

改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）

竣工环境保护验收监测报告表

建设单位：重庆医科大学附属第一医院

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

二〇二五年五月

表一 项目基本情况

建设项目名称	改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）				
建设单位名称	重庆医科大学附属第一医院				
建设项目性质	√ 新建 □ 改建 □ 扩建				
建设地点	重庆市渝中区友谊路 1 号				
源项	放射源		/		
	非密封放射性物质		丙级非密封放射性物质工作场所		
	射线装置		PET/CT（III类射线装置）1 台		
建设环评批复时间	2022.12.30	开工建设时间	2023.2.10		
取得辐射安全许可证时间	2024.11.25	项目投入运行时间	2025.3.14		
辐射安全与防护设施投入运行时间	2024.10.18	验收现场监测时间	2025.4.24		
环评报告表审批部门	重庆市生态环境局	环评报告表编制单位	重庆宏伟环保工程有限公司		
辐射安全与防护设施设计单位	重庆大学建筑规划设计研究总院有限公司	辐射安全与防护设施施工单位	重庆信远射线防护设备有限公司		
投资总概算	7120 万元	辐射安全与防护设施投资总概算	200 万元	比例	2.8%
实际总概算	7000 万元（PET/CT 设备）	辐射安全与防护设施实际总概算	180 万元	比例	2.6%
验收依据	一、建设项目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》，2015 年 1 月 1 日起施行修订版； （2）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行； （3）《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行修订版； （4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人				

表一 项目基本情况

	民共和国国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日起施行，2019 年 3 月 2 日起施行修订版； （5）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行； （6）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令 第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； （7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，环境保护总局令第 31 号公布，2006 年 3 月 1 日起施行，2021 年 1 月 4 日第四次修正； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； （9）关于发布《射线装置分类》的公告，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； （10）《关于发布<放射性废物分类>的公告》，原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； （11）《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）； （12）关于发布《射线装置分类》的公告，原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； （13）《重庆市环境保护条例》，重庆市第五届人民代表大会常务委员会第三十七次会议，2022 年 11 月 01 日起施行修正版； （14）《重庆市辐射污染防治办法》，重庆市人民政府令第 338 号，2021 年 1 月 1 日起施行。 二、建设项目竣工环境保护验收技术规范
--	--

表一 项目基本情况

	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (2) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； (4) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； (5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (7) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； (8) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》； (9) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； (10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (11) 《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告，2018年第9号），2018年5月15日实施； (12) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）。 三、环境影响报告表及其审批部门审批决定 (1) 《改建 PET/CT、PET/MR 项目环境影响报告表》，2022年12月； (2) 《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》，渝（辐）环准〔2022〕065号，2022年12月30日。 四、其他相关文件 (1) 验收监测报告。 (2) 项目竣工图。
验收执行标准	根据《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》和《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）规定，建设项目竣工环境保护验收污染物排放标准原则上执行环境影响报告书（表）及其审批部门审批决定所规定的标准。在环境影响报告书（表）审批之后发布或修订的标准

表一 项目基本情况

	对建设项目执行该标准有明确时限要求的，按新发布或修订的标准执行。 本项目审批之后，2023 年 9 月 11 日生态环境部辐射源安全监管司就本项目环评阶段执行的《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中核医学标准相关条款咨询复函，《关于核医学科标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）中明确了以下几点。 一、关于控制区剂量率 1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子$\geq 1/2$），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$。 2.控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子$< 1/2$），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$。 二、关于独立通风要求 核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。 因此，本项目环境影响报告表及其审批部门审批决定所规定的标准与现行标准基本一致，本次验收执行标准为环评及其批复文件，并结合标准复函进行调整，具体见表 1-1 所示。本项目为分期验收，2025 年 1 月医院已对袁家岗院区 5 号楼 B 栋负一层西侧核医学 PET 影像诊断场所（丙级非密封放射性物质工作场所，现命名为 PET 中心 2）除 PET/CT 以外的建成部分进行自主验收，本次仅对 PET/CT 机房部分进行验收。
--	---

表一 项目基本情况

表 1-1 项目剂量限值及污染物排放指标表			
年剂量要求			执行依据
分类	年剂量限值（mSv/a）	年剂量约束值（mSv/a）	GB18871-2002、HJ1188-2021 及医院管理要求
放射工作人员年剂量	20mSv/a	5	
放射工作人员手部剂量	500mSv/a	125	
公众成员年剂量	1mSv/a	0.1	
剂量率控制			执行依据
工作场所控制区	控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子<1/2）、PET/CT 机房、PET/MT 机房周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。 控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子≥1/2），如注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。		HJ1188-2021、GBZ120-2020 及复函
注射窗外表面	设备外表面 30cm 处，人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h		
废物桶、管道、衰变池等	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。		
表面污染水平			执行依据
表面污染	(1) 工作台、设备、墙壁、地面 控制区：β≤4×10Bq/cm² 监督区：β≤4Bq/cm² (2) 工作服、手套、工作鞋 控制区/监督区：β≤4Bq/cm² (3) 手、皮肤、内衣、工作袜β≤4×10 ⁻¹ Bq/cm²		GB18871-2002
放射性废物放射防护管理			执行依据
放射性固体废物	收集：每袋废物的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h，质量不超过 20kg。		HJ1188-2021、GBZ120-2020 及复函
	排放：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，放射性固废暂存时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，废物包装体外表面的污染控制水平β<0.4Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。		
放射性废水	衰变池排放口：总β≤10Bq/L		GB18466-2005
	槽式衰变处理设施：所含核素半衰期小于 24 小时的暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。		HJ1188-2021 及复函
通风要求			执行依据

表一 项目基本情况

	通风	核医学工作场所应保持良好的通风，保持工作场所的负压和各区之间的压差。 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。	HJ1188-2021、GBZ120-2020 及复函
	机房面积要求		执行依据
	PET/CT 机房	机房内有效使用面积 $\geq 30\text{m}^2$ ，机房内最小单边长度 $\geq 4.5\text{m}$	参照 GBZ130-2020
	医疗废物、医疗废水		执行依据
	非放射性废水	经医院废水处理站处理后方可排放	GB18466-2005
	医疗废物	交具有相应资质的单位处置	医疗废物管理条例

表二 项目建设情况

工程建设内容：

2.1 建设单位概况

重庆医科大学附属第一医院于 1957 年由原上海第一医学院（现复旦大学上海医学院）部分专家西迁来渝创建，是集医疗、教学、科研、预防、保健及涉外医疗于一体的三级甲等综合性教学医院，以学科门类齐全、技术实力雄厚、专科特色突出、服务能力出众享誉西南。医院现有袁家岗院区、经纬院区、金山院区、青杠院区、大礼堂院区，在同质化管理与差异化发展战略下，形成了特色鲜明、功能互补的发展格局。在国家三级公立医院绩效考核中，医院连续五年排名重庆市首位，稳居国内医院“第一方阵”。医院核医学科许可证上的袁家岗院区 5 号楼 B 栋负 1、负 2 楼 PET 中心于 2012 年建成，负一楼在用 1 台 PET/CT，负二楼使用 1 台医用回旋加速器制备正电子放射性药物，保证 PET 检查的时效性及安全性。现袁家岗院区 5 号楼 B 栋负 1、负 2 楼 PET 中心命名为 5 号楼 PET 中心 1，属于 1 个乙级非密封放射性物质工作场所。

2.2 验收项目背景

2022 年 12 月，重庆宏伟环保工程有限公司编制了《改建 PET/CT、PET/MR 项目环境影响报告表》。2022 年 12 月 30 日，重庆市生态环境局以渝（辐）环准〔2022〕65 号批复了该项目。

2023 年 2 月，项目开工建设，2024 年 10 月建成。

2023 年 7 月 18 日，医院取得《辐射安全许可证》，许可使用 5 枚 V 类 ^{68}Ge 校准源用于 PET/MR 校准，并于 2023 年 12 月进行了审批备案。

2024 年 11 月 25 日，医院取得《辐射安全许可证》，许可使用丙级非密封放射性物质工作场所（袁家岗院区 5 号楼 B 栋负一楼新建 PET 影像诊断场所）。

2024 年 12 月，医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开展自主验收，新建 PET 影像诊断场所辐射安全与防护措施已全部建成，但 PET/CT 尚未安装，因此，对“改建 PET/CT、PET/MR 项目”进行分期验收。

2024 年 12 月 31 日，重庆泓天环境监测有限公司对“改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）”进行了验收监测。并编制了《改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）竣工环境保护验收监测报告表》。

表二 项目建设情况

2025 年 1 月 22 日，“改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）”通过竣工环境保护自主验收。

2025 年 3 月 14 日，PET/CT 安装并调试出束，PET/CT 投入调试运行。

2025 年 4 月 24 日，重庆泓天环境监测有限公司对“改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）”进行了验收监测。我公司在进行现场调查、检查的基础上，编制了《改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）竣工环境保护验收监测报告表》。本次验收监测报告表引用改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）除 PET/MR 机房以为的验收监测数据以及该场所辐射安全防护措施调查结论，重点对 PET/CT 机房调试运行后对监测数据和检查结果进行分析、评价并得出结论，以及项目对辐射工作人员、公众和周边环境的辐射影响情况等。

2.3 项目建设内容和规模

环评建设内容和规模：将重庆市渝中区友谊路 1 号医院袁家岗院区 5 号楼 B 栋负一层西侧原业务用房改建为核医学 PET 影像诊断场所（丙级非密封放射性物质工作场所），日等效最大操作量和年最大用量分别为 $8.33 \times 10^6 \text{Bq}$ 、 $2.08 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。配置 PET/CT 机(III类射线装置)PET/MR 机（配套 5 枚校准用 V 类放射源，总活度 $6.06 \times 10^7 \text{Bq}$ ）各 1 台，使用含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 的放射性药物开展放射诊断工作。同时增加现有分子影像中心负二层 ^{68}Ga 淋洗量至年最大用量 $2.78 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

本次验收范围为 PET 中心 2 的 PET/CT 部分（原袁家岗院区 5 号楼 B 栋负一楼新建 PET 诊断场所 PET/CT 部分），因 PET 中心 2 的辐射安全与防护设施为一次建成，已在上一阶段进行验收。《改建 PET/CT、PET/MR 项目环境影响报告表》中 PET/MR 使用的 5 枚 ^{68}Ge 校准源（均为 V 类放射源）、增加 PET 中心 1 负二层 ^{68}Ga 淋洗量、袁家岗院区 5 号楼 B 栋负一楼新建 PET 诊断场所（现命名为 PET 中心 2）均已取得辐射安全许可。

验收建设内容和规模：将医院 5 号楼 B 栋负一层西侧原业务用房改建为核医学 PET 影像诊断场所（丙级非密封放射性物质工作场所，现命名为 PET 中心 2），日等效最大操作量和年最大用量分别为 $8.33 \times 10^6 \text{Bq}$ 、 $2.08 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。已配置有 1 台 PET/MR，现配置 PET/CT 机 1 台，使用含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 的放射性药物开展放射诊断工作。项目总建筑面积约 350m^2 ，PET/CT 设备实际投资为 7000 万元，环保投资 180

表二 项目建设情况

万元（已在上一阶段中一次投入）。				
项目实际建设内容与环境影响报告表建设内容对比见表 2-1。				
表 2-1 实际建设内容与环境影响报告表建设内容对比表				
分类	项目	环境影响报告表建设内容	实际建设内容	本次验收变化情况
主体工程	负一层西侧原原腔镜培训中心用房改造	拟拆除现有内部隔墙，新建 PET/CT 机房（内设置 1 间储源间）、PET/MR 机房、PET 候诊室、卫生通过间、PET 留观室/抢救室、洁具间、患者通道、固废间等。	拆除原有隔墙，新建 PET/CT 机房、PET/MR 机房、PET 候诊室、卫生通过间、留观室/抢救室、洁具间、患者通道、固废间-储源间等。	贮存校准源位置发生变动，除 PET/CT 外，其余部分已验收，本次验收 PET/CT 部分
	设备	拟配置 1 台 PET/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 800mA），属于 III 类射线装置，型号待定。 拟配置 1 台 PET/MR，GE 公司 signa，不属于射线装置	配置 1 台联影医疗 uMI Panorama GS 型 PET/CT，III 类射线装置，最大管电压 140kV、最大管电流 833mA。 配置 1 台 PET/MR，不属于 X 射线装置。	PET/MR 部分已验收，本次验收 PET/CT，PET/CT 最大管电流有增加
	校准源	PET/MR 拟使用 1 枚活度为 $5.5 \times 10^7 \text{Bq}$ 、1 枚活度为 $3.5 \times 10^6 \text{Bq}$ 和 3 枚活度为 $0.7 \times 10^6 \text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源，均为 V 类放射源。	使用 1 枚活度为 $5.5 \times 10^7 \text{Bq}$ 、1 枚活度为 $3.5 \times 10^6 \text{Bq}$ 和 3 枚活度为 $0.7 \times 10^6 \text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源，均为 V 类放射源。	不变
辅助工程	辅助用房	注射前预诊大厅依托 PET/CT 中心负一层现有；医护办公区依托 PET/CT 中心负一层现有办公室。	受检者预约、医护办公区依托负一层 PET 中心 1 现有用房。	一致，PET/CT 中心命名为 PET 中心 1，该部分已验收
储运工程	放射性药物制备	PET/CT 中心负二层回旋加速器制备的 ^{18}F -FDG（氟代脱氧葡萄糖），在负二层完成质控、分装的含 ^{18}F 放射性药物针剂经专用药物电梯运输至负一层 PET/CT 中心现有注射室， ^{18}F 制备量不新增。 PET/CT 中心负二层放化合成室利用 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗、标记含 ^{68}Ga 放射性药物，分装好的针剂经专用药物电梯运输至负一层 PET/CT 中心现有注射室，增加 5 人次 ^{68}Ga 淋洗量。	分子影像中心负二层回旋加速器制备的 ^{18}F -FDG（氟代脱氧葡萄糖），在负二层完成质控、分装的含 ^{18}F 放射性药物针剂经专用药物电梯运输至负一层分子影像中心现有注射室， ^{18}F 制备量不新增。 分子影像中心负二层放化合成室利用 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗、标记含 ^{68}Ga 放射性药物，分装好的针剂经专用药物电梯运输至负一层分子影像中心现有注射室，增加 5 人次 ^{68}Ga 淋洗量。	一致，PET 中心 1 负二层增量已取得辐射安全许可。 PET/CT 中心命名为 PET 中心 1

表二 项目建设情况

	放射性药物运输	分装好的含 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga放射性药物针剂装在注射转运盒内，经药物电梯运输至负一层现有注射室内，利用放射性药物转移铅箱避开受检者在走廊活动时间，运输至本项目注射室内。	分装好的含 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga放射性药物针剂装在注射转运盒内，经药物电梯输至负一层现有注射室内，利用放射性药物转移铅箱避开受检者在走廊活动时间，运输至本项目注射室内。	一致，该部分已验收
	校准源储存、放射性废物暂存	拟在 PET/CT 机房角落设置 1 个储源间，面积约 1.2m ² ，放射源管理按照双人双锁，设置防盗门、监控。 注射室旁设置固废间，面积约 1.36m ² ，收集新建核医学影像诊断场所产生的放射性废物。	取消 PET/CT 机房角落的储源间，校准源储源间设置在固废间-储源间上方。 注射室旁设置固废间-储源间，上层为储源间、下层为放射性废物暂存间（约 1.36m ² ）。上部储源间内放置校准源保险柜，储源间采用双人双锁，设置监控、防盗门。 PET/MR 需要校准时，由核医学科技师将储源铅罐送至 PET/MR 机房内校准。	取消 PET/CT 机房角落的储源间，校准源储源间设置在固废间-储源间上方。该部分已验收
公用工程	给水	由城市供水管网供给，依托 5 号楼原有接水点，根据本项目用水需求重新布置内部供水管网。	由城市供水管网供给，依托 5 号楼原有接水点，根据本项目用水需求重新布置内部供水管网。	一致
	排水	新建核医学影像诊断场所内不设置普通候诊，未接触放射性药物的医务人员及受检者产生的一般生活污水依托 PET/CT 中心现有污水处理收集系统，经医院污水处理设施处理达标后排入市政污水管网。	未接触放射性药物的医务人员及受检者产生的一般生活污水依托分子影像中心现有污水处理收集系统，经医院污水处理设施处理达标后排入市政污水管网。	一致
		本项目实行污污分流，放射性废水经单独排水管网接至 5 号楼负二层衰变间的一体化槽式衰变池内处理达标后再由衰变池接入医院污水管网。	本项目实行污污分流，放射性废水经单独排水管网接至 5 号楼负二层 PET 衰变池二内的一体化槽式衰变池内处理达标后再由衰变池接入医院污水管网。	一致
	清洁	本项目设置 1 个洁具间，对控制区内地面进行清洁。洁具间内拖把、抹布等清洁用品标识属控制区放射性专用清洁用品。	设置 1 个洁具间，对控制区内地面进行清洁。洁具间内拖把、抹布等清洁用品标识属控制区放射性专用清洁用品。	一致
	通风	本项目拟设置 3 套放射性废气处理系统，PET/CT 机房、PET/MR 机房各设置一套废气处理系统，自 PET 留观室/抢救室、走廊、PET 候诊室、注射室从低活度区向高活度区收集至主管道。	设置机械送、排风系统。 PET/MR、PET/CT 机房设置精密空调通风。留观室、候诊室、卫生通过间、注射室从低到高设置 1 套排放管道，并接入衰变池排风，废气收集管道经专用排风井引至 5 号楼 B 栋	PET/CT 机房设置有新风，利用空调排风，不设置排风口。

表二 项目建设情况

		3套废气收集管道经该层2个专用排风井引至5号楼B栋19F楼顶，并经活性炭过滤后排放。	19F楼顶，并经活性炭过滤后排放。	
	供配电	由市政电网供电。	市政电网供电。	一致
环保工程	医疗废水	依托医院现有污水处理站（处理能力3000m ³ /d），本项目产生的医疗废水（包括经衰变处理后的放射性废水和非放射性废水）经现有污水处理站处理达GB18466-2005预处理标准后接入市政污水管网。	本项目放射性废水经衰变处理后的放射性废水和非放射性废水经现有污水处理站处理达GB18466-2005预处理标准后接入市政污水管网。	一致，该部分已验收
	放射性废水处理设施	拟在5号楼B栋负二层新建衰变间，衰变间建筑面积约30.8m ² 。拟购1套一体化槽式衰变池，安装在衰变间内。放射性废水经衰变池衰变后排入医院现有医院污水处理站。一体化槽式衰变池包括1格降解槽和3格衰变池，降解槽内设破碎装置，约1m ³ ，每格池子有效容积6m ³ ，衰变池总有效容积18m ³ 。不与现有PET/CT中心共用放射性废水处理设施。	在5号楼B栋负二层新建衰变池处理本项目产生放射性废水。购买1套一体化槽式衰变池，安装在PET衰变池二内。放射性废水经衰变池衰变后排入医院现有医院污水处理站。一体化槽式衰变池包括1格降解槽和3格衰变池，降解槽内设破碎装置，约1m ³ ，每格池子有效容积6m ³ ，衰变池总有效容积18m ³ 。	一致，该部分已验收
	放射性废气	拟设置三套放射性废气收集管网，利用专用排风井引至楼顶，在5号楼B栋19F顶设置3套活性炭吸附装置，放射废气经活性炭吸附过滤处理后排放。	设置1套放射性废气收集管网，利用专用排风井引至楼顶，在5号楼B栋19F顶设置3套活性炭吸附装置，放射废气经活性炭吸附过滤处理后排放。	一致，该部分已验收
	医疗废物	依托医院现有医疗废物暂存间，医疗废物送至医院医疗废物暂存间暂存，最终交有资质单位处置。	依托医院现有医疗废物暂存间，医疗废物送至医院医疗废物暂存间暂存，最终交有资质单位处置。	一致
	放射性固废	注射室旁固废间用于暂存本项目产生放射性废物。固废间内拟设置4个混凝土废物槽，每个废物槽内放置1个大号医疗废物桶用于暂存放射性废物。注射窗内外各设置1个专用铅防护污物桶，PET候诊室、PET留观室/抢救室均拟设置多个专用铅防护污物桶。不与现有PET/CT中心共用放射性固废暂存间。	上层为储源间、下层为放射性废物暂存间（固废间）。固废间内设置铅防护箱，用于暂存本项目产生放射性废物。不与现有分子影像中心共用放射性固废暂存间。另外在候诊室、注射窗口旁、留观室均设置专用铅防护污物桶。	固废间位置不变，因内部空间较小，设置铅防护箱。该部分已验收

表二 项目建设情况

	辐射防护	控制区内房间墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗等均采用足够厚的屏蔽体（混凝土、铅门、铅玻璃等）进行辐射屏蔽防护。拟设置警示标识、指引地标，门禁，对讲装置等。	控制区内房间墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗等均采用足够厚的屏蔽体（混凝土、铅门、铅玻璃等）进行辐射屏蔽防护。设置警示标识、指引地标，门禁，对讲装置等。	一致，除 PET/CT 外，其余部分已验收，本次验收 PET/CT 部分
--	------	---	--	--------------------------------------

本项目实际建设内容与环评阶段基本一致，因PET/MR机房内不宜有金属，PET/CT机房角落设置储源间影响诊断，为统一管理，将校准源储存位置调整至固废间废物桶专用的储源保险柜内。PET/MR、PET/CT机房设置精密空调通风，PET/CT机房设置新风管道，取消PET/MR机房、PET/CT机房通风管道。PET/CT设备最大管电流略有增加，PET/CT机房屏蔽防护仍能满足。综上，以上变动已在上一阶段验收中进行对比，本次验收部分变动为PET/CT机房通风管道调整，属于细微调整，未对环境造成不利影响。

2.4 项目平面布置

袁家岗院区 5 号楼 B 栋负一层 PET 中心 2 用于开展核医学新建 PET/MR、PET/CT 影像诊断工作场所，按照 PET/MR、PET/CT 显像诊断流程，设置卫生通过间、注射室、PET/MR 机房、PET/CT 机房、操作间、设备间、候诊区、洁具间、卫生间（受检者专用）、留观室（兼留观、抢救功能）、固废间-储源间等。

对比环评阶段平面布局，储源间位置由原 PET/CT 机房角落调整至固废间上方，整体平面布局未发生变化。项目平面布置图见附图 3。

2.5 周围环境及保护目标

本项目位于 5 号楼 B 栋负一层西侧，楼上为 5 号楼室外空坝（该侧无 5 号楼出入口），楼下为生活泵房及控制室，根据周围环境情况，本项目周围 50m 范围内环境保护目标见表 2-2。

表 2-2 本项目周围环境保护目标一览表

序号	场所	保护目标	方位	与控制区边界最近水平距离	高差	保护对象及环境特征
1	项目所在 5 号楼内	PET/MR 操作间、预留 PET/CT 操作间	东	紧邻	平层	放射工作人员，约 6 人
		空调风机房、会议室		约 3-11m	平层	公众成员，约 15 人
		PET 中心 1		约 11-36m	平层	公众成员，放射工作

表二 项目建设情况

						人员，约 40 人
		车库及设备用房		36-50m	平层	公众成员，放射工作人员，约 5 人
		车库（本项目受检者专用出口旁）	北	0-13m	平层	公众成员，约 4 人
		管道检修井	南	0-1m	平层	公众成员，检修人员约 1 人
		5 号楼 B 栋一层室外空坝	楼上	/	+4.9m（高于负一层）	公众成员，约 20 人
		5 号楼 B 栋—2F 生活泵房及控制室	楼下	/	-5.8m（低于负一层）	公众成员，检修员约 2 人
2	项目所在楼外	院内道路	南	2-32m	+4.9m	公众成员，约 30 人
		3 号楼（7F）		约 32-50m	本项目负一层低于其一层 4m	公众成员，外科住院部，约 500 人
3		院内通道	西南	0-22m	/	公众成员，约 50 人
		2 号楼（22F/-1F）		约 22-50m	本项目负一层与其一层基本齐平	公众成员，约 1000 人
4		在建第二医疗综合大楼（21F/-2F）	西北	约 15-50m	本项目负一层与其负一层外通道基本齐平	公众成员，约 500 人

项目周围环境保护目标与环评阶段一致。

2.6 源项情况

改建 PET/CT、PET/MR 项目 (PET/CT 部分) 验收包括 PET/CT 及该丙级非密封放射性物质工作场所。本次验收非密封放射性物质许可、使用情况见表 2-3、2.4, 射线装置情况见表 2-5。

表2-3 已许可非密封放射性物质情况一览表

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	与环评阶段对比
^{18}F	7.4×10^9	0.01 (低毒)	10 (很简单的操作)	7.4×10^6	与环评阶段一致
^{68}Ga	9.25×10^8	0.01 (低毒)	10 (很简单的操作)	9.25×10^5	
合计				8.33×10^6	

根据环评及《改建 PET/CT、PET/MR 项目 (PET/MR 部分) 竣工环境保护验收监测报告表》, PET 中心 2 预计全年注射 ^{18}F 、 ^{68}Ga 放射性药物进行 PET/MR 显像

表二 项目建设情况

诊断受检者约 1250 人次，日最多 5 人次。PET/CT 年最多接待诊断 5000 人次/年，日最多 20 人次。两个阶段验收总计日最大操作量、日等效最大操作量与环评阶段及许可证一致。

表2-4 本次验收非密封放射性物质情况一览表

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	与环评阶段对比
^{18}F	5.92×10^9 (16 人次)	0.01 (低毒)	10 (很简单的操作)	5.92×10^6	PET/MR 部分已验收，本次仅给出 PET/CT 影像诊断用药量
^{68}Ga	7.4×10^8 (4 人次)	0.01 (低毒)	10 (很简单的操作)	7.4×10^5	
合计				6.66×10^6	

表2-5 本次验收射线装置一览表

序号	射线装置名称	厂家及射线装置型号	数量	类别	射线种类	额定参数	工作场所	与环评阶段对比
1	PET/CT	联影医疗 uMI Panorama GS	1 台	III类	X 射线	最大电压：140kV，最大电流：833mA	PET 中心 2 的 PET/CT 机房	使用场所一致，最大管电压相同，管电流略有增大

从上表可知，本项目验收阶段非密封放射性物质规模与环评阶段一致，PET/CT 最大管电流略有增加，但机房屏蔽仍能满足要求，其他无变化。

2.7 工程设备与工艺分析

(1) 设备组成

PET/CT 包括 PET 系统及 CT 系统机架、扫描床、工作站组成。PET/CT 是把 PET 和 CT 联合在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重建，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地融合在一起。PET 全称为正电子发射计算机断层显像 (positron emission tomography PET)，是反映病变的基因、分子、代谢及功能状态的显像设备。它是利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂，通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化，从而为临床提供疾病的生物代谢信息。CT 是大家所熟悉的 X 线断层显像技术，可以清楚的获得病变的解剖结构信息，但是仅靠结构特点

表二 项目建设情况

诊断疾病有局限性，有些病变的性质比如肿瘤的良恶性、手术后肿瘤有无复发 CT 均难以做出准确的判断。不能准确地反映疾病的生理代谢状态。PET-CT 是将 PET 和 CT 整合在一台仪器上，组成一个完整的显像系统，被称作 PET-CT 系统 (integrated PET-CTsystem)，病人在检查时经过快速的全身扫描，可以同时获得 CT 解剖图像和 PET 功能代谢图像，两种图像优势互补使医生在了解生物代谢信息的同时获得精准的解剖定位，从而对疾病做出全面、准确的判断。

^{18}F 、 ^{68}Ga 发射出的正电子在体内移动大约 1mm 后与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（511KeV）、方向相反的 γ 光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间窗内（一般为 0~15 μs ），探头系统探测到两个互成 180 度（ ± 0.25 度）的光子时，即为一个符合事件。探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建。便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像，PET 特别适用于心脏、脑神经和肿瘤的代谢显像。CT 的球管发射 X 射线，穿透人体组织，探测器在对侧获得数据来重建结构图像；同时又提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建，因此所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢图像和所处的解剖位置图像，一次检查可快速了解全身的整体状况。PET/CT 设备见图 2-1。

表二 项目建设情况



图 2-1 本项目 PET/CT 示例照片

(2) 工作流程

本项目使用的含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 放射性药物均为 PET 中心 1 负二层回旋加速器制备、分装。放射性药物运输工作是按照当天的影像检查计划，受检者到达预诊大厅报告、使用生理盐水建立注射通道。此时，护师将放射性药物利用预诊大厅外通道运输至本项目注射室，一个时段最多预约 3 名受检者，一次最多运输 3 支放射性药物，待这一批次受检者注射后至候诊室（设置 3 个候诊座位）等待扫描，完成核医学显像检查，到达留观室（设置 2 个留观座椅）。可安排下一批次受检者进入候诊室内的注射窗旁接受注射。每一批次放射性药物的运输均是在受检者到达预诊大厅，预诊大厅外通道无受检者及家属活动的时间进行。本项目严格按照预约就诊流程，受检者建立注射通道后，药物送至注射室，不再备药。注射护师取出放射性药物转移铅箱针剂，测定活度，直接在注射窗为受检者注射，无需在 PET 中心 2 注射室内分装。

应用正电子放射性药物在 PET/CT 开展显像诊断流程见图 2-2。

表二 项目建设情况

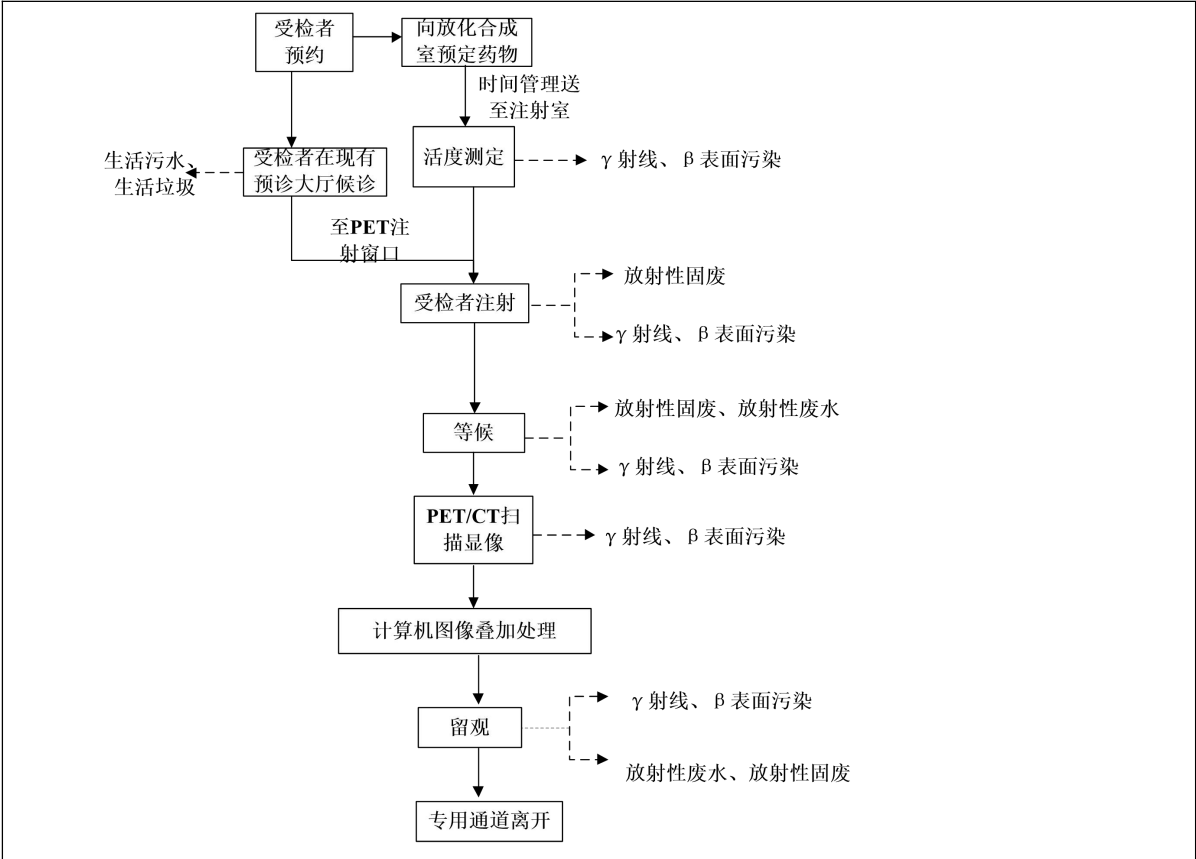


图2-2 应用正电子放射性药物在PET/CT下显像诊断流程图

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员在分子影像中心预诊大厅进行预约，根据诊断单，向放化合成室预定放射性药物。

②受检者根据预约时间到达预诊大厅报到，等候通知到达本项目注射室。护士在受检者进入 PET 候诊室前将受检者正电子药物针剂从现状 PET 中心 1 负一层注射室运输至本项目注射室，若当日预约受检者较多，分批次安排受检者注射，一批次最多安排 3 人次注射。护士运输时，避开受检者及其家属预诊大厅外走廊活动时间，1 批次一般运输 3 人次药量，单次运输时间约 2min。

③受检者完成血糖测试等准备工作，在现有预诊大厅等候，根据叫号系统经受检者入口（单向门）依次到达本项目注射室窗口。护士穿戴好个人防护用品，对收到的放射性药物进行活度复测（无需分装），活度测定时间平均约 2s/支，活度复测后，确认受检者身份，在注射窗口为患者注射药物，注射时间平均约 10s/每人，一批最多安排 3 人次注射。

④注射了放射性药物的受检者进入 PET 候诊室等候约 45min~60min，待药物在

表二 项目建设情况

体内代谢达到平衡后，排泄入厕后，听叫号系统进入 PET/CT 室进行扫描，扫描约 20~25min。一般情况技师通过语音对讲系统和观察窗指导受检者就位，仅当极少部分的特殊受检者需要技师帮助摆位，按受检者的 1/10 考虑，每次摆位时间按 1min 计。

⑤检查完成后，受检者在留观室留观 5~10min，经主管医生确认图像质量满足要求后，患者通过专用出口离开。

2.8 主要污染源

2.8.1 电离辐射

(1) 放射性同位素

本项目应用 PET/CT 显像诊断使用的正电子放射性核素为 ^{18}F 、 ^{68}Ga ，正电子本身是不稳定的，正电子放射性同位素衰变产生的正电子丧失动能后，与物质中的负电子结合，转化为一对运动方向相反、能量均为 0.511MeV 的 γ 光子，正电子与负电子自身消失，这种现象称为湮没反应，所产生的 γ 光子也称湮没辐射。本项目使用正电子药物发生湮没辐射产生 0.511MeV 的 γ 射线进行显像诊断。 ^{18}F 半衰期为 109.8min， ^{68}Ga 半衰期为 68.3min。

(2) X 射线

PET/CT 装置在开机并曝光时产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线，X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

①有用线束：直接由 X 射线球管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。距靶 1m 处主射束的输出量约 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ （根据射线衰减原理和 ICRP33 号报告，在不同过滤材质距靶 1m 处主射束的输出量，本项目 PET/CT 最大管电压为 140kV，3mmAl 过滤板），能量不大于 140keV。其射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。泄漏辐射距焦点 1m 处，在任一 100cm^2 区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h 。

表二 项目建设情况

③**散射线**：有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

（3）放射性“三废”

①放射性废气

本项目使用的含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 正电子放射性药物均为 PET 中心 1 负二层回旋加速器制备、分装好的成品针剂，在注射室内的注射操作简单，正常工作情况下均不会产生气溶胶和蒸汽，若由于操作失误，放射性物质泼洒在工作台面或地面，可能会有微量药物挥发进入空气中。

②放射性废水

放射性废水主要来自受检者注射了放射性药物后在专用卫生间如厕冲洗水；工作人员操作过程中手部可能受到微量 ^{18}F 、 ^{68}Ga 放射性药物污染，在卫生间通过产生的洗手水；清洗控制区室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量 ^{18}F 、 ^{68}Ga 放射性药物的清洗水等。PET 中心 2 采用独立的放射性废水收集、处理系统。

③放射性固废

本项目产生的固体放射性废物主要包括废棉签、注射器、手套、清洁污染用吸水纸等。本项目放射性废气处理系统采用活性炭吸附，活性炭定期更换产生废活性炭。本项目 PET/CT 显像诊断严格实行预约制，不产生未用完的放射性药物。

医院在注射窗内外、注射后候诊区、检查后等候区等放射性废物产生点设置铅防护污物桶收集放射性固废，每天下班由专人统一收集至放废暂存间铅防护污物桶内，放射性废物暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。清洁解控后的医疗废物打包后送至医院医疗废物暂存间暂存，最终交有医疗废物处理资质单位处置。

2.9 劳动定员

医院核医学科现有放射工作人员 36 人，包括医师、技师、护士、物理师、化学师等，本项目工作场所由核医学科统一管理，放射工作人员均从医院现有技师、

表二 项目建设情况

护士中调配，核医学科现有放射工作人员情况见附件 4。

根据医院提供的核医学科放射工作人员情况表可知，核医学科现有放射工作人员均参加了辐射安全与防护培训，并取得合格成绩单，在有效期内持证上岗。放射工作人员职业体检结论为可继续原放射工作。核医学科放射工作人员都按要求佩戴了个人剂量计，根据近四个季度个人剂量检测结果，核医学科放射工作人员年有效剂量在 0.01~2.22mSv 之间，满足医院对放射工作人员年剂量不超过 5mSv/a 的要求。核医学科放射工作人员为轮班制。

2.10 工作负荷

根据环评报告，本项目预计全年注射 ^{18}F 、 ^{68}Ga 放射性药物进行 PET/CT 显像诊断受检者约 5000 人次，日最多 20 人次。实际运行计划与环评阶段一致，PET/CT 年最多接待诊断 5000 人次。

^{18}F 每人最大用量不超过 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)， ^{68}Ga 每人最大用量不超过 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)。结合工艺流程，本次验收 PET/CT 部分工作场所放射性药物使用情况表及放射工作人员工作负荷见表 2-6，放射工作人员工作负荷统计见表 2-7。

表 2-6 本项目预计放射性药物使用情况表

核素名称	单人最大用量 (Bq)	日最大人·次	最大日操作量 (Bq)	年就诊人·次	年最大用量 (Bq)	用途
^{18}F	3.7×10^8	16	$5.92 \text{E}+09$	4000	$1.48 \text{E}+12$	恶性肿瘤、神经系统疾病、感染性疾病、心脏疾病等核医学显像诊断
^{68}Ga	1.85×10^8	4	$7.40 \text{E}+08$	1000	$1.85 \text{E}+11$	
合计		20	$6.66 \text{E}+09$	5000	$1.67 \text{E}+12$	

备注：以上为 PET/CT 诊断受检者工作负荷。

根据《改建 PET/CT、PET/MR 项目 (PET/MR 部分) 竣工环境保护验收监测报告表》中给出的从事 PET/MR 相关显像工作放射工作人员工作负荷统计表，给出 PET 中心 2 放射工作人员工作负荷表，具体见表 2-7。

表二 项目建设情况

表 2-7 本项目放射工作人员工作负荷统计表						
人员	工作内容	人次/批次	单次所需最大时间	PET/CT 显像诊断年有效工作时间 (h/a)	PET/MR 显像诊断年有效工作时间 (h/a)	小计 (h/a)
护师	运输	417 批次/年 (5000/3=1667)	2min/次	55.57	13.90	69.47
	活度测定	5000 人次/年	2s/支	2.78	0.69	3.47
	注射	5000 人次/年	10s/人次	13.89	3.47	17.36
技师	摆位	500 人次/年	1min/人次	8.33	2.08	10.41
技师	操作 PET/CT、 PET/MR	5000 人次/年	25min/人次	2083.33	520.83	2604.16

2.11 项目变动情况

根据调查可知，本项目建设性质、规模、地点、采用的设备及工艺、防治污染、辐射安全与防护等均与环评一致，根据《污染影响类建设项目重大变动清单（试行）》（环办环评函〔2020〕688号）文件，本项目未发生重大变动。

表三 辐射安全与防护设施/措施

3.1 工作场所的布局和分区管理

3.1.1 工作场所的布局 and 人流、物流通道设置情况

(1) 工作场所布局

本项目工作场所根据 PET/MR、PET/CT 显像诊断流程统一设计、建设。布置新建卫生通过间、注射室、PET 候诊室、PET/MR 机房、PET/CT 机房及其操作间、设备间、洁具间、卫生间（受检者专用）、留观室（兼留观、抢救功能）、固废间-储源间等。除 PET/CT 机房外，其他场所已通过竣工环保验收。

(2) 人员、物流通道设置

①受检者路径规划：受检者从 5 号楼 B 栋专用电梯到达负一层分子影像中心预诊大厅，预约登记后的受检者在预诊大厅建立静脉通道→根据叫号系统到达本项目注射室窗口→注射窗口静脉注射含 ^{18}F 或 ^{68}Ga 放射性药物→在 PET 候诊室完成注射后候诊，即喝水、排泄（在 PET 候诊室专用厕所内入厕）等待药物代谢至靶器官→根据叫号系统进入 PET/CT 扫描→扫描后在 PET 留观室留观→患者专用出口通道单向防护门→经车库专用出口离开。

②技师路线

技师在受检者到达 PET 候诊室后从办公区直接到达 PET/CT 操作间（利用对讲机、视频监控等手段在操作间内指导受检者摆位，一般情况操作人员不进入机房）→受检者离开后原路返回。

③操作放射性药物护士路径规划

受检者到达 PET 候诊室之前护士进入卫生通过间更衣→进入注射室测定药物活度、注射窗口注射→按原路径经卫生通过间、更衣进行表面污染监测达标后方可离开。

④放射性药物路径规划

根据诊断单护士向 PET 中心 1 负二层放化合成室预定放射性药物→利用 PET 中心 1 负一层现有注射室药物电梯→避开受检者时段（受检者及其家属在预诊大厅等候、预诊大厅外走廊无人员活动时），利用转移铅箱将含有放射性药物 ^{18}F 、 ^{68}Ga 针剂的注射转运盒运输至 PET 中心 2 注射室内。若当日预约受检者较多，分批次避开受检者运输，一批次运输 3 人次放射性药物量。

表三 辐射安全与防护设施/措施

⑤放射性废物运出路径规划

每日下班后，控制区内各污物防护桶内污物由专人收集至注射室旁的固废间暂存→放射性废物暂存达到清洁解控水平作为医疗废物→经卫生通过间运出→经 PET 中心 1 负一层预诊大厅外走廊运至 5 号楼污梯→经医院内部道路运转至 2 号楼负一层医疗废物暂存间暂存，最后交有资质单位处理。

放射性药物和放射性废物通道制定院内运输管理制度，避开受检者运输。

根据上述调查，本项目按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）核医学诊断功能用房、通道的设置要求布设非密封源场所及其辅助功能用房，工作场所布局按照 PET/MR、PET/CT 诊断流程合理设计，设置专门的储源间-固废间，用于 PET/MR 校准用放射源、放射性固体废物的暂存，储源间距离 PET/MR 机房较近、固废间距离候诊室、留观室较近，方便放射性废物收集、暂存。PET 中心 2 的放射性药物操作人员入口处设置卫生通过间，作为工作人员进出的卫生通过用，离开时在卫生通过间进行清洗和污染检测；设置专门的注射后候诊室和检查后留观室（兼做留观、抢救室），且设置专用卫生间用于限制给药后患者的活动空间；项目医技（护）人员、受检者、放射性药物及废物通道相对独立，医、患通道的控制区进出口处均设置门禁/单向门禁系统，控制无关人员进入辐射工作场所和给药后患者的随意流动，避免和减少给药后患者对其他人员的照射；项目人流物流的路线较清晰，本项目工作场所受检者为单向通道，结合对就诊患者的时间管控，可有效避免交叉污染，避免工作人员和公众受到不必要的照射。项目衰变池设置在本项目工作场所下方独立房间内，可就近收集、处理本项目产生放射性废水。项目放射性废气排放口位于 5 号楼 B 栋 19F 顶，排放口周围无人员长期停留。

因此，本项目工作场所的布局和人流、物流通道设置与环评阶段相比，无变动。本项目影像诊断工作场所平面布置及 PET 中心 2 检查人流物流图见附图 3。

（3）辐射工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款规定，本项目工作场所控制区、监督区划设见表 3-1，本项目工作场所划设见图 3-1。

表三 辐射安全与防护设施/措施

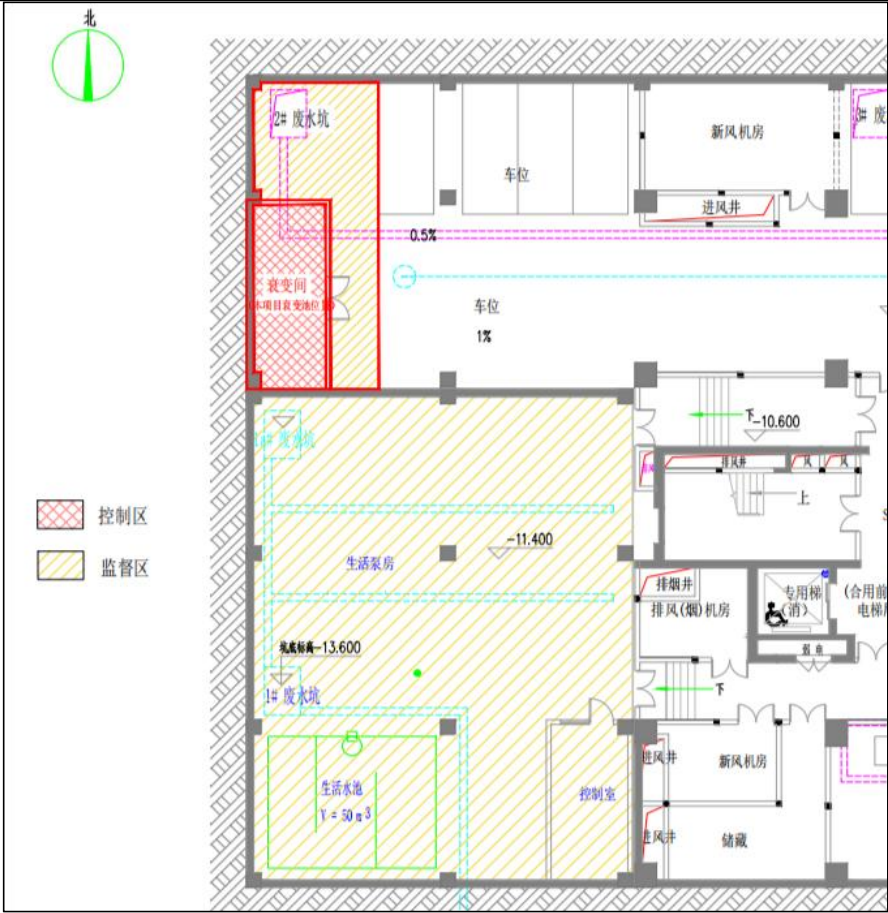


图3-2 负二层PET衰变池二分区图

PET中心2工作场所控制区出入口设置防护门、PET/CT机房防护门设置门灯联锁、电离辐射警示标志及门禁、对讲、监控等设施，限制无关人员随意进入，以便控制正常照射。负二层PET衰变池二门常锁，钥匙由专人管理，并张贴电离辐射警示标志。

在PET中心2工作场所监督区适当位置设立监督区标志及相关标识（入口处张贴分区标识、地面贴地标），防止无关人员受到不必要的照射，定期检查辐射剂量水平，进行经常性监督和评价。

与环评阶段对比，分区未发生变动。

3.2 屏蔽设施建设情况和屏蔽效能

PET中心2的屏蔽防护措施一次性建成，主要防护设施及用品清单已购置，且已在上一阶段进行验收，本次仅列出PET/CT机房屏蔽防护。PET/CT机房屏蔽防护情况见表3-2。

表三 辐射安全与防护设施/措施

表 3-2 本项目 PET/CT 机房屏蔽防护方案

名称	环评阶段防护方案	验收阶段防护方案	变化情况
PET/CT 机房	四周墙体：300mm 砼 顶棚：250mm 砼 地板：400mm 砼 大防护门和小防护门（操作间）： 8mmPb 铅防护门 观察窗：8mmPb 铅玻璃窗	四周墙体：300mm 砼 顶棚：250mm 砼 地板：400mm 砼 大防护门和小防护门（操作间）： 8mmPb 铅防护门 观察窗：8mmPb 铅玻璃窗	一致

根据调查可知，PET/CT 机房实际的屏蔽防护与环评阶段屏蔽防护一致，取消了 PET/CT 机房角落储源间，根据两次验收监测结果可知，工作场所屏蔽防护满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求。

PET 中心 2 配置设备及防护设施、用品满足开展核医学 PET/MR、PET/CT 显像诊断的需要。防护设备具有一定的屏蔽能力，根据上一阶段验收监测结果可知，工作场所注射窗、放射废物桶表面 30cm 处的周围剂量当量率也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

3.3 辐射安全与防护措施的设置和功能实现情况

本项目辐射安全与防护措施包括安全联锁、警示标志、辐射分区、信号指示、视频监控等安全与防护状况等。与环境影响报告表及其审批部门审批决定对比情况见表 3-3。

通过现场查看及检验，建设单位落实了环评报告及其批复中的安全防护措施，表 3-3 中 3-8 项已在“改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）”中进行查验。本次重点查验 1、2 项。安全防护措施照片见附图 7。

表三 辐射安全与防护设施/措施

表 3-3 安全防护措施落实情况表

序号	环评报告表及其批复中的安全防护措施	实际采取的安全防护措施	检验方式	检验结果
1	门灯联锁、信号指示灯	PET/CT 机房各防护门上方设置与防护门联锁，防护门关闭显示“射线有害，灯亮误入”	打开和关闭铅门，查看联锁情况	已达到门灯联锁效果
2	监视和通讯装置	控制区出入口等处安装监视装置，在 PET/CT 操作间观察到受检者在工作场所主要房间活动情况。操作间技师与 PET/CT 机房、PET 候诊室、留观室均可与受检者交流，注射室注射台设置对讲，方便护士与受检者交流。	现场查看	已按要求设置并达到效果
3	工作场所分区	将 PET 中心 2 划分为控制区和监督区，在受检者入口设置分区标识牌，地面贴分区标识。	现场查看	达到分区管控效果
4	门禁系统	受检者出、入口设置单向门禁系统。	现场查看	受检者出入口达到单向同行，已按要求设置并达到效果
5	工作场所辐射探测报警装置	在 2 个操作间、技师阅片室、卫生通过间、受检者入口外、出口外设置工作场所剂量监测报警系统（固定式剂量率仪探头 6 个）。	现场查看，在 PET/MR 操作间可看到各固定式剂量率仪剂量率显示，并设置报警阈值	已按照要求设置
6	工作场所标识	受检者通道地面设置导向提示，引导受检者在 PET 中心 2 内就诊。控制区各出入口防护门、注射室、储源间-固废间、PET/CT 机房门、PET/MR 机房门、PET 衰变池二门外及铅防护污物桶上张贴电离辐射警告标志。储源铅罐（表面张贴放射源信息）、注射器转运盒等防护设施表面张贴电离辐射标志。	现场查看	已按照要求张贴标识
7	放射源、放射性药物安全保卫措施	储源间采用双人双锁防护门，专人保管放射源，并设置监控。	现场查看	已按照要求设置
8	清洁去污	设置卫生通过间作为工作人员卫生通过间，各水出口置感应式开关。卫生通过间、洁具间等处配置核素洗消液及配备应急去污用品，操作放射性药物的护士离开控制区前应清洗并进行表面污染监测。	现场查看	已按照要求设置

表三 辐射安全与防护设施/措施

3.4 放射性三废处理设施的建设和处理能力

PET 中心 2 监测设施及防护用品、放射性三废处理设施的建设和处理能力已在上一阶段验收中调查，本次仅给出调查结论。

3.4.1 监测设施及防护用品

建设单位按照环境影响报告表及其审批部门审批决定的要求为辐射工作人员配备了表面污染监测仪、个人剂量报警仪、固定式剂量率仪、个人剂量计等。监测设施基本情况见表 3-4。

表 3-4 本项目个人防护用品和检测仪表

序号	设备名称	数量	存放或使用位置	备注
1	防护铅衣（长、短）、 防护铅围脖、防护铅眼镜、 防护铅帽	3 套	卫生通过间（放射工作人员使用）、操作间	0.5mmPb
2	放射性污染防护服	2 套	卫生通过间（放射工作人员使用）	
3	表面污染监测仪	1 台	存放在卫生通过间，PET 影像诊断工作场所使用	Inspector Alert
4	个人剂量报警仪	2 台	医务人员随身佩戴	/
5	固定式剂量率仪	1 套	在 2 个操作间、技师阅片室、卫生通过间、受检者入口外、出口外，共 6 个探头，设置工作场所剂量监测报警系统。	
6	活度计	1 台	注射室	/
7	个人剂量计	36 枚	医护人员随身佩戴	现有

根据表 3-5 可知，医院在 PET 中心 2 工作场所配置的防护用品和检测仪表满足开展 PET/CT 显像诊断的需要，也满足环评及批复要求。

3.4.2 放射性三废处理设施的建设和处理能力

（1）放射性废水

收集系统：医院对 PET 中心 2 产生的放射性废水（由注射放射性药物病人排泄、接触放射性药物医护人员洗手及控制区清洁用水）设置单独的收集系统，放射性废水管道采用耐腐蚀的铸铁管，收集范围包括卫生通过间、2 处受检者专用卫生间、洁具间，放射性废水的管道均采用耐腐蚀的铸铁管道，放射性废水通过独立管道收集至 5 号楼 B 栋负二层衰变池，一体化衰变池池体为 3mm 厚不锈钢板，放置在 PET 衰变池二，PET 衰变池二四周墙体为 400mm 实心砖，放射性废水排水管网图见附图 5。

表三 辐射安全与防护设施/措施

处理系统：在 5 号楼 B 栋负二层（PET 中心 2 下方）PET 衰变池二内设置一体化槽式衰变池，衰变池包括 3 格衰变池，每格衰变池有效容积 6m^3 ，其总有效容积 18m^3 ，PET 衰变池二门口张贴电离辐射警示标识；将衰变池检修口作为采样口，PET 衰变池二安装有 PLC 控制系统及固定式剂量率报警系统，可在 PET 衰变池二外看到各衰变池内水量情况界面及衰变间内剂量率。3 格衰变池交替使用，放射性废水经降解槽内搅拌破碎装置破碎后首先进入一号池，此时，另两个槽体进水口和三个槽体的出水口全部处于关闭状态。当一号池液面达到设定液位时，关闭一号池进水阀，二号池进水阀开启，污水进入二号池。当二号池液面达到设定液位时，关闭二号池进水阀，三号池进水阀开启，污水进入三号池。当三号池液面达到设定液位时，一号池排水阀开启同时排水泵工作；当液位传感器感知到一号池液位排空后，关闭三号池进水阀，同时打开一号池进水阀；当一号池第二次感知到液位达到设定液位时，二号池排水阀开启同时排水泵工作；当感知到液体已排空后，二号排水阀关闭，一号进水阀关闭，二号进水阀打开；如此循环确保了每次排放的槽体内废水都是贮存时间最长的。衰变池处理工艺流程图见附图 6。

本项目产生少量放射性废水经衰变后排入医院现有污水处理设施处理后排入接入市政污水管网，最终接入鸡冠石污水处理厂。根据衰变池可视化系统可知，调试运行至今，目前衰变池内废水已暂存超过 30 天，但尚未排放。因调试运行期间主要为清洁用水，尚未装满。根据调查，衰变池位置、处理工艺、规模等均未发生变动。

（2）放射性废气

PET 中心 2 使用的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 非气态放射性药物，非正常情况下放射性药物泼洒在工作台面或地面，可能会有微量药物挥发进入空气中。PET 中心 2 工作场采用机械送排风以保持良好的通风。在留观室、候诊室、卫生通过间、注射室从低到高设置 1 套排放管道，并将衰变池排风接入排风系统，废气收集管道经专用排风井引至 5 号楼 B 栋 19F 楼顶，楼顶设置活性炭过滤后排放，排放口高于 19F 屋面 2m 排放，活性炭定期更换。PET 影像诊断工作场所排风图见附图 4。

根据现场调查，本项目工作场所内放射性废气处理系统运行良好，活性炭尚未更换。

（3）放射性固废

表三 辐射安全与防护设施/措施

本项目产生放射性废物为含 ^{18}F 及少量 ^{68}Ga 的废物， ^{18}F 、 ^{68}Ga 半衰期小于24小时，每天下班由专人统一收集至固废间内按类别（注射用医疗垃圾、受检者生活垃圾）和日期分别暂存。本项目分别在注射室、候诊室、留观室各配备1个10mmPb的铅防护污物桶，固废间设置一个10mmPb铅防护污物箱。固废间日常封闭，仅当废物进出才开门。

放射性废物铅防护污物桶上张贴了电离辐射警示标志，每天下班由专人统一放至固废间铅防护污物箱内暂存，专门护师填写放射性废物贮存登记卡，该登记卡记录放置时间。放射性废物暂存30天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。作为一般医疗废物转运医院医疗废物暂存间暂存，最终交有医疗废物处理资质单位处置。

3.4.3 非放射性三废处理设施的建设和处理能力

（1）固废：PET中心2产生的非放射性固废主要为注射放射性药物前的医疗活动产生的医疗废物，为一般医疗废物，收集暂存于医院医疗废物暂存间，最终交有资质单位处置，对周围环境影响小。铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集妥善保存，交有资质单位处置，并做好相应记录。

（2）废水：PET中心2注射前的预诊大厅及医生办公室依托现有PET中心1的用房，医生、未注射放射性药物的受检者及家属产生少量的生活污水等直接排入医院现有污水处理设施处理达标后排入市政污水管网，对环境影响小。

（3）废气：PET中心2衰变池位于负二层PET衰变池二内，项目排水量较小，废水衰变过程中可能会产生少量的臭气，接入PET中心2排风系统主管，经专用排风井引至5号楼B栋19F楼顶，楼顶设置活性炭过滤后高于屋面2m排放。

3.5 辐射安全管理情况

（1）辐射安全管理机构

重庆医科大学附属第一医院已成立了放射防护管理委员会，明确了委员会职责，由分管副院长任主任委员，委员会下设办公室，办公室设在预防保健科，由科长任办公室主任。放射防护管理委员会职责包括制订及修订放射防护管理制度并组织实施；制定医院放射防护管理目标及计划，并督导检查落实情况；对新建、改扩

表三 辐射安全与防护设施/措施

建放射诊疗建设项目提出放射防护建议；讨论放射诊疗运行中存在的放射防护问题，提出相应管理措施；组织医院放射工作人员定期进行放射防护和有关法律知识的培训、定期进行职业健康检查。

预防保健科专职人员为硕士研究生学历，专职负责辐射安全与环境保护管理工作，人员能力满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

(2) 管理制度落实情况

医院制定有《放射防护管理制度》《放射工作人员培训制度》《辐射防护和安全保卫制度》《个人剂量计管理制度》《辐射监测计划》《放射事故应急预案》、《放射防护注意事项》《放射事故应急领导小组成员及职责分工》等，医院核医学科已运营多年，制定有《核医学科放射防护管理制度》《核医学科放射性药物管理制度》《核医学科工作场所清洁制度》《核医学科放射事故应急处理制度及流程》《PET/CT技术操作制度》《PET中心技师岗位职责》、《PET中心注射护士岗位职责》，并将操作流程、岗位职责、应急流程张贴上墙。

上述辐射安全管理制度基本健全，具有一定的可操作性，同时医院在日常辐射防护安全管理工作中，严格执行各项辐射防护安全规章制度，运行至今，从未发生辐射安全事故。

(3) 其他

医院建立了辐射工作人员个人剂量档案及健康体检档案。将定期安排辐射工作人员进行职业健康体检、辐射防护与安全培训与复训。

3.6 环保设施投资及“三同时”落实情况

因设备投资增加，仅 PET/CT 部分实际总投资 7000 万元，环保投资已在一阶段一次性支出，具体见表 3-5。

表 3-5 项目环保设施及投资一览表

辐射安全与防护设施/措施名称	投资（万元）
防护铅门、铅玻璃、门禁等	80
注射窗、铅防护污物桶、注射防护套等	50
个人防护用品及监测仪器	
废气收集管网、废气处置	30
废水收集管网、衰变池等	
监测、环评、验收、办证等	20
合计	180

表三 辐射安全与防护设施/措施

验收监测时项目已建成，通过现场检查，本项目环保工程与主体工程同时设计，同时施工，同时投入运营，满足“三同时”要求。

环境影响报告表及审批部门审批决定落实情况见表 3-6。

表 3-6 环境影响报告表及审批部门审批决定落实情况

序号	环境影响报告表审批部门审批决定情况	实际执行情况	是否满足要求
1	有效控制项目对环境的电离辐射影响，确保附加给工作人员、公众的年有效剂量分别控制在 5mSv、0.1mSv 以内；核医学场所控制区边界、机房屏蔽墙体外 30cm 处周围剂量当量率应 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；工作场所控制区、监督区和其他区域的表面污染水平应分别小于 40Bq/cm^2 、 4Bq/cm^2 、 0.4Bq/cm^2 。	根据后文计算，本项目工作人员、公众受到的年有效剂量分别控制在 5mSv、0.1mSv 内。 根据验收监测报告，控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）、PET/CT 机房周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），如注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。项目工作场所周围剂量当量率满足环评、批复及 HJ1188-2021 复函的要求。 项目工作场所表面及各类设施表面的 β 表面污染监测值均满足标准限值要求。	是
2	严格按照非密封放射性物质工作场所分区原则，对核医学工作场所进行合理优化布局；机房的辐射防护屏蔽应满足辐射防护安全要求，并符合最优化原则；合理设置通风装置，保证机房内良好的空气，且所有进出风口、穿墙管道等处均应采取相应的防射线泄漏措施。	对本项目非密封放射性物质工作场所进行分区，划定控制区、监督区。优化了布局（调整储源间位置），根据验收监测报告，项目屏蔽防护满足要求。该场所设置专门排风系统，保持机房内有良好的排风。对进出风口、对穿墙管道进行了补偿。	是
3	严格按照规定处理项目建设、运营中产生的废水和固体废物。按规定要求设置放射性废水收集管道和衰变池，并采取防渗漏处理；放射性废水需达到国家规定的排放标准(总 β 放射性不超过 10Bq/L)后方可进入污水处理站，非放射性废水达标排放；按照有关标准要求设置通风装置；固体废物按国家有关规定分类收集、处理，控制和减少放射性废物的产生量，医疗废物应交由有资质的单位处理。	放射性三废妥善处理，设置专用放射性废水收集管道和衰变池，并进行了防渗漏处理。衰变池容积满足要求，放射性废水暂存时间超过 30 天，可直接解控排放。场所控制区设置独立的排风系统，经活性炭吸附后排放。设置有固废间及铅防护污物桶收集放射性固废，放射性固体废物分类收集，控制和减少放射性废物的产生量，每天下班由专人统一放至放射性废物间铅防护污物箱内暂存，专门护师填写放射性废物贮存登记卡，暂存 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，对废物清洁解控并作为医疗废物处理。医疗废物交由有资质的单位处理。	是

表三 辐射安全与防护设施/措施

		医院与校准源供应单位签订了《废旧放射源处置暨回收协议》。	
4	按有关规定对放射诊疗进行管理与控制，各辐射工作场所应设置明显的电离辐射标志和中文警示说明，落实防止误操作、避免工作人员和公众受到意外照射的安全措施，采取有效措施，防止设施设备运行故障，强化风险防范管理。	按照 PET 诊断场所进行管理和控制，PET/CT 机房防护门设置有明显的电离辐射标志、中文警示说明和工作信号指示器。地面张贴有导向提示，引导受检者在 PET 中心 2 工作场所内就诊。制定设备检修制度、操作规程及人员岗位职责。工作场所设置了 6 个固定式剂量率仪报警仪，避免工作人员和公众受意外照射。	是
5	健全辐射安全责任制，落实辐射相关人员岗位职责，完善辐射安全操作规程、设备维护保养制度和放射性同位素使用台账管理制度等辐射安全防护管理规章制度及辐射事故应急预案，使其具备针对性、可操作性。	医院制定了一系列辐射安全管理制度，成立有放射防护管理委员会，并落实辐射安全相关人员岗位职责。制定操作规程、设备维护保养制度、人员培训计划、监测方案、放射性物品台账管理制度、辐射事故应急预案、放射性废物处理制度等。	是

由上表可知，建设单位落实了审批部门审批决定要求，满足竣工环境保护验收要求。

项目与环境影响报告表竣工验收要求一览表对比情况见表3-7。

表三 辐射安全与防护设施/措施

表 3-7 项目与环境影响报告表验收一览表对比情况

序号	验收内容	验收要求	完成情况
1	环保资料	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告	环评文件、环评批复、验收监测报告等齐全
2	辐射环境管理	建立辐射环境管理机构。建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射应急预案等管理制度。相关制度相应位置上墙。	医院制定了一系列辐射安全管理制度，成立有放射防护管理委员会，并落实辐射安全相关人员岗位职责。制定有 PET/CT 操作规程、人员岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射应急预案等管理制度、放射性物品台账管理制度、辐射事故应急预案、放射性废物处理制度等。部分制度已张贴上墙。
3	人员要求	配备核医学医师、技师、护士等，参加辐射安全与防护培训，并考核合格，按要求复训。	医院为本项目配备有核医学医师、技师、护士等，核医学科放射工作人员均参加辐射安全与防护培训，并考核合格。
4	辐射安全防护措施/设施	①设置电离辐射警告标志，按要求划设控制区和监督区，设置患者或受检者、医务人员行走箭头标识，规定各类人员的活动路径。 ②控制区内各用房室内表面及装备结构要求满足 GB120-2020，控制区用房的墙体、防护门、观察窗、顶棚等的屏蔽防护满足要求。工作场所装修、装备表面满足 GBZ120 要求，注射室、PET 候诊室、PET/CT 机房、PET/MR 机房、PET 留观室/抢救室、衰变间均按 II 类场所，固废间按 III 类场所。 ③设置缓冲间（含淋浴），工作人员离开时进行表面污染监测，储源间设置双人双锁及监控。工作场所设置对讲装置、视频监控、门禁装置等。配置注射窗、铅罐、注射器转运盒、防护套等防护设施。设置用药后病人专用卫生间，设置单独的清洁间，分区配置清洁设施、分区清洁；控制区内上水设置洗消设备（含洗消液），各水出口设置感应式或脚踏式开关。 ④工作场所的墙体、防护门、观察窗防护能力满足要求。PET/CT	①将 PET 中心 2 划分为控制区和监督区，在受检者入口设置分区标识牌，地面贴分区标识。工作人员通道、受检者通道地面设置人流动线标识，引导受检者在 PET 显像诊断工作场所内就诊。控制区各出入口防护门、注射室、储源间、固废间、PET/CT 机房门、PET 衰变池二门外及铅防护污物桶上张贴电离辐射警告标志。 ②根据两次验收监测，控制区用房的墙体、防护门、观察窗、顶棚等的屏蔽防护满足要求。根据现场检查，控制区各用房室内表面及装备结构要求满足 GB120-2020 的要求，采用易去污的材料等。 ③设置卫生通过间（含淋浴），工作人员离开时进行表面污染监测，储源间设置双人双锁及监控。工作场所设置多个对讲装置、视频监控、门禁装置。配置注射窗、注射器转运盒、防护套等防护设施。设置用药后病人专用卫生间，设置单独的洁具间，分区配置清洁设施、分区清洁；控制区内上

表三 辐射安全与防护设施/措施

		机房各防护门上方设置工作状态指示灯，并进行门灯连锁，设置电离辐射警告标志，平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。 ⑤将控制区用房的废气分区收集并引至5号楼B栋楼顶高于建筑排放。楼顶设置活性炭吸附装置，放射性废气均经活性炭吸附后排放。 ⑥设置放射性废水处理设施，将项目工作场所放射性废水收集后进行处理，衰变 30 天后排入医院污水处理站处理，并在衰变池检修间门口设置电离辐射警告标志及禁止人员长期停留等警示语。 ⑦建立完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账。 ⑧配备个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等监测设备。 ⑨从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，并形成监测记录。日常自行监测均形成监测档案。		水设置洗消设备（含洗消液），各水出口设置感应式开关。 ④PET/CT机房防护门上方设置工作状态指示灯，并进行门灯连锁，防护门关闭显示“射线有害，灯亮误入”，防护门张贴电离辐射警告标志。 ⑤将控制区用房的废气分区收集并引至 5 号楼 B 栋楼顶，楼顶设置活性炭吸附装置，排放口高于建筑屋顶 2m 排放。 ⑥在 PET 衰变池二内设置一体化槽式衰变池，项目工作场所放射性废水收集至该衰变池处理。衰变池有效容积满足将收集放射新废水衰变 30 天后排入医院污水处理站处理，并在衰变池间门口设置电离辐射警告标志。 ⑦制定核医学科放射防护管理制度、放射性药物、放射性废物管理制度及台账。 ⑧配备满足开展 PET 中心 2 显像诊断工作的个人防护用品及辅助防护设施，每个放射工作人员佩戴个人剂量计，工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等监测设备。 ⑨在卫生通过间放置表面污染检测仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，并形成监测记录。日常自行监测均已形成监测档案。
4	电离辐射	剂量管理目标	工作人员年有效剂量$\leq 5\text{mSv}$ 公众成员年有效剂量$\leq 0.1\text{mSv}$ 手部剂量当量$\leq 125\text{mSv}$	根据监测报告及剂量估算结果，满足年剂量管理目标。
		周围剂量当量率	（1）控制区外人员可达处、各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$。 （2）放射性药物注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$，注射窗非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$。	根据两次验收监测报告及验收标准，控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子$<1/2$）、PET/CT 机房外周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$。控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子$\geq 1/2$），如注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$。项目工作场所周围剂量当量率满足环评、批复及 HJ1188-2021 复函的要求。

表三 辐射安全与防护设施/措施

5			(4) 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施, 以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。	根据上一阶段验收监测报告, 放射性药物注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h, 注射窗非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h。
		表面污染	(1) 工作台、设备、墙壁、地面 控制区: $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$ 监督区: $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$ (2) 工作服、手套、工作鞋 控制区/监督区: $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$ (3) 手、皮肤、内衣、工作袜 $\beta \leq 4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$	根据监测报告, 项目工作场所表面及各类设施表面的 β 表面污染监测值均满足标准限值要求。
	放射性废物	废水	在 5 号楼 B 栋负二层设置一体化槽式衰变池, 包含 3 格 6 m^3 的池子, 总有效容积 18 m^3 。一体化槽式衰变池为不锈钢池体, 具有防渗、防腐作用。本项目产生的放射性废水收集到衰变池, 衰变 30 天后排入医院污水处理站再进一步处理。衰变池设检修口兼做检测采样口, 衰变池排放口: 总 $\beta \leq 10 \text{Bq/L}$ 。	在 5 号楼 B 栋负二层设置一体化槽式衰变池, 包含 3 格 6 m^3 的池子, 总有效容积 18 m^3 。一体化槽式衰变池为不锈钢池体, 具有防渗、防腐作用。本项目产生的放射性废水收集到衰变池, 衰变 30 天后排入医院污水处理站再进一步处理。衰变池设检修口兼做检测采样口, 调试运行至今, 尚未排放。
		废气	项目用房控制区采用单独的排风系统, 按照低活度区到高活度区收集工作场所控制区各用房的废气, 废气收集管内设置防倒灌装置并保持负压。废气收集后在引至 5 号楼楼顶后高于楼顶排放。	本项目控制区采用单独的排风系统, 放射性废气按照低活度区到高活度区收集工作场所控制区各用房的废气, 废气收集管内设置防倒灌装置并保持负压。废气收集后经活性炭吸附引至楼顶, 排放口高于楼顶 2m 排放。
		固废	设置固废间, 放射性废物产生点设置铅防护废物桶, 下班后由工作人员统一收集至废物室按类别和日期分别暂存, 每袋废物质量 $\leq 20 \text{kg}$, 表面剂量率 $\leq 0.1 \text{mSv/h}$ 。暂存时间超过 30 天, 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后可对废物清洁解控并作为医疗废物处理, 废物包装体外表面: $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。并形成废物转移台账。与厂家签订放射源回收协议, 更换的校准放射源由原生产厂家回收处理。	本项目设置固废间, 放射性废物产生点设置铅防护废物桶, 每天下班后由工作人员统一收集至固废间按类别和日期, 暂存 30 天, 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, 可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。 已与厂家签订废旧放射源回收协议, 更换的校准放射源及时交原生产厂家回收处理。

表三 辐射安全与防护设施/措施

6	非放射性废物	废水	依托相应医院废水处理站处理后方可排放。	非放射性废水依托医院废水处理站处理后排放。
		固废	医疗废物交有资质的单位处置。	医疗废物交有资质的单位处置。

由上表可知，建设单位落实了环境影响报告表竣工验收要求，满足验收要求。

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

建设项目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

(1) 项目概况

重庆医科大学附属第一医院“改建 PET/CT、PET/MR 项目”拟在负一层西侧原腔镜培训中心用房改造为核医学科 PET/CT、PET/MR 工作场所，拟设置 PET/CT、PET/MR 机房各 1 间及其操作室、注射室、PET 候诊室、PET 留观室/抢救室，以及储源间、固废间、卫生通过间、洁具间、受检者通道等辅助用房与区域，放射性药物制备(淋洗/合成等)、病患就诊预约厅、护士站、医护人员办公场所等设施设备与辅助用房拟依托核医学科 PET/CT 中心；拟在负二层西侧新建衰变间，安装一体化槽式衰变池。经核定，新建负一层核医学影像诊断场所为丙级非密封放射性物质工作场所(日等效最大操作量为 $8.33 \times 10^6 \text{Bq}$)，并拟配置 PET/CT 机（III类射线装置）、PET/MR 各 1 台，PET/MR 配套用伍枚 ^{68}Ge 校准源（V类放射源），以及注射一体化防护装置（注射窗）、活度计及表面沾污仪等设施设备。项目实施将增加已许可乙级非密封放射性物质工作场所负二层 ^{68}Ga 淋洗量，不改变 ^{18}F 的制备量。现状 PET/CT 中心日等效最大操作量将调整至 $4.22 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大用量将调整至 $2.78 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。项目总建筑面积约 350m^2 ，项目总投资约 7120 万元，其中环保投资约 200 万元。

(2) 辐射防护与安全措施结论

本次增加 ^{68}Ga 淋洗量只是增加淋洗工作时间，不增加回旋加速器工作负荷，利用放化合成室现有辐射防护与安全措施可满足辐射安全与防护要求。

①工作场所分区：拟将 PET/CT 机房、PET/MR 机房、设备间、注射室、固废间、卫生通过间、PET 候诊室、PET 留观室/抢救室、受检者通道、洁具间、设备间、衰变间按照控制区管理，PET/CT 操作室、PET/MR 操作室、注射前候诊走廊、管道检修井、楼上、楼下控制区对应区域、衰变间外区域按照监督区管理。

②屏蔽措施及室内表面装修：拟建项目 PET/CT 机房有效使用面积、最小单边长度分别为 39.6m^2 、 5.95m 。项目非密封源场所控制区边界、各功能房间屏蔽体主要采用混凝土，墙体拟设计 $20 \sim 35 \text{cm}$ 厚，顶棚厚 25cm ，底板厚 40cm ，防护门、观察窗屏蔽防护设计为 $8 \sim 15 \text{mmPb}$ ；衰变间墙体、顶棚厚 30cm ，检修口（兼作采样

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

口) 拟设计2mmPb盖板, 防护门为8mmPb; 防护门、观察窗拟设计一定的搭接宽度。PET候诊室内候诊座位之间拟设置长70cm、高200cm、厚20cm的混凝土隔墙, 衰变间内一体化衰变池池体设计为3mm厚不锈钢板; -1F排水管拟采用铸铁管, 在底板30cm厚混凝土层内铺设, 穿地板暴露可视处拟包裹2mmPb铅皮, -2F顶板主管至衰变池段拟包裹2mmPb铅皮, 以不影响墙体的屏蔽防护效果。PET/CT、留观室以及PET候诊室、PET/MR机房、受检者通道(控制区边界)墙体通风管道采用直穿补偿的方式穿越墙体, 穿墙通风管离地高度为4.0m, 并在机房外包裹长20cm的2mmPb铅皮, 以不影响墙体的屏蔽防护效果。PET/CT、PET/MR机房电缆穿墙管线拟采用“U”形穿越地板新增的300mm混凝土内, 给排水管网在负一层底板内铺设, 通风管道在机房吊顶上方直穿, 并在机房外包裹2mmPb铅皮, 以不影响机房墙体的屏蔽防护效果。工作场所装修、设计符合《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中对工作场所不同分类室内表面及装备结构的要求。

③安全联锁、门禁、监控、标识等措施: PET/CT 机房设置门灯联锁、工作状态指示灯; 校准源储存在储源间保险箱内, 储源间为双人双锁, 固废间设置防盗门; 项目拟设置多个门禁系统; 控制区各出入口防护门、PET/CT 机房防护门、衰变间门、固废间均拟设置电离辐射警告标志, 在注射室、PET 候诊室、留观室等位置放置具有外防护层污物桶, 污物桶拟设置电离辐射警告标志。按照分区分别设置不同的分区标识, 同时设置受检者、医护人员行走箭头标识, 指示各类人员的活动路径; 在受检者路径上明显位置张贴通俗易懂的患者就诊流程, 并设置受检者活动区域的对讲系统和监控系统。

④清洁去污措施: 按照丙级非密封源工作场所的要求进行管理, 受检者注射了放射性药物的受检者在具有防护功能的专用卫生间内入厕, 经核医学显像检查后在留观室内留观, 留观区设置专用卫生间。注射室配置洗消处理设施, 在卫生通过间、污洗室等处配置核素洗消液, 操作放射性药物的护士离开控制区前应清洗并进行表面污染监测, 合格后方可离开。拟设置专用洁具间, 配套设置专用拖把和抹布, 不与其他区域清洁用具混用。

⑤辅助防护用品: 工作场所拟配备铅衣、铅帽、铅围裙、个人剂量计、表面污染监测仪等个人防护用品和监测设备。配置药物注射一体化防护装置、钨镍合金注射器防护套、铅罐、铅防护废物桶等辅助设施。

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

⑥管理措施：拟制定放射性药物登记、使用制度；废物贮存登记表，建立放射性废物接收、转移台账并存档备案；依托 PET/CT 中心现有工作制度，修订受检者管理制度等，便于对项目诊断流程、设备及放射性药物操作、患者在控制区内的活动规范管理。

综上，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准要求。

（3）环境影响分析结论

①屏蔽防护

在现有设计条件下本项目控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足辐射防护的要求。通过核算，本项目放射工作人员和周围公众成员的年附加有效剂量均满足本环评的剂量管理目标的要求（放射工作人员 5mSv/a ，手部剂量 125mSv/a ，公众成员 0.1mSv/a ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871 -2002）及相关标准的要求。项目运行后，对周围环境保护目标的影响有限，能为环境所接受。

②放射性“三废”影响分析

重庆医科大学附属第一医院在现有PET/CT中心负二层增加 ^{68}Ga 淋洗量，现有辐射防护与安全措施依托可行，增加淋洗量对放射工作人员工作时间增加短暂，新增少量放射性废气依托现有通风柜活性炭吸附装置处理后引至楼顶排放，新增少量放射性废物达到清洁解控水平后再转运至医疗垃圾暂存间。放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，记录好放射性废物台账。增加产生的1个废 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器依托负二层现有固废间暂存，交厂家回收处置。在落实现有各项污染防治措施、辐射安全管理制度的前提下，本次在已许可场所内新增 ^{68}Ga 用量对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求。

放射性废水：项目负一层新建核医学影像诊断场所卫生通过间、卫生间、洁具间产生的放射性废水均接入衰变池，并经衰变达标后排入 2 号楼医院现有污水处理设施（处理能力 $3000\text{m}^3/\text{d}$ ）进一步处理后，再排入市政污水管网，最终接入鸡冠石污水处理厂，对周围环境影响小。

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

放射性废气：本项目负一层新建场所产生的放射性固体废物收集在专用铅防护废物桶内，在当天下班后转移至废物室，衰变至清洁解控后作为普通医疗废物交有资质单位处理。放射性固废应按照医疗废物的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。本项目更换的校准放射源由原生产厂家回收处理。

放射性固废：本项目负一层控制区拟采用三套单独的排风系统收集各房间内废气，收集管各支管与主管间设置防倒灌装置并保持负压。对排出工作场所的3套排风系统在屋顶（5号楼B栋19F顶）设置活性炭过滤装置进行过滤净化，基本不会对周围环境产生不良影响。活性炭定期更换，更换下来的废活性炭按放射性固体废物处理。放射性废气经处理后高空排放，对周围环境影响较小。

（4）非放射性“三废”污染防治措施

PET/CT机运行产生的少量臭氧及氮氧化物与放射性废气一起收集和处置；衰变池拟设置单独的臭气管道，将废水衰变过程中产生的臭气引至5号楼B栋19F高空排放。

项目运行产生的普通医疗废水等医院现有污水处理站处理；项目运行产生的少量普通医疗废物交有资质单位处置。在使用一定年限后铅防护用品屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集妥善保存，交有资质单位处置，并做好相应记录。少量生活垃圾交环卫部门处理。

（5）辐射防护管理结论

建设单位已经成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，制定了各项辐射安全管理制度、辐射事故应急预案及核医学科管理制度。在按照本评价提出的要求进行修改完善并认真落实相应的管理措施，严格管理后，医院的辐射环境管理满足要求。

4.2 审批部门审批决定

你单位报送的改建PET/CT、PET/MR项目（项目代码：2209-500103-04-05-807920）环境影响评价文件审批申请表及相关材料收悉。经研究，现审批如下：

一、根据《中华人民共和国环境影响评价法》等法律、法规的有关规定，我局原则同意重庆宏伟环保工程有限公司(社会信用代码：915001126912004062)编制的

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

该项目环境影响报告表结论及其提出的辐射安全防护、污染防治等环境保护措施，从辐射防护与环境保护角度，该项目建设可行。

二、该项目选址于重庆市渝中区友谊路1号。拟将医院5号楼B栋负一层西侧原业务用房改建为核医学影像诊断场所(丙级非密封放射性物质工作场所),日等效最大操作量和年最大用量分别为 $8.33 \times 10^6 \text{Bq}$ 、 $2.08 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。配置PET/CT机(III类射线装置)PET/MR机(配套5枚校准用V类放射源,总活度 $6.06 \times 10^7 \text{Bq}$)各1台,使用含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 的放射性药物开展放射诊断工作。同时增加现有PET/CT中心负二层 ^{68}Ga 淋洗量至年最大用量 $2.78 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。项目总建筑面积约 350m^2 ,总投资为7120万元,其中环保投资约200万元。

三、你单位应严格遵守国家有关标准要求,有效控制项目对环境的电离辐射影响,确保附加给工作人员、公众的年有效剂量分别控制在 5mSv 、 0.1mSv 以内;核医学场所控制区边界、机房屏蔽墙体外 30cm 处周围剂量当量率应 $\leq 2.5 \mu \text{Sv/h}$;工作场所控制区、监督区和其他区域的表面污染水平应分别小于 40Bq/cm^2 、 4Bq/cm^2 、 0.4Bq/cm^2 。

四、在项目设计、建设和运行过程中,应认真落实环境影响评价文件提出的各项辐射防护安全、放射性污染防治等环境保护措施,重点做好以下工作。

(一)严格按照非密封放射性物质工作场所分区原则,对核医学工作场所进行合理优化布局;机房的辐射防护屏蔽应满足辐射防护安全要求,并符合最优化原则;合理设置通风装置,保证机房内良好的空气,且所有进出风口、穿墙管道等处均应采取相应的防射线泄漏措施。

(二)严格按照规定处理项目建设、运营中产生的废水和固体废物。按规定要求设置放射性废水收集管道和衰变池,并采取防渗漏处理;放射性废水需达到国家规定的排放标准(总 β 放射性不超过 10Bq/L)后方能进入污水处理站,非放射性废水达标排放;按照有关标准要求设置通风装置;固体废物按国家有关规定分类收集、处理,控制和减少放射性废物的产生量,医疗废物应交由有资质的单位处理。

(三)按有关规定对放射诊疗进行管理与控制,各辐射工作场所应设置明显的电离辐射标志和中文警示说明,落实防止误操作、避免工作人员和公众受到意外照射的安全措施,采取有效措施,防止设施设备运行故障,强化风险防范管理。

(四)健全辐射安全责任制,落实辐射相关人员岗位职责,完善辐射安全操作

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

规程、设备维护保养制度和放射性同位素使用台账管理制度等辐射安全防护管理规章制度及辐射事故应急方案，使其具备针对性、可操作性。

五、建设项目应严格执行环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。若项目的性质、规模、地点、采用的生产工艺或者防治污染措施发生重大变动的，应依法重新报批项目环境影响评价文件。自批准之日起超过 5 年该项目方开工建设的，其环境影响评价文件应当报我局重新审核。项目投入运行前，应依据有关规定向我局重新申请辐射安全许可证，不得无证运行或不按证运行。项目竣工后，应按照有关规定对配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收报告并依法向社会公开，公示期满 5 个工作日内，应登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报验收等相关信息。六、建设项目按规定接受市生态环境保护综合行政执法总队和渝中区生态环境局的环保日常监管。按照属地负责的原则，渝中区生态环境局作为建设项目事中事后监管的主要责任部门。你单位应在收到本批准书后 20 个工作日内，将批准后的环境影响报告表送渝中区生态环境局。

表五 验收监测质量保证及质量控制

5.1 监测单位资质

本次验收监测单位为重庆泓天环境监测有限公司，该公司具有重庆市市场监督管理局颁发的在中华人民共和国境内有效的检验检测机构资质认定证书，保证了监测工作的合法性和有效性。

5.2 人员能力

本次参加验收监测人员全部具有出具数据的合法资格，监测数据实行了审核制度，最后由授权签字人签发。

5.3 验收监测过程中的质量保证和质量控制

验收监测过程中的质量保证和质量控制措施如下：

- （1）合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性。
- （2）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好。
- （3）由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

5.4 建设单位质量保证和质量控制

建设单位严格按照环评及批复要求，采取了有效的辐射防护措施，确保验收的质量保证和质量控制。

表 6 验收监测内容

6.1 验收监测内容

重庆泓天环境监测有限公司于 2024 年 12 月 31 日对改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）进行了验收监测。监测报告号为渝泓环（监）[2024]1286 号，具体见附件 5。监测当天，有 1 名受检者进行 PET/MR 检查。本次引用改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）除 PET/MR 机房以外用房的监测结论。

重庆泓天环境监测有限公司于 2025 年 4 月 24 日对改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）进行了验收监测。监测报告号为渝泓环（监）[2025]382 号，具体见附件 6。监测当天，4 位分别注射了 188.7MBq、273.8MBq、179.8MBq、181.3MBq 的 ^{18}F 药物患者依次进入 PET 中心 2 的 PET/CT 检查，在该时段内对 PET/CT 机房周围剂量当量率、表面污染进行监测。

6.2 监测项目

监测项目：周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）、 β 表面污染（ Bq/cm^2 ）

6.3 监测点位

（1）监测布点

改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）验收监测报告中对 PET 中心 2 工作场所控制区除未投运的 PET/CT 机房外的主要用房周围、注射窗表面、铅防护污物桶表面、PET 衰变池二等周围剂量当量率进行了监测，对注射室、卫生通过间、候诊室、留观室、卫生间、洁具间、PET 衰变池二地面、墙壁、座椅、台面等可能污染的位置表面污染进行布点监测。共在 PET 中心 2 布设 116 个周围剂量当量率点位，54 个 β 表面污染点位。因调试运行期间，3 个衰变槽均未装满，衰变池尚未排放废水，不进行放射性废水的监测。

改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）验收监测报告重点对 PET/CT 机房周围进行周围剂量当量率、表面污染的监测，共布设 26 个周围剂量当量率点位，12 个 β 表面污染点位。结合改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）验收监测结果，监测布点能够说明 PET 中心 2 开展 PET/CT 显像诊断，工作场所周围剂量当量率、 β 表面污染情况，综上，两次验收监测的监测布点满足《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）要求。

表 6 验收监测内容

(2) 监测布点合理性分析

本次监测是在 PET 中心 2 工作场所调试运行的情况下进行的，按照 PET/CT 诊断流程，重点对 PET/CT 机房外进行监测，结合改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）对除 PET/MR 机房外，控制区、监督区主要控制点及人流、物流路径、控制区、监督区主要用房周围剂量当量率、 β 表面污染进行的监测布点。本次验收监测布点全面，满足环境保护竣工验收要求，布点合理。监测布点满足《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）要求。

6.4 监测仪器和监测分析方法

验收监测使用监测仪器见表 6-1 所示。监测方法为仪器法，具体见表 6-2。

表 6-1 验收监测所使用的仪器情况表

仪器名称	仪器型号	仪器编号	测量范围	计量检定证书编号	有效期至	校准因子
X- γ 辐射剂量率仪	RGM1208	1212405003230	0.01 μ Sv/h~999 μ Sv/h	2024092305117	2025.09.26	18 μ Sv/h: 1.00 60 μ Sv/h: 0.99 96 μ Sv/h: 0.94
α 、 β 表面污染仪	RS2100	701501021006	1~1 $\times 10^5$ cps	2024111405896	2025.11.20	/

表 6-2 验收监测方法

监测项目	监测方法	监测、评价依据
周围剂量当量率	仪器法	《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010） 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020） 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学科标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号） 《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》渝（辐）环准[2022]065 号
β 表面污染	仪器法	《核医学放射防护要求》GBZ 120-2020 《核医学辐射防护与安全要求》HJ1188-2021 《操作非密封源的辐射防护规定》GB11930-2010 《表面污染测定（第一部分） β 发射体 $E_{\beta\text{Max}} > 0.15\text{MeV}$ 和 α 发射体》GB/T14056.1-2008 《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》渝（辐）环准[2022]065 号

表七 验收监测

7.1 验收监测期间生产工况记录

2024 年 12 月 31 日上午 9:00 左右, 为配合本次验收监测, 一位男性受检者在现有分子影像中心注射窗静脉注射 10.0mCi¹⁸F-FDG, 跟随该受检者 PET/MR 诊断流程, 对候诊室、通道、留观室等进行了监测。同时利用铅防护注射器转运盒运输 10.6mCi 的 ¹⁸F-FDG 至注射室, 对注射室及相关操作进行了模拟监测。验收监测单人次使用放射性药物量与环评阶段单人次使用量一致, 监测时 PET/MR 设备及场所内各项辐射安全防护措施正常运行, 监测结果根据计划工作负荷进行校核后, 能够反映 PET 中心 2 除 PET/CT 机房外场所屏蔽防护效果。

2025 年 4 月 24 日上午, 监测时 4 位先后注射了 188.7MBq、273.8MBq、179.8MBq、181.3MBq 的 ¹⁸F 药物患者依次进入 PCT/CT 开机扫描, PCT/CT 管电压 120kV, 140mAs, 扫描时间 11.4s。不同受检者注射药物量有差别, 本次监测结果根据计划工作负荷 (单人次 370MBq) 进行校核后, 能够反映 PET/CT 机房的屏蔽防护效果。结合两次验收监测结果, 能够反映整个 PET 中心 2 投入运行后场所屏蔽防护效能。

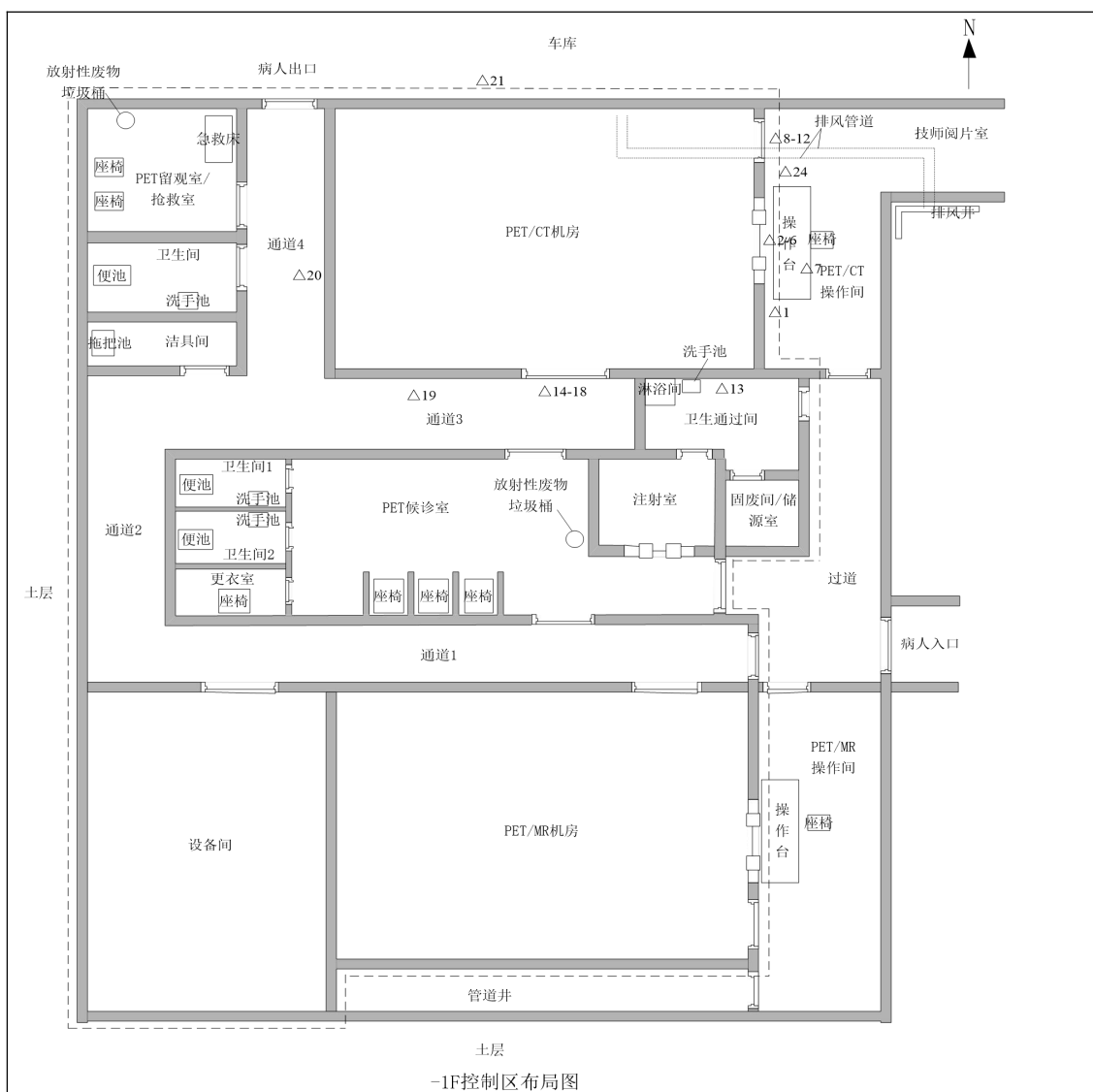
7.2 验收监测结果

7.2.1 监测结果

(1) PET 中心 2 工作场所监测结果

监测点示意图见图 7-1, 监测结果见表 7-1、7-2。

表七 验收监测



备注: [] 内为控制区, 排风管道位于负一层吊顶。△代表周围剂量当量率监测点。

图7-1 监测布点示意图

表七 验收监测

表7-1 周围剂量当量率监测结果（渝泓环（监）[2024]1286号）							
序号	场所名称	测量位置		周围剂量当量率（μSv/h）			标准 限值 （μS v/h）
				监测结 果	因 子	校核结 果	
1	/	药物运输人员身体表面 30cm		1.77	3	5.31	/
2	卫生通过间（1 支 393.7MBq 的 ¹⁸ F 药物置于转运盒 内）	过道侧墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
3		过道侧防护门	左门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
4			下门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
5			右门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
6			上门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
7			中间表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
8		操作间侧墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
9		预留 PET/CT 侧墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
10		楼下水泵房距地面 170cm		<MDL	3	0.15	2.5
11		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
12	注射室（1 支 393.7MBq 的 ¹⁸ F 药物置于转运盒 内）	北侧卫生通过间墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
13		东侧卫生通过间墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
14		卫生通过间侧防 护门	左门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
15			上门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
16			右门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
17			下门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
18			中间表面 30cm	<MDL	3	0.15	2.5
19		注射窗医生侧观察窗表面		0.54	3	1.62	2.5
20		注射窗左手洞（关闭）		<MDL	3	0.15	2.5
21		注射窗右手洞（关闭）		0.05	3	0.15	2.5
22		注射窗左手洞（开启）		70.44	/	70.44	/
23		注射窗右手洞（开启）		91.84	/	91.84	/
24		注射窗下方置物箱		0.13	3	0.39	2.5
25		工作人员注射位置		<MDL	3	0.15	2.5
26		楼下水泵房距地面 170cm		0.07	3	0.21	2.5
27		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
28	PET 候诊室（监 测时 1 位病人注 射有 370MBq 的 ¹⁸ F 药物）	东侧防护门	左门缝表面 30cm	0.31	3	0.93	2.5
29			上门缝表面 30cm	0.34	3	1.02	2.5
30			右门缝表面 30cm	0.24	3	0.72	2.5
31			下门缝表面 30cm	0.21	3	0.63	2.5
32			中间表面 30cm	0.25	3	0.75	2.5
33		东侧注射室墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
34		北侧注射室墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	10
35		南侧防护门	左门缝表面 30cm	0.73	3	2.19	10
36			上门缝表面 30cm	0.46	3	1.38	10
37			右门缝表面 30cm	0.65	3	1.95	10
38			下门缝表面 30cm	0.83	3	2.49	10
39			中间表面 30cm	1.01	3	3.03	10
40		南侧通道 1 墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	10
41		西侧通道 2 墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	10
42		北侧防护门	左门缝表面 30cm	0.10	3	0.3	10
43			上门缝表面 30cm	<MDL	3	0.15	10
44			右门缝表面 30cm	0.08	3	0.24	10
45			下门缝表面 30cm	0.13	3	0.39	10
46			中间表面 30cm	0.21	3	0.63	10
47		北侧通道 3 墙表面 30cm		<MDL	3	0.15	10
48		病人体面 50cm		144.5	/	144.5	/
49		楼下水泵房距地面 170cm		<MDL	3	0.15	2.5

表七 验收监测

50		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	3	0.15	2.5
51	通道 1（监测时 1 位病人注射有 370MBq 的 ¹⁸ F 药物）	过道侧防护门	左门缝表面 30cm	0.11	1	0.11	2.5
52			上门缝表面 30cm	0.07	1	0.07	2.5
53			右门缝表面 30cm	0.24	1	0.24	2.5
54			下门缝表面 30cm	0.23	1	0.23	2.5
55			中间表面 30cm	0.16	1	0.16	2.5
56			过道侧墙表面 30cm		<MDL	1	<MDL
57		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5
58		楼下水泵房距地面 170cm		0.05	1	0.05	2.5
59	通道 4（监测时 1 位病人注射有 370MBq 的 ¹⁸ F 药物）	车库侧防护门	左门缝表面 30cm	0.11	1	0.11	2.5
60			上门缝表面 30cm	0.05	1	0.05	2.5
61			右门缝表面 30cm	0.13	1	0.13	2.5
62			下门缝表面 30cm	0.22	1	0.22	2.5
63			中间表面 30cm	0.24	1	0.24	2.5
64		车库侧墙表面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5
65		预留 PET/CT 机房侧墙表面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5
66		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5
67	楼下水泵房距地面 170cm		<MDL	1	<MDL	2.5	
68	洁具间	左门缝表面 30cm		<MDL	1	<MDL	10
69		上门缝表面 30cm		<MDL	1	<MDL	10
70		右门缝表面 30cm		<MDL	1	<MDL	10
71		下门缝表面 30cm		<MDL	1	<MDL	10
72		中间表面 30cm		<MDL	1	<MDL	10
73		南侧墙表面 30cm		<MDL	1	<MDL	10
74		东侧墙表面 30cm		<MDL	1	<MDL	10
75		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5
76		楼下水泵房距地面 170cm		<MDL	1	<MDL	2.5
77		留观室旁卫生间（监测时 1 位病人注射有 370MBq 的 ¹⁸ F 药物）	左门缝表面 30cm		0.52	1	0.52
78	上门缝表面 30cm		0.45	1	0.45	10	
79	右门缝表面 30cm		0.67	1	0.67	10	
80	下门缝表面 30cm		0.63	1	0.63	10	
81	中间表面 30cm		0.97	1	0.97	10	
82	墙表面 30cm		0.37	1	0.37	10	
83	楼上空坝距地面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5	
84	楼下水泵房距地面 170cm		<MDL	1	<MDL	2.5	
85	PET 留观室/抢救室（监测时 1 位病人注射有 370MBq 的 ¹⁸ F 药物）	左门缝表面 30cm		0.76	2	1.52	10
86		上门缝表面 30cm		0.80	2	1.6	10
87		右门缝表面 30cm		0.83	2	1.66	10
88		下门缝表面 30cm		0.94	2	1.88	10
89		中间表面 30cm		1.11	2	2.22	10
90		东侧墙表面 30cm		0.48	2	0.96	10
91		北侧墙表面 30cm		0.58	2	1.16	2.5
92		病人出口处污水管道落点地面 30cm		<MDL	2	0.1	2.5
93	楼上空坝距地面 30cm		<MDL	2	0.1	2.5	
94	楼下水泵房距地面 170cm		0.06	2	0.12	2.5	
95	固废间/储源室（PET/MR 校准源放置在储源箱内）	北侧墙表面 30cm		0.34	1	0.34	2.5
96		防护门左门缝表面 30cm		0.35	1	0.35	2.5
97		防护门上门缝表面 30cm		0.51	1	0.51	2.5
98		防护门右门缝表面 30cm		0.59	1	0.59	2.5
99		防护门下门缝表面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5
100		防护门中间表面 30cm		0.28	1	0.28	2.5
101		东侧墙表面 30cm		1.10	1	1.10	2.5
102		南侧墙表面 30cm		1.23	1	1.23	2.5
103		西侧墙表面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5
104		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	1	<MDL	2.5

表七 验收监测

105		楼下水泵房距地面 170cm	<MDL	1	<MDL	2.5
106	PET 衰变池二 (若干放射性废 水置于衰变池 内)	防护门左门缝表面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
107		防护门上门缝表面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
108		防护门右门缝表面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
109		防护门下门缝表面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
110		防护门中间表面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
111		东侧墙表面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
112		进水管道下方距地面 170cm	<MDL	1	<MDL	2.5
113		东侧排水管道表面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
114		楼上车库距地面 30cm	<MDL	1	<MDL	2.5
115	若干放射性废物 置于桶内	PET 候诊室放射性废物垃圾桶表面 30cm	0.34	3	1.02	2.5
116		PET 留观室/抢救室放射性废物垃圾桶 表面 30cm	0.10	3	0.30	2.5

备注：MDL 为最低探测水平，为 0.05μSv/h。低于检出限取 0.05μSv/h 进行校核。1 批次运输 3 支药物，PET 候诊室设置 3 个座椅，留观室设置 2 个座椅，因此，校核因子 根据房间功能取值。

表7-2 周围剂量当量率监测结果（渝泓环（监）[2025]382号）

序号	场所名称	测量位置		周围剂量当量率（μSv/h）			标准限值 （μSv/h）
				监测结果	因子	校核结果	
1	PET/CT 机房	PET/CT 操作间侧墙表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
2		铅窗左侧表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
3		铅窗上侧表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
4		铅窗右侧表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
5		铅窗下侧表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
6		铅窗中间表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
7		工作人员操作位		<MDL	2	0.10	2.5
8		PET/CT 操作 间侧防护门	左门缝表面 30cm	<MDL	2	0.10	2.5
9			下门缝表面 30cm	<MDL	2	0.10	2.5
10			右门缝表面 30cm	<MDL	2	0.10	2.5
11			上门缝表面 30cm	<MDL	2	0.10	2.5
12			中间表面 30cm	<MDL	2	0.10	2.5
13		卫生通过间侧墙表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
14		过道 3 侧防 护门	左门缝表面 30cm	0.94	2	1.88	2.5
15			下门缝表面 30cm	0.84	2	1.68	2.5
16			右门缝表面 30cm	1.01	2	2.02	2.5
17			上门缝表面 30cm	0.96	2	1.92	2.5
18			中间表面 30cm	0.81	2	1.62	2.5
19		过道 3 侧墙表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
20		过道 4 侧墙表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
21		车库侧墙表面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
22		病人身体表面 5cm		114.6	2	229.20	/
23		病人身体表面 100cm		12.8	2	25.60	/
24		PET/CT 操作间通风管道下巡测最大 值		<MDL	2	0.10	2.5
25		楼下水泵房距地面 170cm		<MDL	2	0.10	2.5
26		楼上空坝距地面 30cm		<MDL	2	0.10	2.5
24		注射窗下方置物箱		<MDL	2	0.10	2.5
25		工作人员注射位置		<MDL	2	0.10	2.5
26		楼下水泵房距地面 170cm		<MDL	2	0.10	2.5

备注：MDL 为最低探测水平，为 0.05μSv/h，低于检出限取 0.05μSv/h 进行校核。受检者注射药物量为环评阶段的 1/2，因此取校核因子 2。

表七 验收监测

表7-3 表面污染水平监测结果（渝泓环（监）[2024]1286号）					
β测量时间（s）		10	测量面积（cm ² ）	100	发射率响应
					0.44
序号	场所名称	测量位置	项目	表面污染结果A _s （Bq/cm ² ）	执行标准（Bq/cm ² ）
1	PET 衰变池二	地面	β+γ	L	40
2		设备表面	β+γ	L	40
3		车库侧墙面	β+γ	L	4
4	病人入口东侧	地面	β+γ	L	4
5		墙壁	β+γ	L	4
6		固废间/储源室南侧过道地面	β+γ	L	4
7		固废间/储源室南侧过道墙面	β+γ	L	4
8	PET/MR 操作间	地面	β+γ	L	4
9		墙面	β+γ	L	4
10		座椅表面	β+γ	L	4
11		操作台	β+γ	L	4
12	注射室	地面	β+γ	L	40
13		墙面	β+γ	L	40
14		注射台（医生侧）表面	β+γ	0.05	40
15		观察窗表面	β+γ	L	40
16	卫生通过间	注射台（病人侧）表面	β+γ	0.20	40
17		地面	β+γ	L	40
18		墙面	β+γ	L	40
19		工作人员手表面	β+γ	L	0.4
20		工作服表面	β+γ	L	4
21		工作人员铅衣表面	β+γ	L	4
22		工作人员鞋表面	β+γ	L	4
23		洗手池表面	β+γ	L	40
24		淋浴间地面	β+γ	L	40
25		淋浴间墙面	β+γ	L	40
26	PET 候诊室	地面	β+γ	L	40
27		墙面	β+γ	L	40
28		座椅表面巡测最大值	β+γ	0.07	40
29		卫生间 1 洗手池表面	β+γ	0.26	40
30		卫生间 1 便池表面	β+γ	4.07	40
31		卫生间 1 地面	β+γ	0.76	40
32		卫生间 1 墙面	β+γ	0.15	40
33		更衣室地面	β+γ	L	40
34		更衣室墙面	β+γ	L	40
35		更衣室座椅表面	β+γ	L	40
36	通道 1	放射性废物垃圾桶表面	β+γ	L	40
37		PET/MR 机房北侧地面	β+γ	L	40
38		PET/MR 机房北侧墙面	β+γ	L	40
39	通道 4	西侧地面	β+γ	L	40
40		西侧墙面	β+γ	L	40
41	洁具间	地面	β+γ	L	40
42		墙面	β+γ	L	40
43		拖把池表面	β+γ	L	40
44	卫生间	地面	β+γ	L	40
45		墙面	β+γ	L	40

表七 验收监测

46		洗手池表面	$\beta+\gamma$	0.29	40
47		便池表面	$\beta+\gamma$	L	40
48	PET 留观室/抢救室	地面	$\beta+\gamma$	L	40
49		墙面	$\beta+\gamma$	L	40
50		急救床表面	$\beta+\gamma$	L	40
51		放射性废物垃圾桶表面	$\beta+\gamma$	0.05	40
52		座椅表面巡测最大值	$\beta+\gamma$	0.13	40
53	病人出口	车库侧地面	$\beta+\gamma$	L	4
54		车库侧墙面	$\beta+\gamma$	L	4

备注：L 表示未检出（ $<0.06\text{Bq/cm}^2$ ），表面污染结果已扣除本底值。

表7-4 表面污染水平监测结果（渝泓环（监）[2025]382号）

β 测量时间（s）		10	测量面积（ cm^2 ）	100	发射率响应	0.39
序号	场所名称	测量位置	项目	表面污染结果 A_s （ Bq/cm^2 ）		执行标准（ Bq/cm^2 ）
1	PET/CT 操作间	地面	$\beta+\gamma$	L		4
2		墙面	$\beta+\gamma$	L		4
3		座椅表面	$\beta+\gamma$	L		4
4		操作台	$\beta+\gamma$	L		4
5		防护服表面	$\beta+\gamma$	L		4
6	PET/CT 机房	地面	$\beta+\gamma$	L		40
7		墙面	$\beta+\gamma$	L		40
8		诊断床表面	$\beta+\gamma$	L		40
9	过道 3	地面	$\beta+\gamma$	L		40
10		墙面	$\beta+\gamma$	L		40
11	车库	PET/CT 机房北侧车库地面	$\beta+\gamma$	L		4
12		PET/CT 机房北侧车库墙面	$\beta+\gamma$	L		4

备注：L 表示未检出（ $<0.06\text{Bq/cm}^2$ ），表面污染结果已扣除本底值。

根据表 7-1、7-2 可知，注射窗表面 30cm 处、操作位周围剂量当量率最大为 $1.62\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中：注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。放射性污物桶表面 30cm 处周围剂量当量率最大值为 $1.02\mu\text{Sv/h}$ ，PET 衰变池二表面 30cm 处周围剂量当量率未检出，暴露排水管道下方距地面 170cm 处周围剂量当量率未检出，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中：固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。控制区外人员可达处（PET/CT 机房外）、控制区内工作人员经常性

表七 验收监测

停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）、观察窗、墙壁、顶棚、地板外表面 30cm 处的周围剂量当量率最大为 $2.02\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内工作人员较少停留或无需达到的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）的周围剂量当量率最大为 $3.03\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及其复函的要求。

根据表7-3、表7-4可知，医护人员手部表面、工作服表面、鞋子表面均未检出，监督区（医生走道、患者出口、PET/CT操作室）地面、墙面表面均未检出，控制区地面、墙面、各设施表面的 β 表面污染最大为 4.07Bq/cm^2 ，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的 β 表面污染水平限值要求。

7.4 放射工作人员及公众受照剂量

7.4.1 放射工作人员

本次验收调查通过放射工作人员工作位监测结果及满负荷情况下参与放射工作的时间估算工作人员年受照剂量。满负荷工作量与环评阶段工作量一致。

X- γ 射线产生的外照射人均年受照剂量按下列公式计算：

$$H_{Er} = H_{(10)} \times t \times 10^{-3}$$

其中： H_{Er} ：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

$H_{(10)}^*$ ：X 或 γ 射线周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t：X 或 γ 射线照射时间，小时。

根据《改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/MR 部分）竣工环境保护验收监测报告表》中放射工作人员年剂量估算见表 7-5，结合表 2-7 工作负荷，则 PET 中心 2 开展 PET/CT、PET/MR 显像诊断放射工作人员年剂量估算见表 7-5。

表七 验收监测

表 7-5 PET 中心 2 放射工作人员年剂量估算 (PET/MR 与 PET/CT 叠加)

位置	核素	涉及操作	瞬时剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		年操作 时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	合计 (mSv)	
							全身	手部
护士	^{18}F	活度测定	全身	1.62	2.78	4.50E-03	2.70E-02	1.53
			手部	91.84		2.55E-01		
		注射	全身	1.62	13.89	2.25E-02		
			手部	91.84		3.19E-01		
技师	^{18}F	摆位	全身	144.5	8.33	3.01E-01	2.12	/
		操作设备		0.18	2083.33	9.37E-02		
运输	^{18}F	运输	全身	5.31	55.57	7.38E-02	0.30	/

从上表 7-5 可知, PET 中心 2 工作场所满负荷运行时, 叠加核医学科放射工作人员现状年剂量, 放射工作人员全身年有效剂量估算值满足验收评价标准工作人员年有效剂量管理目标 5mSv/a , 手部剂量满足 125mSv/a 的管理目标, 也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。核医学科配备多组技师、护士分担工作, 尽量使用语音指导、熟练操作、远距离指导等方式, 使放射工作人员受到年剂量尽量小。

(2) 公众成员

公众成员所受剂量主要为辐射工作场所周围停留所致, 本次按监测结果进行核算, 综合选择核医学工作场所外(控制区边界)对应环境保护目标侧周围剂量当量率监测结果较大值进行估算, 核算结果见表 7-6。

表 7-6 PET 中心 2 周围公众成员年有效剂量估算

序号	场所	保护目标	方位	最近距离	屏蔽体外周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$	受照射时间			年有效剂量, mSv/a
						考虑受照时间	时间(h)	居留因子	
1	项目所在楼内	空调风机房、会议室	东	约 3-11m	1.50E-02	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/5	7.81E-03
		PET 中心 1		约 11-36m	1.67E-03	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/2	2.17E-03
		车库及设备用房		36-50m	1.75E-04	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/40	1.14E-05
		车库(本项目受检者专用出口旁)	北	0-13	0.24	留观时间(每人每次 10min)	1041.67	1/40	6.25E-03
		管道检修井	南	0-1	0.03	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/40	1.95E-03

表七 验收监测

		5号楼B栋一层室外空坝	楼上	/	< MDL	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/20	6.51E-03
		5号楼B栋-2F生活泵房及控制室	楼下	/	0.21	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/40	1.37E-02
2	项目所在楼外	院内道路	南	2-32m	5.56E-03	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/20	6.51E-03
3		3号楼（7F）		约 32-50m	4.59E-05	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1	1.30E-01
4		院内通道	西南	0-22m	5.00E-02	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1/20	6.51E-03
5		2号楼（22F/-1F）		约 22-50m	9.45E-05	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1	1.30E-01
6		在建第二医疗综合大楼（21F/-2F）	西北	约 15-50m	1.95E-04	PET/MR+PET/CT 检查时间	2604.16	1	1.30E-01

备注：居留因子参照 NCRP147 号报告 P31 表 4.1 取值：办公室、药房等工作区域、等候室、儿童室内游戏区、护士站、控制室等取 1；检查、治疗室取 1/2；走廊、病房、员工休息室等取 1/5；走廊门 1/8；公厕、储藏室、室外休息区、病人留观区等取 1/20；过路行人或车辆、无人看管的停车场、楼梯等取 1/40。

以上居留因子已保守取值，负一楼更远处无居留因子更大的功能用房，室外建筑居留因子均取1。

根据估算结果可知，PET 中心 2 工作场所满负荷运行时（PET/MR、PET/CT 年最大诊断量），公众成员受到本项目年剂量很小，能满足环评及批复的要求，同时也满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中年有效剂量约束值及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

表八 验收监测结论

8.1 验收监测结果

由验收监测结果可知，本项目 PET 中心 2 工作场所各监测点位的监测值均满足环评及批复文件的标准要求，同时也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及其复函、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。

8.2 职业照射和公众照射

根据估算，PET 中心 2 工作场所满负荷运行时，叠加核医学科放射工作人员现状年剂量，本项目放射工作人员及周围公众成员受到的年有效剂量均小于医院管理目标值（放射工作人员 5mSv/a，公众成员 0.1mSv/a，工作人员手部 125mSv/a。），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

医院应继续做好放射工作人员个人剂量监测及档案管理工作，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告。

8.3 环保设施/措施设置情况

本项目在 PET 衰变池二内新建一体化槽式衰变池，衰变池包括 3 格衰变池，每格衰变池有效容积 6m³，其总有效容积 18m³，衰变 30 天后排入医院污水处理站处理，并在 PET 衰变池二门口设置电离辐射警告标志。项目控制区用房的废气分区收集将衰变池排风接入 PET 影像诊断场所废气收集管网，废气收集管道经专用排风井引至 5 号楼 B 栋 19F 楼顶，并经活性炭过滤后排放，排放口高于楼顶 2m。PET 中心 2 内设置 1 个固废间及多个铅防护污物桶，每天下班由专人统一放至放射性废物间铅防护污物箱内暂存，暂存 30 天经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，对废物清洁解控并作为医疗废物处理，医疗废物交由有资质的单位处理。

建设单位将 PET 中心 2 场所划分为控制区和监督区，在受检者入口设置分区标识牌，地面贴分区标识。PET/CT 机房防护门上方设置与防护门联锁，防护门关闭显示“射线有害，灯亮误入”；控制区出入口等处安装监视装置，在 PET/CT 操作间观察到受检者在工作场所主要房间活动情况。操作间技师与 PET/CT 机房、候诊室、留观室均可与受检者交流，注射室注射台设置对讲，方便护士与受检者交流。受检者出、入口设置单向门禁系统。在操作间、技师阅片室、卫生通过间、受检者入口外、出口外设置工作场所剂量监测报警系统。受检者通道地面设置导向提示，

表八 验收监测结论

引导受检者在 PET 中心 2 工作场所内就诊。控制区各出入口防护门、注射室、储源间、固废间、PET/CT 机房门、PET 衰变池二门外及铅防护污物桶上张贴电离辐射警告标志。储源铅罐、注射器转运盒等防护设施表面张贴电离辐射标志。储源间采用防盗防护门，双人双锁保管放射源保险箱密码及防盗门钥匙，并设置监控。设置卫生通过间作为工作人员卫生通过间，各水出口置感应式开关。卫生通过间、洁具间等处配置核素洗消液及配备应急去污用品，操作放射性药物的护士离开控制区前应清洗并进行表面污染监测。

工作场所配备了防护铅衣、防护铅围脖、防护铅眼镜、防护铅帽等防护用品，表面污染监测仪、个人剂量报警仪等监测设备，配置注射窗、注射器转运盒、防护套等防护设施。

医院成立有专门的辐射安全与环境保护管理机构，制定了各项辐射安全管理制度、辐射事故应急预案及操作规程、人员岗位职责、放射性废物处理制度、放射性物品台账管理制度等。

8.4 变更情况

改建 PET/CT、PET/MR 项目分期验收，2025 年 1 月医院已对医院袁家岗院区 5 号楼 B 栋负一层 PET 中心 2 除 PET/CT 以外的建成部分进行自主验收，本次仅对 PET/CT 机房部分进行验收，根据对比，PET 中心 2 储源间位置由原 PET/CT 机房角落调整至固废间上方，整体平面布局未发生变化，PET/CT 设备最大管电流略有增加，衰变间屏蔽防护方案略有调整，工作场所平面布局、辐射安全与防护措施/设施等均未发生变动，经过对比分析，项目不涉及重大变动。

8.6 综合结论

重庆医科大学附属第一医院改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）认真落实了环境影响评价报告及其批复文件的各项辐射防护与安全管理措施和管理措施，满足国家辐射安全相关标准及环评批复要求。项目运行对放射工作人员、公众人员及周围环境产生的影响很小。因此，从辐射环境保护角度分析，改建 PET/CT、PET/MR 项目（PET/CT 部分）满足竣工环境保护验收条件，验收合格。

8.7 后续要求

维护辐射安全与防护设施，加强放射性药物管理，药物运输时段避开人员在走廊内活动时间。不断提高辐射安全管理能力，杜绝辐射事故的发生。

