

核技术利用建设项目

核医学科改建项目
环境影响报告表

北京全景德康医学影像诊断中心有限公司

2022年6月

核技术利用建设项目

核医学科改建

项目环境影响报告表

建设单位名称：北京全景德康医学影像诊断中心有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市丰台区西四环中路 78 号院 3 号楼

邮政编码：100039 联系人：李凯秀

电子邮箱：414707479@qq.com

联系电话：13301043490

表 1 项目基本情况

建设项目名称		核医学科改建			
建设单位		北京全景德康医学影像诊断中心有限公司			
法人代表	杨环球	联系人	李凯秀	联系电话	13301043490
注册地址		北京市丰台区西四环中路 78 号院 3 号楼一层 101, 2 层 201			
项目建设地点		北京市丰台区西四环中路 78 号院 3 号楼一层东侧			
立项审批部门		无	批准文号	无	
建设项目总投资(万元)	3000	项目环保投资(万)	300	投资比例(环保投资/总投资)	10%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m ²)	640
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET-CT 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
其他	说明:				

项目概述

1.1 单位概况

北京全景德康医学影像诊断中心有限公司(以下简称全景德康影像中心或影像中心)注册地位于北京市丰台区西四环中路 78 号院 3 号楼, 是上海全景医学影像科技股份有限公司的全资子公司, 系一家筹建中的北京市第三方独立医学影像中心。公司经营范围为医学影像科医疗服务; 医学研究和试验发展等。

全景德康影像中心已经获得北京市丰台区卫生健康委员会颁发的“医疗机构执业许可证”(登记号 007251110106317119), 批准开展的诊疗科目有: 医学影像科; X 线诊断专业; CT 诊断专业; 磁共振成像诊断专业; 核医学专业; 超声诊断专业; 心电图诊断专业。

全景德康影像中心为公众提供先进的医学影像检查和诊断服务, 成为国内外医学影像诊断领域学术交流平台, 聚焦肿瘤精准诊断, PET 检查针对肿瘤定位、肿瘤性质诊断、肿瘤分期分级、肿瘤原发灶查找、肿瘤疗效评估、肿瘤预后、心肌缺血判断, 以及针对特殊人群(肿瘤高发家族、肿瘤标志物异常、肿瘤疑似患者等)的核医学检查,

不开展普通人群的 PET 体检等健康检查。影像中心将以顶尖的人才、高端的设备、严格质量控制体系、优质服务和优美环境为受检人群提供人性化、高质量的医学影像诊断服务。

全景德康影像中心位于北京市丰台区西四环中路 78 号院 3 号楼，该建筑东侧隔 8.4m 通道为 2 号楼，南侧隔 18.3m 空地为 5 号楼，西侧隔 9.3m 通道为 4 号楼，北侧紧邻西翠路，之外是中石油加油站。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

全景德康影像中心于 2020 年 5 月 29 日重新申领了辐射安全许可证（京环辐证 [G0373]），许可使用 V 类放射源，使用 III 类射线装置，丙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至 2025 年 5 月 28 日。

已许可使用的密封源如表 1-1 所示，已许可使用的非密封放射性物质场所以及核素相关情况见表 1-2 所示，已许可使用的射线装置如表 1-3 所示。

表 1-1 已许可使用的密封源

序号	核素	类别	总活度(贝可)/活度(贝可)×枚数	活动种类
1	⁶⁸ Ge	V	4.6E+7×2	使用;
2	⁶⁸ Ge	V	9.25E+7×1	使用;

表 1-2 已许可使用的非密封放射性物质场所以及核素

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)	活动种类
1	核医学科	丙	¹⁸ F	1.48E+7	3.7E+12	使用;

表 1-3 已许可使用的射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	正电子发射及 X 射线计算机断层成像系统	III	1	使用;
2	数字化医用 X 射线摄影系统	III	2	使用;
3	乳腺 X 射线机	III	1	使用;
4	X 射线计算机体层摄影设备	III	2	使用;

1.2.2 近几年履行环保手续情况

影像中心共有 4 个核技术利用项目履行了环评、备案和安分手续。使用 III 类射线装置和 V 类密封校验源项目已登证，获得使用许可。全部环评项目均通过自行竣工环保验收，具体见表 1-4。

表 1-4 建设项目履行环保手续情况

序号	项目名称	类别	环评批复或备案文号	竣工验收情况
1	新建丙级非密封放射性物质工作场所项目	报告表	京环审[2019]120号	2020年9月4日自行组织了PET/CT相关场所（不含PET/MR部分）的竣工环保验收，通过验收。
2	使用III类射线装置和V类密封校验源项目	登记表	202011010600000518	已登记证
3	核医学科改建项目	报告表	京环审[2020]142号	2021年1月14日自行组织了核医学科改建项目竣工环保验收，通过验收。
4	核医学科增加 ¹⁸ F核素使用量	安分报告	/	无需验收，已登记证。

1.2.3 辐射安全管理情况

（一）辐射安全与环境保护管理机构

为了加强对辐射安全和防护工作的管理，影像中心设置了辐射安全与防护管理小组，并指定了专人负责辐射安全与防护工作。人员构成如下表 1-5 所示。

表 1-5 辐射安全与防护管理小组人员构成和职责

序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	负责人	马潞娜	女	放射医学专业	院长	影像中心	兼职
2	成员	李岩	男	医学影像技术	综合办主任	综合办公室	专职
3	成员	刘莉	女	医学影像诊断	医师	放射科	兼职
4	成员	李云	女	生物医学工程	技师	核医学科	兼职
5	成员	李凯秀	女	护理学	护士	核医学科	兼职
6	成员	王学良	男	临床医学	医师	影像中心	兼职
7	辐射防护负责人	齐磊	男	医学影像学	技师组长	放射科	兼职

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

评价期间，调阅了影像中心现有的规章制度，已制定的辐射安全防护制度有《影像设备操作规程》《辐射工作岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《放射设备维修维护制度》《放射性同位素使用登记制度》《人员培训考核计划》《放射性废物处置、辐射监测方案》《辐射事故应急措施和预案》等，能够满足原环保部令第3号〈关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定〉和原环保部令第18号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，上述各项制度在日常工作中得到落实。

（三）辐射工作人员培训考核

影像中心规定所有辐射工作人员，在上岗前将通过辐射安全与防护考核，持合格证

上岗。定期（培训合格证有效期 4 年，网上考核证书有效期 5 年）再次考核，并制定了辐射工作人员培训考核计划。

目前，影像中心现有 30 名辐射工作人员，均通过了辐射安全与防护考核。今后如有新增辐射工作人员，将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告和 2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员按照辐射工作类别进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

（四）个人剂量监测

全院所有辐射工作人员的个人剂量监测工作委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，监测频度为每季度监测一次。全部的辐射工作人员均配置了个人剂量计，每季度由影像中心专人负责更换，并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案。

据 2021 年度个人剂量检测报告，全部辐射工作人员的年受照剂量满足 5mSv/a 的剂量约束要求。1 名核医学科辐射工作人员因剂量计保管不善导致第二季度测量结果异常（2.23mSv）并导致年受照剂量为 4.3mSv/a 外，其余核医学科人员最高受照剂量为 2.72mSv，影像科人员的受照剂量低于 0.5mSv/a。对照工作性质和工作负荷，上述人员受照剂量结果符合实际情况。

（五）工作场所及辐射环境监测

根据原环保部 18 号令的要求，影像中心每年委托有资质第三方检测机构开展工作场所辐射水平监测。

评价期间查阅了浙江建安检测研究院有限公司出具的 2022 年度场所检测报告（GABG-XF/CF22230062-1、GABG-XF/CF22230062-1），全部放射性工作场所的监测结果满足均标准要求。

（六）密封源安全管理

密封源保存在储源室内，实行双人双锁管理。为了减少密封源丢失所致的潜在危险，储源室已落实三级安全防范措施，并建立密封源台帐，对放射源的数量和活度等数据，有详细登记，建立专门档案，并定期盘查，严防丢失。

（七）非密封性放射性同位素的安全管理

制定了严格的放射性药品管理制度。放射性药品的订购由专人负责；放射性药品管理由专人负责；放射性药品的交接在高活室门口摄像头监控下，施行“点对点”的交接手续；放射性药品使用由专业人员监督，由指定人员进行。对放射性药品的采购、登记、

使用、核对、保管和注销，药品的配制、质控和记录，以及放射性废物的处理，都作了明文规定，各项规定已在工作中得到落实。

放射性药物送达时间要求在早上开诊前或中午休息时间，以避免放射性药品和受检者近距离接触。

（八）放射性废物的安全管理

当密封源需要退役处理时，将其送至北京市城市放射性废物库。近期拟更新 1 枚 ^{68}Ge 密封校验源，正在办理转让审批手续。

放射性废物分类收集于专用铅制放射性固体废物桶内，待收集满后由废物桶内取出，标明日期转移至放射性废物间内暂存。依照北京市《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，暂存 30 天后解控为医疗废物处置。

放射性废水排入配套建设的槽式衰变池内，衰变池总容积为 30m^3 ($10\text{m}^3/\text{槽} \times 3 \text{槽}$)，依照北京市《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，贮存 30 天排入自建污水处理进一步处理后排入市政污水管网。

环评期间，对核医学科近两年放射性废物和废液处置台账进行了统计，2021 年 5 月至 2022 年 5 月，解控“A 类”放射性废物约 70kg，排放衰变池 A 类废液 8 次，共计 80m^3 。放射性固体废物和废液暂存时间和处置方式均符合北京市《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求。

（九）辐射事故应急管理

影像中心成立了辐射事故应急处理领导小组，制定有《辐射事故（件）应急预案》。影像中心每年组织一次院内辐射安全应急演练并留存演练记录及照片资料，通过实际操作提高辐射工作人员自我防护意识。

发生辐射事故时，立即启动辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2h 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，同时向卫生行政部门报告。

2021 年 5 月 28 日，针对“核素药品瓶破裂导致场所发生放射性污染”进行了应急演练，核医学科辐射工作人员清楚了清除放射性污染的程序和方法，收到预想效果。

1.3 核医学科环评回顾和本项目情况

1.3.1 核医学科环评回顾

（1）新建丙级非密封放射性物质工作场所项目

全景德康影像中心于 2019 年 10 月 11 日取得了北京市生态环境局对“新建丙级非

密封放射性物质工作场所项目”批复（京环审[2019]120号），建设内容包括：在3号楼一层东侧新建核医学科，配套使用西门子公司生产的1台PET/CT和1台PET/MR设备，使用¹⁸F核素开展核医学显像诊断，使用V类密封源进行设备校验，该场所属于丙级非密封放射性物质工作场所。该项目批复（京环审[2019]120号）包括的非密封放射性同位素见表1-6。

表 1-6 新建丙级非密封放射性物质工作场所使用非密封放射性同位素情况

设备名称	核素名称	核素用量	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq/a)
PET/CT	¹⁸ F	3.7E+8Bq/人、 20 人次/日	7.4E+9	7.4E+06	1.85E+12
PET/MR	¹⁸ F	3.7E+8Bq/人、 10 人次/日	3.7E+9	3.7E+06	9.25E+11

在2020年5月29日首次申领辐射安全许可证时，预留了PET/MR机房和候诊室，只申请了PET/CT相关场所的使用许可。核医学科PET/CT部分于2020年9月完成了自主竣工环保验收。

(2) 核医学科改建项目

为了满足《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》中PET/CT的配置要求，全景德康影像中心核医学科拟增设SPECT场所，并于2020年8月履行了“核医学科改建项目”环评手续，建设内容为：在不改变核医学科布局、实体屏蔽以及辐射防护设施基础上，将现状核医学科内预留的PET/MR机房调整为SPECT机房，将预留的PET/MR候诊室调整为SPECT候诊室，使用1台SPECT以及^{99m}Tc核素开展医疗诊断活动，场所等级仍然维持丙级非密封放射性物质工作场所不变。

该项目于2020年10月13日取得了北京市生态环境局同意建设的批复（京环审[2020]142号），并于2020年11月27日重新申领了辐射安全许可证（京环辐证[G0373]）。该项目于2021年1月14日完成了自主竣工环境保护验收。核医学科改扩建环评批复（京环审[2019]120号）包括的非密封放射性同位素见表1-7所示。

表 1-7 核医学科改建后使用非密封放射性同位素情况

设备名称	核素名称	核素用量	日使用量 (Bq)	日等效操作量 (Bq)	年使用量 (Bq)
PET/CT	¹⁸ F	3.7E+8Bq /人 每日 20 人次	7.4E+9	7.4E+6	1.85E+12
SPECT	^{99m} Tc	9.25E+8Bq /人 每日 10 人次	9.25E+9	9.25E+6	2.31E+12

(3) 核医学科增加¹⁸F核素使用量项目

全景德康影像中心核医学科于2020年9月正式投入运行后，PET/CT检查人数不断

增加，到 2021 年度，平均每天检查人数在 15~20 之间，已经达到了已许可的日最大操作量，故需要增加 ^{18}F 的使用量。

全景德康影像中心于 2021 年 3 月提交了安全分析报告，内容为：停止 SPECT 相关场所(SPECT 机房和 SPECT 候诊室)运行，将 SPECT 设备移至其他医疗机构合作开展 SPECT 影像诊断。在不改变核医学科的布局，将 ^{18}F 用量增加 1 倍，PET/CT 的日检查人数由现在的 20 人/日增加为 40 例/日，保持场所等级为丙级非密封放射性物质工作场所不变。

公司于 2021 年 4 月 30 日重新申领了辐射安全许可证，增加了 ^{18}F 的使用量，并对 SPECT 场所申请部分终止。目前，核医学科许可使用的非密封放射性同位素见表 1-8 所示

表 1-8 核医学科目前使用非密封放射性同位素情况

设备名称	核素名称	核素用量	日使用量 (Bq)	日等效操作量 (Bq)	年使用量 (Bq)
PET/CT	^{18}F	3.7E+8Bq /人 每日 40 人次	1.48E+10	1.48E+7	3.7E+12

1.3.2 本项目情况

全景德康影像中心为公众提供先进的医学影像检查和诊断服务，聚焦肿瘤精准诊断。PET 检查针对肿瘤定位、肿瘤性质诊断、肿瘤分期分级、肿瘤原发灶查找、肿瘤疗效评估、肿瘤预后、心肌缺血判断，以及针对特殊人群（肿瘤高发家族、肿瘤标志物异常、肿瘤疑似患者等）的核医学检查，不开展普通人群的 PET 体检等健康检查。

PET/MR是由正电子发射型计算机断层显像仪(PET)和磁共振成像(MR)融合而成的最新高端分子影像设备。它同时具备PET和MRI的检查功能，且不受呼吸运动、血管搏动等的影响，不会影响图像质量。检查时间比单独的PET及MRI检查所需的时间更短，达到最大意义上的优势互补，在软组织分辨率、检查的无创性等方面相比PET/CT更有优势。更为重要的是，其辐射剂量远远小于PET/CT，是目前在细胞分子水平上进行人体功能代谢显像最先进的医学影像技术。

PET/MR设备在肿瘤、心血管和神经系统疾病诊治中具有广泛的应用前景，特别是能够使脑肿瘤、上腹部肿瘤、盆腔肿瘤、儿科肿瘤、心脏功能评估、骨和软组织等疾病的早期诊断、疗效评价和预后判断会更加精准。PET/MR 比PET-CT的优势在于：

1) 更加精准：真正实现等中心一体化协同采集，压缩时空平台实现时间分辨率极速融合、空间分辨率精准匹配。

2) 更加高效：PET/MR一次检查可获取完整的解剖、功能、生理信息，完美实现解

剖结构与代谢功能信息的实时精准融合。

3) 更多信息: PET多种特异性分子探针、MR多参数多序列可提供更丰富的信息。

4) 更加安全: 正电子药物剂量减少, PET/MR中MR部分无辐射, PET/MR辐射剂量比PET/CT降低60%以上, 更适合儿童、需要多次复查的肿瘤患者、肿瘤高危人群的筛查。

PET/MR在颅脑肿瘤、神经内分泌肿瘤、胰腺癌、前列腺癌、乳腺癌、肝癌、宫颈癌、头颈部肿瘤、多发性骨髓瘤、淋巴瘤、宫颈癌等肿瘤疾病诊断方面具有显著优势。在肿瘤的诊断、TNM临床分期、治疗后再分期, 肿瘤治疗疗效评价和监测, 良、恶性疾病的鉴别诊断, 引导肿瘤穿刺活检, 肿瘤放疗靶区勾画, 不明原因发热、肿瘤标志物升高、副癌综合征等疑难病症的诊断, 肿瘤高危因素患者的肿瘤筛查等方面也可发挥重要的作用。

全景德康影像中心为了给受检者提供更加优质的医疗服务, 拟增设PET/MR检查手段, 拟在不改变核医学科布局、实体屏蔽以及辐射防护设施基础上, 将核医学科内SPECT相关场所重新调整为PET/MR场所。

因核医学科场所内SPECT相关场所许可已部分终止, 不符合《关于〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函》(环办函〔2015〕1758号)和原北京市环境保护局办公室《关于明确辐射安全监管有关事项的通知》(京环办〔2016〕66号)精神, 故重新履行环境影响评价手续。

本项目建设内容为: 在不改变核医学科布局、实体屏蔽以及辐射防护设施基础上, 将现状核医学科内未投入使用的SPECT机房调整为PET/MR机房, 将未投入使用的SPECT候诊室调整为PET/MR候诊室, 配置1台PET/MR开展PET/MR影像诊断活动。本项目改建完成后, 核医学科非密封放射性同位素使用情况见表1-9, 可见, 综合考虑实际使用和衰变损失, 场所的等级仍然属于丙级非密封放射性物质工作场所。

现状SPECT相关场所, 在最初进行屏蔽设计时就是按照PET/MR场所设计的, 该部分内容在京环审[2019]120号曾予以批复, 故屏蔽防护可以满足使用 ^{18}F 的相关要求。

表 1-9 核医学科非密封放射性同位素日等效最大操作量核算

项目内容	核素名称	核素用量	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq/a)
PET/CT 检查	^{18}F	2.96E+8Bq/人 每日 40 人次	1.18E+10	1.18E+7	2.96E+12
PET/MR 检查	^{18}F	2.96E+8Bq/人、 每日 10 人次	2.96E+9	2.96E+06	7.40E+11
贮存衰变损失	^{18}F	1 倍的使用量	1.48E+10	1.48E+06	3.70 E+12
合计		50 人次/日	/	1.62E+7	/

PET/MR拟配套使用的V类校验源种类和活度见表1-10所示。

表 1-10 影像中心拟新增配套的 V 类校验源情况

名称	型号	技术指标	使用地点
Ge-68棒源	待定	55.5MBq*4 枚	PET/MR机房
Ge-68桶源	待定	111MBq*1 枚	PET/MR机房

本项目属于使用丙级非密封放射性物质工作场所和 V 类放射源项目，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》，应该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，北京科欣科技发展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。受全景德康影像中心的委托，北京科欣科技发展有限公司环评人员在现场踏勘、监测、收集资料的基础上，对该项目建设和运行过程中的对环境的电离辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价重点是核医学科运行过程中产生的 γ 射线、放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

1.3.4 项目周围环境

全景德康影像中心位于北京市丰台区西四环中路78号院3号楼，该楼处于首汇健康科技园项目用地北侧中间位置，为方形独栋建筑，地下一层、地上三层。整栋套内建筑面积约2892平方米，高度19.3m。该栋建筑由全景德康影像中心整栋租用，其东侧隔8.4m通道为2号楼，南侧隔18.3m空地为5号楼，西侧隔9.3m通道为4号楼，北侧紧邻西翠路，之外是中石油加油站。3号楼周围50m范围内，无学校、居民楼、养老院等敏感目标，无大型商场等人员密集场所，且远离市区核心区。



图1-1 项目用房周围环境示意图

1.3.5 产业政策符合性

本项目使用放射性药物进行核医学诊断,属于《产业结构调整指导目录(2019年本)》中第十三项第5条中关于“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备,……”类别,属于国家支持和鼓励类产业。

1.3.6 核医学科建设规划

整体部署: 不改变核医学科场所的实体屏蔽和平面布局,将现状核医学科内未使用的 SPECT 机房调整为 PET/MR 机房使用,将未使用 SPECT 候诊室调整为 PET/MR 候诊室使用,新增使用 1 台 PET/MT, 利用 ^{18}F 药物开展影像诊断,核医学科场所等级仍然维持丙级不变。

设备配置: 核医学科已配置 1 台 PET/CT (型号为 Biograph mCT.S), 拟再配置 1 台 PET/MR (型号为 Biograph mMR)。

实施计划: PET/CT 已经取得了《乙类大型医用设备配置许可证》(乙 0101200012), 并已经购置和安装。PET/MR 设备在取得大型医用设备配置许可证后进行购置和安装。

工作制度: 250d/a, 8h/d。

人员配置: 影像中心核医学科现有 21 名辐射工作人员,全部通过了辐射安全与防护考核,持有合格证书并在有效期内,其中医师 6 名,技师 5 人(含 1 名物理师),护士 10 人,满足上述配置要求。

表 1-11 核医学科辐射工作人员培训情况

序号	岗位	姓名	年龄	性别(男/女)	专业	培训时间	培训证号
1	医生	马潞娜	56	女	医学影像学	2019-12-22	B1915008
2		蒲朝煜	55	男	医学	2018-12-12	c1819148
3		周鑫	43	男	医学影像学	2019-12-22	B1915011
4		何婷婷	38	女	影像医学与核医学	2020-12-14	FS20BJ0300162
5		于亚彬	41	女	医学影像学	2019-12-22	B1915012
6		段影	33	女	医学影像	2018-04-14	SH034391
7	技师	齐磊	36	男	医学影像学	2019-12-22	B1915013
8		郁斌博	32	男	医学影像技术	2017-05-20	B1702016
9		雷育红	33	女	医学影像学	2019-12-22	B1915020
10		李云	47	女	生物医学工程	2019-12-22	B1915014
11		张海英	50	女	生物医学工程	2020-09-22	FS20BJ0300063
12	护士	于洋	29	女	护理学	2021-01-05	FS21BJ0300002
13		李凯秀	30	女	护理学	2019-12-22	B1915024
14		张海然	35	女	护理学	2020-12-21	FS20BJ0300171
15		韩晓倩	27	女	护理学	2020-12-25	FS20BJ0300180
16		武志霞	29	女	护理学	2021/4/19	FS21BJ0300060
17		刘丽	38	女	护理学	2020-12-21	FS20BJ0300170
18		李剑虹	28	女	护理学	2019-12-22	B1915023
19		刘少力	33	女	护理学	2019-12-29	A1949153
20		白雪琳	29	女	护理学	2019-12-16	A1916103
21		路粉叶	32	女	护理学	2020-12-21	FS20BJ0300172

根据《放射诊疗管理规定》、2019 年国家卫生健康委员会发布的《甲类大型医用设备配置准入标准》和北京市卫生健康委员会发布的《乙类大型医用设备配置准入标准》要求，核医学科人员配置要求如表 1-12，可见，核医学科现有的辐射工作人员满足 PET/CT 和 PET/MR 总人员配置要求。

表 1-12 核医学工作人员配置要求及实际配置情况

序号	源项	相关要求	核医学科人员配置情况
1	1 台 PET/CT	单台PET/CT或PET设备至少具有医师2名、技师2名、物理师1名、护士1名	医师5名、技师5名（含1名物理师）、护士10名，满足相应PET/CT和PET/MR总人员配置要求。
2	1 台 PET/MRI	单台 PET/MR，至少具有核医学医师 3 名，技师 3 名。	
3	合计	医师 5 名，技师 5 名，物理师 1 名，护士 1 名。	

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	2.22E+8/5.55E+7×4	V	使用	PET/MR校验	PET/MR机房	核医学科储源室内源罐	
2	⁶⁸ Ge	1.11E+8/1.11E+7×1	V	使用	PET/MR校验	PET/MR机房	核医学科储源室内源罐	

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	¹⁸ F	液态针剂； 半衰期110min； 低毒	使用	1.48E+10	1.48E+7	3.7E+12	放射诊断	很简单操作	核医学科	核医学科高活室

注：日等效最大操作量见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），操作方式依照《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）确定。

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
无										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管 电压 (kV)	最大管 电流 (mA)	用途	工作场所	备注
无									

(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
洗涤废水、受检人员排泄物	液体	^{18}F		14.3 m ³	约 171.6m ³	总 β <10Bq/L	衰变池暂存	依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，对于槽式衰变池（罐）暂存方式，放射性废水暂存 30d 后，排入污水处理站，严格记录废水处理台帐。
手套、棉签等其他固态物质、一次性注射器	固体	^{18}F			125kg	<10 ⁴ Bq/kg	暂存于医学科内放射性废物间	暂存至少 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》要求后作为医疗废物交有资质单位处置。
核医学科高活室通风柜排气	气体	^{18}F			少量，可忽略		--	通风橱废气经活性炭过滤器过滤后，在 3#楼顶部排放。
通风橱活性炭过滤材料	固体				6kg			暂存至少一个，，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，按医疗废物委托交有资质单位处置。
有害气体 O ₃ 等	气体				<10g		直接排放	经通风系统直接排入环境大气

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq³/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

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 9 号，2015 年 1 月 1 日实施；2. 《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 6 号，2003 年 10 月 1 日实施；3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 1 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修正；2018 年 12 月 29 日第二次修正；4. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》2005 年 9 月 14 日经国务院令 449 号公布；2014 年 7 月 29 日经国务院令 653 号修改；2019 年 3 月 2 日经国务院令 709 号修改；5. 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日国务院令 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日国务院令 682 号修订，2017 年 10 月 1 日起施行；6. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2006 年 1 月 18 日，原国家环境保护总局令 31 号公布；2008 年 12 月 6 日经原环境保护部令 3 号修改；2017 年 12 月 20 日经原环境保护部令 47 号修改；2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 7 号修改；2021 年 1 月 4 号生态环境部令 20 号修订并实施；7. 《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，2011 年；8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令 16 号，2020 年 11 月 5 日，自 2021 年 1 月 1 日起施行；9. 《关于发布射线装置分类》的公告，原环境保护部 原国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起施行；10. 《关于发布放射源分类办法》的公告，原国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号；11. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号），2006 年 9 月；12. 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 295 号令，2020 年 11
------	--

	<p>月 15 日实施；</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. 《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； 14. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年版； 15. 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 9 月； 16. 《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； 17. 北京市生态环境局办公室《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》京环办〔2018〕13 号； 18. 关于发布《建设项目竣工环保验收暂行办法》的公告，国环规环评〔2017〕4 号，2017 年 11 月； 19. 原北京市环境保护局办公室《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办〔2018〕24 号，2018 年 12 月 6 日； 20. 《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； 21. 《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； 22. 《关于发布 2018-2020 年大型医用设备配置规划的通知》“甲类大型医用设备配置准入标准”，国卫财务发〔2018〕41 号； 23. 北京市卫生健康委员会《关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》，北京市卫健委，2019 年 8 月。
<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. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 3. 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； 4. 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）； 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）；

	<ol style="list-style-type: none"> 7. 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； 8. 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 9. 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 10. 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）； 11. 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）； 12. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 13. 《表面污染测定 第一部分 β 发射体（E_{βmax}>0.15MeV）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）； 14. 《北京市水污染物排放标准》（DB11/307-2013）； 15. 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）； 16. 《环境影响评价技术导则》-大气环境（HJ2.2-2018）。
其他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 北京全景德康医学影像诊断中心有限公司环境影响评价咨询协议书； 2. AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, 2006; 3. Radiation and radiation protection data handbook 2002, Radiation Protection Dosimetry, 98(1),2002. 4. NCRP REPORT No.147“Structural Shielding Design for medical X-ray imaging Facilities”(2005 年) 5. 《北京市环境天然放射性水平调查研究》，1989。 6. 北京全景德康医学影像诊断中心有限公司提供的与本项目相关的技术资料； 7. 全景德康影像中心核医学科工作场所建筑及辐射屏蔽工程设计资料； 8. 全景德康影像中心提供的辐射安全规章制度。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围、目的、评价因子

7.1.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)的规定,确定本项目评价范围为核医学科场所边界周围 50m 区域。

7.1.2 评价目的

- 1、对建设项目环境辐射现状进行调查及辐射环境现状监测;
- 2、评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响;
- 3、评价辐射防护措施效果,提出减少辐射危害的措施,为生态环境主管部门管理提供依据;
- 4、通过项目辐射环境影响评价,为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持;
- 5、对不利辐射环境影响和存在的问题提出防治措施,把其减少到“可合理达到的尽量低水平”;
- 6、为医院的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.1.3 评价因子

本项目主要评价因子为 X 射线、 γ 射线、放射性“三废”和 O_3 等。

7.2 评价原则

- 1、以建设项目为基础,环保法律法规为依据,国家有关方针政策为指导的原则;
- 2、突出该项目的特点,抓住关键问题,坚持实事求是、客观公正的原则;
- 3、评价来源于项目、服务于项目、指导于项目的原则。

7.3 保护目标

评价范围内无居民楼、学校等敏感目标,本保护目标为周围办公场所的公众,以及影像中心的工作人员。本项目将采取有效的辐射防护与安全管理措施,确保核医学科运营所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。本项目评价范围见图 7-1 所示,项目边界周围 50m 范围内的保护目标相关情况见表 7-1 所示。



图 7-1 本项目评价范围示意图

表 7-1 核医学科场所周围 50m 范围内的保护目标

位置	保护目标	方位	最近距离 (m)	常停留人数	备注
3 号楼内部	地下停车场 (高活室、PET/CT 候诊室下面)	楼下	3.7	3	停车引导员
	消防水池 (PET/CT 机房下面)	楼下	3.7	/	巡检人员
	一层西侧 (本影像中心)	西侧	相邻	16	本影像中心人员和就诊人员
	一层夹层	楼上	4	/	无人夹层
	二层 (本影像中心用房)	楼上	6.8	10	本影像中心人员和就诊人员
	二层夹层 (工作人员办公区)	楼上	10.5	10	本影像中心工作人员
	三层 (工作人员办公区)	楼上	13.7	10	本影像中心工作人员
3 号楼周围	2 号楼 (3F)	东侧	8.4	30	①北京同心明德医学影像诊断中心 ②北京同心至善综合门诊部
	4 号楼 (3F)	西侧	23	40	北京鼎善健康科技有限公司
	5 号楼 (2F)	南侧	18.3	35	力度投资有限公司
	6 号楼 (3F)	东南	31.8	30	中国船舶重工集团环境工程有限公司
	12 号地下室 (-1F)	西南	31	25	地下车库和物业用房
	中石油加油站	北侧	47	10	停业状态

7.4 评价标准

7.4.1 剂量限值和剂量约束值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定：

(1) 剂量限值

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv，特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。
眼晶体的当量剂量 150mSv/a；四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a。	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a。

《GB18871-2002》11.4.3.2 还规定了年剂量约束值，按辐射防护最优化原则设计的年剂量控制值应小于或等于该剂量约束值。剂量约束值是剂量限值的一个分数，公众剂量约束值通常应在 0.1~0.3mSv/a 范围内。

(2) 剂量约束值

本项目核医学科人员依然采用北京市生态环境局已批复的剂量约束值，即职业人员 5mSv/a，公众 0.10mSv/a。

7.4.2 放射工作场所剂量率控制水平

1) 核医学科周围公众除满足上述剂量约束要求外，核医学科控制区周围（四周和楼上 30cm 处，楼下距离地面 170cm 处）的辐射剂量率水平采用 2.5 μ Sv/h 进行控制。PET/CT 在进行给药患者 CT 扫描时，其机房周围 30cm 处的剂量率按照 2.5 μ Sv/h 进行控制。

2) 通风橱外表面 30 cm 处的周围剂量当量率按照不大于 2.5 μ Sv/h 进行控制。

3) 固体放射性废物收集桶、放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

7.4.3 放射性废水排放控制要求

(1) 水污染物排放标准

北京市地方标准《水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013) 给出了排入公共污水处理系统的水污染物排放限值：车间或生产设施排放口总 β 放射性为 10Bq/L。本项目放射性废水衰变池的排水口采用该数值进行控制。

(2) 放射性废水排放管理要求

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)，本项目使用核素为 A 类，放射性废水暂存 30d 后，可直接解控排放。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

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

7.4.4 放射性固体废物管理

由于本项目核医学科使用的放射性核素 ^{18}F 的半衰期较短，因此可以将放射性废物收集暂存，待衰变至符合北京市核医学放射性废物管理要求时，解控为医疗废物处置。

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），本项目核医学科放射性固体废物须设置独立的废物间。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（所含核素半衰期小于 24h）废物进行标识。药物操作场所废物桶内应使用不易破损的塑料袋对固体废物进行收集，密封袋口后转移至暂存室废物箱中，并在塑料袋外表面注明废物类别（A 类）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

本项目使用核素为 A 类，放射性固体废物在暂存室内暂存衰变时间超过 30 天后，使用经检定合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于 200nSv/h，且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm^2 和 0.8Bq/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。

7.4.5 放射性工作场所分级

非密封放射性物质工作场所按日等效最大操作量的大小进行分级，见表 7-3。

表 7-3 非密封放射性物质工作场所分级

分 级	日等效最大操作量/Bq
甲级	$>4\times 10^9$
乙级	$2\times 10^7\sim 4\times 10^9$
丙级	豁免活度值以上 $\sim 2\times 10^7$

依据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）中操作因子选取原则，医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单操作”。本项目的日等效最大操作量为 $1.77\text{E}+7\text{Bq}$ （含贮存衰变损失），故增加 PET/MR 后，核医学科场所仍属于丙

级非密封放射性物质工作场所。

7.4.6 工作场所及工作人员的表面污染控制要求

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的有关规定，见表 7-5。

表 7-5 表面放射性物质污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		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 100cm²，地板取 1000cm²。

7.8 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 0.5 m/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。

核医学科高活室内安装一个通风橱，操作口风速按照 ≥1m/s 设计，该通风橱设独立的排风系统，配备活性炭过滤装置（过滤效率 ≥70%），过滤器每年更换一次，过滤器重量 3kg。

此外，在核医学科控制区的其它场所也设置 1 套独立的排风系统，废气经活性炭过滤器（过滤效率 ≥70%）过滤后排放。活性炭过滤器技术指标和更换频率与通风橱一致。排风口设在 3#楼顶部(高度约 20m)，排风口朝向北侧马路方向。

7.9 PET 工作场所室内表面及装备结构要求

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

表 7-5 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须

通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆

经核算，核医学科所有场所的放射性核素的加权活度大于 50MBq，属于 II 类场所，按照表 7-5 要求，需采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设通风橱和排风设施，设洗手盆和去污设备。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

2022 年 4 月 15 日，全景影像中心委托浙江建安检测研究院有限公司对核医学科辐射现状进行了年度监测。

检测内容：X、 γ 射线、 β 表面污染；

检测仪器：451P 型便携式 X、 γ 射线巡测仪（探测下限为 $0.11 \mu\text{Sv/h}$ ）；CoMo 170 型 α 、 β 表面污染仪（探测下限为 0.13Bq/cm^2 ）；

检测场所：分装室、储源室、废物间（污物室）、注射室、PET/CT 候诊室、PET/CT 检查室、留观室和受检者通道。核医学科平面布局如图 8-1 所示，具体监测结果如表 8-1 所示。

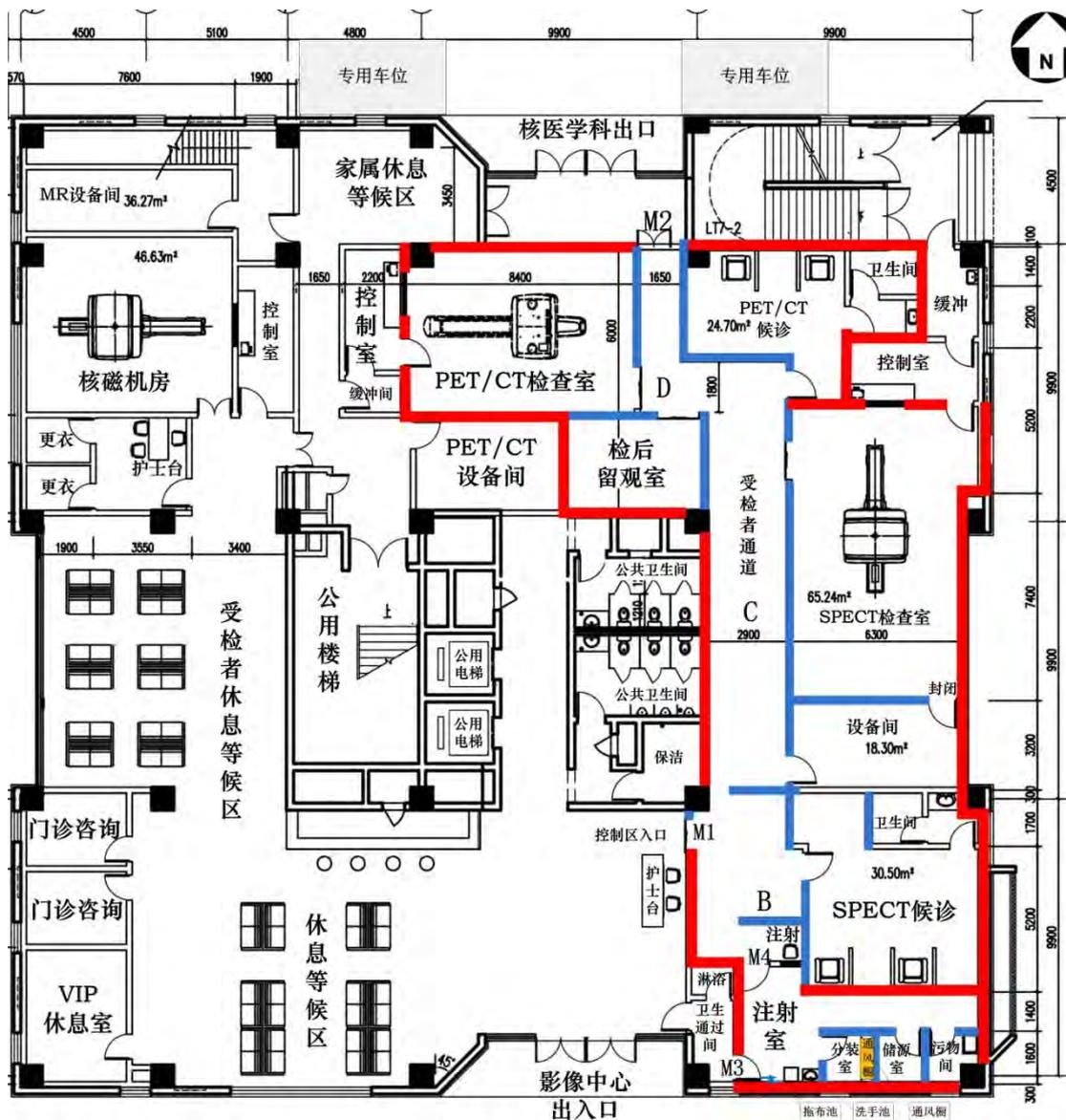


图 8-1 核医学科平面布局图

表 8-1 核医学科工作场所辐射水平检测结果

序号	场所名称	检测点位置	检测结果(uSv/h)	备注
1	分装室	通风柜工作人员身位	0.38	370MBq 的 ¹⁸ F 药物 置于通风柜内
2		通风柜铅窗外表面 5cm	0.44	
3		左手洞外表面 5cm(关闭)	0.34	
4		右手洞外表面 5cm(关闭)	0.33	
5		通风柜左侧门外表面 5cm	2.1	
6		通风柜外表面 5cm	0.98-2.1	
7		防护门外表面 30cm	<0.11	370MBq 的 ¹⁸ F 药物置 于通风柜内, 手洞打开
8		南墙外表面 30cm	<0.11	
9		西墙外表面 30cm	<0.11	
10		北墙外表面 30cm	<0.11	
11		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
12		距下一层地坪 170cm	<0.11	
13	储源室	防护门外表面 30cm	<0.11	放射性物质若干
14		南墙外表面 30cm	<0.11	
15		北墙外表面 30cm	<0.11	
16		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
17		距下一层地坪 170cm	<0.11	
18	污物室 (废物间)	防护门外表面 30cm	<0.11	放射性废物若干
19		东墙外表面 30cm	<0.11	
20		南墙外表面 30cm	<0.11	
21		北墙外表面 30cm	<0.11	
22		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
23		距下一层地坪 170cm	<0.11	
24	注射室	注射台工作人员身位	4.4	370MBq 的 ¹⁸ F 药物 置于注射台上
25		注射台铅窗外表面 5cm	3.3	
26		防护门 M3 外表面 30cm	<0.11	
27		防护门 M4 外表面 30cm	0.41-0.58	
28		东墙外表面 30cm	<0.11	370MBq 的 ¹⁸ F 药物 置于注射台上
29		南墙外表面 30cm	<0.11	
30		西墙外表面 30cm	<0.11	
31		北墙外表面 30cm	0.15	
32		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
33		距下一层地坪 170cm	<0.11	
34	PET/CT 候 检室	防护门外表面 30cm	0.27-0.39	555MBq 的 ¹⁸ F 药物置 于室内
35		北墙外表面 30cm	<0.11	
36		东墙外表面 30cm (缓冲间)	<0.11	
37		东墙外表面 30cm (SPECT 操作 室)	<0.11	
38		南墙外表面 30cm(受检者通道)	<0.11	
39		南墙外表面 30cm (SPECT 检查 室)	<0.11	
40		西墙外表面 30cm	<0.11	
41		北墙外表面 30cm	<0.11	
42		SPECT 操作室北墙外表面 30cm	<0.11	
43		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
44		距下一层地坪 170cm	<0.11	

45	PET/CT 检查室	工作人员操作位	0.34	370MBq 的 ¹⁸ F 药物置于诊断床上, 并以 120kV/300mAs 为条件进行 CT 扫描
46		铅玻璃观察窗外表面 30cm	0.33-0.44	
47		线缆地沟外表面 30cm	<0.11	
48		工作人员防护门外表面 30cm	0.29-0.46	
49		受检者防护门外表面 30cm	(<0.11)~0.29	
50		东墙外表面 30cm	<0.11	
51		南墙外表面 30cm(检后留观室)	<0.11	
52		南墙外表面 30cm (PET-CT 设备间)	<0.11	
53		西墙外表面 30cm (PET-CT 操作室)	<0.11	
54		西墙外表面 30cm (缓冲间)	<0.11	
55		北墙外表面 30cm	<0.11	
56		东墙泄压口外表面 30cm	<0.11	
57		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
58		距下一层地坪 170cm	<0.11	
59	检后留观室	防护门外表面 30cm	0.52-1.21	370MBq 的 ¹⁸ F 药物置于室内
60		东墙外表面 30cm	0.13	
61		南墙外表面 30cm	0.18	
62		西墙外表面 30cm	0.41	
63		北墙外表面 30cm	<0.11	
64		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
65		距下一层地坪 170cm	<0.11	
66	受检者通道	防护门 M1 外表面 30cm	0.77-1.11	370MBq 的 ¹⁸ F 药物置于 B 处
67		淋浴间北墙外表面 30cm	<0.11	
68		护士台处	<0.11	
69		B 处通道西墙外表面 30cm	<0.11	
70		B 处通道东墙外表面 30cm	<0.11	
71		SPECT 候检室防护门外表面 30cm	0.43-1.44	
72		更衣室防护门外表面 30cm	(<0.11)~0.22	370MBq 的 ¹⁸ F 药物置于 C 处
73		顶棚上方距地面 30cm	<0.11	
74		距下一层地坪 170cm	<0.11	
75		C 处通道西墙外表面 30cm	<0.11	370MBq 的 ¹⁸ F 药物置于 D 处
76		C 处通道东墙外表面 30cm	<0.11	
77	防护门 M2 外表面 30cm	0.22-0.55	370MBq 的 ¹⁸ F 药物置于 D 处	
78	SPECT 检查室受检者防护门外表面 30cm	(<0.11)~0.15		
本底值			(<0.11)-0.15	

注：上表所列检测值均已扣除本底；

表 8-2 核医学科工作场所 β 放射性处位置表面污染检测结果

序号	场所名称	检测点位置	检测结果(Bq/cm ²)	控制水平(Bq/cm ²)
1	分装室	地面	<0.13	≤40
2		墙面	<0.13	≤40
3		通风柜表面	<0.13	≤40
4		废物桶表面	<0.13	≤40
5		防护门表面	<0.13	≤40
6	注射室	地面	<0.13	≤40
7		墙面	<0.13	≤40

8		防护门表面	<0.13	≤40
9		注射台台面	<0.13	≤40
10		注射台表面	<0.13	≤40
11		垃圾桶表面	<0.13	≤40
12		废物桶表面	<0.13	≤40
13		推车表面	<0.13	≤40
14		洗手池表面	<0.13	≤40
15	储源室	地面	<0.13	≤40
16		墙面	<0.13	≤40
17		防护门表面	<0.13	≤40
18	污物室	地面	<0.13	≤40
19		墙面	<0.13	≤40
20		废物桶表面	0.2	≤40
21		防护门表面	<0.13	≤40
° 22	卫生通过间	地面	<0.13	≤40
23		墙面	<0.13	≤40
24		柜面	<0.13	≤40
25		推车表面	<0.13	≤40
26		淋浴间地面	<0.13	≤40
27		淋浴间墙面	<0.13	≤40
28		防护门表面	<0.13	≤40
29	更衣室	地面	<0.13	≤40
30		墙面	<0.13	≤40
31		柜面	<0.13	≤40
32		防护门表面	<0.13	≤40
33	检后留观室	地面	<0.13	≤40
34		墙面	<0.13	≤40
35		沙发表面	<0.13	≤40
36		桌面	<0.13	≤40
37		垃圾桶表面	<0.13	≤40
38		柜面	<0.13	≤40
39		卫生间地面	<0.13	≤40
40		卫生间墙面	<0.13	≤40
41		马桶表面	<0.13	≤40
42		小便池表面	0.7	≤40
43		洗手池表面	<0.13	≤40
44		防护门表面	<0.13	≤40
45		PET/CT 候检室	地面	<0.13
46	墙面		<0.13	≤40
47	沙发表面		<0.13	≤40
48	废物桶表面		<0.13	≤40
49	饮水机表面		<0.13	≤40
50	卫生间地面		<0.13	≤40
51	卫生间墙面		<0.13	≤40
52	鸟桶表面		<0.13	≤40
53	小便池表面		1.3	≤40
54	洗手池表面		<0.13	≤40
55	防护门表面		<0.13	≤40
56	PET/CT 检查室	地面	<0.13	≤40
57		墙面	<0.13	≤40
58		诊断床表面	<0.13	≤40

59		防护门表面	<0.13	≤40
60		台阶表面	<0.13	≤40
61		垃圾桶表面	<0.13	≤40
62	受检者通道	地面	<0.13	≤40
63		墙面	<0.13	≤40
64		防护门表面	<0.13	≤40
65	工作人员	铅衣表面	<0.13	≤40
66		衣服表面	<0.13	≤40
67		手表面	<0.13	≤40

检测结果表明：

(1) 核医学科控制区周围（四周和楼上 30cm 处，楼下距离地面 170cm 处）的辐射剂量率水平均低于 2.5 μSv/h。PET/CT 机房在有患者停留并运行 CT 时，周围的剂量率也低于 2.5 μSv/h。

(2) 固体放射性废物收集桶外剂量率小于 2.5 μSv/h；

(3) 分装 370MBq ¹⁸F 室，分装通风柜外表面的周围剂量当量率为 2.1 μSv/h，满足标准要求。

(4) 核医学科工作场所 β 表面污染水平均低于 40Bq/cm²，符合标准要求。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 密封校验源

本项目拟配置 5 枚 Ge-68 密封校验源，属于 V 类密封源。

9.2 放射性同位素显像设备与诊断流程

9.2.2 PET 扫描显像设备

核医学科配备了 1 台 Biograph mCT•S 型 PET/CT 装置，利用 ^{18}F 开展 PET/CT 扫描诊断，已经取得了辐射安全许可。已配置的 PET/CT 实物照片见图 9-1。



图 9-1 已配置的 PET/CT 设备实物照片

本项目拟新增配置使用 1 台 Biograph mMR 型 PET/CT, 实物照片如图 9-2 所示。



图 9-2 PET/MR 扫描装置示意图

9.2.2 核医学工作场所等级

根据本项目使用放射性药物的化学状态和操作方式，以及所含放射性核素生物学毒

性和操作量，计算核医学科场所辐射工作场所等级。

1. 同位素操作量

PET 显像使用的 ^{18}F 药物为液体溶液，每人每次用量 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ (6mCi) \sim $2.96 \times 10^8 \text{Bq}$ (8mCi)。由于 ^{18}F 的衰变期很短，需要考虑药物裕量问题。据了解，北京市部分医院按照 10mCi/人订购 ^{18}F -FDG，部分医院按照 15mCi 订购药物，即人均订药量在 10mCi \sim 15mCi 之间。本项目保守按照药物定购量为使用量的 2 倍（16mCi）核算日等效最大操作量。

核医学科接受 ^{18}F 药物注射扫描的患者每天最多 50 例（其中 PET/CT 扫描 40 例，PET/MR 扫描 10 例），每例注射量约 296 MBq (8mCi)，则日操作总量不超过 $1.48\text{E}+10\text{Bq}$ ，按照 ^{18}F 最大使用量的 1 倍考虑贮存衰变损失，则 ^{18}F 核素的日等效最大操作量为 $1.62\text{E}+07\text{Bq}$ ，属丙级非密封放射性物质操作场所。

2. 操作方式

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号），本项目使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单操作”。

本项目放射性同位素使用情况见表9-1。

表9-1 核医学科场所使用非密封放射性同位素规划

项目内容	核素	操作方式	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大操作量(Bq/a)	计算依据
PET/CT	^{18}F	液体很简单操作	$1.18\text{E}+10$	$1.18\text{E}+7$	$2.96\text{E}+12$	$2.96\text{E}+8\text{Bq}$ /人次, 40 人次/天, 250 天/年, 10000 人次/年
		液体贮存(衰变损失)	$1.18\text{E}+10$	$1.18\text{E}+6$	$2.96\text{E}+12$	考虑100%贮存衰变损失。
PET/MR	^{18}F	液体很简单操作	$2.96\text{E}+09$	$2.96\text{E}+06$	$7.40\text{E}+11$	$2.96\text{E}+8\text{Bq}$ /人次, 10 人次/天, 250 天/年, 2500 人次/年
		液体贮存(衰变损失)	$2.96\text{E}+09$	$2.9\text{E}+05$	$7.40\text{E}+11$	考虑100%贮存衰变损失。
合计			$1.62\text{E}+07$	同时使用		

表9-1为核医学科日等效最大操作量的核算结果，可见，即使考虑2倍的药物裕量，核医学科改扩建后仍然属于丙级非密封放射性物质工作场所。

9.3.3 药物来源

项目使用的放射性药品将全部从具有放射性药品销售资质的公司外购。

全景德康影像中心将根据预约的检查人数及检查项目，提前一天向药品公司订购放

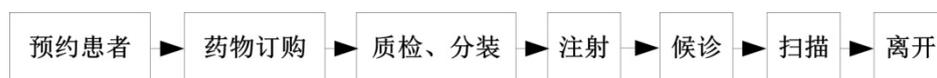
放射性药品，由供货商负责直接送至核医学科。核医学科负责药物注射人员对放射性药物名称、规格和数量，包装和外观进行检查，并在高活室门口的摄像头监控下与供货公司“点对点”办理交接手续，之后暂存于高活室待用。

9.3.4 患者接受检查流程

核医学科PET检查将严格根据临床医生的申请进行，严格核实检查的适应症和禁忌症，对肿瘤定位、肿瘤性质诊断、肿瘤分期分级、肿瘤原发灶查找、肿瘤疗效评估、肿瘤预后、心肌缺血判断，以及针对特殊人群（肿瘤高发家族、肿瘤标志物异常、肿瘤疑似患者等）开展核医学检查，不开展普通人群的PET体检等健康检查。

^{18}F -脱氧葡萄糖(^{18}F -FDG)是目前应用最为广泛的PET显像药物，可测定肿瘤、心脏及脑中的葡萄糖代谢，用于肿瘤、冠心病及神经/精神疾病的早期诊断、鉴别诊断及指导治疗。

放射性同位素显像医学检查的工作流程：含示踪核素的放射性药物经由静脉注射方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放 γ 射线，利用PET探测成像仪器(PET/CT或PET/MR)进行扫描和显像。检查工作流程如下：



1. 预约患者：提前制定显像工作计划，通知患者。
2. 订购药物：根据预约的检查人数及检查项目，提前一天向药品公司订购放射性药物。
3. 接收药物：外购药物由药品公司负责把药品送至核医学科高活室门口。在摄像头监控下，核医学科人员与其办理“点对点”交接手续，然后将药物暂存于高活室内。
4. 质检：给药护师检查药品包装和外观质量，核对放射性药物名称。抽检一定比例药物进行活度验证。
5. 分装： ^{18}F 药物的半衰期很短，供药公司将其装入一个安瓶内送到核医学科，护师在注射前需要进行分装。 ^{18}F 药物的分装工作在专用防护通风橱内进行。
6. 注射：在注射窗口防护下，给受检人员注射放射性药物，然后将废注射器等装入铅屏蔽盒内暂存，放射性废物分类收集。
7. 候诊：受检人员在“PET/CT 候诊室和 PET/MR”内等候（候诊时间约40min~90min）。
8. 检查：待药物在身体内有一定程度的代谢后，进行PET/CT或PET/MR扫描检

查（PET/CT 扫描时间在 15min 内，PET/MR 扫描时间约 40min）。检查前通常如厕排空膀胱内尿液，以减少尿液中放射性的干扰。

9. 留观：患者在完成扫描后，在留观室停留片刻（5-10min）。如显像结果符合诊断要求，即可离开核医学科。

9.3.5 放射性核素辐射特性

^{18}F 物理半衰期很短，主要发射 γ 射线、正电子（ β^+ ）。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 项目使用的放射性核素主要参数

核素	半衰期	衰变方式	主要射线及平均能量 (MeV)
^{18}F	110min	I.T	γ -0.511

9.3.6 使用放射性核素污染途径分析

(1) 正常工况的污染途径

1. 放射性药物经由静脉注射进入患者体内，分布到特定器官并释放 γ 射线。因此，本项目污染因素主要是 γ 射线。

2. 使用放射性物质过程中，会产生一定量的放射性废水和放射性固体废物。放射性废水主要来自于卫生间冲厕废水，分装室洗手废水、冲洗拖布废水。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、棉棒、一次性个人防护用品和垫布等物品。

3. 本项目使用的 ^{18}F 放射性药物全部向专业公司购买。在分装室内只对 ^{18}FDG （2-脱氧葡萄糖的氟代衍生物）进行分装。 ^{18}FDG 放射性药物为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量，不进行详细评价。分装过程在专用通风橱内进行，通风橱废气经活性炭过滤器过滤后由管道组织至建筑物楼顶排放。

(2) 非正常工况的污染途径

1. 操作放射性药物时发生放射性污染：如发生容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。此外，给药患者呕吐或者排泄，也可能导致局部环境的放射性污染。

2. 放射性药物或放射源保管不当，发生遗失或被盗：放射性药物或者放射源失控可能造成环境放射性污染或者发生潜在照射。核医学科在分装室暂存的放射性同位素（不贮存），在储源室在暂存放射源，设有闭路监视、防盗门等安保措施，能有效防止放射性药物被盗和丢失事件的发生。

3. 放射性废物处置或管理不当：放射性废物（废水或固体废物）处置或管理不当，造成环境放射性污染。

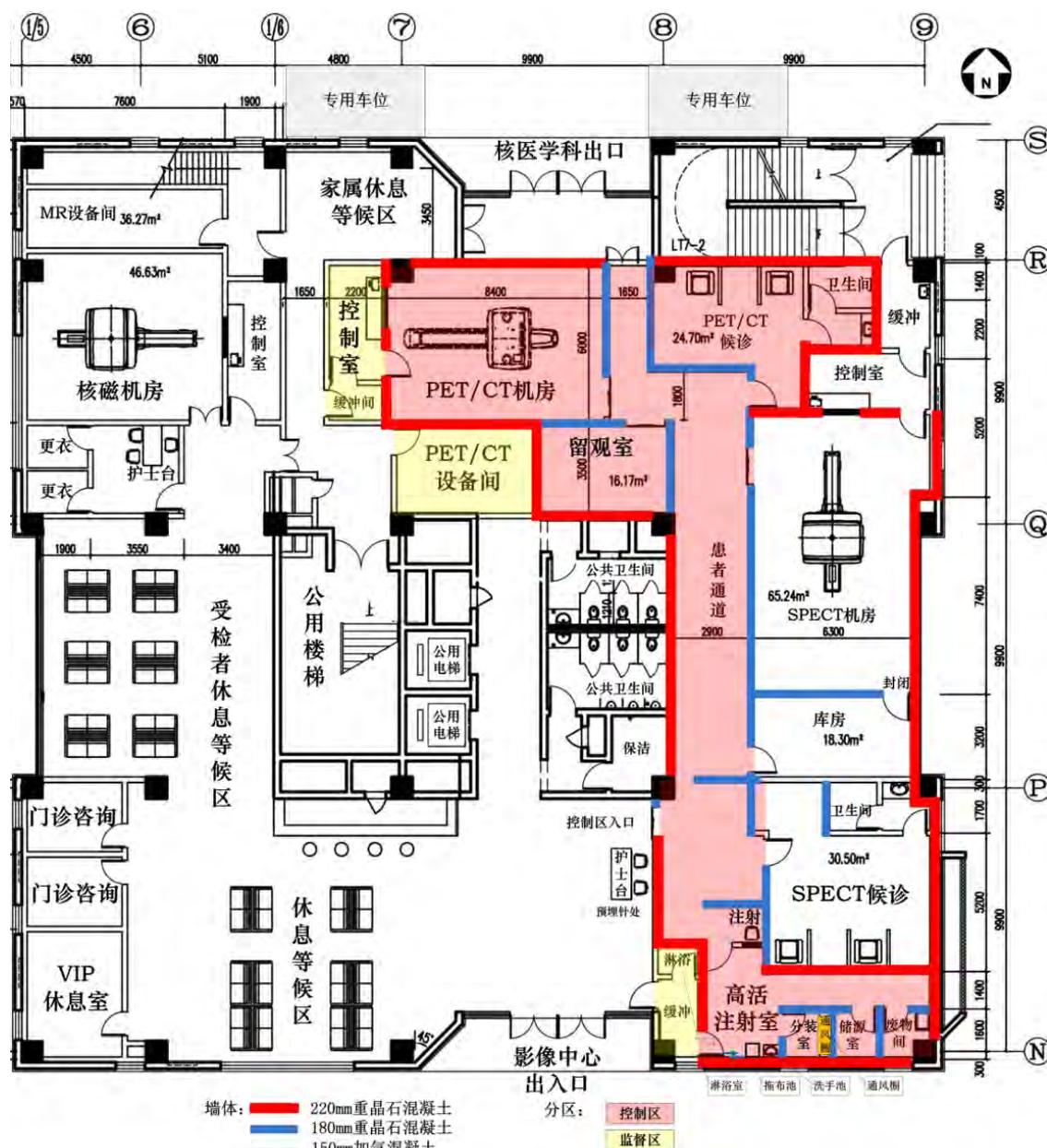
表 10 辐射安全与防护

10.1 核医学科现状

10.1.1 核医学科布局

核医学科现状布局见图 10-1 所示，核医学科内 SPECT 机房和 SPECT 候诊室为未使用区域。SEPCT 设备虽然安装到位，但是没有开展患者诊断工作，场所一直在封闭状态，故在许可证中没有申请 ^{99m}Tc 的使用内容。在核医学科场所验收检测时，采用密封在安瓶中的 ^{99m}Tc 进行了场所周围辐射水平的检测，也未造成场所放射性污染。

本项目完成后，核医学科布局如图 10-2 所示。



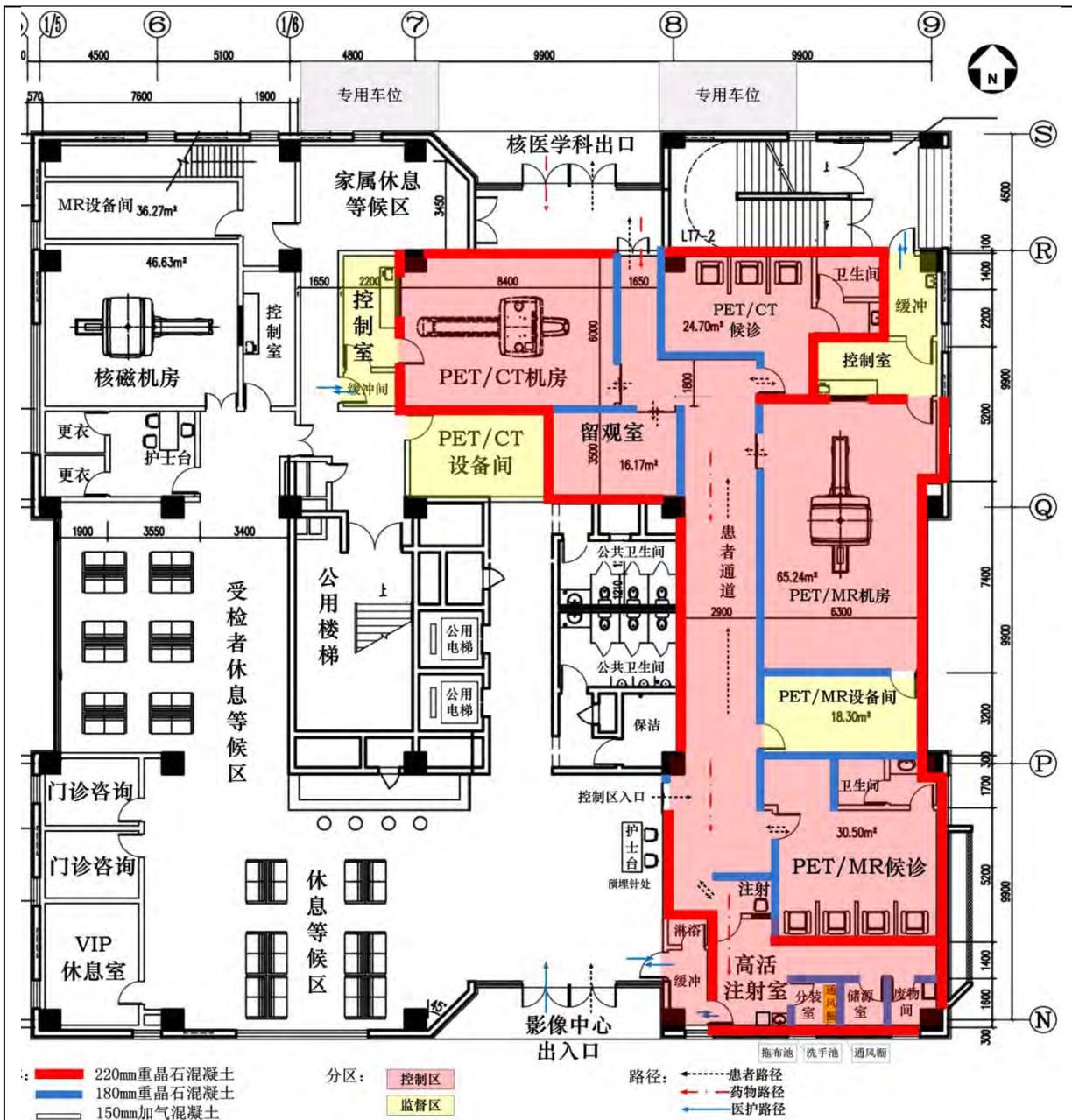


图 10-2 核医学科改建后的布局示意图

10.1.2 分区管理

核医学科辐射工作场所实行分区管理。控制区包括 PET/CT 机房，PET/MR 机房，高活室，注射室，储源室，废物间，PET/MR 候诊室，PET/CT 候诊室，留观室，衰变池、缓冲间等。监督区包括 PET/CT 控制室、PET/MR 控制室和患处间，PET/MR 设备间、PET/CT 设备间。

从功能分区来看，工作人员进行设备操作、药物注射的区域，与受检者给药、候诊区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的交叉照射。同时考虑了放射性“三废”的收集、暂存、排放等措施。

10.1.3 患者就诊流程

患者按照预约时间，到达全景德康影像中心一层南侧入口进入接待区（开车人员将车停放到 3 号楼北侧专用车位内）→轮到患者显像检查时，由引导员引导，从核医学科南侧入口通过门禁进入控制区，在注射区窗口接受注射→PET/CT 或 PET/MR 给药后候诊室等候→PET/CT 或 PET/MR 扫描检查→留观室留观，从位于北侧的带有门禁的防护门离开核医学科。

10.1.4 工作人员流程

PET/CT 操作人技师：技师从本影像中心一层西侧到达控制室旁→在缓冲间更换工作服和拖鞋进入控制室→在控制室操作设备进行扫描、在机房内对受检人员进行摆位→工作完毕，在缓冲间更换工作服和拖鞋，离开 PET/CT 场所。

PET/MR 操作人技师：技师从本影像中心东北侧到达控制室旁→在缓冲间更换工作服和拖鞋进入控制室→在控制室操作设备进行扫描、在机房内对受检人员进行摆位→工作完毕，在缓冲间更换工作服和拖鞋，离开 PET/MR 场所。

药物注射人员：护士从南侧进入高活室缓冲间（更衣室），在此更换工作服和拖鞋→在高活室分装药物、给受检人员注射药物→离开时，在缓冲间更换工作服和拖鞋→必要时应急淋浴后，然后离开缓冲间。

10.1.5 药物流转路线

有资质的供货公司将放射性药物由运输车辆运至 3 号楼北侧，从受检者出口进入核医学科，送至高活室门口，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，然后将放射性药品暂存高活室备用。核医学科高活室目前已安装防盗门和监控设备，并已通过三级安全防范安验收，满足放射性物品存放的要求。

定购的放射性药物要求在早上开诊前或中午休息时间送达，以避免放射性药品和受检者近距离接触。

10.1.6 放射性废物转移路线

核医学科已购置了 6 个 20L 废物桶，均为 40 铅当量，高活室的注射窗旁 1 个、废物间 2 个、给药候检室 2 个、留观室 1 个。

废物桶内衬不易破损的塑料袋，收集病人候诊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。废物间设置的 2 个废物桶交替使用，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。

10.1.7 放射性废水暂存和排放

核医学科产生的放射性废水为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以及缓冲间的应急淋浴废水。放射性废水经独立的排水管道(水平管道使用 6mm 铅包裹)排入位于 3 号楼地下一层的放射性废水衰变池。槽式衰变池有效容积约为 30m^3 ， $10\text{m}^3/\text{池} \times 3$ 池。

通常情况下，受检者在扫描前须如厕排尿，在留观期间可能有少数受检者会如厕，即每位受检者如厕 1-2 次。本项目设在商业楼内，周围环境相对敏感，故本评价采取保守模式估算放射性废水的产生量，并严格配套了放射性废水暂存和排放控制设施，避免出现放射性废水不达标排放的情况。

核医学科从 2021 年 5 月投入运行至 2022 年 5 月底，对衰变池废水排放了 8 次，共计 80m^3 ，这期间检查人数约 7700 人次，人均废水产生量约 10.4L。现有的 3 个 10m^3 的衰变池废水罐，采用 2 个轮流使用的方式，即可满足暂存一个月再解控排放的要求。

本项目增加 PET/MR 设备后，核医学科每日检查人数增加至 50 人次，按每人每次如厕 2 次，每次冲厕废水 5L 计，则每日冲厕废水总量为 500L；此外，清洁废水按 80L/d（受检者和药物注射人员洗手废水 40L/d，核医学科清洁废水 40L/d）计，则核医学科废水产生量为 620 L/d。如果按照上一年度人均实际排水量估计，每日的废水产生量约为 520L，故本评价保守按 620 L/d 排水量进行衰变池容积达标性分析。

每月按 23d 工作日计，每月的放射性废水产生量约 14.3m^3 。衰变池 3 个 10m^3 的废水罐轮流使用，废水实际可以暂存至少 1.4 个月，能够满足 A 类放射性废水暂存 30 天的管理要求。衰变池解控后排出的废水，由自建一体化污水处理设备(地下一层)进一步处理后，排至市政污水管网。

核医学科衰变池设在楼下（地下一层），衰变池的位置见图 10-3，放射性废水收集和衰变池结构布局见图 10-4 所示。



图 10-3 地下一层平面布局以及衰变池位置示意图

核医学科放射性废水收集和衰变池结构布局见图 10-4 所示。

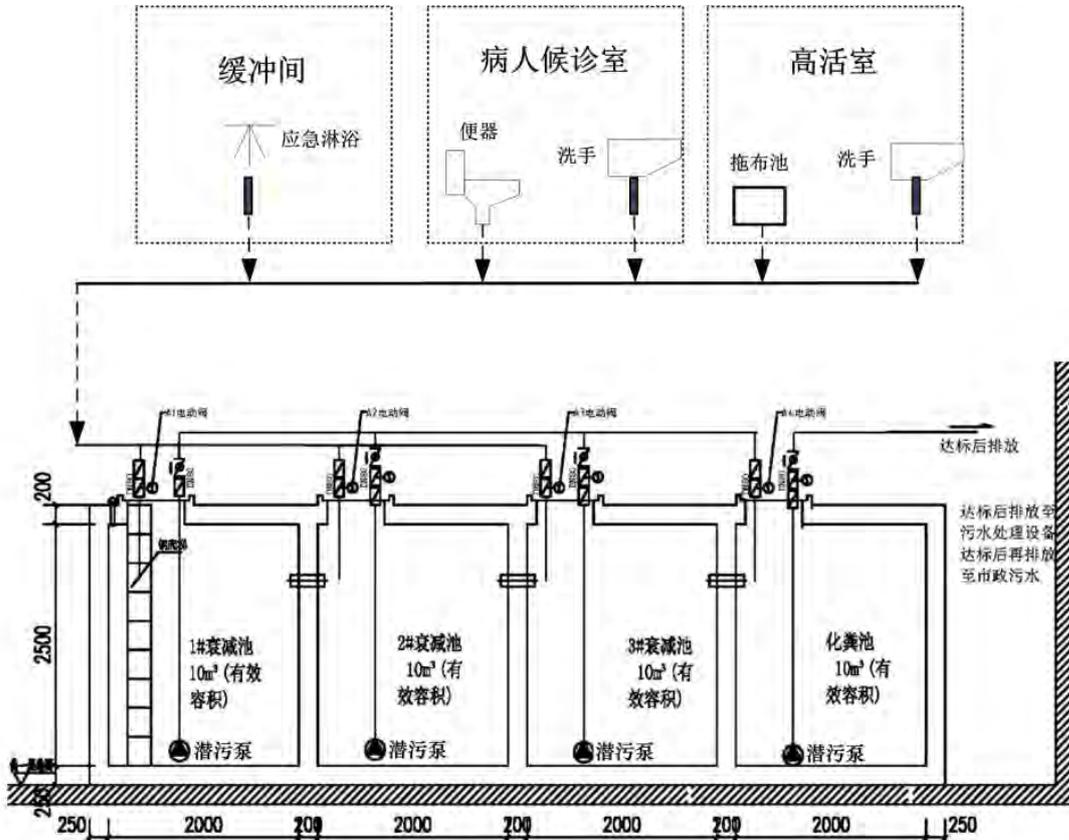


图 10-4 核医学科放射性废水收集和衰变池结构布局示意图

10.1.8 放射性废气组织路径

核医学科共设有二套排风系统：

1. 高活室内通风橱（手套箱）配置了 1 套独立排风系统，放射性药品的分装操作在手套箱内进行。手套箱排风管道经 3#楼管道井引至房顶排放，排放口朝向北侧马路，高度 20m。操作口的气速大于 1.0m/s，通风橱上方设活性炭过滤装置，每年更换一次。

此外，在给药候诊室、留观室、PET/CT 机房、废物间、储源室均设置排风口，在排风管道内设置有活性炭过滤器，由专用排风管道经管道井引至 3#楼顶部排放。

10.1.9 放射性废气组织路径

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

2) **医护人员出入口控制：**在医务人员进入高活室的缓冲间门口设置 1 道门禁系统，可以防止患者和其他无关人员误入该区域。

10.2 核医学科场所辐射屏蔽

核医学科屏蔽墙采用 3 种规格：1) 核医学科控制区边界（缓冲区除外）的墙体，以及 PET/CT 和 PET/MR 候诊室南墙，均采用 22cm 厚重砼（密度 3.3t/m³，图 1-3 中标注红线的墙体）。2) 控制区内其它墙体采用 18cm 厚重砼墙体，图 1-3 中标注蓝线的墙体。3) 监督区和缓冲区的墙体均采用 15cm 加气混凝土砌块（0.8t/m³），图 1-3 中白色墙体。场所辐射屏蔽方案见表 10-1 所示。

现状 SPECT 相关场所，在最初设计是按照 PET/MR 场所设计的。

表 10-1 核医学科的屏蔽落实情况

场所名称	使用功能	实体屏蔽方案	
		屏蔽体	实际施工方案
高活注射室	暂存和分装放射性药物；贮存密封校验源；贮存放射性固废；	四周墙壁	22cm 重砼（相当于 31cm 普砼）
		防护门	8mmPb
注射区	注射放射性显像药物	东墙、北墙	18cm 重砼（相当于 25cm 普砼）
		西墙	22cm 重砼
		注射窗	40mmPb
PET/CT 注射候诊室	注射 ¹⁸ F 药物的患者，等待 PET/CT 扫描前等候、休息	东墙、南墙	22cm 重砼
		西墙、北墙	18cm 重砼
		防护门	8mmPb
PET/MR 注射候诊室	注射 ^{99m} Tc 药物的患者，等待 PET/MR 扫描前等候、休息	北墙、东墙	22cm 重砼
		西墙、南墙	18cm 重砼
		防护门	8mmPb

留观室	患者检查后留观室	西墙、南墙	22cm 重砼
		东墙、北墙	18cm 重砼
		防护门	8mmPb
PET/CT 机房 (6.0m×8.4m)	PET/CT 扫描	南墙西端、西墙、北墙	22cm 重砼
		南墙东端、东墙	18cm 重砼
		防护门	8mmPb
		观察窗	8mmPb 当量
PET/MR 机房 (10.3m×6.3m)	PET/MR 扫描	北墙、东墙	22cm 重砼
		西墙、南墙	18cm 重砼
		防护门	8mmPb
		观察窗	8mmPb 当量
废物间	暂存放射性废物	东墙、南墙	22cm 重砼
		西墙、北墙	18cm 重砼
		防护门	普通防盗门
储源室	暂存校验用放射源	南墙	22cm 重砼
		东墙、西墙、北墙	18cm 重砼
		防护门	普通防盗门
分装室	分装 ^{18}F 放射性药物	南墙	22cm 重砼
		东墙、西墙、北墙	18cm 重砼
		防护门	普通防盗门
通风橱	分装 ^{18}F 放射性药物， 对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物进行抽检。	四周、顶部、底部	40mmPb

根据辐射防护设计方案，落实了含铅防护门、铅玻璃，专用通风橱（手套箱），放射性废水衰变池和固体废物间。此外，还配备有防辐射注射窗、铅制废物桶，药品盛装铅盒等防护器具等，以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品。

10.2 辐射安全防护管理措施

1. 核医学科实行了分区管理，划为控制区和监督区。将高活(注射)室、废物间、储源室、给药后等候室、扫描检查室、留观室以及、患者通道以及缓冲间等作为控制区，接诊区、控制室、设备机房作为监督区。

在控制区入口设置了电动防护门，值班护士刷卡才能开启，并具有自动延迟（6s）关闭功能。出口防护门设置了单向门禁系统，无门禁卡的无关人员无法进入控制区。

2. 电离辐射警示标志和工作状态指示灯：在控制区出入口上张贴了电离辐射警告标志和中文警示说明，警示无关人员不要在出、入口长久停留。在高活室、废物间、储源室、PET/CT 机房门和 PET/MR 机房门上设置电离辐射警告标志和中文警示说明。PET/CT 和 PET/MR 机房门口设置“射线有害，灯亮勿入”警示灯箱，安装门灯关联装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

3. 外照射防护：核医学科控制区边界、核素操作、受检人员候诊和扫描场所外围

墙体采用实体屏蔽措施，顶棚为混凝土浇筑，患者进、出通道门安装铅制防护门。扫描机房安装铅制防护门（具有防夹功能），观察窗安装铅玻璃。确保场所控制区边界外及控制区内各房间外 30cm 人员可达处（含通风橱外关闭状态下表面 30cm 处）的辐射剂量率均不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

4. 在高活室配备 1 个贮存放射性药物的铅屏蔽盒，在注射区配备 1 个铅屏蔽药物注射窗（铅屏蔽厚度为 40mmPb）、2 个钨合金注射防护套和 1 个铅制废物桶。在废物间配置 2 个铅制废物桶（40mmPb，20L）。病人候诊室和留观室各配备 1 个废物桶。

5. 内照射的防护：高活室配备分装通风橱，屏蔽厚度为 40mm 铅，通风橱操作口风速不低于 1m/s，废气经活性炭过滤装置过滤后，由专用排风管道经管道井引至 3#楼顶部排放。此外，在给药候诊室、留观室、PET/CT 机房、废物间、储源室均设置排风口，排风由专用排风管道经管道井引至 3#楼顶部排放，顶部排风出口朝向北侧。

6. 放射性表面污染控制措施：注射区、高活室、扫描室、储源室、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊地面铺装硬质无缝 PVC 地板革，墙面装铝塑面板和釉面砖，便于去污。通风橱和工作台面为表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的不锈钢板。

7. 放射性废水收集处置：核医学科高活室内洗手池（拖布池）废水，以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水，缓冲间应急淋浴废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池。专用管道外表面采用了 6mm 厚度的铅皮进行包裹防护。衰变池采用槽式设计，衰变池总容积为 30m^3 （ $10\text{m}^3 \times 3$ ），并砌了隔墙防止无关人员靠近。废水至少暂存 30 天（废水罐达到高液位并自动切换后计时）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 类费用管理要求排放，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。

8. 妥善收集固体放射性废物：注射窗旁设一个含 20mm 铅的废物桶，废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入该铅制废物桶，次日早上转移至废物间。核医学科废物间设置了 2 个 40mm 铅的废物桶（容积 20L），轮流使用。病人候诊室和留观室各配备 1 个废物桶，收集病人候诊期间产生的放射性废物。放射性固废放置至少一个月后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》A 类固体废物相关要求进行处理，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。

9. 核医学科场所设置 2 套通风系统，废气经管道组织，由管道井延伸至 3#建筑物顶部排放。通风橱设 1 套独立的排风系统。核医学科控制区其它场所共用 1 套排风

系统。

通风橱配套活性炭过滤装置（过滤效率 $\geq 70\%$ ），类外 1 套通风系统在通风管道上也设活性炭过滤装置（过滤效率 $\geq 70\%$ ），排风机设在一层。

通风橱过滤器尺寸均为 $200 \times 200 \times 30\text{mm}$ ，过滤器中活性炭质量不低于 3kg ，每年更换一次。

10. 核医学科高活室、储源室安装了电视监控和防盗警戒系统，已通过安检验收，符合三级安全防范要求。

11. 核医学科已配置了 2 台 Inspector 表面污染监测仪，用于工作场所和人员体表的放射性污染监测。配置了 2 台 BG9511 型 X- γ 剂量率仪，用于场所辐射水平的监测和放射性废物的解控检测。

12. 在 3 号楼北侧一层地面上设定 2 个核医学科检查专用车位。核医学科检查后人员直接乘车离开园区，减少到地下车库找车对园区其它人员的辐射影响。

13. 核医学科已配备了 21 名辐射工作人员，全部通过辐射安全与防护考核，持有合格证书。所有人员开展了个人剂量监测。

14. 部分患者因身体不便等原因需要家属陪护检查的，将告知家属近距离接触可能受到少量辐射照射，请陪护人员减少近距离接触的时间或者适当增加陪护距离。

15. 在诊疗流程中增加注射时患者识别程序，在地面设置去不同候诊室和扫描机房的引导标志。注射窗口前设置铅玻璃观察窗，能看清楚患者面目，避免药物注射错误。

16. 进出控制区的防护门均拟设置门禁系统，需要由工作人员刷卡或远程操作才能打开，主要包括核医学科出、入口、缓冲间门、由高活室通往患者走廊的门。

17. 注射后 PET/CT 候诊室、PET/MR 候诊室和留观室均最多有 2 名受检者同时候诊或留观，座位间均设置 6mm 铅当量的铅屏风，减少受检者候诊期间的相互照射

18. 应急淋浴专用于发生全身放射性污染事件后去污使用，平时不可使用，淋浴间钥匙由专人保管。核医学科安装有火灾报警器，配备有灭火器材，有放射性同位素应急去污包装容器，以及必要的警示标志和警戒线。

表 10-2 核医学科场所辐射安全防护设施设计核查表

序号	检查项目		现状情况	现以落实情况
1*	A 场所设施	场所分区标识	√	地面粘贴有控制区和监督区标志
2		场所电离辐射警示标志	√	PET/CT 机房和 PET/MR 机房防护门上粘贴电离辐射警示标志和中文

				警示说明,上方还设置有“射线有害灯亮勿入”警示灯箱。高活室、候诊室、储源室、废物间等防护门上设置有电离辐射标志和中文警示说明。
3		出入口有相应的标识和说明	√	受检人员出、入口有明显位置设置有电离辐射警示标志和中文警示说明。
4		场所内文字说明、灯光/声响等警示	√	采用文字说明。地面和墙上设置有引导文字和标线。
5		安全保卫设施(贮存场所必须)	√	储源室安装防盗门,设闭路监视系统。双人双锁管理。安全防范系统通过了验收,符合三级安全防范要求。
6*		通风设施(通风橱/手套箱、记录的流速)	√	高活室配备了通风橱,屏蔽厚度40mmPb。
7*		注射或口服取药用屏蔽	√	配备了防辐射注射窗,屏蔽厚度40mmPb。
8*		专用卫生、淋浴设施及下水(丙级场所)	√	设专用卫生间及排水管线。
9		放射性下水系统标识	√	高活室设置洗手池和拖布池,废水收集至衰变池,粘贴明显文字标识。
10*		放射性同位素暂存库或设施	√	同位素在高活室暂存,设闭路监控。
11*		放射性下水系统或暂存设施	√	设槽式放射性废水衰变池,3个10m ³ 衰变池。
12*	B 监测设备	便携式监测仪器仪表(污染、辐射水平等)	√	配置了2台Inspector Alert表面污染监测仪和2台BG9511型X-γ剂量率检测仪
13*		个人剂量计	√	所有工作人员配备了TLD个人剂量计开展个人剂量监测。
14		个人剂量报警仪	--	配置了10台BG2010个人剂量报警仪。
15*		放射性活度计	√	高活室配备了1台活度计
16	C 个人防护	防护手套、口罩等	√	配备一次性医用口罩和手套若干。
17		放射性表面去污用品和试剂	√	洗涤灵、酒精和棉球。
18	D 放射性废物和废液	放射性固体废物和废液贮存设施	√	共配置了6个废物桶。设置了3个槽式衰变池。
9*		放射性固体废物间	√	设废物间,贮存放射性废物
20		废物桶屏蔽措施	√	铅屏蔽
21*		通风系统	√	废物间设一个排风口
22		E 应急物资	辐射监测仪器	√
23	去污用品和试剂		√	洗涤灵、酒精和棉球
24	必备的警示标志和标识线		√	警戒绳50m
25	合适的灭火器材		√	1个干粉灭火器

10.3 “三废”的处置

放射性废气经通风系统活性炭过滤后,在建筑物楼顶排放。放射性废水排入放射性废水衰变池,统一暂存处置。放射性固体废物分类贮存于废物间内,暂存一个月后解控为医疗废物处置。

10.4 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的满足情况

原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用放射性同位素和射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照评估如表 10-3 所示。

表 10-3 安全和防护能力对照评估情况

安全和防护管理办法要求	单位情况	符合情况
射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	在核医学科控制区入口处，PET/CT 机房门口、PET/MR 机房门口、患者候诊室门口等位置设置放射性警告标识和中文警示说明，在 PET/CT 机房和 PET/MR 机房门口防护门上方设置工作状态指示灯，并采取门灯联锁措施。	符合
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。	委托有辐射水平监测资质单位每年对放射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。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，并做好监测记录并妥善保存监测报告。科室每天对高活室、注射区、候诊区的表面污染进行自行监测，并做好记录。	符合
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。	全景德康影像中心在每年 1 月 31 日前向生态环境管理部门提交年度评估报告。	符合
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责任人进行辐射安全培训并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	所有辐射工作人员，在上岗前通过辐射安全与防护培训，并经考试合格后上岗，并制定了辐射工作人员培训计划。 核医学科配置了 21 名辐射工作人员，均通过了辐射安全与防护考核。	符合
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，应当立即调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计开展了个人剂量检测，频度为每季度一次。	符合

10.5 对《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要求的对应评估情况。

表 10-4 项目执行“3 号令”要求对照表

放射性同位素与射线装置安全许可 管理办法要求	项目单位情况	符合 情况
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 本科以上学历的技术人员专职负责 辐射安全与环境保护管理工作。	成立了由法人为组长的辐射防护和安全管理小组，全面负责本影 像诊断中心的辐射防护监督和管理工 作，小组下设专职人员具体 处理各项事务，各相关部门内部职 责明确。	符合
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。	所有辐射工作人员，在上岗前通过 辐射安全与防护考核，并制定 了辐射工作人员培训计划。 全景德康影像中心核医学科现有 21 名辐射工作人员，均已通过 辐射安全与防护考核。	符合
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 源暂存库或设备。	核医学科高活室门口安装点对点交 接摄像头。高活室和储源室通 过了三级安全防范验收。	符合
放射性同位素与射线装置使用场所 所有防止误操作、防止工作人员和 公众受到意外照射的安全措施。	在核医学科控制区入口处，PET/CT 机房门口、PET/MR 机房门口、 患者候诊室门口等位置设置放射 性警告标识和中文警示说明，在 PET/CT 机房和 PET/MR 机房 门口防护门上方设置工作状态指 示灯，并采取门灯联锁措施。	符合
配备必要的防护用品和监测仪器。	核医学科配备了 2 台表面污染监测 仪和 2 台 X-γ 剂量率检测仪， 能够满足现在工作的需要。	符合
有健全的操作规程、岗位职责、辐 射防护措施、台帐管理制度、培训 计划和监测方案。	制定有相应的辐射安全防护制度， 从业人员辐射安全培训制度、 各项操作规程、设备检修维护制 度、辐射防护和安全保卫制度、 台帐管理制度、环境监测及个人 剂量监测制度。	符合
有辐射事故应急措施。	制定了辐射事故应急预案。	符合
产生放射性废气、废液、固体废 物的，还应具有确保放射性废气、 废液、固体废物达标排放的处理 能力或者可行的处理方案。	高活室内配备手套箱，设置专用 排风管道，排风引至本建筑物 顶部排放。核医学科高活室内 产生的废水，给药后患者专用卫 生间以及应急淋浴产生的废水， 通过专用管道一并进入放射性废 水衰变池，衰变 30 天后排入市 政污水管网。妥善收集固体放射 性废物。废弃的放射性药物、注 射器、包装物、棉棒、一次性用 品等物品放入专用铅制储存箱， 暂存至少 30d 后，依照《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》作为医疗废物处理。	符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

核医学科场所已经建设完毕，本项目涉及的施工内容为设备安装设备等室内工作，对室外环境和周围的人群影响较小，预计噪声可以控制在国家标准规定的范围之内，故不再进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

全景德康影像中心核医学科为已通过竣工环保验收并正常运行的场所，本次改建不改变布局、屏蔽和辐射防护设施，只是将院 SPECT 机房调整为 PET/MR 机房，将原 SPECT 候诊室调整为 PET/MR 候诊室，将 SPECT 机房南侧库房调整为 PET/MR 设备间，其它保持原状不变，故本次评价对 PET/CT 相关场所采用验收检测的实测数据进行评价，对 PET/MR 相关场所采用预测模式进行评价。PET/MR 检查所用药物、注射量与 PET/CT 相同，故注射分装、环节也采用实测数据进行评价。

11.2.1 核医学科 PET/CT 场所竣工验收情况

核医学科场所于 2020 年 9 月对 PET/CT 相关场所进行了自主竣工环境保护验收。

(1) 运行工况

核医学科运行工况见表 11-1 所示。

表 11-1 验收监测的射线装置基本情况表

型号/名称	数量	类别	检测工况	所在场所
PET/CT	1	III	100kV/200mA	核医学科 PET/CT 机房
核医学科	1	丙级	正常运行。约 15 分钟/人次。	3 号楼一层东侧

(2) 监测点位

监测点位见图 11-1，监测点位包括核医学科 PET/CT 相关场所周围（墙外、防护门和观察窗外 30cm 处）、楼上和楼下毗邻场所。

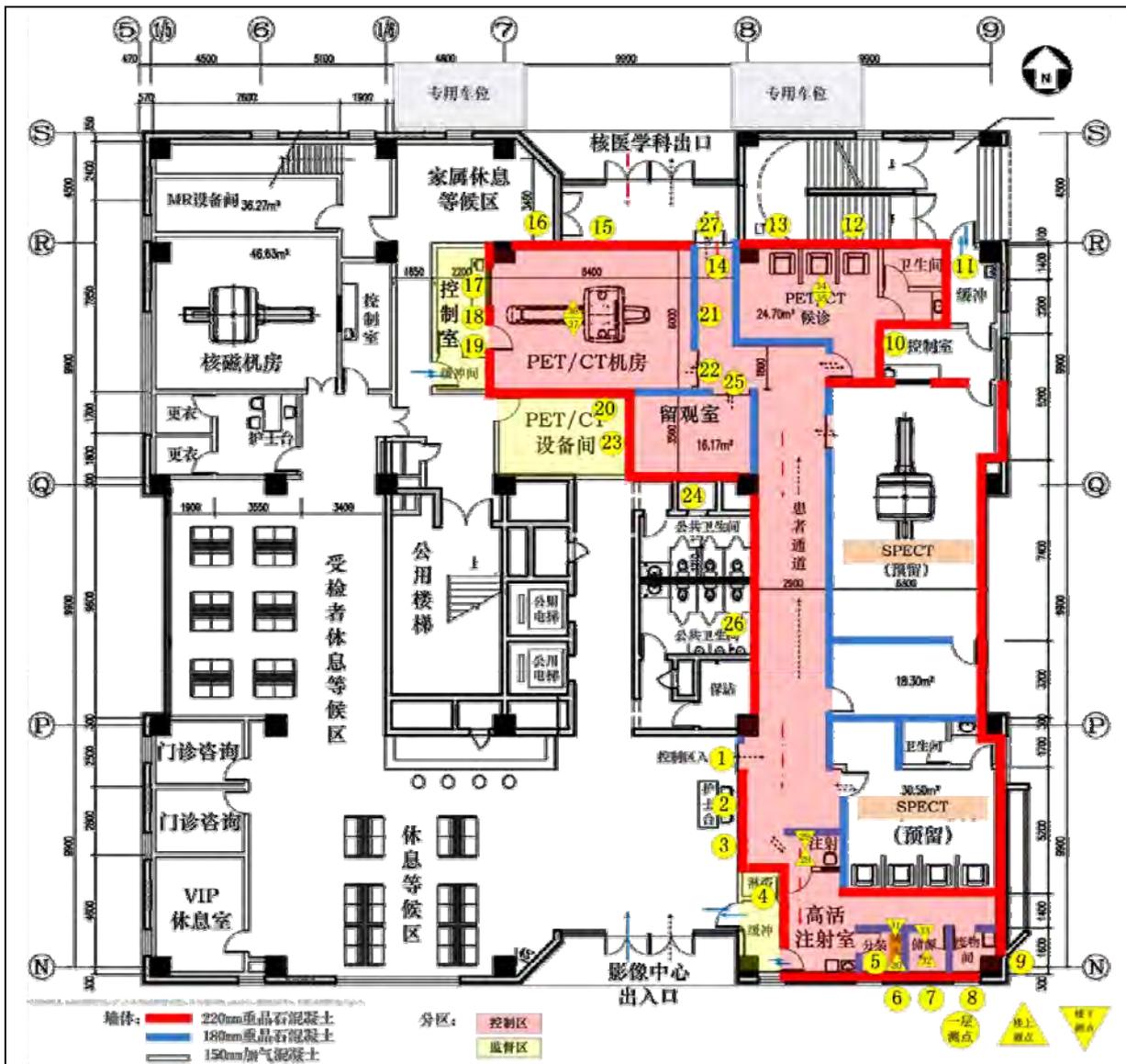


图 11-1 核医学科 PET/CT 相关场所验收检测点位示意图

(3) 验收监测结果

核医学科周围的剂量率水平检测结果见表 11-2。

表 11-2 核医学科 PET/CT 相关场所周围辐射剂量率检测结果

区域名称	测点序号 (图 11-1)	检测点位名称	X-γ 剂量率* (nSv/h)	备注
患者通道	1	控制区入口门外 30cm	124±8.5	注射室有受检者注射 F-18 时
	2	患者通道西墙外 30cm (护士台)	100±10.7	
	3	患者通道西墙外 30cm (护士台南侧)	223±21.4	
	26	患者通道西墙外 30cm (卫生间内)	70.9±6.9	
注射室	27	北侧患者出入门外 30cm	79.0±6.7	给患者注射 10mCi F-18 过
	4	注射室西墙外 30cm (淋浴间内)	283±24.9	
	28	注射室楼上	98.6±7.9	

	29	注射室楼下	129±9.8	程中
分装室	5	分装室通风柜表面	249±22.8	分装 F-18, 总量 90mCi
	6	分装室南墙外 30cm	134±9.7	
	30	分装室楼上	101±8.1	
	31	分装室楼下	131±9.2	
储源室	7	储源室南墙外 30cm	116.9±10.1	存放 3 枚 V 类 Ge-68 源, 其中 2 枚活度为 4.6E+7Bq, 1 枚活度为 9.25E+7Bq
	32	储源室楼上	96.4±7.2	
	33	储源室楼下	102±9.0	
废物间	8	废物间南墙外 30cm	75.9±6.7	F-18 废物 0.5kg
	9	废物间东墙外 30cm	96.2±4.3	
候诊区	10	候诊区东墙外 30cm	83.0±8.1	候诊室内 2 个病人均注射 F-18: 7mCi
	11	候诊区卫生间东墙外 30cm	86.9±7.9	
	12	候诊区北墙外 30cm	115±10.7	
	13	候诊区北墙外楼梯通道	113±5.3	
	14	候诊区西墙外 30cm	110±9.8	
	34	候诊区楼上	70.3±6.7	
	35	候诊区楼下	86.6±8.2	
PET/CT 机房	15	PET/CT 机房北墙外 30cm(家属休息等候区门口)	81.9±7.2	CT 扫描工况: 100kV, 200mA 患者注射 8mCi 的 F-18
	16	PET/CT 机房北墙外 30cm(家属休息等候区内)	65.9±4.2	
	17	PET/CT 机房控制室观察窗外 30cm	93.0±7.3	
	18	PET/CT 机房控制室墙外 30cm	74.0±5.3	
	19	PET/CT 机房控制室医生出入门外 30cm	113±9.7	
	20	PET/CT 机房南墙外 30cm	530.9±8.5	
	21	PET/CT 机房东墙外 30cm	253±8.4	
	22	PET/CT 机房患者出入门外 30cm	127±11.3	
	36	PET/CT 机房楼上	83.0±8.5	
	37	PET/CT 机房楼下	107±9.1	
留观室	23	留观室西墙外 30cm	71.9±7.2	留观室内 1 名注射 8mCi 受检者扫描后留观(约 1h 后)
	24	留观室南墙外 30cm	68.9±6.0	
	25	留观室门外 30cm	325±21	
衰变池	38	衰变池南侧墙外 30cm	148±8.8	贮存有约 1m ³ 废水
	39	楼内休息等候区(对照点)	65.9±5.5	
	40	5 号楼旁(室外对照点)	79.2±5.5	

	41	护师注射位置	3.8 μ Sv/h	注射 10mCi 的 F-18
	42	患者 1m 处	30 μ Sv/h	注射 10mCi 的 F-18

注：*检测结果含宇宙射线响应值

可见，核医学科 PET/CT 场所控制区外围的 X- γ 辐射剂量率均小于 2.5 μ Sv/h，满足相关标准要求。PET/CT 在对给药患者进行 CT 扫描时，机房外围的辐射水平低于 2.5 μ Sv/h，满足相关标准要求。

(4) PET/CT 场所致职业人员和公众受照剂量

根据最新许可使用量，按照核医学科每天最多开展 PET/CT 诊断 40 例，全年最多完成 10000 例进行估算。假设：

1. 每次 F-18 最大分装量为 100mCi，药物分装时间 2min/人次，全年累计分装 ^{18}F 药物的时间为 333.4h。

2. 分装好的药物用 10mmPb 铅盒转移至注射台处，每次转移 2 支。铅盒距离身体 30cm，转移时间 10s。

3. PET/CT 药物注射时间为 90s/人，注射由 2 人轮流完成，全年累计注射 ^{18}F 的时间为 125h。

4. PET/CT “给药后候诊室”内受检者停留时间分别为 2500h，留观室受检人员停留时间 2700h（留观 15min）。

5. 每人每次 PET/CT 扫描时间按 15min 计，全年 PET/CT 机房内受检者停留总时间 2500h。

6. PET/CT 扫描和摆位工作由 2 人分担完成，PET/CT 摆位时间 30s/人，摆位距离设定为 1m。

7. 每周使用密封源对仪器进行一次校验，每次搬运放射源时间累计 10min，与放射源距离 30cm。 ^{68}Ge 最大活度为 92.5MBq，1m 处的剂量率为 1.5 μ Sv/h，30cm 处的剂量率为 16.7 μ Sv/h。

职业人员和公众受照剂量估算结果见表 11-3、表 11-4：

表11-3 职业人员所受最大年附加有效剂量估算结果

估算对象	附加剂量率 (μ Sv/h)	年工作时间 (h/a)	居留 因子	年附加有效剂量 (mSv/a)
药物分装	0.28*	333.4	1/2	2.06
药物转移	235**	13.9	1/2	
药物注射	3.04	250	1/2	

患者摆位	24	83.3	1/2	1.04
控制室操作位	0.034	2500	1/2	
放射源质控	16.7	8.3	1	0.14

注：折算为分装100mCi数值。**10mmPb铅盒每次转移2支。

表11-4 公众人员所受最大年附加有效剂量估算结果

区域名称	测点序号	检测点位名称	附加剂量率* (nSv/h)	年工作时间 (h/a)	居留因子	年附加有效剂量 (μ Sv/a)
候诊大厅	1	控制区入口门外 30cm	58.1	83.4	1/16	0.3
	2	患者通道西墙外 30cm (护士台)	34.1	83.4	1	2.84
	3	患者通道西墙外 30cm (护士台南侧)	157.1	83.4	1/4	3.28
	26	患者通道西墙外 30cm (卫生间内)	5	83.4	1/16	0.02
	27	北侧患者出入门外 30cm	13.1	83.4	1/16	0.06
注射室	4	注射室西墙外 30cm (淋浴间内)	217.1	83.4	1/16	1.14
	28	注射室楼上	32.7	83.4	1	2.72
	29	注射室楼下	63.1	83.4	1/16	0.32
分装室	6	分装室南墙外 30cm	68.1	333.4	1/16	1.42
	30	分装室楼上	35.1	333.4	1	11.7
	31	分装室楼下	65.1	333.4	1/16	1.36
储源室	7	储源室南墙外 30cm	51	2000	1/16	6.38
	32	储源室楼上	30.5	2000	1/4	15.2
	33	储源室楼下	36.1	2000	1/16	4.51
废物间	8	废物间南墙外 30cm	10	2000	1/16	1.25
	9	废物间东墙外 30cm	30.3	2000	1/4	15.15
候诊区	10	候诊区东墙外 30cm	19.52	2500	1/4	12.2
	11	候诊区卫生间东墙外 30cm	24	2500	1/16	3.75
	12	候诊区北墙外 30cm	56.08	2500	1/16	8.7625
	13	候诊区北墙外楼梯通道	53.84	2500	1/16	8.4125
	34	候诊区楼上	5.04	2500	1	12.6
	35	候诊区楼下	23.68	2500	1/16	3.7
PET/CT 机房	15	PET/CT 机房北墙外 30cm (家属休息等候区门口)	16	2500	1/16	12.2
	36	PET/CT 机房楼上	17.12	2500	1	3.75
	37	PET/CT 机房楼下	41.12	2500	1/16	8.7625
留观室	23	留观室西墙外 30cm	7.5	2700	1/16	1.26
	24	留观室南墙外 30cm	3.8	2700	1/16	0.64
衰变	38	衰变池南侧墙外 30cm	82.1	2000	1/16	10.26

池						
---	--	--	--	--	--	--

注：全部检测数据校正为 8mCi。

11.2.2 PET/MR 场所环境影响分析

(1) 源强数据

1) ^{18}F 使用量约为 0.185 GBq (5mCi)/人次 ~ 0.296 GBq (8mCi)/人次。根据 AAPM Task Group 108 报告，给患者注射 8mCi 的 ^{18}F 后，距离患者 1m 处的剂量率约为 27.2 $\mu\text{Sv/h}$ 。

2) ^{18}F 等正电子显像药物，需要在高活室再次分装。每个转运防护罐盛装最大量为 100mCi，分装通风橱外操作位周围剂量当量率采用实测数据，0.28 $\mu\text{Sv/h}$ 。

3) 分装好药物用 10mmPb 铅盒转移至注射台处，每次转移 1 支。铅盒距离身体 30cm，转移时间 10s，剂量率为 94 $\mu\text{Sv/h}$ 。

4) PET/MR 候诊室每间 2 名受检者候诊。留观室最多 2 名 (PET/CT 和 PET/MR) 受检者停留。

5) PET/MR 使用的 Ge-68 密封校验源最大活度为 111MBq，1m 处的剂量率为 1.8 $\mu\text{Sv/h}$ ，30cm 处剂量率为 20 $\mu\text{Sv/h}$ 。

2. 关注点的选取

(2) 估算方法

将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的注射器近似作为点源，依照剂量率和距离平方成反比衰减的关系，同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用，估算高活室、扫描室、休息室和留观室等有代表性场所周围的附加辐射剂量率，然后结合可能的照射时间，估算职业人员和公众的受照剂量。

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 30cm 处，楼下关注点在楼板上方 1.7m 处。

1) 剂量估算公式

辐射剂量率可由下式计算，

$$H = A \times f \times R^{-2} \times B \quad (1)$$

$$B = 10^{-d/\text{TVL}} \quad (2)$$

式中：H：估算点的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；A：放射性药物的活度，MBq；B：透射；f：剂量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}$ ；R：辐射源到关注点的距离，m；d：屏蔽层厚度，mm；TVL：十分之一层厚度，mm。

2) 相关参数

本项目屏蔽计算采用的相关参数见表 11-5 所示。

表 11-5 屏蔽计算相关参数*

核素名称	裸源剂量率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}$)	人体源剂量率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}$)	TVL 铅 (mm)	TVL 砖 (mm)	TVL 混凝土 (mm)
^{18}F	0.143	0.092	16.6	263	176

注：1) 铅密度 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，砖密度 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。2) 数据来自 GBZ130-2020

3) 人员附加受照剂量估算公式

人员附加年受照剂量可由式 (3) 计算得到。

$$E = D \times t \times T \quad (3)$$

式中：E：年有效剂量，mSv/a；D：计算点的附加剂量率，mSv/h；t：受照时间，h/a；T：居留因子。

(3) 机房周围不同位置的附加剂量率水平

基于上述源项，依照公式 (1)，估算高活室、PET/MR 机房和给药候诊室周围不同位置的最大附加剂量率。计算结果见表 11-1 所示。

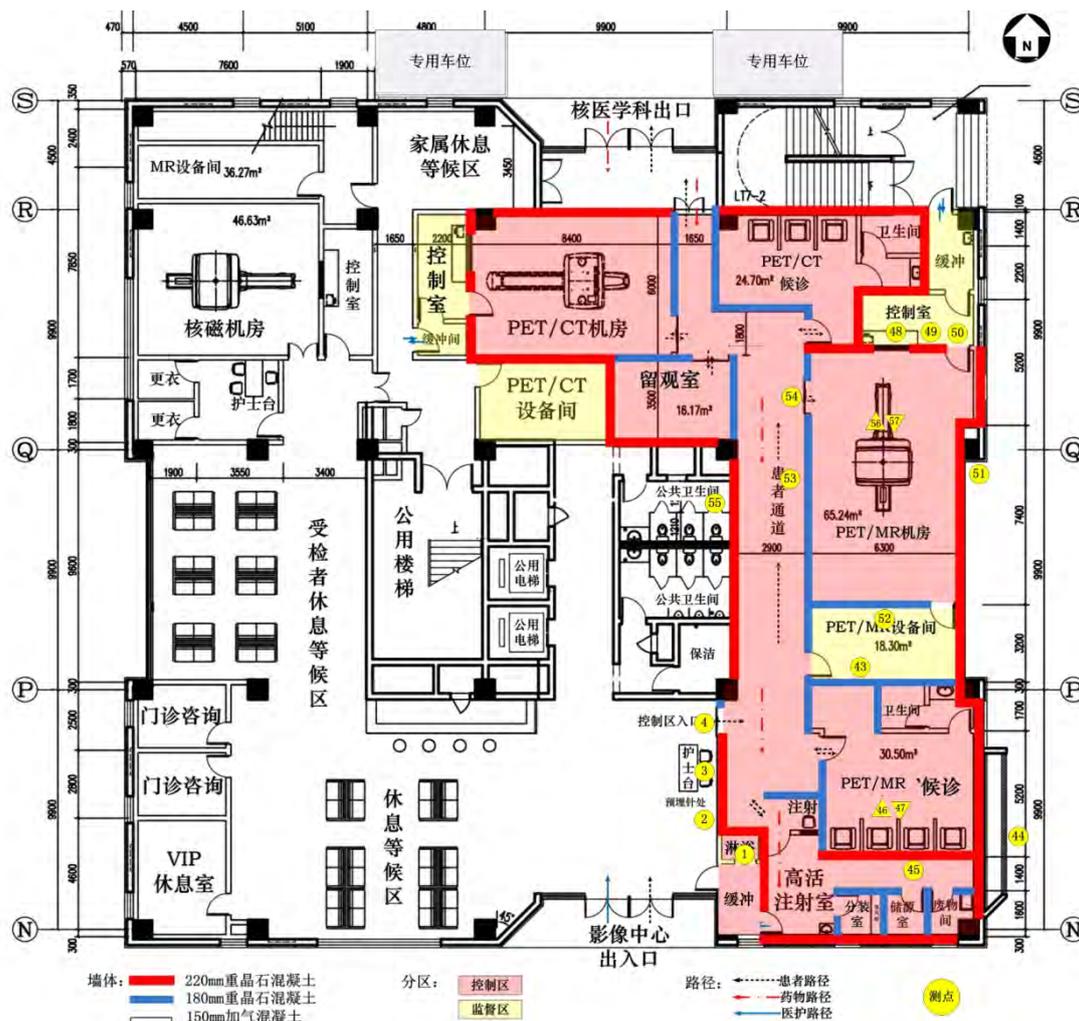


图 11-2 PET/MR 相关场所周围估算点位示意图

表 11-6 PET/MR 相关场所周围辐射剂量率估算结果

场所名称	编号 (见图 11-1)	估算点位置	实体屏蔽方案	距离 (m)	透射系数	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
PET/ MR 候诊室	1	西侧缓冲间内	220mm 重砼	2.3	1.73E-2	8.88E-02	普通区域
			220mm 重砼 +180mm 重砼	5	6.58E-4	7.16E-04	
	2	西侧护士台南侧	220mm 重砼	3.8	1.73E-2	3.26E-02	普通区域
			220mm 重砼 +180mm 重砼	5	6.58E-4	7.16E-04	
	3	西侧护士台	220mm 重砼	4	1.73E-2	2.94E-02	普通区域
			220mm 重砼 +180mm 重砼	5	6.58E-4	7.16E-04	
	4	控制区出口处	8mmPb	4	3.29E-1	5.59E-01	普通区域
			220mm 重砼 +180mm 重砼	4.7	6.58E-4	8.08E-04	
	43	北侧 PET/MR 设备间	180mm 重砼	5.5	3.80E-2	3.42E-02	监督区
	44	东侧墙外	220mm 重砼	3.0	1.73E-2	5.23E-02	普通区域
45	南侧墙外	220mm 重砼	1.0	1.73E-2	4.70E-01	控制区	
46	二楼影像中心	150mm 重砼	6.8	9.00E-3	5.29E-03	普通区域	
47	地下一层消防泵房	320mm 普砼	3.7	1.52E-2	2.99E-02	普通区域	
PET/ MR 机房	48	北侧观察窗外控制室操作	8mmPb	4.9	3.29E-1	3.73E-01	监督区
	49	北侧墙外(控制室内)	220mm 重砼	5.2	1.73E-2	1.74E-02	监督区
	50	北侧防护门外	8mmPb (30°斜射)	5.8	2.78E-1	2.25E-01	监督区
	51	东侧墙外	220mm 重砼	3.4	1.73E-2	4.07E-02	普通区域
	52	南侧墙外 (PET/MR 设备间)	180mm 重砼	6.1	3.80E-2	2.78E-02	监督区
	53	西侧墙外	180mm 重砼	3.4	3.80E-2	8.88E-02	控制区
	54	西侧防护门外	8mmPb	3.8	3.29E-1	6.20E-01	控制区
	55	西侧公共卫生间	220mm 重砼 +180mm 重砼	6.3	6.58E-4	4.51E-04	普通区域
	56	二楼影像中心	150mm 重砼	6.8	9.00E-3	5.29E-03	普通区域
	57	地下一层消防泵房	320mm 普砼	3.7	1.52E-2	2.99E-02	普通区域
3 号楼 内	58	PET/MR 机房上面二层夹层	150mm 重砼+ 150mm×2 普砼	10.5	1.26E-3	3.11E-04	普通区域
	59	PET/MR 机房上面三层	150mm 重砼+ 150mm×3 普砼	13.7	1.78E-4	2.58E-05	普通区域
3 号楼 周围	60	2 号楼(3F)	220mm 重砼+ 370mm 砖墙	8.4	5.78E-4	2.23E-04	普通区域

注：* 1-4 号点位考虑了注射以及给药后病人候诊对该处的附加剂量贡献。

由表 11-1 可见：PET/MR 机房和 PET/MR 候诊室周围的剂量率最大为 $0.62 \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求。

(4) 周围公众受照剂量估算

核医学科实行每日一班制，全年工作 250d。假设：

1) 每年 PET/MR 检查最大人数为 2500 人次，扫描时间平均为 40min/人次，PET/MR 机房内受检者停留时间 1667h，PET/MR 候诊室内受检者停留时间 1667h。

2) 高活室通风橱内每人分装操作时间为 2min，全年累计分装时间为 83.3h。每次转移时间 10s，PET/MR 用药的年转移时间为 6.95h。

3) PET/MR 受检患者药物注射时间为 90s/人，全年注射 PET/MR 药物总时间为 62.5h。注射工作由 2 人轮流完成。

4) PET/MR 扫描和摆位工作由 2 人完成，PET/MR 摆位时间相对较长（头部专用线圈、颈胸腰联合阵列线圈码放需要近距离接触）：0.5m 处核磁摆位 30s/人，1m 处摆位 1.5min，累计摆位时间：0.5m 处 10.42h，1m 处摆位时间 31.25h。

表 11-7 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，PET/MR 检查对周围公众的辐射照射剂量最大不超过 5.45 $\mu\text{Sv/a}$ (东侧墙外)，对楼上本影像中心工作人员的附加剂量贡献最大为 8.82 $\mu\text{Sv/a}$ ，对 3 号楼周围（2#楼）公众的附加受照剂量低于 3.72E-01 $\mu\text{Sv/a}$ ，均满足本项目设定的 100 $\mu\text{Sv/a}$ 的剂量约束值要求。

表 11-7 PET/MR 检查项目运行所致公众外照射剂量估算

场所名称	编号 (图 11-1)	估算点位置	附加剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	全居留时 间 (h/a)	受照剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
控制区出 口处	1	西侧缓冲间内	8.95E-02	1/16	62.5	3.50E-01
	2	西侧护士台南侧	3.33E-02	1/4	62.5	5.20E-01
	3	西侧护士台	3.01E-02	1	62.5	1.88E+00
	4	控制区出口处	5.60E-01	1/16	62.5	2.19E+00
PET/MR 候诊室	43	北侧 PET/MR 设备间	3.42E-02	1/16	1667	3.56E+00
	44	东侧墙外	5.23E-02	1/16	1667	5.45E+00
	46	二楼影像中心	5.29E-03	1	1667	8.82E+00
	47	地下一层消防泵房	2.99E-02	1/16	1667	3.12E+00
PET/MR 机房	51	东侧墙外	4.07E-02	1/16	1667	4.24E+00
	52	南侧墙外 (PET/MR 设备间)	2.78E-02	1/16	1667	2.90E+00
	55	西侧公共卫生间	4.51E-04	1/16	1667	4.70E-02
	56	二楼影像中心	5.29E-03	1	1667	8.82E+00
	57	地下一层消防泵房	2.99E-02	1/16	1667	3.12E+00
3 号楼内三 层	58	PET/MR 机房上面 二楼影像中心	3.11E-04	1	1667	5.18E-01
	59	PET/MR 机房上面 二层夹层	2.58E-05	1	1667	4.30E-02
3 号楼周围	60	2 号楼(3F)	2.23E-04	1	1667	3.72E-01

(5) 工作人员受照剂量估算

工作人员的受照剂量见表 11-8 所示。

表 11-8 PET/MR 检查所致工作人员受照剂量估算

人员工作岗位	剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	每人分配 检查人数(人)	每人全年累计 工作时间(h)	人员受照剂 量(mSv/a)
药物分装	0.28	1250	41.67	4.33E-01
药物转移	94	1250	3.47	
药物注射	3.04	1250	31.25	
PET/MR 摆位	27.2	1250	31.25	2.29E+00
	108.8	1250	10.42	
PET/MR 操作	0.373	1250	833.5	1.66E-01
放射源质控	20	每周一次	8.3	

由表 11-8 可见，PET/MR 药物、转移和注射所致的年受照剂量为 4.33E-01mSv，PET/MR 操作技师（含摆位和扫描操作）的受照剂量为 2.29mSv/a，放射源质控所致的年受照剂量为 1.66E-01mSv，均低于本项目设定的年剂量约束值 5mSv/a。

11.2.3 整体核医学科的辐射影响分析

增加 PET/MR 诊疗项目后，年诊断人数增加 2500 人次，高活室、注射室、候诊大厅周围关注点公众的受照剂量将有所增加，此外，职业人员的受照剂量也将有所增加。

综合分析，公众受照剂量如表 11-9，职业人员受照剂量如表 11-10 所示。可见，核医学科所致周围公众的最大受照剂量为 0.015mSv/a，满足 0.1mSv/a 的剂量约束要求。职业人员的年最大受照剂量为 2.49mSv/a，满足剂量约束要求。

表11-9 核医学科整体对公众最大年附加剂量

区域名称	测点序号	检测点位名称	年附加有效剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
候诊大厅*	1	控制区入口门外 30cm	0.65
	2	患者通道西墙外 30cm (护士台)	3.36
	3	患者通道西墙外 30cm (护士台南侧)	5.16
	26	患者通道西墙外 30cm (卫生间内)	0.03
	27	北侧患者出入门外 30cm	0.08
注射室*	4	注射室西墙外 30cm (淋浴间内)	4.16
	28	注射室楼上	3.40
	29	注射室楼下	0.40
分装室*	6	分装室南墙外 30cm	1.78
	30	分装室楼上	14.63
	31	分装室楼下	1.70

储源室	7	储源室南墙外 30cm	6.38
	32	储源室楼上	15.2
	33	储源室楼下	4.51
废物间	8	废物间南墙外 30cm	1.25
	9	废物间东墙外 30cm	15.15
PET/CT 候诊区	10	候诊区东墙外 30cm	12.2
	11	候诊区卫生间东墙外 30cm	3.75
	12	候诊区北墙外 30cm	8.76
	13	候诊区北墙外楼梯通道	8.41
	34	候诊区楼上	12.6
	35	候诊区楼下	3.7
PET/CT 机房	15	PET/CT 机房北墙外 30cm (家属休息等候区门口)	12.2
	36	PET/CT 机房楼上	3.75
	37	PET/CT 机房楼下	8.76
留观室	23	留观室西墙外 30cm	1.26
	24	留观室南墙外 30cm	0.64
衰变池	38	衰变池南侧墙外 30cm	10.26
PET/MR 候诊室	43	北侧 PET/MR 设备间	3.56
	44	东侧墙外	5.45
	46	二楼影像中心	8.82
	47	地下一层消防泵房	3.12
PET/MR 机房	51	东侧墙外	4.24
	52	南侧墙外 (PET/MR 设备间)	2.90
	55	西侧公共卫生间	0.047
	56	二楼影像中心	8.82
	57	地下一层消防泵房	3.12
3 号楼内三层	58	PET/MR 机房上面二楼影像中心	0.52
	59	PET/MR 机房上面二层夹层	0.043
3 号楼周围	60	2 号楼	0.37

注：*这些场所存在剂量叠加。

表 11-10 核医学科整体所致工作人员受照剂量

辐射工作人员	工作岗位	人员受照剂量 (mSv/a)
护士	药物分装、转移和注射 (至少 2 人轮流)	2.49
PET/MR 技师	PET/MR 摆位和扫描 (至少 2 人轮流)	2.29
物理师	放射源质控	0.30
PET/CT 技师	PET/CT 摆位和扫描 (至少 2 人轮流)	1.06

11.2.4 放射性废物产生及排放情况

1. 放射性固废

核医学科按需购入放射性药物，如有剩余的放射性药物，连同包装容器暂存于高活室自行衰变。高活室内配置 1 个铅质废物桶，并使用不易破损的塑料袋对废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、垫布等进行收集，此外，在病人候诊室和留观室各配备 1 个铅质废物桶，同样采用不易破损塑料袋将病人候诊和留观期间产生的放射性污染物等固体放射性废物进行收集。次日早晨转移至核医学科废物间内的废物桶内。

核医学科设置有独立的废物间用来暂存放射性废物。废物间设有通风装置，防止挥发性气体累积。核医学科废物间设置 2 个 40mm 铅的废物桶（容积 20L），轮流使用。为保证放射性废物有足够的衰变时间以减少废物收集过程对医护人员的照射，在周一早晨将废物桶内的放射性废物转移至废物间，并在收集放射性废物的塑料袋外表面注明废物类别（A 类）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

2021 年 5 月至 2022 年 5 月，核医学科共计解控约 70kg 放射性废物，人均废物产生量约 10g。按每天共开展核素诊断 50 人次计算，核医学科废物产生量约为 125kg/a。依据《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求进行解控处置。

另外，每年更换通风橱活性炭过滤器，预计额外产生 6kg 废弃的含放射性的活性炭滤材。拆卸下的废弃滤材将妥善收集，密封包装暂存于废物间，按照放射性固体废物进行暂存，存放超过至少一个月后，经监测满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 A 类固体废物相关要求后解控作为医疗废物处置。

2. 放射性废水

本项目增加 PET/MR 设备后，核医学科每日检查人数增加至 50 人次，日产生废水约为 620 L/d。每月的放射性废水产生量约 14.3m³。衰变池的总容积约为 30m³（10m³/槽×3 槽），3 个槽轮流使用，废水实际可以暂存 1.4 个月，满足《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》中 A 类放射性废水暂存 30 天可直接排放的管理要求。

1) 衰变池位置和结构

- 衰变池设在地下一层北侧。衰变池周围是停车场，故在其东侧设置了隔墙，可防止无关人员靠近。
- 采用 C30 抗渗普砵建造，四周池壁厚 300mm，槽与槽之间隔板厚 300mm，底板厚 400mm，顶板厚 250mm。采取防渗措施。

➤ 总容积为 30m³ (10m³/槽×3 槽)。

2) 衰变池控制和管理

- 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。所有运行状态自行监控，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行。
- 废水衰变系统整体采用槽式“储存式衰变”方式，各衰变池独立运行。在衰变池内设置液位监控系统，当某个衰变池内液位达到预设高度时，系统自动关闭该槽进水阀，并同时打开另外一个空罐的进水阀，实现暂存罐的轮换使用。
- 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。
- 储水循环模式：系统将 A1 电动阀打开，废水直接流入 1#衰变池，其内置的液位计检测水位达到预设高时，经 PLC 处理信号关闭 A1 电动阀，同时开启 A2 电动阀，之后的放射性废水流入 2#衰变池，当 2#衰变池水位达到预设液位时关闭 A2 电动阀，然后开启 A3 电动阀，废水排入 3#衰变池。当 3#衰变池水位达到预设液位时，系统开启 A1 电动阀（此时，1#废水罐的放射性废液已暂存超过 30d 后排空），这样完成放射性废水轮流暂存的一个循环。
- 废水排水模式：当某个衰变池内废液达到预设高度时，系统关闭进水阀，开始记录暂存时间。当废水暂存时间达到 30d 后，其中的潜水泵自动开启，将衰变池内的废水排入沉淀池，之后进入影像中心自建污水处理站处理后，排入市政官网。
- 衰变池管道采用 6mm 铅板屏蔽。衰变池区域设围栏，粘贴警示标志，避免人员在衰变池旁长时间停留。
- 由于本项目使用非密封放射性核素为 ¹⁸F，放射性半衰期较短，且废水排放量较少，废水中放射性核素的活度浓度也较低。因此，废水输送和贮存过程放射性核素衰变产生的辐射对周围环境的影响十分轻微。根据实测结果估算，衰变池附近停留人员的年受照剂量低于 10.26 μ Sv/h。

3. 放射性废气

本项目使用的射性药物向专业公司购置，为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，产生的放射性气体很微量，对环境的影响可以忽略，故本项目不再进行其环境影响分析。

为了防止放射性药物泼洒等非正常工况产生相对较多放射性气体排放，在通风橱

排风系统安装活性炭过滤装置。这样，即使出现核素泼洒情况，废气经过滤器吸附，少量排放的放射性气溶胶，并经大气扩散后浓度会更低，对周围公众的剂量可以忽略。

本项目设有 2 套排风系统，1 套为高活室通风橱，1 套为核医学科整体区域，在控制区内的给药候诊室、留观室、PET/CT 机房、PET/MR 机房、废物间、储源室均设排风口。核医学科内的排风口后端安装止回阀，防止废气倒流。排风经排风管道组织由管道井到达楼顶排放。

11.3 事故影响分析

11.3.1 核医学科事故分析与应急措施

1. 事故分析

本项目使用 ^{18}F 作为显像药物、使用 III 类射线装置和 V 类密封源。在正常运行情况下对于公众和周围环境是安全的。但是，如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

1) 放射性药品撒漏或放射性药品丢失

由于工作人员操作不熟练或其他原因造成放射性药物撒漏，以及放射性药物保管不善致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

2) 放射性废物管理不善

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。

3) 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。

4) 放射源丢失

V 类放射源丢失属于一般放射性事故。本项目储源室设置了安防系统，通过了安全防范验收，可以有效避免放射源的丢失被盗。

11.3.2 风险防范与事故应急处理措施

针对在核医学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. 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；

2. 安保措施：核医学科场所高活室和储源室安装防盗门，室内设置闭路监视系统，已通过了安保验收，满足存放放射源和放射性物品的要求。

3. 屏蔽防护：药物使用场所（高活室）、受检人员停留场所（扫描机房和候诊区等），墙体采用实心砖屏蔽，防护门采用铅屏蔽，注射窗口采取 20mm 铅防护。观察窗采用铅玻璃防护，减少电离辐射对周围环境的辐射影响。

4. 表面污染控制措施：在通风橱内分装放射性药物，注射窗口处注射药物。一旦发生撒漏导致台面和地面污染的情况，及时采取擦拭方法去污，并用表面污染监测仪检测，直至表面污染水平满足 GB18871-2002 要求。工作人员离开高活室，在缓冲间更换工作鞋和工作服，防止放射性污染扩散至控制区之外。

5. 放射性废物管理：核医学科共配置了 6 个铅制废物桶，设立专用的放射性废物间。收集高活室（注射室）等场所产生的放射性废物，标注日期，定期进行清洁解控处置。设置放射性废水衰变池，将放射性废水暂存处置，符合清洁解控要求排放。活性炭过滤器一年更换一次，暂存后清洁解控处置。

6. 发现意外事件与事故的当场人员应当立即向科负责人、上级各管理部门以及辐射安全管理小组负责人和专职人员报告，启动事故应急预案。辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，保卫科负责保护现场，控制范围。发生该类事故后，应在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与防护管理

12.1.1 辐射安全管理机构

全为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，保障各类人员的健康与安全，中心成立了辐射安全与环境保护管理领导小组。由院长担任组长，技师组长担任辐射防护负责人，放射科、核医学科、综合办公室等相关人员担任组员，并指定综合办公室有专职人员负责辐射安全管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。

12.1.2 辐射安全管理规章制度

全景德康影像中心已经于 2020 年 4 月 10 日向公司内部印发了《北京全景德康医学影像诊断中心有限公司辐射安全与防护管理制度》，具体内容包括《影像设备操作规程》《辐射工作岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《放射设备维修维护制度》、《放射性同位素使用登记制度》《人员培训考核计划》《放射性废物处置、辐射监测方案》《辐射事故应急措施和预案》等，能够满足原环保部令第 3 号〈关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定〉和原环保部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，基本上能够满足工作需要。

本项目申请过程中，将对现有规章制度进行梳理和完善，补充 PET/MR 操作规程，完善辐射监测方案和事故应急预案等内容。

12.1.3 辐射工作人员培训

影像中心规定所有辐射工作人员，在上岗前必须参加辐射安全与防护考核，考试合格上岗。今后每 5 年参加复训。

目前，核医学科共有 21 名辐射工作人员，见表 1-11，其中其中医师 6 名，技师 5 人(含 1 名物理师)，护士 10 人。增加 PET/MR 设备后，6 名医师依然负责受检者的问诊以及诊断报告的书写。PET/CT 实行 2 班制，PET/MR 实行 1 班制。每班给药护士 1 人，其余护士做血糖监测、预埋针和受检者引导工作，并对患者进行 PET 检查的注意事项宣教等工作。2 名技师操作 PET/MR，一班制，轮流上岗。PET/CT 技师 3 名，1 名技师操作设备，其余 2 名技师不上岗时，协助完成图像处理、胶片打印、患者资料收集等辅助工作。根据以往的工作情况预计，现有的辐射工作人员数量能够满足将来的工作需要。

12.1.4 辐射工作场所监测

(1) 个人剂量监测

所有从事辐射工作的医护人员均佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频度开展个人剂量监测，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》（环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，长久保存。

影像中心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影像中心放射防护管理小组。

全景德康影像中心的个人剂量检测目前委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，每季度送检一次。

(2) 工作场所和环境辐射水平监测

1. 委托监测

根据原环保部 18 号令的要求，影像中心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周围的辐射水平进行 1 次监测。监测点位包括放射性工作场所周围、操作人员位和其他人员可达位置，具体见图 11-1 和图 11-2 所示。

2. 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，影像中心自行配备了便携式剂量率仪和表面污染监测仪，开展自行监测，具体包括：

1) **剂量率水平监测：**对便携式剂量率进行检定，安排专人自行开展辐射水平监测，监测点位为辐射工作场所以及 3 号楼四周墙外 30cm 处。监测项目为 γ 剂量率水平。监测频度为每年一次，检测记录归档。具体监测点位见图 11-1 和图 11-2 所示。

2) **表面污染监测：**对表面污染监测仪进行检定，由核医学科安排专人自行开展核医学科重点场所的表面污染水平，如高活室台面、地面，通风橱台面，注射窗台面以及工作服表面等，监测时间为每天下班后，监测数据记录存档。

3) **放射性废物解控监测：**根据《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求，核医学科采用便携式 X- γ 剂量率和表面污染监测仪，自行对放置一个月的放射性废物进行表面污染水平和剂量率水平监测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm² 和 0.8Bq/cm² 后，解控为医疗废物处置。

3. 环境辐射水平监测

根据原环保部 18 号令和《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，中心对便携式 X- γ 剂量率进行检定，安排专人自行开展环境辐射水平监测，监测点位为 3 号楼四周墙外 30cm 处。监测项目为 γ 剂量率水平。监测频度为每年一次。

表 12-1 γ 剂量率水平监测点位设置

编号*	场所名称	监测点位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	高活注射室	西侧缓冲间内	
2		西侧护士台南侧	
3		西侧护士台	
4		南侧墙外	
5		控制区出口处	
7		二楼影像中心	
8	分装室	南侧墙外	
10		楼上二层	
11	储源室	南侧墙外	
13		二楼影像中心	
14	废物间	南侧墙外	
15		东侧墙外	
17		二楼影像中心	
18	PET/MR 候诊室	北侧控制区入口	
19		北侧楼梯处	
20		东侧缓冲间	
23		二楼影像中心	
24	PET/CT 候诊室	北侧 PET/MR 设备间	
25		东侧墙外	
28		二楼影像中心	
29	留观室	西侧 PET/CT 设备间	
30		南侧公共卫生间	
32		二楼影像中心	
34	PET/CT 机房	南侧 PET/CT 设备间内	
38		北侧墙外 (家属休息室)	
39		北侧墙外	
40		东侧墙外	
41		东侧防护门外	
43		二楼影像中心	
47	PET/MR 机房	东侧墙外	
48		南侧墙外 (PET/MR 设备间)	
49		西侧公共卫生间	
50		西侧防护门外	
52		二楼影像中心	
53	3 号楼内部	PET/CT 机房上面二层夹层	
54		PET/CT 机房上面三层	
54		PET/MR 机房上面二层夹层	

55		PET/MR 机房上面三层	
56		候诊室上面二层夹层	
57		候诊室上面三层	
58	3 号楼周围	2 号楼(3F)	
59		4 号楼 (3F)	
60		5 号楼 (2F)	
61		6 号楼 (3F)	
62		中石油加油站	

注：*只保留控制区边界外的监测点位，故编号不连续。

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)
1	高活室	通风橱台面	
2		高活室地面	
3		注射窗	
4	PET/MR 候诊室	候诊室地面	
5	PET/CT 候诊室	候诊室地面	
6	留观室	候诊室地面	
7	PET/CT 机房	PET/CT 病人床	
8		PET/CT 机房地面	
9	PET/MR 机房	PET/MR 病人床	
10		PET/MR 机房地面	

12.1.5 监测仪器和防护用品

全景德康影像中心已购置了 2 台表面污染仪和 2 台 X- γ 剂量率仪，用于监测工作场所的表面污染水平和辐射水平。本项目实施后，现有的辐射监测仪器能够满足场所表面污染，放射性废物解控（表面污染和剂量率）监测需要，不需要新增配置。

表 12-3 全景德康影像中心现有的辐射监测仪器设备清单

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量
1	γ 辐射剂量仪	中广核 BG9511	2020-03-02	正常	2
2	表面污染监测仪	美国 Inspector Alert	2020-03-02	正常	2
3	X、 γ 个人辐射剂量报警仪	中广核 BG2010	2020-03-02	正常	10
4	活度计	CRC-55R	2020-03-02	正常	1

全景德康影像中心也购置铅衣、铅帽、铅围脖、铅手套和铅三角巾等个人防护用品，能够满足本项目配套防护用品的需要，详见表 12-4。本项目实施后，现有的个人防护用品能够满足将来辐射监测的需要，不需要新增配置。

表 12-4 全景德康影像中心现有的辐射防护用品用品

名称	数量	名称	数量
铅衣	8 件	铅帽	11 顶
铅手套	4 付	铅眼镜	8 副
铅围裙	7 件	铅围脖	11 个
铅三角巾	5 件	个人剂量计	67

12.1.6 核医学科已配置的辐射防护用品

核医学科现已配置了下列辐射防护用品，具体见表 4-5 所示。

表 12-5 核医学科工作场所已配置的辐射防护用品

名称	规格	数量(个)	使用场所
通风橱	40mmPb	1	高活室
贮源铅罐	37mmPb	1	储源室
药物铅罐	40mmpb	1	高活室
铅盒	10mmpb	1	高活室
注射器保护套	10mmpb		注射室
防护注射窗	40 mmPb	1	注射室
铅废物桶	40mmPb	6	废物间、候诊室、注射室

12.2 辐射应急措施

中心已针对放射性同位素（含放射源）丢失、被盗、失控事故、可能受到超出剂量限值的照射事故（件）、环境污染事故（件），已经制定了《辐射事故应急预案》。

此外，影像中心每年至少组织一次全公司应急演练。

发生辐射事故时，影像中心将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和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

12.2 项目环保验收内容建议

建议本项目的环保验收内容列于表 12-5 中。

表 12-5 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
剂量和剂量率控制	<p>根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量分别低于 0.1mSv/a 和 5mSv/a。</p> <p>核医学科控制区边界外 30cm 处、PET/CT 机房和 PET/MR 机房周围的辐射剂量率水平低于 2.5 μSv/h；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。</p> <p>固体放射性废物收集桶、放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处的剂量率小于 2.5 μSv/h；放射性药物分装通风柜外表面 30cm 处（人员操作位）的剂量率小于 2.5 μSv/h</p>

电离辐射标志和中文警示	在核医学科出入口，高活室、废物间、废水暂存区、储源室、扫描机房、受检人员休息室和留观室门外均设置电离辐射警告标识和中文警示说明。
布局 and 屏蔽设计	放射性工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。实体屏蔽墙、铅防护门和铅玻璃观察窗等的屏蔽能力满足辐射防护的要求。在高活室配备 1 个贮存放射性药物的铅屏蔽罐，在注射区配备 1 个铅屏蔽药物注射窗，确保场所周围的辐射安全。高活室通风系统运转正常，风速满足要求。
辐射安全设施	核医学科工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入。注射区、高活室、扫描室、储源室、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。配套放射性废水和废物暂存设施，确保放射性废水和固废无害化处置。 高活室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、电视监控系统，满足安保要求。在患者候诊室内设铅屏风。
辐射监测	制定有辐射监测制度，每年委托有资质单位对核医学科进行一次辐射监测，每天开展重点区域的表面污染监测工作，监测数据记录存档；配备 2 台表面污染仪和 2 台剂量率仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。
“三废”处置设施	1. 配套放射性废水暂存设施并正常运行。衰变池总容积不低于 30m^3 ($10\text{m}^3 \times 3$)，槽式方式运行，确保放射性废水满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 A 类废水排放要求。 2. 高活室设置具有独立通风系统的通风橱，排风速率满足相关要求。 3. 配置废物间，配备 2 个 20L 具有屏蔽功能的废物桶，注射窗旁配套一个铅制废物桶（容积 1L），病人候诊室和留观室各配备 1 个 5L 废物桶。废物间有通风口。确保放射性废物满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》相关要求后解控作为医疗废物处置。
规章制度	制定有相应的辐射安全防护制度，从业人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度，并有效贯彻落实。
人员培训	核医学科 21 名辐射工作人员通过辐射安全与防护考核，持证上岗。
应急预案	针对放射源丢失被盗、人员受照大剂量照射，以及导致环境污染后果等情景，建立有应急预案，并落实必要的应急装备，制定有辐射事故（件）应急演练计划。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1. 全景德康影像中心位于北京市丰台区西四环中路 78 号院 3 号楼，系一家北京市第三方独立医学影像中心。影像中心持有辐射安全许可证（京环辐证[G0373]），有效期至 2025 年 5 月 28 日，核技术利用的种类和范围：使用 V 类放射源，使用 III 类射线装置，丙级非密封放射性物质工作场所。影像中心核医学科目前利用 ^{18}F 核素进行 PET/CT 检查工作。

3. 本项目评价内容：1) 不改变核医学科的布局和辐射安全与防护设施。2) 将 SPECT 机房调整为 PET/MR 机房，SPECT 候诊室调整为 PET/MR 候诊室，将 SPECT 机房相邻库房调整为 PET/MR 设备间。3) PET/CT 场所诊断人数不变，PET/MR 每日诊断人数为 10 例/日，保持场所等级为丙级非密封放射性物质工作场所不变。

4. 放射性“三废”排放：本项目增加 PET/MR，日诊疗人数最多 50 例/日，放射性废水仍然满足停留至少 30d 的要求，放射性废水能够达标排放。核医学科所涉及的操作均是很简单或简单的湿法操作，不会产生气溶胶和蒸汽等，正常工作情况下一般不会造成工作环境的空气污染。药物意外泼洒意外情况下，对环境的影响十分轻微。放射性废物的年产生量为 125kg，现有放射性固废暂存、处置设施及管理可满足暂存 30d 后解控为医疗废物处置的要求。可见，放射性“三废”对环境的影响是十分轻微的。

5. 污染防治措施主要有：1) 辐射屏蔽：高活室、给药室、PET/CT 机房、给药病人候诊室等房间采用实体屏蔽措施，能够保证人员控制区边界外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。2) 电离辐射与中文警示说明：在高活室门外、给药室门外、PET/CT 机房，PET/MR 机房、核医学科出入口通道门外设置了电离辐射警示标识及中文警示说明。3) 场所按照控制区和监督区分区管理。将高活室、给药室、病人卫生间、给药后候诊室、PET/CT 机房、PET/MR 机房、患者通道以及缓冲间作为控制区，出入口设门禁，严格控制人员进入；工作人员进入高活室，要更衣和更换工作鞋，防止交叉污染。4) 高活室、给药室地面铺装了防水、防渗、易污物材质的地胶。高活室和注射室放射性同位素操作台面采用了易去污不锈钢，配置托盘、吸水纸等物品。5) 高活室配备了具有辐射防护功能的手套箱，风量满足要求（风速大于 1m/s ），排风楼顶排放。6) 配备了具有辐射防护功能药物注射台和 6 个收集放射性废物的废物桶，此外，配备有个人防护用品（铅衣、铅手套、铅围脖、铅眼镜）个人防护用品。7) 配备有放射性废水

暂存衰变池。核医学科建有3个体积均为 10m^3 的衰变池。给药病人卫生间的冲厕废水，控制区清洁废水和应急淋浴排到衰变池内。衰变池为槽式，预计废水可以至少暂存42d，满足A类废水暂存30d的要求。8)妥善收集固体放射性废物。在废物间设置了2个废物桶(20L)，暂存A类放射性废物，如废弃的放射性药物注射器、药瓶、杯子、棉棒、一次性用品等物品。放射性固废暂存30d后自行监测达标后解控为医疗废物处置。9)储源室采取了安保措施，安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等。10)配备了2台便携式表面污染和2台剂量率水平检测仪器。

6. 本项目实施后，核医学科周围公众所受剂量全部低于 0.1mSv/a 的剂量率约束值，从事不同工种(护士、技师、物理师)的工作人员年受照剂量最大为 2.49mSv/a ，满足职业人员年剂量约束值(5mSv/a)的要求。

7. 影像中心设有辐射防护领导小组，负责全中心的辐射安全管理和监督工作。有较健全的操作规程、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。全部辐射工作人员均通过了辐射安全与防护考核，持有合格证书。

综上所述，全景德康影像中心因发展需要，拟将SPECT设备移至其他医疗机构展开相应诊断服务，将SPECT相关场所调整为PET/MR场所，目的是引入PET/MR影像诊断新技术，进一步提高医学诊断的水平，改善服务质量，满足患者的需求，具有良好的社会效益。该项目对环境和公众的影响是完全可以接受的，故从环保角度考虑，本项目是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，全景德康影像中心承诺：

(1) 遵守有关法律、法规的规定，执行管理制度，落实管理责任。不违规操作和不弄虚作假。

(2) 妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；

(3) 配备满足工作需要且具备相应放射诊断资质的医技工作人员；

(4) 辐射工作人员全部参加辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗，定期组织，在岗人员参加辐射安全知识继续教育。

(5) 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；

(6) 项目竣工后，及时自行组织开展竣工环境保护验收。运行期间接受生态环境管理部门的监督检查。

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