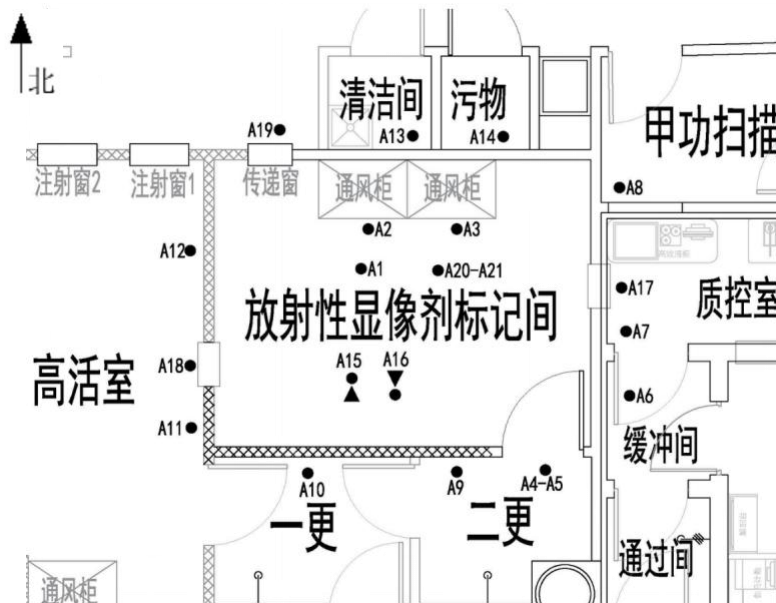


图 1 标记间检测布点示意图

表 2 质控室检测结果

场所代码	B			
场所名称	质控室			
检测条件	B1-B2: 约 0.05×37MBq ¹⁸ F 药物放置于质控设备 1 内 B3-B4: 两个约 0.05×37MBq ¹⁸ F 药物分别放置于质控设备 1、质控设备 2 内 B5-B16: 约 1.0×37MBq 含 ¹⁸ F 药物放置于质控室操作台上			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）	场所分区
B1	质控设备 1 表面 5cm		0.94	控制区
B2	质控设备 1 操作位		0.38	控制区
B3	质控设备 2 表面 5cm		2.08	控制区
B4	质控设备 2 操作位		0.78	控制区
B5	防护门	上侧	0.14	控制区
		下侧	0.14	
		左侧	0.14	
		右侧	0.14	
		中部	0.14	
B6	东墙	注射前等候区	0.12	/
B7	东墙	废物间	0.13	控制区
B8	南墙	处置室	0.13	控制区
B9	西墙	标记间	0.13	控制区
B10	西墙	标记间	0.13	控制区
B11	北墙	甲功扫描间	0.13	控制区
B12	北墙	甲功扫描间	0.12	控制区
B13	楼上	走廊	0.12	/
B14	楼下	停车场	0.12	/



表 3 处置室检测结果

场所代码	C			
场所名称	处置室			
检测条件	约 0.2×37MBq 含 ¹⁸ F 药物放置于 L 型注射铅屏			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区
C1	L 型铅屏操作位		2.69	控制区
C2	西侧门	上侧	0.28	控制区
		下侧	0.29	
		左侧	0.27	
		右侧	0.29	
		中部	0.29	
C3	北侧门	上侧	0.12	控制区
		下侧	0.12	
		左侧	0.12	
		右侧	0.12	
		中部	0.12	
C4	东侧门 (动物显像室)	上侧	0.13	控制区
		下侧	0.12	
		左侧	0.12	
		右侧	0.12	
		中部	0.12	
C5	东侧门	上侧	0.12	控制区

	(动物暂存室)	下侧	0.12	
		左侧	0.12	
		右侧	0.12	
		中部	0.12	
C6	东墙	废物间	0.16	控制区
C7	南墙	医护通道	0.42	监督区
C8	西墙	通过间	0.56	监督区
C9	北墙	质控室	0.16	控制区
C10	楼上	走廊	0.12	/
C11	楼下	停车场	0.11	/
C12	北侧传递窗		0.17	控制区

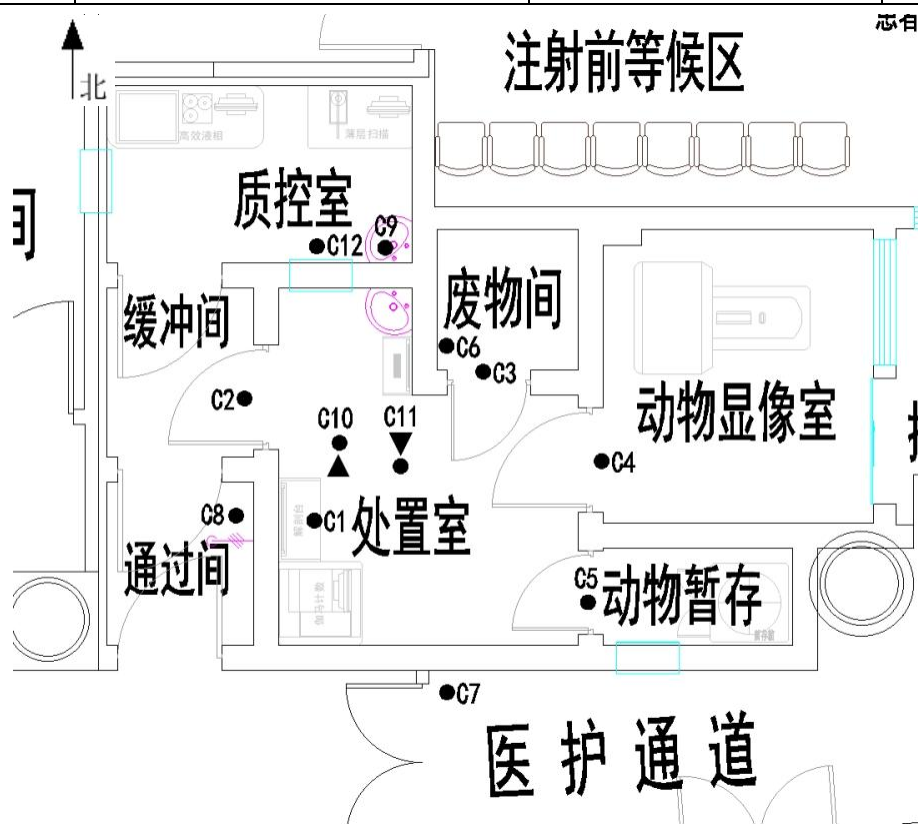


图 3 处置室检测布点示意图

表 4 动物暂存室检测结果

场所代码	D			
场所名称	动物暂存室			
检测条件	约 0.7×37MBq 含 ¹⁸ F 药物放置于笼具暂存铅箱内			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区
D1	笼具暂存铅箱	表面 30cm	4.39	控制区
D2	西侧门	上侧	0.31	控制区
		下侧	0.28	
		左侧	0.29	
		右侧	0.28	

		中部	0.30	
D3	东墙	登记室	0.11	监督区
D4	南墙	医护通道	0.14	监督区
D5	北墙	动物显像室	0.16	控制区
D6	南侧传递窗		0.15	监督区
D7	楼上	走廊	0.12	/
D8	楼下	地下停车位	0.12	/

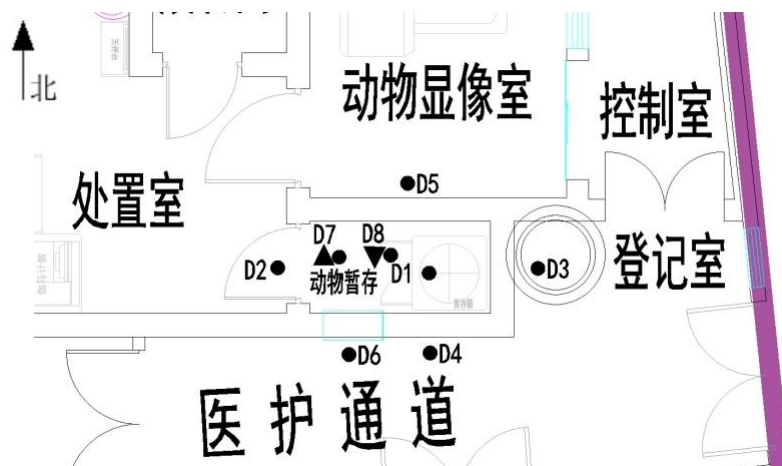


图 4 动物暂存室检测布点示意图

表 5 动物显像室检测结果

场所代码	E			
场所名称	动物显像室			
检测条件	约 0.2×37MBq 含 ¹⁸ F 药物放置于设备上，同时进行 CT 扫描			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区
E1	观察窗		0.81	监督区
E2	操作位		0.63	监督区
E3	东侧门	上侧	0.17	监督区
		下侧	0.16	
		左侧	0.16	
		右侧	0.16	
		中部	0.16	
E4	西侧门	上侧	0.16	控制区
		下侧	0.16	
		左侧	0.16	
		右侧	0.16	
		中部	0.16	
E5	东墙	控制室	0.81	监督区
E6	南墙	动物暂存室	0.77	控制区
E7	西墙	废物间	0.73	控制区
E8	北墙	注射前等候区	0.69	监督区

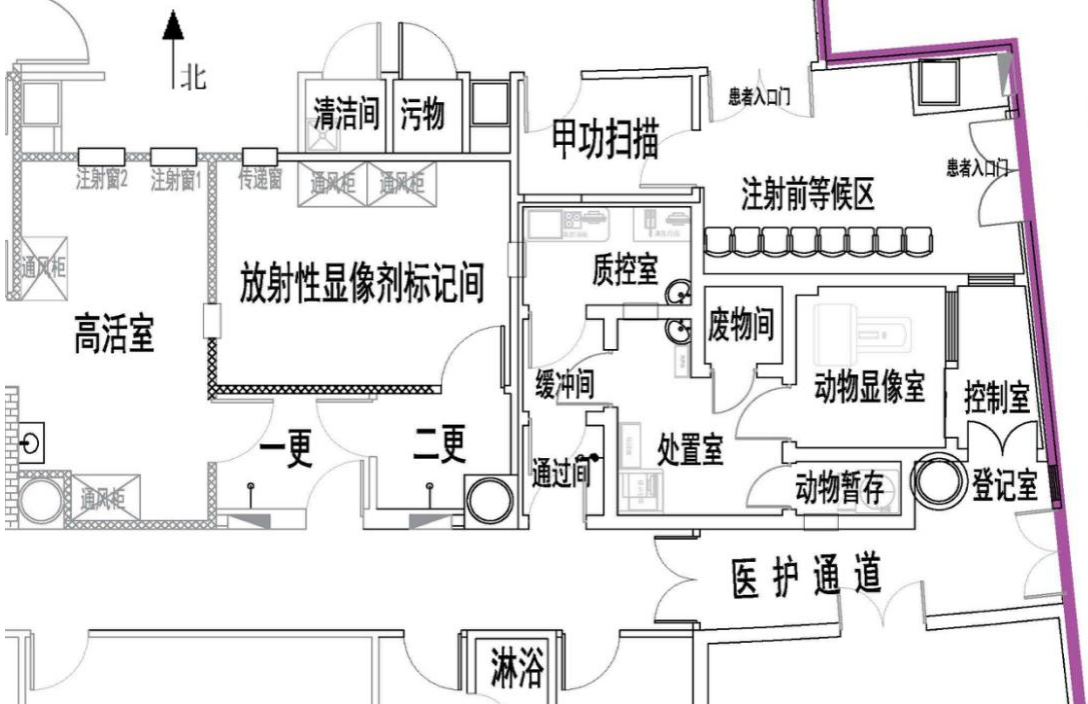
E9	楼上	走廊	0.12	/
E10	楼下	地下停车位	0.12	/

图 6 动物显像室检测布点示意图

表 7 废物间检测结果				
场所代码	G			
场所名称	废物间			
检测条件	约 0.5×37MBq 含 ¹⁸ F 药物放置于铅废物桶内			
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率 (μSv/h)	场所分区
F1	铅废物桶	30cm	0.60	控制区

图 7 废物间检测布点示意图

表 8 衰变池检测结果				
场所代码	G			
场所名称	衰变池			
检测条件	衰变池内有放射性废液			

检测点编号	检测点位置	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	场所分区
G1	衰变池地面上方	0.12	/
G2	衰变池区域东侧边界外	0.11	/
备注：1.检测结果未扣除本底值； 2.除特别说明外，检测点位置距墙体、门、窗外表面 30cm，机房楼上距顶棚地面 30cm，机房楼上距楼下地面 170cm； 3.现场本底范围：0.10~0.11 $\mu\text{Sv/h}$ 、平均值 0.11 $\mu\text{Sv/h}$ 。			
核医学工作场所整体平面布局图： 			

(2) 常营院区放射性药物实验室场所表面污染监测结果见表 7-2。

7-2 营院区放射性药物实验室场所 β 表面污染监测结果

场所代码	场所名称	点位编号	检测点位置描述	检测结果 (Bq/cm^2)	场所分区
A	标记室	A1	地面	<MDL	控制区
		A2	墙面	<MDL	
		A3	南侧门	<MDL	
		A4	东侧手套箱	<MDL	
		A5	西侧手套箱	<MDL	
		A6	实验台面	<MDL	
		A7	椅子	<MDL	
		A8	北侧传递箱	<MDL	
		A9	东侧传递箱	<MDL	
		A10	西侧传递箱	<MDL	
		A11	铅废物桶	<MDL	
		A12	利器盒	<MDL	

		A13	文件盒	<MDL	
B	质控室	B1	地面	<MDL	控制区
		B2	墙面	<MDL	
		B3	南侧门	<MDL	
		B4	西侧传递箱	<MDL	
		B5	南侧传递箱	<MDL	
		B6	东侧质控设备 1	<MDL	
		B7	西侧质控设备 2	<MDL	
		B8	桌子	<MDL	
		B9	洗手池（陶瓷）	<MDL	
C	处置室	C1	地面	<MDL	控制区
		C2	墙面	<MDL	
		C3	东侧门 1（动物显像室）	<MDL	
		C4	东侧门 2（动物暂存室）	<MDL	
		C5	北侧门	<MDL	
		C6	西侧门	<MDL	
		C7	L 型铅屏	<MDL	
		C8	实验仪器	<MDL	
		C9	实验台面	<MDL	
		C10	北侧传递箱	<MDL	
		C11	铅废物桶	<MDL	
		C12	洗手池（陶瓷）	<MDL	
D	动物暂存室	D1	地面	<MDL	控制区
		D2	墙面	<MDL	
		D3	西侧门	<MDL	
		D4	动物暂存笼具	<MDL	
		D5	笼具暂存铅箱	<MDL	
		D6	南侧传递箱	<MDL	
E	动物显像室	E1	地面	<MDL	控制区
		E2	墙面	<MDL	
		E3	东侧门	<MDL	
		E4	西侧门	<MDL	
		E5	观察窗	<MDL	控制区
		E6	PET/SPECT-CT 设备表面	<MDL	
		E7	药品车	<MDL	
		E8	铅废物桶	<MDL	
F	废物间	F1	地面	<MDL	控制区
		F2	墙面	<MDL	
		F3	南侧门	<MDL	

		F4	铅垃圾桶	<MDL	
G	控制室	G1	地面	<MDL	监督区
		G2	墙面	<MDL	
		G3	西侧门	<MDL	
		G4	观察窗	<MDL	
		G5	桌子	<MDL	
		G6	电脑	<MDL	
H	医护通道	H1	地面	<MDL	监督区
		H2	墙面	<MDL	
I	通过间	I1	地面	<MDL	监督区
		I2	墙面	<MDL	
		I3	淋洗装置	<MDL	
		I4	南侧门	<MDL	
		I5	北侧门	<MDL	
J	缓冲间	J1	地面	<MDL	监督区
		J2	墙面	<MDL	
		J3	北侧门	<MDL	
		J4	东侧门	<MDL	
		J5	南侧门	<MDL	
K	二更	H1	地面	<MDL	监督区
		H2	墙面	<MDL	
		H3	北侧门	<MDL	
		H4	西侧门	<MDL	
		H5	洗手池（陶瓷）	<MDL	
		H6	喷淋装置	<MDL	
L	一更	L1	地面	<MDL	监督区
		L2	墙面	<MDL	
		L3	东侧门	<MDL	
		L4	西侧门	<MDL	
		L5	南侧门	<MDL	
		L6	喷淋装置	<MDL	
M	当班药物 分装注射 人员	M1	手套	<MDL	/
		M2	手部	<MDL	
		M3	工作服	<MDL	
		M4	鞋	<MDL	
N	当班设备 操作人员	N1	手部	<MDL	/
		N2	工作服	<MDL	
		N3	鞋	<MDL	
备注：					

- 1、检测结果为各检测位置所测最大值（直接测量法），已扣除表面污染仪现场本底值；
 - 2、检测时表面污染仪灵敏窗与被测表面的距离为 10mm；
 - 3、MDL 指本次检测使用的表面污染仪探测下限，对 β 为 $0.19\text{Bq}/\text{cm}^2$ （99.9%置信水平）；
- 工作场所平面布局图如下：



(3) 常营院区放射性药物实验室场所风速监测结果见表 7-3。

7-3 常营院区放射性药物实验室场所风速监测结果

序号	检测位置		检测条件	检测结果	标准要求	单项结论	备注
1	标记室 西侧 通风橱	左手孔	开启排风装置，左、右操作孔完全开启	0.57	$\geq 0.5\text{ m/s}$	合格	无
2		右手孔	开启排风装置，左、右操作孔完全开启	0.65	$\geq 0.5\text{ m/s}$	合格	无
3	标记室 东侧 通风橱	左手孔	开启排风装置，左、右操作孔完全开启	0.57	$\geq 0.5\text{ m/s}$	合格	无
4		右手孔	开启排风装置，左、右操作孔完全开启	0.54	$\geq 0.5\text{ m/s}$	合格	无

由上述检测结果可知，本项目常营院区放射性药物实验室场所控制区、监督区 β 放射性物质不大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；常营院区放射性药物实验室场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足环评及批复中的剂量率要求。

7.2.2 运行期辐射环境影响分析

7.2.2.1 计算公式

附加年有效剂量计算公式：

$$E = H \times t \times T$$

式中：E—年有效剂量，μSv；

H—计算点附加剂量率，μSv/h；

t—年曝光时间，h/a。

T—人员的居留因子；参考《辐射防护手册 第三分册 辐射安全》（李德平编）P80，居留因子 T 按三种情况取值：（1）全居留因子 T=1，（2）部分居留 T=1/4，（3）偶然居留 T=1/16。

7.2.2.2 工作人员年附加有效剂量

根据环评资料：放射性药物实验室使用 F-18、Tc-99m 开展动物显像实验，主要辐射影响为标记分装、质控、动物显像、处置、解剖等操作环节对工作场所及其周围人员产生辐射影响，实验过程用药量较小，对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微。

（1）工作人员年附加有效剂量

根据环评资料：放射性药物实验室使用 F-18、Tc-99m 开展动物显像实验，主要辐射影响为标记分装、质控、动物显像、处置、解剖等操作环节对工作场所及其周围人员产生辐射影响。

1) 标记间

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。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。

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，本项目运输过程中每次转移按 30s 估算，年转运 124 次，则运转时间约为 1.0h。

2) 质控室

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。

3) 处置室

①注射：给实验动物注射标记好的放射性药物，操作时间 30s~1min/只，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）），辐射工作人员的年注射时间约 13.1h。

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 2~10min（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。

4) 动物显像室

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 30s/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。

②扫描显像：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。

5) 动物暂存室及动物转移

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。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转移时间约 25h。

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×2×2），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（48×12）。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转移时间约 4.8h。

③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) 设备质控时工作人员的年受照剂量

据环评资料：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：

本次小动物一体机一年校准两次，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，每次操作时间为 10min/a（两次保守按年校准时间 1h/a），由 1MBq F-18 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 1.81μSv/h，37MBq 对应 30cm 处剂量率为 66.97μSv/h，即操作位附加剂量率约为 24.11μSv/h（50cm 处），则工作人员附加剂量约为 24.1μSv/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，每次操作时间为 10min/a（两次保守按年校准时间 1h/a），由 1 MBq Tc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 0.26μSv/h，37MBq 对应 30cm 处剂量率为 9.62μSv/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 1.07μSv/h（50cm 处），则工作人员附加剂量为 1.07μSv/a。

基于以上分析，以及根据工作人员年操作时间、工作场所辐射剂量率以及工作人员操作位剂量率估算出工作人员年受照剂量，见表 7-4。

表 7-4 工作人员的年附加有效剂量

序号	估算环节		估算位置及编号	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h)	年有效剂量 (μSv)	备注
1	标记间	药物标记合成、分装	西侧手套箱操作位A2	1.61	165.3	266.1	
2		药物转移	转运铅盒表面 30cm A21	3.01	1.0	3.0	
3	质控室	药物质控	质控设备 2 操作位B4	0.78	62	48.4	
4	处置室	注射	L型铅屏操作位 C1	2.69	13.1	35.2	
5		解剖	L型铅屏操作位 C1	2.69	65.7	176.7	
6	动物显像室	摆位	操作位E2	0.63	9.2	5.8	
7		扫描显像	东墙控制室E5	0.81	293.3	237.6	
8	动物暂存室及动物转移	显像动物转移	笼具暂存铅箱表面 30cm D1	4.39	25	109.8	
9		生物分布实验动物转移	笼具暂存铅箱表面 30cm D1	4.39	4.8	21.1	
10	设备质控*		操作位 50cm处	24.11*	1.0	24.1	F-18
			操作位 50cm处	1.07*	1.0	1.07	Tc-99m

注：①现场本底范围：0.10~0.11 $\mu\text{Sv/h}$ 、平均值 0.11 $\mu\text{Sv/h}$ ，以上计算结果均未扣除本底值。

②*设备质控时剂量率根据环评报告取值。③工作人员实际操作时一般距离为 50cm，本项目取 30cm 处剂量值估算是保守的；

根据以上估算结果可知，常营院区放射性药物实验室辐射工作人员的年受照最大剂量约为 0.27mSv，满足环评及批复中的剂量约束值要求（5mSv/a）。

7.2.2.3 公众年附加有效剂量

根据环评报告，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。

（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。另外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，每次每种核素不超过 12 只），合计注射 788 只，则年注射时间合计不超过 13.1h。

③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。

由表 7-2 检测结果，周围主要位置公众的年附加剂量见表表 7-5。

表 7-5 常营院区放射性药物实验室机房外公众的年附加有效剂量

估算对象		估算位置及编号		附加剂量率 (μGy/h)	居留 因子	年工作时间 (h/a)	年附加有效 剂量 (μSv)
放射性 药物 实验 室	公众	动物显像室	北墙外注射前等 候区 E8	0.69	1/16	302.5	17.8
			楼上走廊 E9	0.12	1/16	302.5	
			楼地下地下停车位 E10	0.12	1/16	302.5	
		动物暂存室	楼上走廊 D7	0.12	1/16	724	17.8
			楼地下地下停车位 D8	0.12	1/16	724	
		处置室	楼上走廊 C10	0.12	1/16	78.9	1.1
			楼下停车位 C11	0.11	1/16	78.9	
		质控室	东墙外注射前等 候区 B6	0.12	1/16	62	1.4
			楼上走廊 B13	0.12	1/16	62	
			楼下停车位 B14	0.12	1/16	62	
放射性显像 剂标记间	楼上走廊 A15	0.11	1/16	165.3	2.3		
	楼地下地下停车位 A16	0.11	1/16	165.3			

备注：①现场本底范围：0.10~0.11 $\mu\text{Sv/h}$ 、平均值 0.11 $\mu\text{Sv/h}$ ，以上计算结果均未扣除本底值；②各场所全居留时间按照环评估算。③注射前候诊区每名患者提前预约，预约机报道，等候时间较少。

由上表可知，常营院区放射性药物实验室公众关注点年剂量最大值约为 17.8 μSv ，各区域辐射剂量率均接近本底水平，且公众受照时间较短，因此，本项目公众的年受照有效剂量小于本项目的剂量评价目标值 100 $\mu\text{Sv/a}$ (0.1mSv/a)。

表 8 验收监测结论

根据深圳市瑞达检测技术有限公司对本项目辐射工作场所验收监测结果，以及对本项目各项安全防护设施的如实查验，认为：

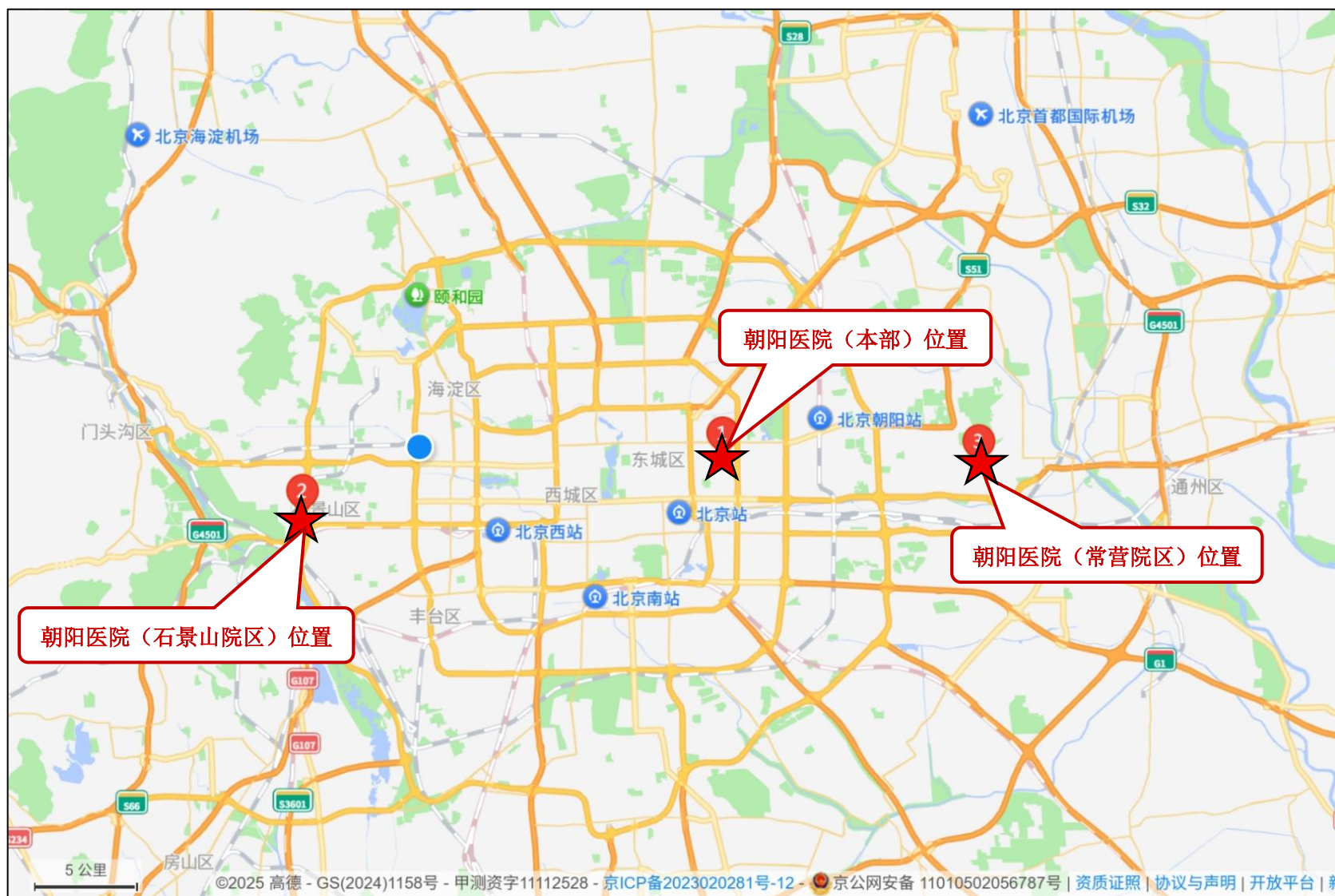
（1）该建设项目的建设性质、建设地点、规模、工艺以及辐射安全与防护措施均未发生重大变动。

（2）本项目已按环境影响报告表及其批复要求落实各项辐射安全与防护设施/措施，并有效运行。

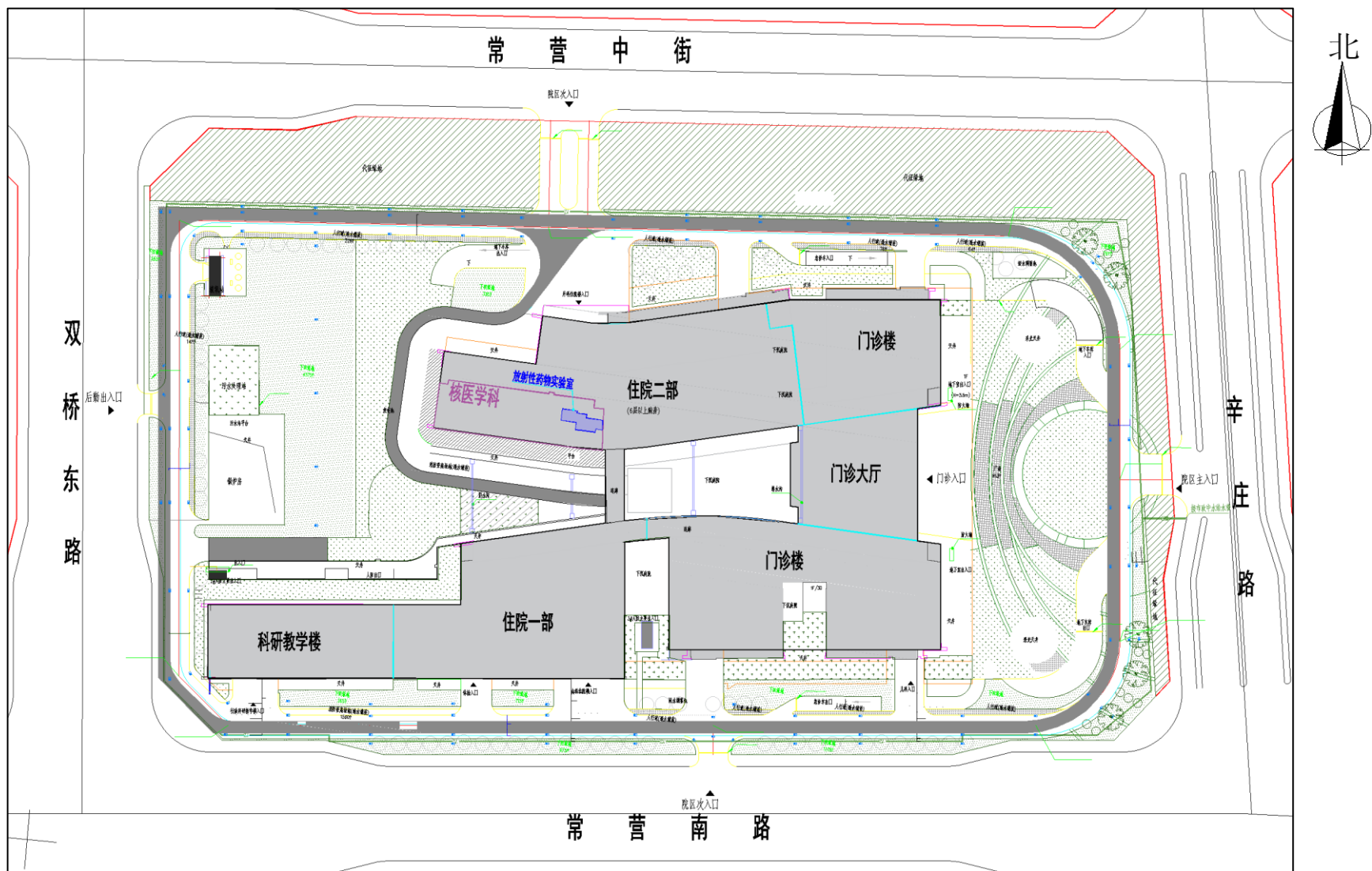
（3）根据验收检测结果可知，本项目常营院区放射性药物实验室场所控制区、监督区 β 放射性物质不大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；常营院区放射性药物实验室场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，均满足环评及批复中的剂量率要求。本项目监测结果满足环境影响报告表及批复要求，场所辐射防护设施效果达到标准要求。

（4）根据验收检测结果，按照该项目工作时间，估算出常营院区放射性药物实验室辐射工作人员和公众年受照总剂量分别不大于 0.27mSv 和 $17.8\mu\text{Sv}$ （未扣除本底），满足环评及批复的年剂量约束值 $5\text{mSv}/\text{a}$ 和 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ （ $100\mu\text{Sv}/\text{a}$ ）要求。项目正常运行期间，职业人员和公众所接受的最大年附加有效剂量可以满足剂量约束值的要求。

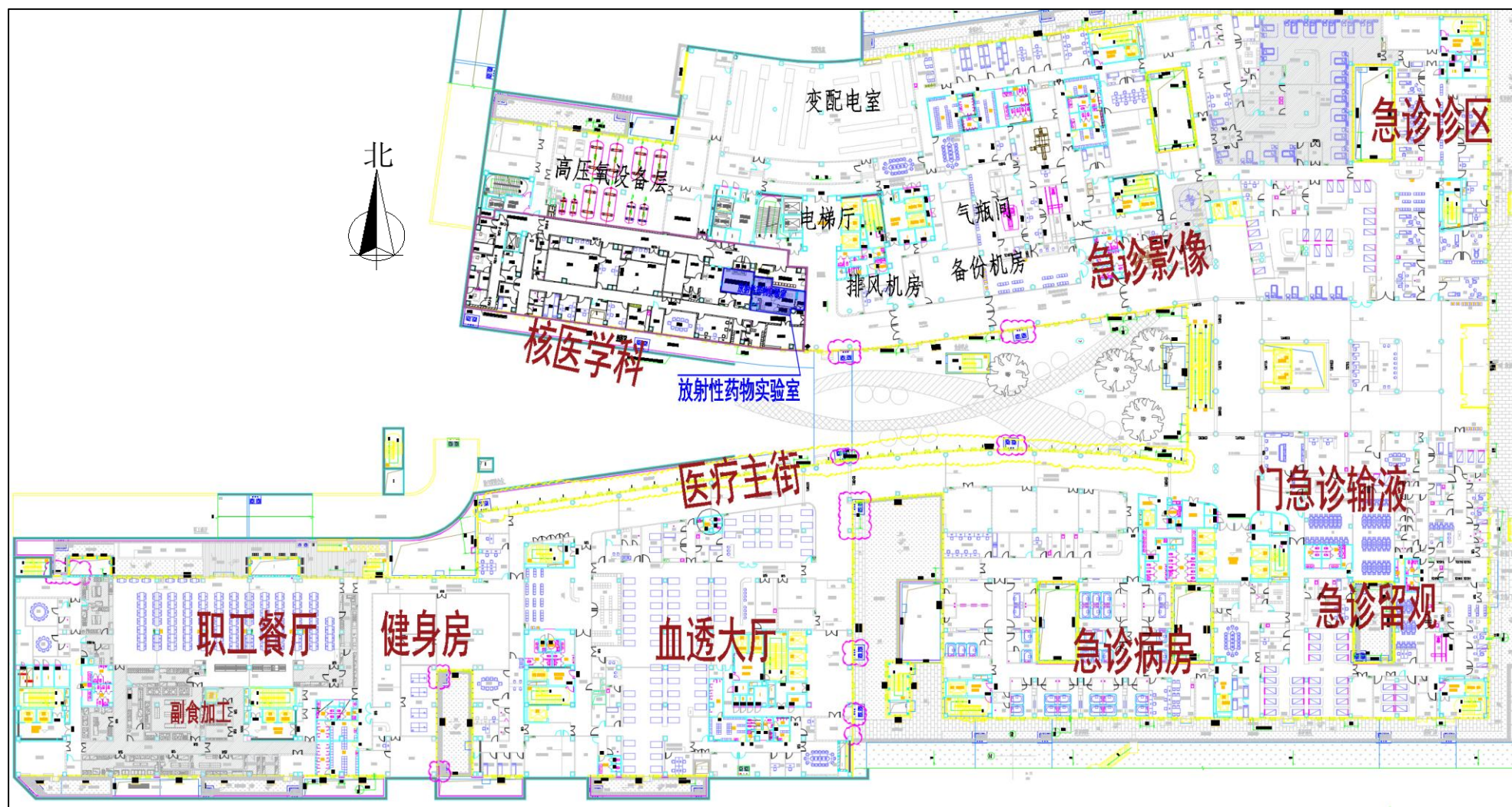
（5）本项目已按照环境影响报告表及其批复要求更新并修订了《放射防护与辐射安全管理制度》，其中包含放射性同位素与射线装置质量控制与安全防护管理办法，辐射安全防护措施管理规定，射线装置检修维护管理规定，设备台账管理制度，从业人员辐射安全培训制度，辐射工作场所监测制度，个人剂量和健康管理制度，辐射事故（件）应急制度，放射性废物（废气、废水、固废）暂存、处置方案及衰变池管理制度，操作规程，常营院区核医学科病房管理制度，常营院区核医学科病人管理制度，常营院区核医学科病人异常事件及应急措施等，该制度明确辐射安全管理小组相应的职责。并且医院针对本项目已重新申领了辐射安全许可证。



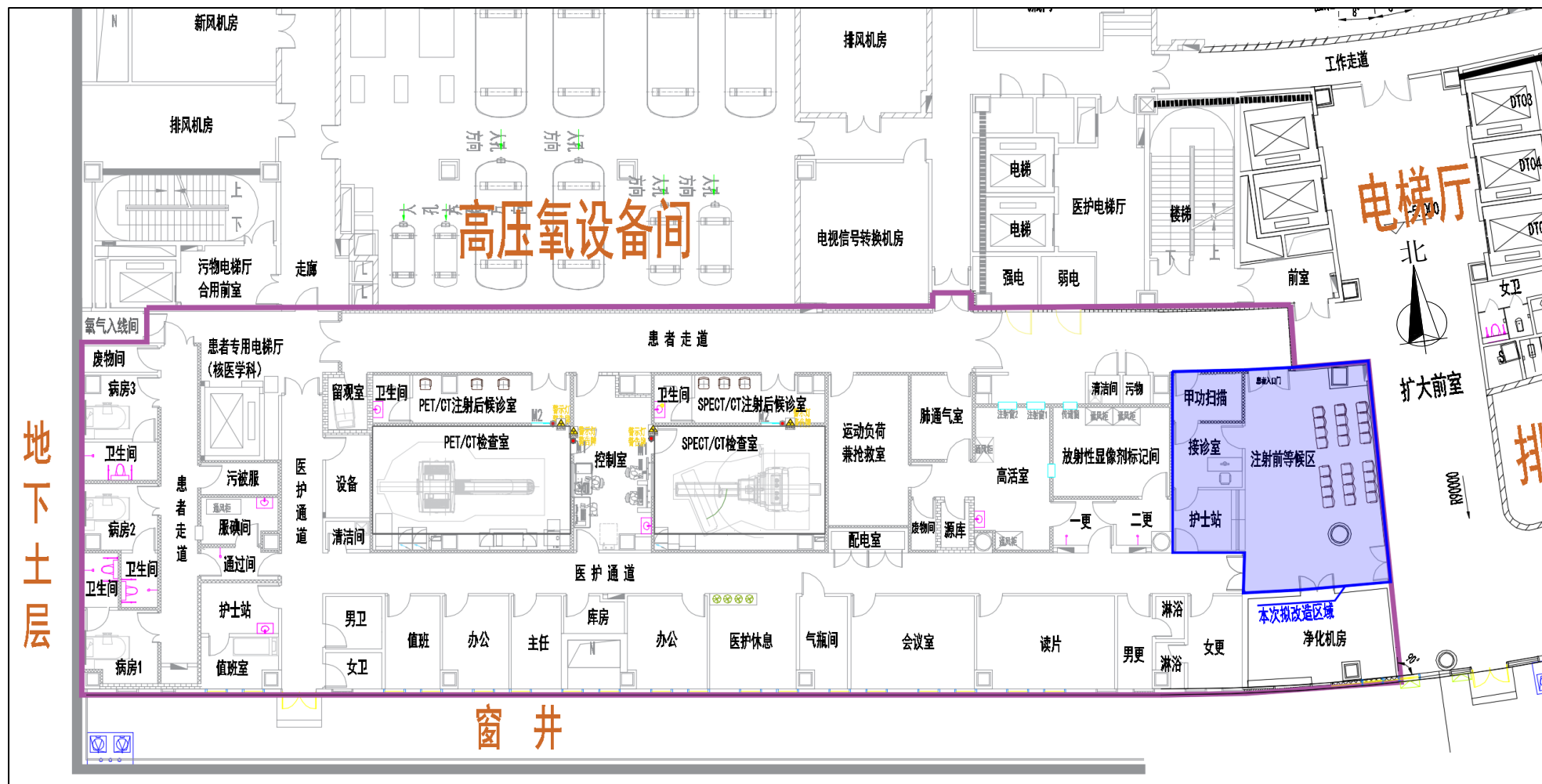
附图 1 医院地理位置示意图



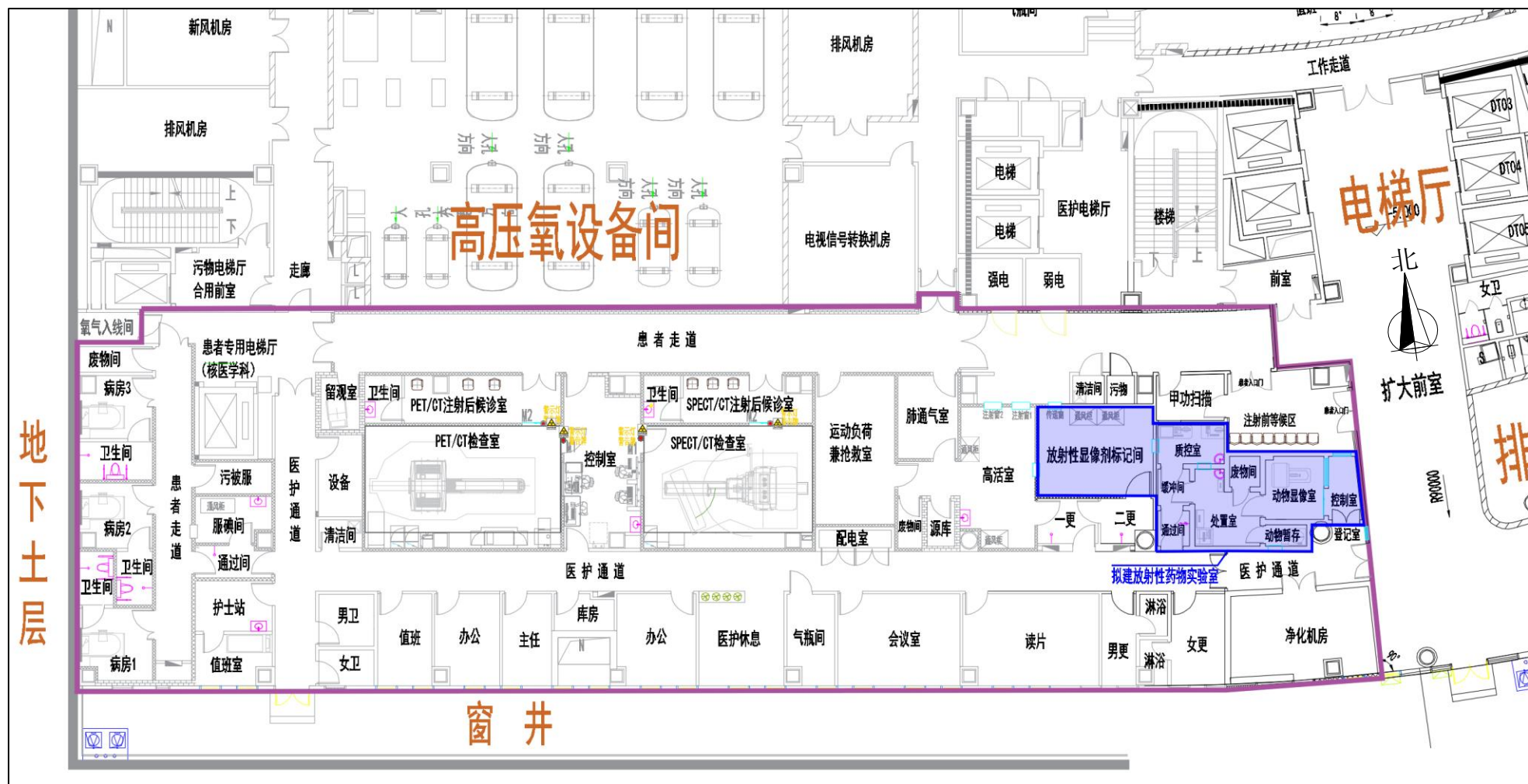
附图2 北京朝阳医院（常营院区）总平面布局图



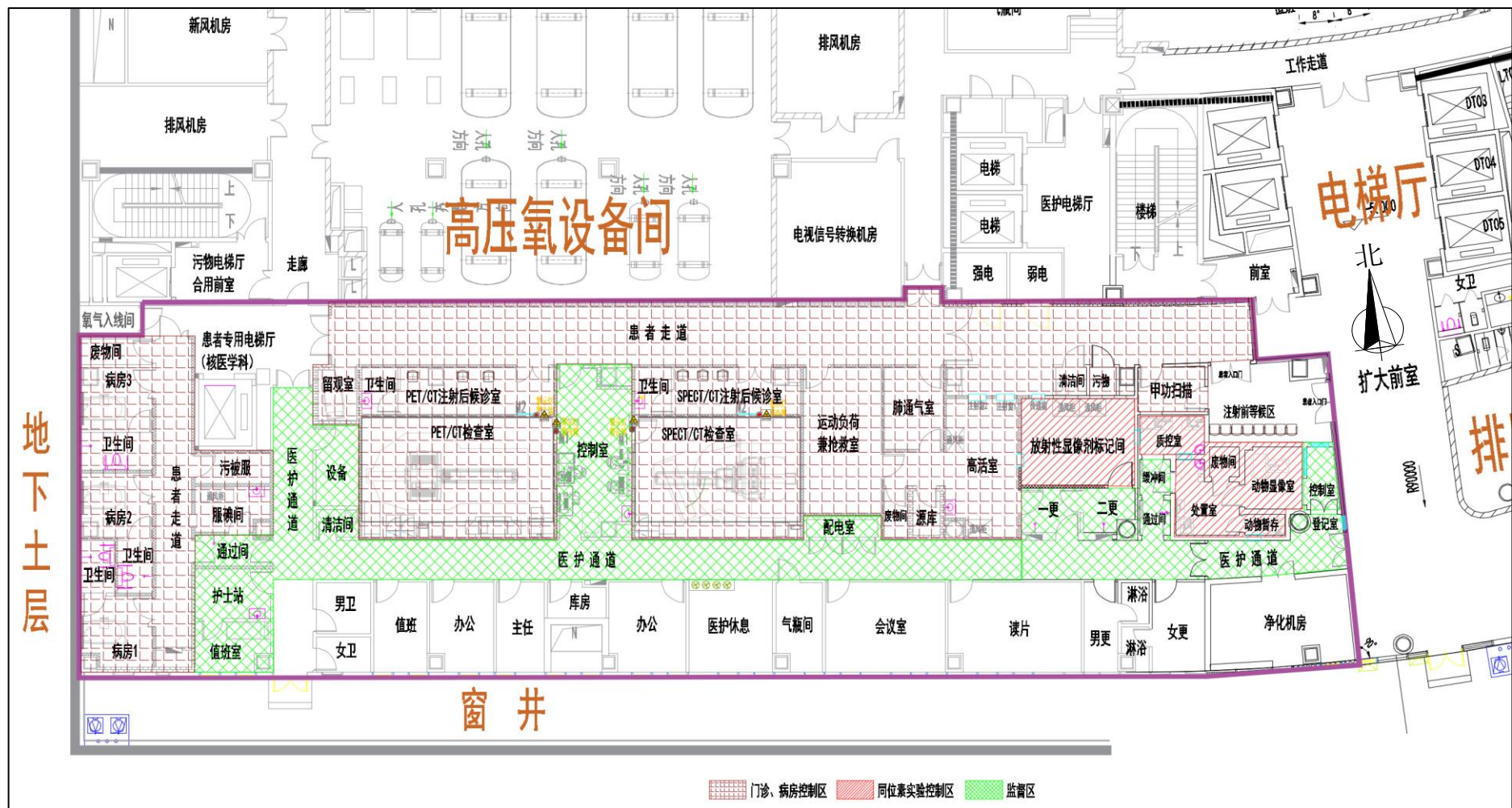
附图 3 常营院区住院二部 B1 层核医学科及放射性药物实验室周边关系图



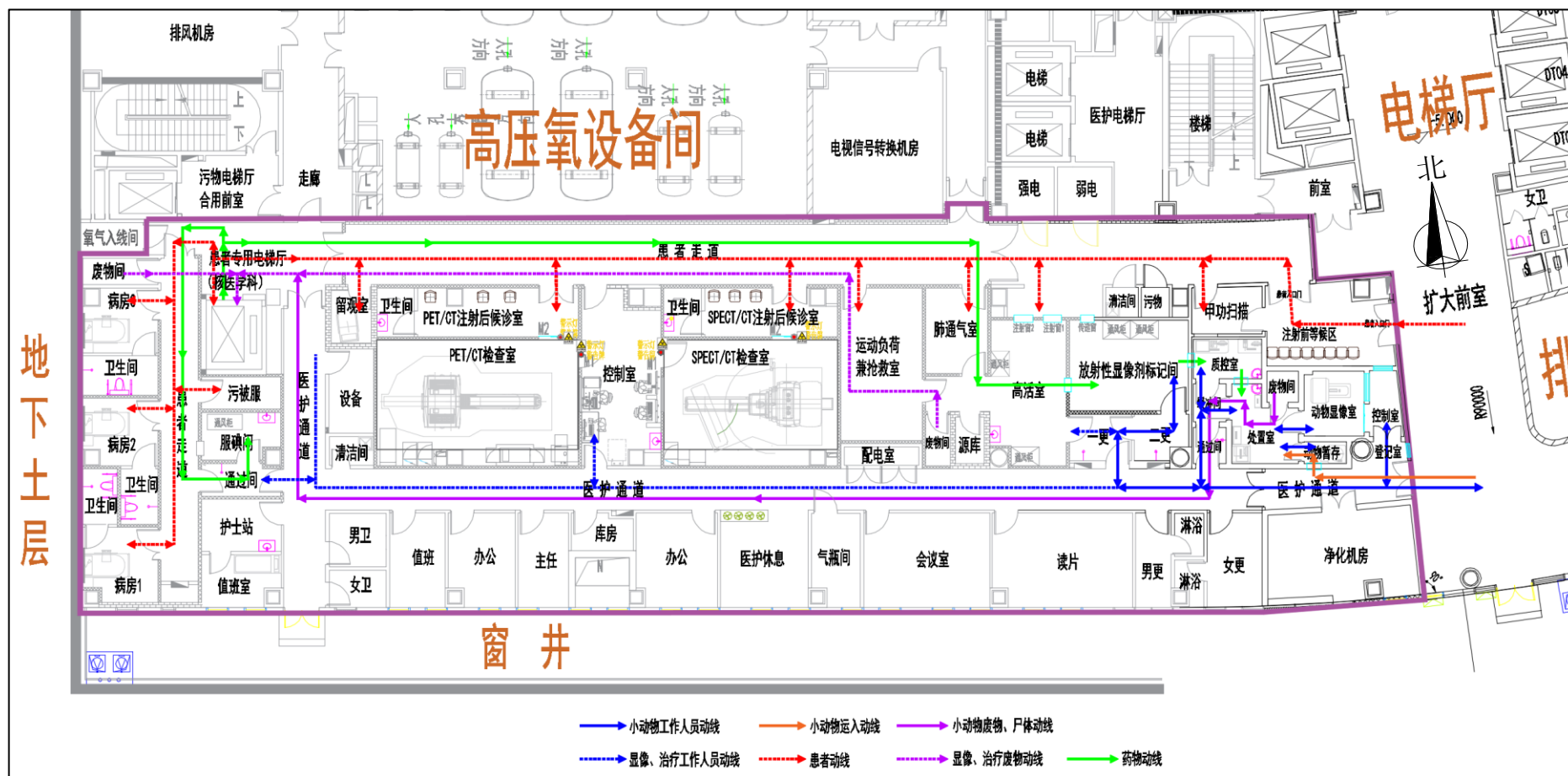
附图4 常营院区住院二部B1层核医学科毗邻关系示意图（改造前）



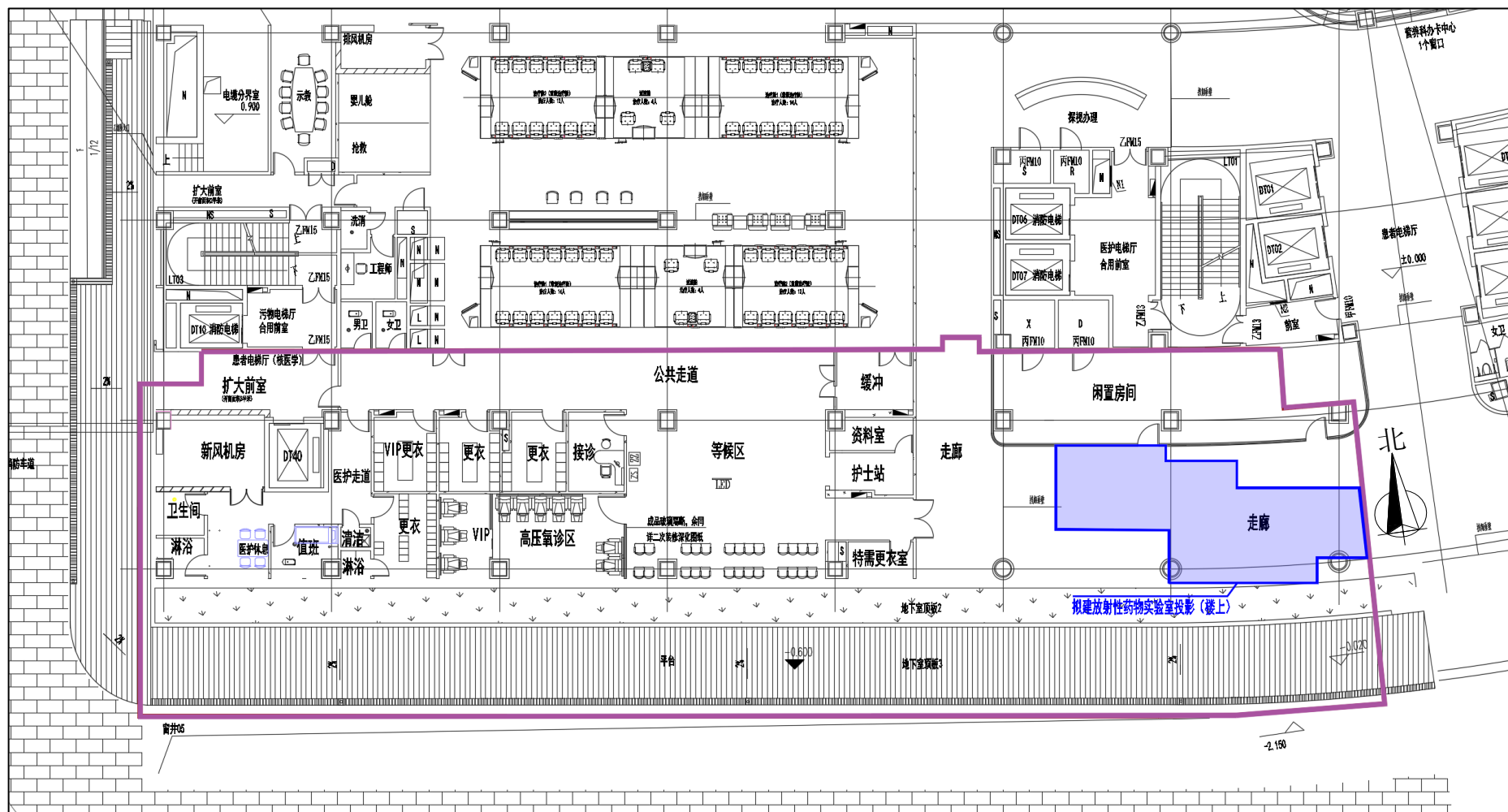
附图 5 核医学科及放射性药物实验室毗邻关系示意图（改造后）



附图 6 常营院区核医学科及放射性药物实验室平面布局及辐射分区图（改造后）



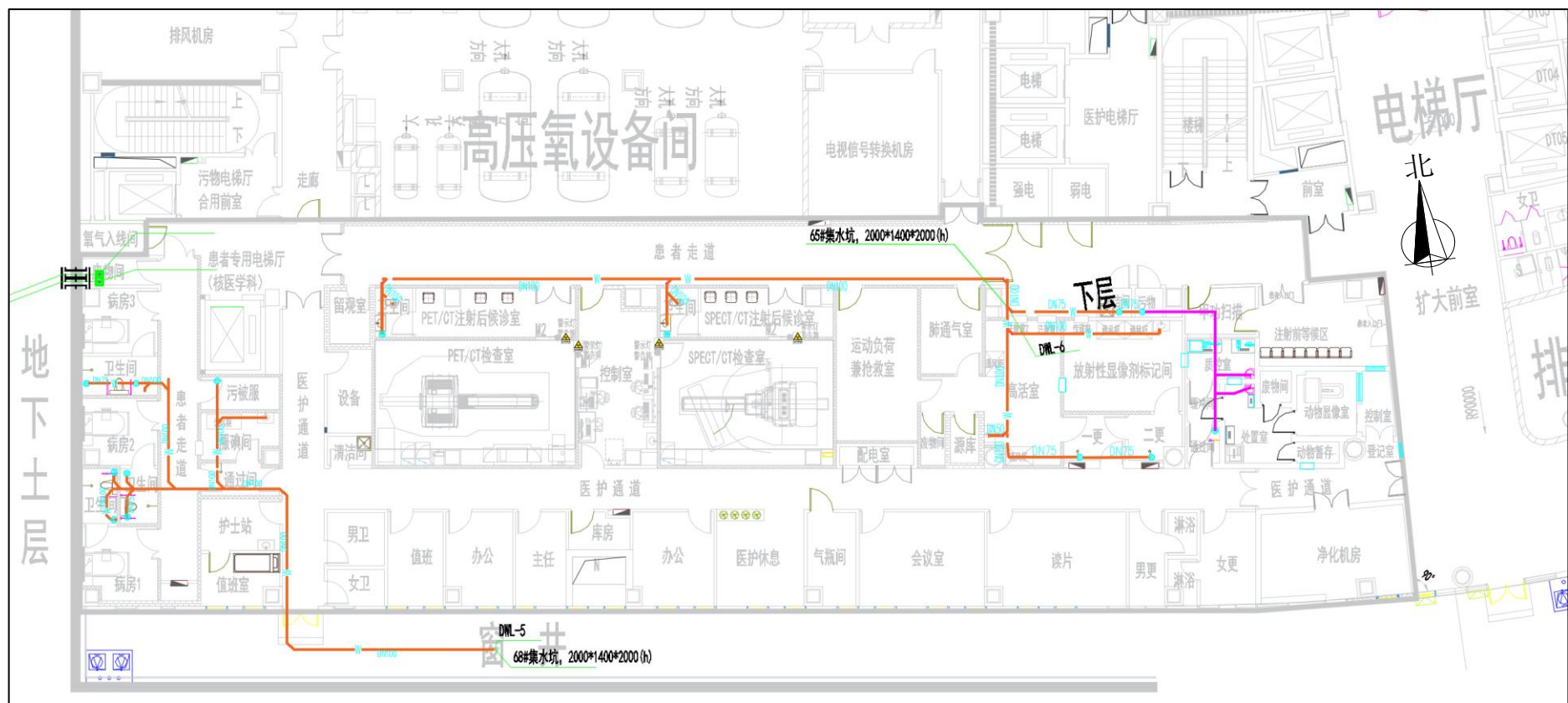
附图 7 常营院区核医学科及放射性药物实验室的人流、物流示意图（改造后）



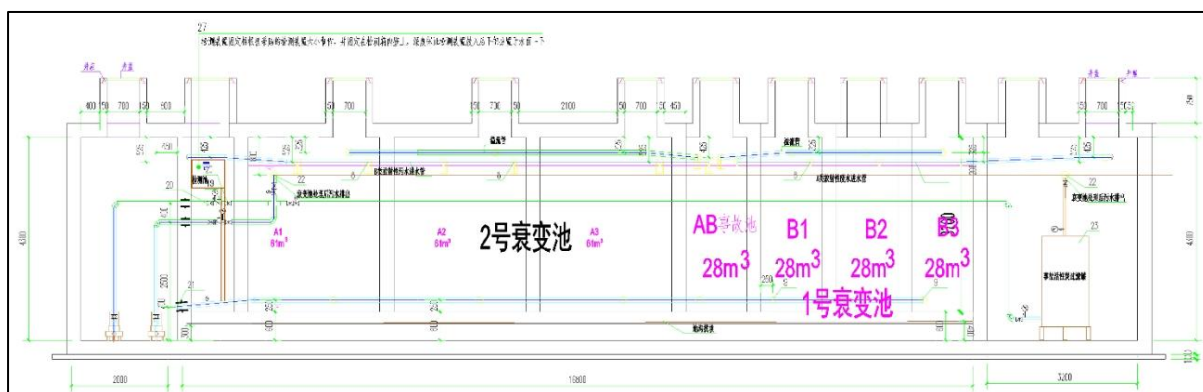
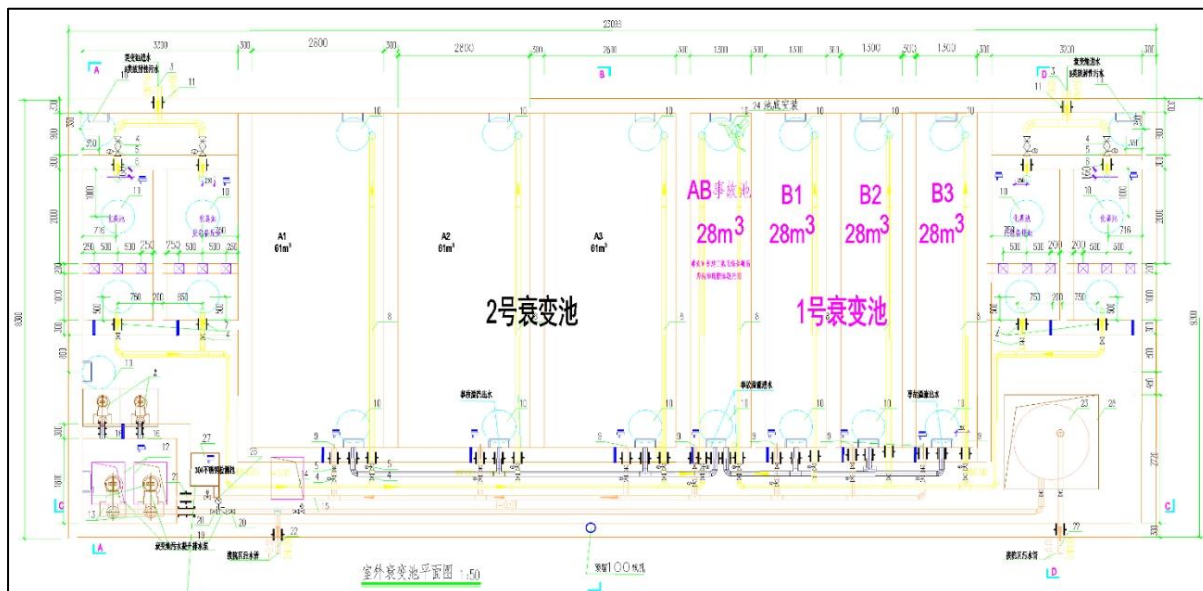
附图 8 常营院区核医学科地上一层毗邻关系示意图（放射性药物实验室上方）



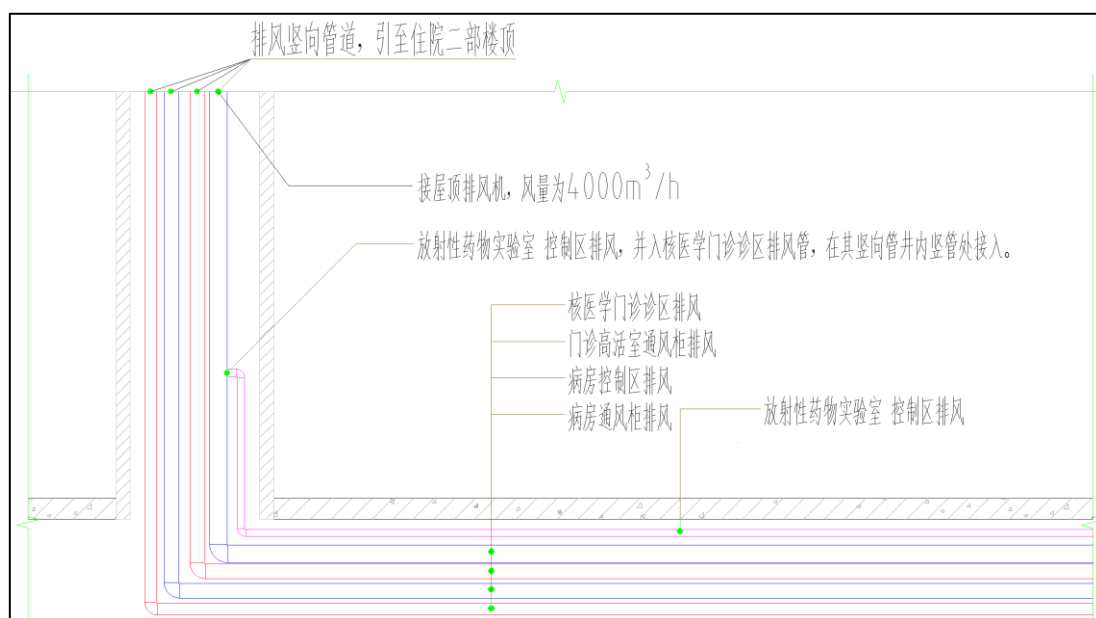
附图9 常营院区核医学科地下二层毗邻关系示意图（放射性药物实验室下方）



附图 10 核医学科及放射性药物实验室控制区的排水图（改造后）



附图 11 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）



附图 13 放射性药物实验室控制区排风并入核医学门诊诊区排风竖向管道剖面示意图

北京市生态环境局

京环审〔2025〕84号

北京市生态环境局关于常营院区 核医学科增加放射性药物实验室项目 环境影响报告表的批复

首都医科大学附属北京朝阳医院：

你单位报送的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（项目编号：京辐 0150202500076）及相关材料收悉。经审查，批复如下：

一、该项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院，内容为调整你院常营院区医疗综合楼住院二部地下一层核医学科布局，新建放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（Ⅲ类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验（详见附件）。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所（F-18、Tc-99m 年最大操作量保持不变）。项目总投资 800 万元，主要环境问题是辐射安全和防护，在全面落

— 1 —

实环境影响报告表和本批复提出各项污染防治措施后，对环境的影响是可以接受的。同意该环境影响报告表的总体结论。

二、项目建设及运行中应重点做好以下工作：

1. 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环境影响报告表预测，你单位核医学科公众照射、职业照射剂量约束值分别执行 0.1mSv/a、5mSv/a。你单位须采取屏蔽防护措施，确保场所控制区人员可达处、各边界外表面 30 cm 处的辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。控制区、监督区 β 放射性物质表面污染控制水平分别不大于 40Bq/cm^2 、 4Bq/cm^2 。

2. 你单位须对辐射工作场所实行分区管理，设置明显的控制区、监督区标识以及放射性标志、中文警示说明，配置门禁、通风橱、隔室操作等防护措施，防止工作人员和公众受到意外照射。

3. 你单位须完善辐射安全管理规章制度，特别是同位素药物实验操作规程、动物实验操作规程、场所监测方案、应急预案等。本项目新增 2 名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核，并进行个人剂量监测。增配 1 台表面污染仪以及防护用品，定期开展场所和周围环境辐射水平监测，规范编写、按时上报年度评估报告。

4. 你单位须建立放射性废物、废水管理台账，分别记录收集、暂存、检测、解控、排放和处置等信息。配备具有防护功能的废物桶，收集放射性固体废物；配备 1 个转运防护盒，用于放射性药物的转运。新建 1 套放射性废水排放管路，并入现有核医学科 1 号放射性废水槽式衰变池，收集暂存放射性废水。以上放射性废物、废水须分别暂存超过 30 天和 80 天，并经监测合格后，方可实施清洁解控。新建 1 套放射性废气排风管路，并入现有核医学科排风系

统，设置止回阀，经过滤后从本建筑最高处排放。增大核医学科诊区排风量至4000m³/h。

5. 你单位须加强场所改造过程管理，同核医学科运行时间错峰施工。改造前须开展场所辐射监测，辐射剂量率小于 0.2 μSv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm² 时方可施工。

三、项目建设须严格执行配套的放射防护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环境保护“三同时”制度。

四、自环境影响报告表批复之日起五年内项目未能开工建设的，本批复自动失效。项目性质、规模、地点或环保措施发生重大变化，应重新报批建设项目环评文件。

五、根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的有关规定，你单位须据此批复文件、满足相关条件重新办理辐射安全许可证后，相关场所、设施与装置方可投入使用。项目竣工后须按照有关规定及时开展环保验收。

附件：表 1 本项目非密封放射性同位素明细

表 2 本项目射线装置明细

表 3 辐射防护用品明细表



(此件公开发布)

附件

表 1 本项目非密封放射性同位素明细表

使用场所	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	工作制度 (天/年)	年最大操作量 (Bq)
放射性药物实验室	F-18	7.4E+8Bq	7.4E+6Bq	≤62	4.59E+10Bq
	Tc-99m	7.4E+8Bq	7.4E+6Bq	≤62	4.59E+10Bq

注：1. 实验动物数量不超过 788 只/年。

2. 每天最多使用一种核素，生物分布实验与动物显像实验不在同一天进行。

表 2 本项目射线装置明细表

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所
1	小动物 PET/SPECT-CT 一体机	III	1	InliView-3000B	80	0.7	动物显像室

表 3 辐射防护用品明细表

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

抄送：朝阳区生态环境局，北京辐环科技有限公司。

北京市生态环境局办公室

2025 年 8 月 27 日印发

— 6 —

附件 1、附件 3~附件 6： 略

常营院区核医学科增加放射性药物实验室项目

竣工环境保护设施验收意见

2026 年 07 月 23 日，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”）根据《常营院区核医学科增加放射性药物实验室项目竣工环境保护验收监测报告表》并对照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，严格依照国家有关法律法规、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）、本项目环境影响报告表和审批部门审批决定等要求对本项目进行验收，提出意见如下：

一、工程建设基本情况

（一）建设地点、规模、主要建设内容

本项目位于朝阳区东十里堡路 3 号院，调整常营院区医疗综合楼住院二部地下一层西北角核医学科布局，新建放射性药物实验室，新增使用 1 台 InliView-3000B 型小动物 PET/SPECT-CT 一体机（III类射线装置），开展 F-18、Tc-99m 核素放射性药物小动物实验。改造后核医学科仍为乙级非密封工作场所（F-18、Tc-99m 年最大操作量保持不变）。

（二）建设过程及环保审批情况

医院委托北京辐环科技有限公司编制了《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》（项目编号：京辐 0150202500076），并于 2025 年 08 月 27 日取得了北京市生态环境局的环评批复文件（京环审[2025]84 号）。本次常营院区放射性药物实验室已于 2026 年 06 月 15 日已经重新申领了辐射安全许可证，并取得了《辐射安全许可证》（京环辐证[E0149]）。

本项目正常运行，从取得辐射安全许可证至调试过程中无环境投诉、违法或处罚记录等情况。

（三）投资情况

本项目实际总投资 800 万元，其中环境保护投资 150 万元，占项目实际总投资 18.75%。

二、辐射安全与防护设施建设情况

(一) 辐射安全与防护设施建设情况

(1) 医院常营院区放射性药物实验室各辐射工作场所实际建设屏蔽方案均与环评方案一致，实际建设屏蔽方案均满足环评及批复要求。

(2) 常营院区放射性药物实验室已按环评及批复要求对辐射工作场所采取了分区管理，辐射工作场所已实行控制区和监督区分区管理。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。本项目在防护门上张贴了醒目的控制区、监督区标志。

(3) 本项目进出控制区的防护门均设置了门禁，主要包括卫生通过间入口门（外侧刷卡，内侧手控）、进入控制室门位置处（外侧刷卡，内侧手控），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，工作状态指示灯的控制开关与 2 个机房门同时连接，当 2 个机房门同时关闭时，工作状态指示灯亮，当 2 个机房门中任意 1 个机房门打开时，工作状态指示灯灭。

(4) 标记间配备了通风橱及传递窗，质控室、动物暂存室配备了传递窗，防护厚度均不低于环评及批复要求。通风橱台面和注射操作台面为光滑易清洗易去污材料，操作处设置承接盘、衬垫等，注射后的用品置于专用收集罐。所有放射性药物的标记、分装等操作均在 50mmPb 铅当量的通风橱内进行。

(二) 辐射安全与防护措施和其他管理要求落实情况

(1) 本项目常营院区放射性药物实验室已新增 2 名辐射工作人员，均已通过辐射安全与防护考核，且在有效期内，并已安排个人剂量计监测，能满足动物显像实验的使用需求，实际建设情况与环评及批复要求一致。

(2) 本项目落实了放射性药物实验室监测方案(含上、下楼)，已新增 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，用于科室定期自行监测，同时委托有辐射水平监测资质单位定期开展场所辐射水平监测。

(3) 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，与核医学科门诊原有控制区产生的废水经专用管道一并汇合后，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 84m^3 ， $28\text{m}^3/\text{池} \times 3$ 池，平、剖面见附图），衰变池的废水排出前，至少经 81 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。核医学科废水排放路径不变。

（4）本项目门诊标记间通风橱单独一套排风系统排放（维持不变，依托核医学科原有动力通风系统），通风橱可能产生的废气经通风橱大活性炭过滤器净化后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，进管井前设有活性炭过滤器过滤（处理效率不低于 99%），且管道内均安装止回阀，防止气体回流。

本项目实际建设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并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。通过排风管道引至核医学科住院二部西北侧管井从楼顶排出，进管井前设有活性炭过滤器过滤（处理效率不低于 99%）。

排风管合并接入前设置止回阀，还单独设置高效过滤器去除异味，同时已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。

（5）本项目涉及的放射性废物主要是动物尸体、动物所用垫料、废弃的药瓶、注射器等，排风过滤器废活性炭依托现有。本项目配备了铅废物桶（质控室、处置室、动物显像室各 1 个，废物间 2 个），废物间内设 1 个铅箱（内设冰柜），用于暂存放射性废物，动物实验所产生的动物所用垫料、废弃的药瓶、注射器等放射性废物放置在铅废物桶内进行暂存衰变（动物尸体放置在设有铅废物盒的冰柜内暂存衰变）。

铅废物桶、铅箱（内设冰柜）外均张贴有电离辐射警示标志，铅废物桶内放置专用（不易破损）塑料袋直接收纳废物，每袋放射性废物的质量均不超过 20kg，装有放射性废物的废物袋密封后，及时转送废物间暂存，本项目产生的与 F-18、Tc-99m 核有关的放射性废物按要求暂存时间超过 30 天后，使用经检定合格的监测仪器对废物逐袋进行表面巡测， β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，（动物尸体送医院动物室按照普通动物尸体处理）。

(6) 本项目为辐射工人员配备了铅衣、铅围裙、铅围脖等防护用品，同时实验室配备了 L 型铅防护屏、笼具暂存铅箱等防护设施，均符合环评及批复要求。

(7) 医院已更新并修订了《放射防护与辐射安全管理制度》，其中包含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管理制度，常营院区核医学科病人异常事件及应急措施等，该制度明确辐射安全管理小组相应的职责。

综上所述，本项目各项辐射安全防护设施，如屏蔽机房、警示标识、工作状态指示灯、辐射监测仪器等均已落实，符合环评及批复要求。

三、工程变动情况

经现场核实，本项目常营院区放射性药物实验室验收内容的项目性质、规模、地点、工作方式和辐射防护措施等均与环评审批参数一致，同时动物显像室使用的小动物 PET/SPECT-CT 一体机装置类别、类型、性能参数、工作方式等也均与环评审批参数一致，对照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），本次验收内容不属于重大变动。本次验收项目符合《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等相关规定，未对环境及公众健康产生不利影响。

四、工程建设对环境的影响

验收监测结果表明：

（一）根据验收检测结果可知，本项目常营院区放射性药物实验室场所控制区、监督区 β 放射性物质不大于 40Bq/cm^2 、 4Bq/cm^2 ；常营院区放射性药物实验室场所控制区边界外、楼上和楼下的辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，均满足环评及批复中的剂量率要求。本项目监测结果满足环境影响报告表及批复要求，场所辐射防护设施效果达到标准要求。

（二）根据验收检测结果，按照该项目工作时间，估算出常营院区放射性药物实验室辐射工作人员和公众年受照总剂量分别不大于 0.27mSv 和 $17.8\mu\text{Sv}$ （未

扣除本底)，满足环评及批复的年剂量约束值 5mSv/a 和 0.1mSv/a ($100\mu\text{Sv/a}$) 要求。项目正常运行期间，职业人员和公众所接受的最大年附加有效剂量可以满足剂量约束值的要求。

五、验收结论

首都医科大学附属北京朝阳医院认真履行了本项目的环境保护审批和许可手续，落实了环评文件及其批复的要求，严格执行了环境保护“三同时”制度，相关的验收文档资料齐全，辐射安全与防护设施及措施运行有效，对环境的影响符合相关标准要求。

综上所述，验收组一致同意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（京环审[2025]84 号）通过竣工环境保护设施验收。

六、后续要求

无。

七、验收人员信息

参加验收的单位及人员名单见附表。

2026 年 07 月 23 日。

附表

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”验收组名单



验收组	姓名	身份证号码	工作单位	职务/职称	联系方式	签名
验收负责人	纪智礼	1	北京朝阳医院	书记	8	1
成员	彭建亮		国家卫健委职业安全卫生研究中心	正高	1	
	马永忠		北京市疾控中心	主任医师		
	李石银	8	北京辐环科技有限公司	高工	1	5
	王婷		北京朝阳医院	医务处处长		8
	梁雷	1	北京朝阳医院	基建处处长	1	
	杨敏福	2	北京朝阳医院	核医学科主任		9
	李雅	1	北京朝阳医院	主管技师	1	
	张欣		北京朝阳医院	副研究员		
	魏广超	7	北京朝阳医院	初级师		8
	邹郁松	1	北京朝阳医院	研究员		3
	周海伟	1	深圳市瑞达检测技术有限公司	高工		2
	刘英英		北京辐环科技有限公司	工程师		9

其他需要说明的事项

一、辐射安全许可证持证情况

医院针对本项目于 2026 年 06 月 15 日已重新申领了辐射安全许可证，并取得了《辐射安全许可证》（京环辐证[E0149]）。本项目正常运行，从取得辐射安全许可证至调试过程中无环境投诉、违法或处罚记录等情况。

二、辐射安全与环境保护管理机构运行情况

医院成立了辐射安全管理小组，其中设置组长 1 名、副组长 3 名，辐射安全与防护专职管理人员 1 名，目前运行正常。

三、防护用品和监测仪器配备情况

本项目利用现有的便携式辐射巡测仪、新增的表面污染仪开展自行监测；且为全院辐射工作人员配备相应防护用品、个人剂量计等，同时开展个人剂量监测。

四、人员配备及辐射安全与防护培训考核情况

本次常营院区放射性药物实验室配备辐射工作人员 2 名到岗工作，均取得相关考核证，且尚在有效期内，同时已为辐射工作人员配备个人剂量计，满足使用要求。全院现有辐射工作人员、辐射防护负责人及专职管理人员都分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核，且在有效期内。

五、放射源及射线装置台账管理情况

本项目不涉及放射源。医院已制定本项目涉及的非密封放射性同位素及射线装置台账管理制度。医院非密封放射性同位素及射线装置台账由医务处安排专人负责，医院射线装置数量发生变化时，由专职管理人员及时更新辐射装置管理台账，详细记录射线装置各项信息。

六、放射性废物台账管理情况

医院已制定放射性废物（废气、废水、固废）暂存、处置方案并建立放射性固体废物暂存、处置管理台账及放射性废水暂存、处置管理台账，医院运行时产生的放射性废液、固体废物的暂存和处理由医院安排的专人负责，严格记录台账详细内容。台账长期保存。

七、辐射安全管理制度执行情况

医院已更新并修订了《放射防护与辐射安全管理制度》，其中包含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管理制度，常营院区核医学科病人异常事件及应急措施等，该制度明确辐射安全管理小组相应的职责。