

报告编号: LBHJ-2025-DLYS029

广州医科大学附属第五医院
核医学科迁建项目
(首期验收)
竣工环境保护验收监测报告表

建设单位:



广州医科大学附属第五医院 (盖章)

编制单位:



广州乐邦环境科技有限公司 (盖章)

2026年6月

建设单位法人代表:  (签字)

编制单位法人代表:  (签字)

项目负责人: 陈云杰

填表人: 陈云杰 吴雅婷

建设单位	广州医科大学附属第五医院 (盖章) 	编制单位	广州乐邦环境科技有限公司 (盖章) 
电话		电话	020-36298507
传真	/	传真	/
邮编	510700	邮编	511436
地址	广州市黄埔区港湾路 621 号	地址	广州市番禺区新造镇和平路 1 号 19 号仓 101

目录

表一	项目基本情况	1
表二	项目建设情况	6
表三	辐射安全与防护设施/措施	23
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	47
表五	验收监测质量保证及质量控制	48
表六	环境监测内容	49
表七	验收监测	56
表八	验收监测结论	62
附件 1	环评批复文件	63
附件 2	辐射安全许可证	65
附件 3	辐射安全与防护培训合格证	72
附件 4	辐射安全管理相关制度	75
附件 5	检测报告	76
附件 6	个人剂量检测报告	82
附件 7	竣工图（部分）及材料检测报告	86
	建设项目环境保护“三同时”竣工验收登记表	92

表一 项目基本情况

建设项目名称		广州医科大学附属第五医院核医学科迁建项目（首期验收）					
建设单位名称		广州医科大学附属第五医院					
建设项目性质		□新建☑改建☑扩建					
建设地点		广州市黄埔区港湾路 621 号院内住院楼急诊楼中间连接楼一楼及空地					
源项		放射源		使用 2 枚 V 类放射源			
		非密封放射性物质		1 处乙级非密封放射性物质工作场所			
		射线装置		使用 1 台Ⅲ类射线装置			
建设项目环评批复时间		2024 年 9 月 19 日	开工建设时间		2024 年 9 月 23 日		
取得辐射安全许可证时间		2026 年 5 月 27 日	项目投入运行时间		2026 年 5 月 29 日		
辐射安全与防护设施投入运行时间		2026 年 5 月 29 日	验收现场监测时间		2026 年 6 月 1 日		
环评报告表审批部门		广东省生态环境厅	环评报告表编制单位		广州乐邦环境科技有限公司		
辐射安全与防护设施设计单位		领睿建设工程有限公司	辐射安全与防护设施施工单位		广东省建筑装饰有限公司		
投资总概算（万元）	1625.8	辐射安全与防护设施投资总概算（万元）			200	比例	12.3%
实际总概算（万元）	1000	辐射安全与防护设施实际总概算（万元）			130	比例	13.0%
验收依据	一、法规文件 （1）《中华人民共和国环境保护法》（1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过 2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，2015 年 1 月 1 日实施） （2）《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日施行） （3）《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民						

	共和国国务院令第 253 号发布 根据 2017 年 7 月 16 日《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》修订) (4) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2008 年 12 月 6 日经《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》(环境保护部令第 3 号)修改, 2017 年 12 月 20 日经《环境保护部关于修改部分规章的决定》(环境保护部令第 47 号)修改, 2019 年 8 月 22 日经《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》(生态环境部令第 7 号)修改, 2021 年 1 月 4 日经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件决定》(生态环境部令第 20 号)修改) (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 9 月 14 日中华人民共和国国务院令第 449 号公布 根据 2014 年 7 月 29 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第一次修订 根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订) (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号 2011 年 5 月 1 日施行) (7) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(环境保护部 国环环评[2017]4 号, 2017 年 11 月 20 日施行) (8) 《关于发布射线装置分类的公告》(环境保护部 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) (9) 《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年 第 62 号, 2005 年 12 月 23 日施行) (10) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号, 2019 年 12 月 23 日) (11) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局公告, 公告 2017 年第 65 号, 2017 年 11 月 30 日) (12) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号, 2023 年 9 月 11 日) (13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(粤办
--	--

	辐射函〔2016〕430号，2016年3月17日起实施） （14）《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313号） 二、技术标准 （1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002，2003年4月1日实施） （2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，2021年11月01日实施） （3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930—2010，2011年09月01日实施） （4）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020，2021年05月01日实施） （5）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130—2020，2020年10月01日实施） （6）《水污染物排放限值》（DB44/26—2001，2002年01月01日实施） （7）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021，2021年05月01日实施） （8）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021，2021年05月01日实施） （9）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021，2021年08月01日实施） （10）《表面污染测定第1部分：β发射体（$E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$）和$\alpha$发射体》（GB/T14056.1-2008，2009年04月01日实施） （11）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023，2024年2月1日实施） 三、其他 （1）《广州医科大学附属第五医院核医学科迁建暨旧核医学科退役项目环境影响报告表》（报告编号：LBHJ-2024-DLHP020，编制单位：广
--	--

	州乐邦环境科技有限公司) (2) 《广东省生态环境厅关于广州医科大学附属第五医院核医学科迁建暨旧核医学科退役项目环境影响报告表的批复》(粤环审[2024]181号, 2024年9月19日)
验收执行标准	一、剂量约束 本项目环境影响报告表(报告编号: LBHJ-2024-DLHP020)根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的相关要求, 确定了辐射工作人员和公众的剂量约束值。目前该两项标准均现行有效, 因此以环境影响报告表确定的评价标准作为本次验收标准: 新核医学科工作场所辐射工作人员的职业年照射剂量约束值不超过 5mSv, 公众的年照射剂量约束值不超过 0.1mSv。 二、周围剂量当量率控制水平 本项目环境影响报告表(报告编号: LBHJ-2024-DLHP020)根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函(2023)20号)的相关要求, 确定了周围剂量当量率控制水平。目前该两项标准和规范性文件均现行有效, 因此以环境影响报告表确定的评价标准作为本次验收标准: A) 除射线装置机房外核医学科工作场所内: 除走廊外其余位置均取墙体外周围剂量当量率限值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 走廊区域墙体和屏蔽门外 30cm 取周围剂量当量率限值为 $10\mu\text{Sv/h}$; B) PET/CT 机房外 30cm 周围剂量当量率均取 $2.5\mu\text{Sv/h}$; C) 分装柜, 注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$; 分装柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$; D) 固废存放垃圾桶, 衰变池排水管, 衰变池外 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$。 三、非密封放射性物质工作场所表面污染控制 本项目环境影响报告表(报告编号: LBHJ-2024-DLHP020)根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)的相关要求, 确

定了工作场所表面污染控制水平。目前该标准现行有效，因此以环境影响报告表确定的评价标准作为本次验收标准：

表 1-1 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质（Bq/cm ² ）		β放射性物质（Bq/cm ² ）
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

¹⁾ 该区内的高污染子区除外

本项目使用核素 ²²³Ra 会产生α放射性物质，其他仅为β放射性物质，²²³Ra 毒性组别属于极毒组，所以按照α放射性物质极毒组进行控制。β表面污染均按照β放射性物质限值进行控制。

表二 项目建设情况

2.1 项目建设内容

2.1.1 建设单位概况

广州医科大学附属第五医院（以下简称“建设单位”“医院”）位于广州市黄埔区港湾路 621 号，始建于 1957 年，前身为广州港港湾医院，现为“双一流”建设高校广州医科大学直属附属医院，三级甲等综合公立医院，国家呼吸系统疾病临床医学研究中心分中心，国家进一步改善医疗服务行动示范医院，广州医科大学第五临床学院。建设单位位于粤港澳大湾区湾顶明珠广州市黄埔区，坐落在珠江河畔，与黄埔军校隔江相望。建设单位普通外科、泌尿外科、肿瘤科是广东省省级临床重点专科，康复医学科、泌尿外科是广州市重点学科，康复医学科、泌尿外科、肿瘤科是广州医科大学重点专科。

本次验收项目位于广州市黄埔区港湾路 621 号，地理位置见图 2-1。



图 2-1 验收项目地理位置图

2.1.2 项目建设内容和规模

本项目为迁扩建项目，项目环评规划的建设规模为在新核医学科内建设 2 间扫描机房及其相关非密封放射性物质工作场所，其中 PET/CT 扫描机房安装使用一台从原旧核医学科搬迁利旧的 PET/CT（配备 2 枚 ^{68}Ge 校准源），使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断；SPECT/CT 扫描机房安装使用一台新购的 SPECT/CT，使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 单光子显像诊断；使用放射性核素 ^{131}I 开展甲亢治疗和

甲功测定；使用 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 开展骨转移癌治疗项目。

核医学科辐射工作场所已整体建成，放射诊疗项目将分阶段实施，目前已在 PET/CT 扫描机房安装了利旧的 PET/CT（配备 2 枚 ^{68}Ge 校准源），使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断，使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 开展骨转移癌治疗；而 SPECT/CT 暂未购置安装，现阶段暂不开展 SPECT/CT 单光子显像诊断、甲亢治疗和甲功测定，因此暂不使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 。

所以，该核医学科迁扩建项目实施分批验收，本次验收项目针对使用 PET/CT（配备 2 枚 ^{68}Ge 校准源），使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断与使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 开展骨转移癌治疗项目。

本次验收项目为部分验收，辐射安全与防护设施/措施仅针对与本次验收项目相关的。后续建设单位拟使用未验收的核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 开展相应的放射诊疗项目，应单独组织验收，核实各项辐射安全与防护设施/措施。

2.1.3 项目总平面布置和建设地点：

本次验收项目位于广州市黄埔区港湾路 621 号的广州医科大学附属第五医院。项目地理位置的规划情况与实际情况一致，地理位置见图 2-1。

建设单位将核医学科搬迁至住院楼急诊楼中间连接楼一楼中间位置，将原有的 DR 机房和室外空地改扩建为核医学科辐射工作场所。

核医学科布局如图 2-3 所示，辐射工作场所可为东西两个部分：西侧依次为缓冲间，分装注射室，储源室，废物暂存间，平板运动室（抢救室），SPECT/CT 注射候诊室（不在本次验收范围内），PET/CT 注射候诊室和留观室；东侧依次为 SPECT/CT 机房（不在本次验收范围内），PET/CT 机房，污洗间。核医学科活性区和非活性区严格分开布置。甲功测定室及其他辅助用房从南到北依次为甲功测定室（不在本报告验收范围内）、操作室，设备房，设备间。核医学科楼上不发生变更，东侧诊断机房上方为架空区域，西侧部分上方为检验科实验室，详见图 2-4。

因环评阶段设计方案的地理式衰变池池线与原有建设基础存在冲突无法施工，所以实际建成的衰变池与设备间调换了位置，但其整体边界范围依然位于核医学科的东北角落，且衰变池为地理式，调整前后衰变池都位于核医学科东北角的地下，衰变池防护检修井盖均位于设备房内，具体见图 2-2 和图 2-3。参照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），该调整未导致废水的不利环境

影响加重，该变动不属于重大变动。其余布局与环评阶段设计方案一致。

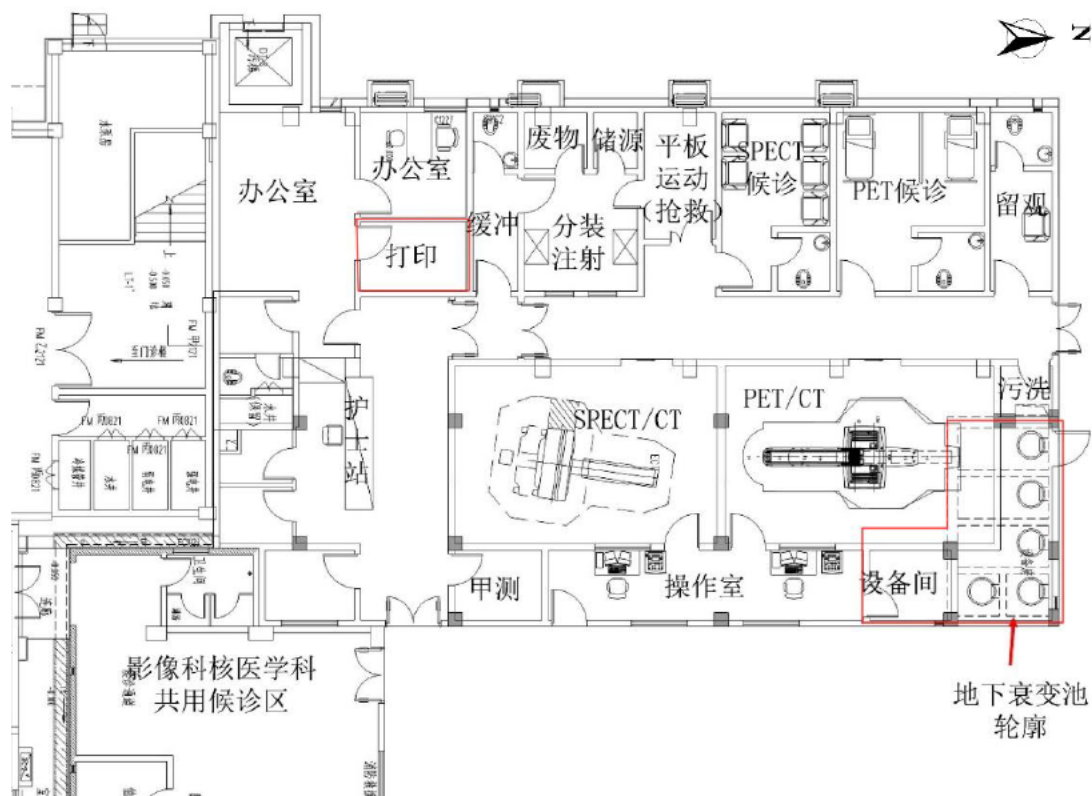


图 2-2 核医学科工作场所设计布局图

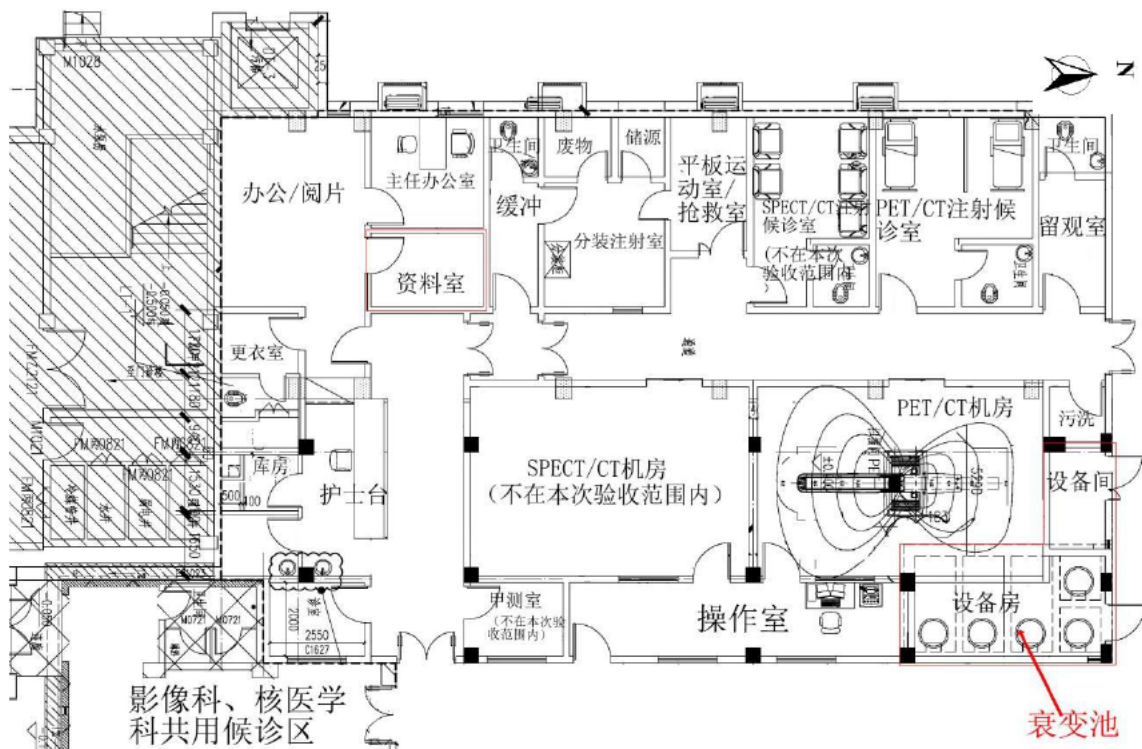


图 2-3 核医学科工作场所实际建成布局图

		0-50m		
9	检验科实验室	楼上紧邻	10 人（公众，偶然居留）	
10	住院楼急诊楼连接楼其他场所	楼上 4.5-18m	20 人（公众，全居留）	
11	核医学科内部		6 人（辐射工作人员，全居留）	5mSv/a

2.1.5 环评及其批复文件建设内容与实际建设内容

2024 年，建设单位委托广州乐邦环境科技有限公司编制了《广州医科大学附属第五医院核医学科迁建暨旧核医学科退役项目环境影响报告表》（报告编号：LBHJ-2024-DLHP020），该报告于 2024 年 9 月 19 日经广东省生态环境厅审批，批复文号为粤环审[2024]181 号。环境影响报告表及其审批部门审批决定建设内容为：

（一）新建核医学项目：

将住院楼与急诊楼之间连楼的一层 2 间 DR 机房和旁边室外空地改建为新核医学工作场所，开展核医学项目。建设 1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET/CT 机房、1 间甲功测定室及辅助功能用房。在 SPECT/CT 机房内新增安装使用 1 台 SPECT/CT（属Ⅲ类射线装置），使用放射性核素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像诊断；在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（由旧核医学科搬迁至此，属Ⅲ类射线装置），使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断，配套使用 2 枚原有许可的 ^{68}Ge 源（均属 V 类放射源）用于 PET/CT 设备校准；在甲功测定室内使用放射性 ^{131}I 开展甲功测定；使用放射性核素 ^{131}I 、 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 分别进行甲亢和骨转移癌治疗。新建核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

（二）旧核医学工作场所退役项目

停止使用医院住院楼北侧原有旧核医学工作场所，并实施退役，退役后将该旧核医学工作场所开放为无限制工作场所使用，原有许可的 1 台 PET/CT（属Ⅲ类射线装置）搬迁至新核医学工作场所继续使用。

核医学科迁建暨旧核医学科退役项目分为新建核医学项目和旧核医学工作场所退役项目，旧核医学工作场所退役项目在 2025 年已经通过终态验收，新建核医学项目分批验收，首期验收（即本项目）对建设单位新核医学工作场所（属于乙级非密封放射性物质工作场所）建设 1 间 PET/CT 机房及辅助功能用房，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（由旧核医学科搬迁至此，属Ⅲ类射线装置），使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断，配套使用 2 枚原有许可的 ^{68}Ge 源（均属 V 类放射源）用

于 PET/CT 设备校准，使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 开展骨转移癌治疗进行验收。环境影响报告表及其审批部门审批决定的其余建设内容后期决定实施前再进行验收。

表 2-2 环境影响报告表及其审批部门审批决定建设内容与实际建设内容对比表

环境影响报告表及其审批部门审批决定 建设内容	实际建设内容	情况分析
(一) 将住院楼与急诊楼之间连楼的一层 2 间 DR 机房和旁边室外空地改建为新核医学工作场所，开展核医学项目。建设 1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET/CT 机房、1 间甲功测定室及辅助功能用房。在 SPECT/CT 机房内新增安装使用 1 台 SPECT/CT (属Ⅲ类射线装置)，使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 显像诊断；在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT (由旧核医学科搬迁至此，属Ⅲ类射线装置)，使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断，配套使用 2 枚原有许可的 ^{68}Ge 源 (均属 V 类放射源) 用于 PET/CT 设备校准；使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 进行骨转移癌治疗。新建核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。	将住院楼与急诊楼之间连楼的一层 2 间 DR 机房和旁边室外空地改建为新核医学工作场所，开展核医学项目。新核医学工作场所建设 1 间 PET/CT 机房及辅助功能用房。在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT (由旧核医学科搬迁至此，属Ⅲ类射线装置)，使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断，配套使用 2 枚原有许可的 ^{68}Ge 源 (均属 V 类放射源) 用于 PET/CT 设备校准；使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 进行骨转移癌治疗。新建核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。	环评项目分批验收，本项目为部分验收。
	新核医学工作场所在 SPECT/CT 机房内新增安装使用 1 台 SPECT/CT (属Ⅲ类射线装置)，使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 显像诊断，在甲功测定室内使用放射性 ^{131}I 开展甲功测定，使用放射性核素 ^{131}I 进行甲亢治疗。	不在本次验收范围，后期决定实施前再进行验收。
(二) 旧核医学工作场所退役项目 停止使用医院住院楼北侧原有旧核医学工作场所，并实施退役，退役后将该旧核医学工作场所开放为无限制工作场所使用，原有许可的 1 台 PET/CT (属Ⅲ类射线装置) 搬迁至新核医学工作场所继续使用。	(二) 旧核医学工作场所退役项目 停止使用医院住院楼北侧原有旧核医学工作场所，并实施退役，退役后将该旧核医学工作场所开放为无限制工作场所使用，原有许可的 1 台 PET/CT (属Ⅲ类射线装置) 搬迁至新核医学工作场所继续使用。	退役项目已于 2025 年通过了终态验收

2.2 源项情况

本次验收项目为 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，其中 1 台Ⅲ类射线装置及 2 枚 V 类放射源为原许可在用的利旧项目搬迁，所以本次验收的 1 台Ⅲ类射线装置及 2 枚 V 类放射源的基本参数均与环评阶段完全一致，详见表 2-3 和表 2-4。

PET/CT 诊断和骨转移癌治疗使用的放射性核素情况与环评规划一致，见表 2-5。

本项目投入使用后，开展核医学科诊断和治疗项目：①PET/CT 诊断，使用核素 ^{18}F ，

^{68}Ga ; ②骨转移癌治疗, 使用核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 。PET/CT 诊断使用核素 ^{18}F 每天不超过 25 人, 使用核素 ^{68}Ga 每天不超过 5 人, 每年开展天数为 250 天。骨转移癌治疗使用 ^{89}Sr 每天不超过 2 人, 使用核素 ^{223}Ra 每天不超过 2 人, 每年开展天数为 50 天。

表 2-3 本次验收的Ⅲ类射线装置基本参数

名称	型号	类别	最大管电压	最大管电流	地点	备注
PET/CT	Discovery MI	Ⅲ类	140kV	600mA	核医学科工作场所 PET/CT 机房	搬迁利旧原许可设备，验收阶段与环评阶段一致。

表 2-4 本次验收的 V 类放射源基本参数

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	5.5E+7×1 枚	V 类	使用	PET/CT 校准源	核医学科工作场所 PET/CT 机房	核医学科储源室	搬迁利旧原许可放射源，验收阶段与环评阶段一致。
2	⁶⁸ Ge	3.5E+6×1 枚	V 类	使用	PET/CT 校准源	核医学科工作场所 PET/CT 机房	核医学科储源室	搬迁利旧原许可放射源，验收阶段与环评阶段一致。

表 2-5 本次验收的非密封放射性物质基本参数

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)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式 与地点	备注
1	¹⁸ F	液态，低毒，半衰期 109.8min	使用	2.98E+10	2.98E+7	7.45E+12	PET/CT 诊断	很简单操作	核医学科	外购，暂存于分装注射室分装柜内	使用情况与环评规划一致
2	⁶⁸ Ga	液态，低毒，半衰期 68.3min	使用	3.48E+9	3.48E+6	8.70E+11	PET/CT 诊断	很简单操作	核医学科	外购，暂存于分装注射室分装柜内	使用情况与环评规划一致
3	⁸⁹ Sr	液态，中毒，半衰期 50.53d	使用	2.96E+8	2.96E+7	1.48E+10	骨转移癌治疗	简单操作	核医学科	外购，暂存于分装注射室分装柜内	使用情况与环评规划一致
4	²²³ Ra	液态，极毒，半衰期 11.44d	使用	1.00E+7	1.00E+8	5.00E+08	骨转移癌治疗	简单操作	核医学科	外购，暂存于分装注射室分装柜内	使用情况与环评规划一致

注：1. 日等效最大操作和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

2.3 工程设备与工艺分析

本次验收的 PET/CT 诊断和骨转移癌治疗项目的放射性核素使用方式、工艺流程与环评规划方案一致。

建设单位所有药物均为向药物供应商订购，药物供应商根据当天诊断（治疗）需求，将药物分装好后，配送至建设单位，并暂存于分装柜内。本验收项目设置 1 个分装柜，用于存放 ^{18}F ， ^{68}Ga ， ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 。

辐射工作人员根据诊疗质控要求抽检药物活度，如需调整药物用量，则在分装柜中完成手动分装。

所有药物当天使用完毕，如当天预约人员未至核医学科进行诊断（治疗），则暂存药物至储源室内，第二日供应商送药时，将药物进行回收，药物配送流程及产污环境如图 2-5，药物运送和暂存于分装柜过程中，会产生射线外照射的影响。

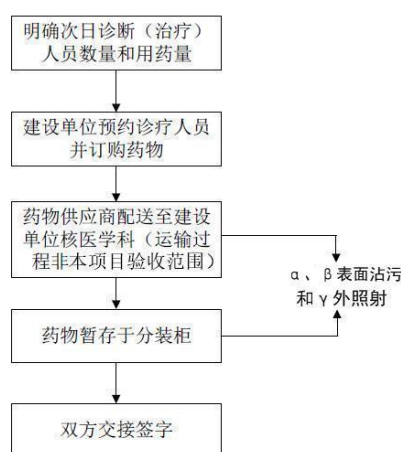


图 2-5 药物配送工作流程及产污环节

2.3.1 PET/CT 项目（核素 ^{18}F ， ^{68}Ga 以及 ^{68}Ge 密封源）工作原理

2.3.1.1 工作流程和产污环节

PET/CT 诊断工作流程及产污环节见图 2-6，PET 设备质控工作流程及产污环节见图 2-7。

预约诊断：患者在门诊经过诊断后，医生临床诊断确定患者所需药物的使用量。

订药：见表二第 2.3 节。

注射：患者进入核医学科辐射工作场所内部，并至注射窗。护士核对药物用量后，护士在分装柜内将药物注射器装在 15mmPb 注射器屏蔽套的注射器内，为病人注射药物。

注射过程中，放射性药物会产生 γ 和 β^+ 射线。另外药物注射使用的注射器为放射性固体废物。

诊断：注射后的病人进入相应注射后候诊室静躺休息（一般注射药物后候诊时间为45min），待药物充分代谢后，医护人员通过语音呼叫，指导病人进入 PET/CT 机房。一般情况下，医护人员语音提示摆位，必要时进入机房指导（每次 1min 内，1/10 病人需要近身摆位），随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断，每次扫描时间约 15min。扫描完成后，病人离开机房，根据医生指导在留观室留观，一般留观时间约 10min，确认无碍后由核医学科北侧出口离开。

诊断人员在注射后候诊和留观过程中，使用厕所会产生放射性废水，使用一次性水杯等物品为放射性固体废物。患者本身为一个辐射源，其注射核素会产生 γ 和 β^+ 射线。使用 PET/CT 诊断过程中，设备出束，会产生 X 射线。

PET 质控校准：每周五 PET 诊断工作结束后进行质控，由工作人员将其中 1 枚 ^{68}Ge 校准源从储源室的双锁放射源保险箱取出放到 PET/CT 诊断床上，在控制室设定扫描程序进行扫描，扫描结果都通过后结束质控，将 ^{68}Ge 校准源送回储源室的双锁放射源保险箱中存放。PET 质控校准过程中，主要是对 PET 部分的校准，不使用 CT 部分，无 X 射线，所以主要影响为放射源产生的 γ 射线。

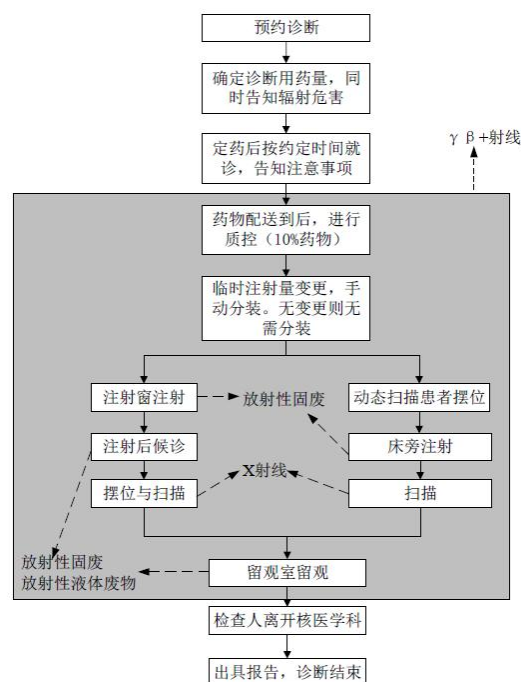


图 2-6 PET/CT 诊断工作流程及产污环节

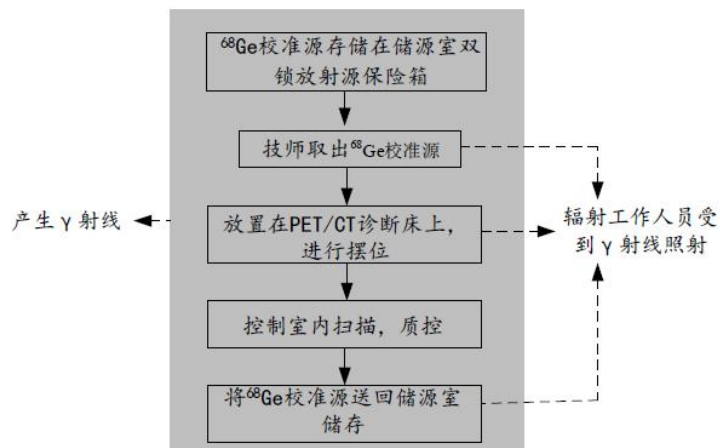


图 2-7 PET/CT 质控工作流程及产污环节

2.3.2 骨转移癌治疗

2.3.2.1 工作流程

门诊诊断：患者在门诊经过诊断后，医生临床诊断确定患者所需药物的使用量，并告知患者可能受到的辐射。

订药：见表二第 2.3 节。

注射前准备：骨转移癌治疗患者在治疗前进入问诊室，医生告知患者注射前后注意事项，并要求患者在注射前上洗手间，避免在留观期间上洗手间。

注射药物：开展核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 治疗时，患者进入核医学科在注射窗处注射（提前注射留置针），由医护人员在注射室观察窗的屏蔽下连接留置针为病人注射（不超过 30s）。所有治疗患者均严格按照预约药量进行治疗，不会存在分装的情况。

注射过程中，放射药物会产生 α 、 β 和 γ 射线，韧致辐射，注射后的针头和针管为放射性固体废物。

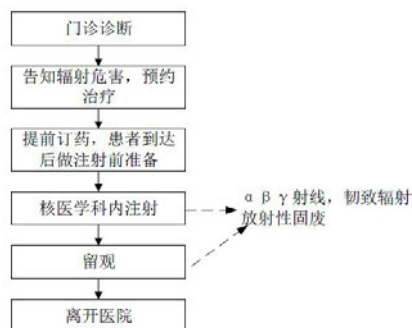


图 2-8 骨转移癌治疗工作流程及产污环节

留观和离开医院：患者在注射室接受药物注射后，根据医生指导在留观室观察（留

观时间小于 30min），如无异常情况，核医学科工作人员通过对讲向患者告知离院后注意事项后，患者离开核医学科。

病人留观时间短，一般不会使用洗手间。特殊情况下，患者需要上洗手间，产生的废水设置有专用容器收集后固化，按照放射性固体废物进行暂存。所以本项目留观过程中，主要影响为 α 、 β 和 γ 射线，韧致辐射以及放射性固废。

2.4 核医学科内工作路径

本项目核医学科工作场所医护人员、患者、放射性药物和放射性废物的路线，可以避免和减少放射性物质的污染和对相关人员的辐射影响。核医学科工作场所项目路径见图 2-9。

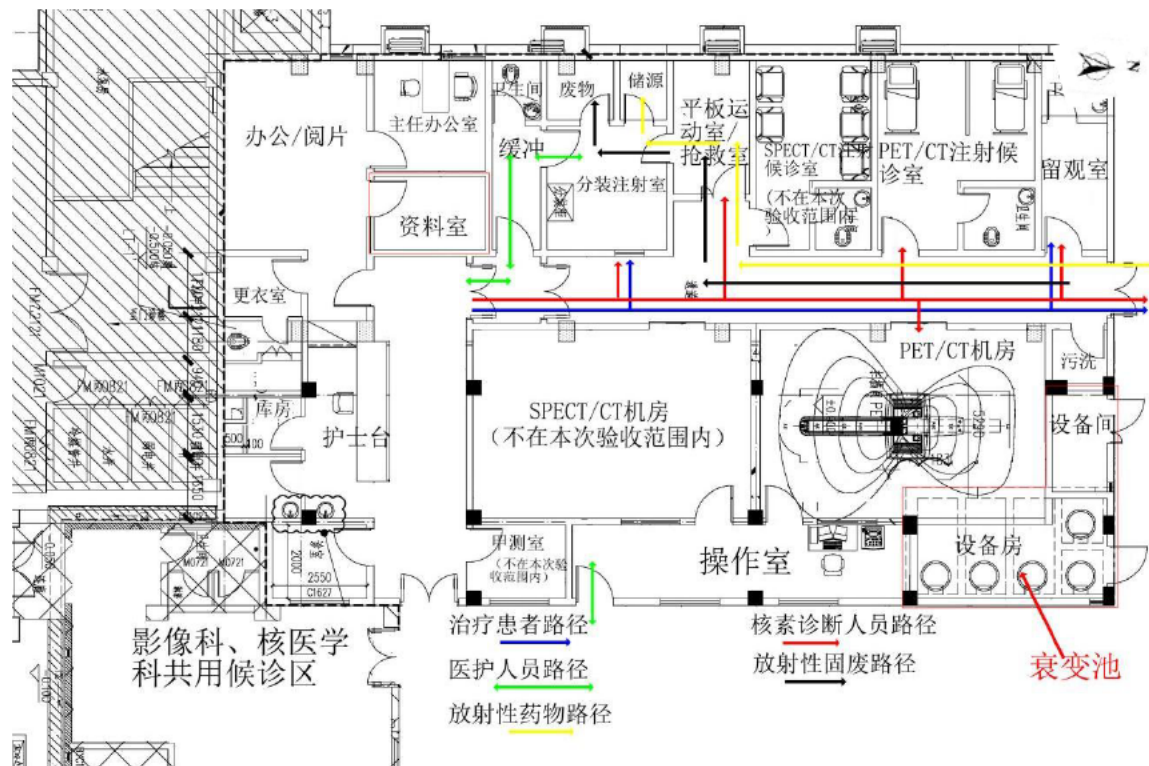


图 2-9 核医学科工作场所路径

(1) 药物运输路线

药物运送采取在时间上和人员通道时间错开，选择在早上和中午未上班时运送药物至核医学科内部，由专用路线进入核医学科指定位置，经专人接收。

(2) 医护人员路线

本项目医护人员分为 PET/CT 控制室医护人员和分装、注射医护人员通道，以下对不同工作人员路径进行分析：

①PET/CT 控制室医护人员：从核医学科东侧室外通道直接进入操作室。

②分装、注射人员：从核医学科南侧进入卫生通过间，再进入注射室，在工作结束后，表面污染检测后，如存在污染则在淋洗间进行清洁去污后，再次进行检测，确认无污染后，离开核医学科控制区。

建设单位在进入注射室前的控制区入口设置了卫生通过间和淋洗间，卫生间设置有铅衣架，并设置柜子存放表面污染监测设备、去污洗消和衣物，且干净衣物和受污染衣物分开存放，当工作人员进入控制区前，在卫生通过间穿好铅衣，再进入控制区。当返回清洁区时，必须清洁完毕、表面污染检测完后离开。

（3）检查人员/治疗人员路径

本项目核医学科在核医学科楼一层南侧设置入口，入口处设置护士站，检查人员在护士站打留置针后，在护士指引下进入核医学科控制区，出口设置在核医学科北侧通道。

建设单位施行错峰管控措施，以避免不同路径交叉。根据当天预约，开始进行核素诊断工作。在完成核素诊断后，继续开展骨转移癌治疗。通过上述安排，实现诊断和治疗的患者分时段管理。

（4）污物路径

本项目放射性废物和患者为同一通道，但只在所有患者检查完并离开核医学科后，才做放射性废物处理和暂存，患者和放射性废物的通过能够在时间上控制分开；本项目核医学科产生的废物就近存放在废物间内，封存达到标准要求的时间后，经监测达标后，作为一般医疗废物进行处置。

综上可知，本项目核医学科的人员、物流路径满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于人员路径的要求。

2.5 门诊规划和核素用量

（1）门诊规划

本项目开展核医学科诊断和治疗项目：①PET/CT 诊断，使用核素 ^{18}F ， ^{68}Ga ；②骨转移癌治疗，使用核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra ，各核素开诊时间见表 2-6。

表 2-6 核医学科各核素门诊使用情况

诊断项目		开诊时间	最大病人量
PET/CT 诊断	^{18}F	周一到周五全天	上午不超过 20 人，下午不超过 5 人
	^{68}Ga	周一到周五下午	下午不超过 5 人
骨转移癌治疗	^{89}Sr	每周仅开展 1 天	不超过 2 人
	^{223}Ra		不超过 2 人

^{131}I 甲测	0.1	1	3.7E+07	3.7E+06		——	——	
------------------------	-----	---	---------	---------	--	----	----	--

(2) 工作场所分类

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对临床核医学工作场所具体分类办法，日操作最大量放射性核素的加权活度等于计划的日操作最大活度与该核素毒性权重因子的积再除以操作性质修正因子所得的商。环评阶段通过核算确定了该工作场所的加权核素活度 $4.65\text{E}+05\text{MBq}$ ，属于 I 类临床核医学工作场所，并已按照 I 类核医学工作场所的室内表面及装备结构要求完成了工作场所的施工。

2.7 工作负荷

建设单位核医学科现有辐射工作人员 6 人，均已参加辐射安全与防护培训并取得合格证。建设单位核医学科现有辐射工作人员培训情况见表 2-9，核医学各项目工序涉及辐射工作人员配置情况见表 2-10。

环评规划在旧核医学科 6 名辐射工作人员的基础上新增 2 名辐射工作人员（护士技师各新增 1 人），因目前核医学科工作场所暂未开展 SPECT/CT 显像诊断以及甲亢治疗与甲功测定，所以本次验收项目暂未新增辐射工作人员，且根据表七验收监测结果估算，现有的辐射工作人员的年有效剂量满足验收要求。后续所有新增辐射工作人员将参与辐射安全与防护培训取得合格证后再上岗。

表 2-9 核医学科现有辐射工作人员一览表

姓名	职位/职务	辐射安全培训合格证	培训时间
段玉姣	医师	FS22GD0300076	2022.06
赵荣	医师	FS25GD0300305	2025.11
龚章勇	技师	FS22GD0300213	2022.12
乔治	技师	FS22GD0300218	2022.12
叶婷	医师	FS24GD0300081	2024.01
杨巧	护士	FS22GD0300219	2022.12

表 2-10 核医学各项工作情况汇总

工作场所	岗位	工作内容/核素	操作时间	配置岗位	现有人员
注射室	质控，药物装入防护套筒	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra	60s/次	护士	1 人
	分装	^{18}F 、 ^{68}Ga	60s/次		
	分装柜转移至注射窗	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra	15s/次		
	注射指导服药	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra	30s/次		
	床边注射药物转移	^{18}F 、 ^{68}Ga	60s/次		
PET/CT 机	摆位	指导、协助患者摆位	60s/次	技师	2 人

房	扫描	PET/CT 设备操作	15min/次		
办公室	诊断	对患者诊断,做出用药计划	/	医师	3 人

2.8 污染源项

(1) 正常工况

由上文核医学科工作流程分析可知,射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中。受诊患者注射放射性药物后,本身短时间内也成为“辐射体”,随着患者的移动,将对周围环境造成辐射影响,排泄物也成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。核医学项目主要污染因素和辐射影响如下:

① γ 射线贯穿辐射

本项目的 ^{18}F 和 ^{68}Ga 在发生衰变时会伴随产生 γ 射线,和 ^{223}Ra 也会发出少量的 γ 射线,在进行药物交接、分装、注射(服药)等操作时,在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。

患者注射/口服放射性药物后,本身短时间内是一个辐射体(源),对周围的环境可能造成外照射影响。

② X 射线

PET/CT 高电压加载 X 射线管的两极之间,使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度,这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线,X 射线在开机时产生,关机时消失。X 射线防护所要考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

③ β 射线和韧致辐射

骨转移癌治疗使用的核素 ^{89}Sr 发出纯 β 射线, ^{223}Ra 也会发出少量的 β 射线, β 射线穿透力很弱,在组织内穿透距离很短,不会对环境产生明显影响,辐射影响主要考虑 β 射线在与物质作用产生的韧致辐射。

④ α 射线

骨转移癌治疗使用的核素 ^{223}Ra 对环境产生污染的因子主要为 α 射线, α 射线穿透力很弱,在组织内穿透距离很短,不会对环境产生明显影响。

⑤ 放射性固体废物

核医学科的固体废物主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物,包括一次性注射器、棉签、滤纸、手套、口服杯、药瓶等,核医学科废气处理系统定期更换的废活性炭也应作为放射性固体废物管理,这些放射性固体废物按污染水平及

暂存时间进行分类收集。建设单位的废旧放射源，报废后也属于放射性固体废物，建设单位将根据实际情况，返回厂家或交由广东省城市放射性废物库回收。

⑥放射性废液

本项目核医学科骨转移癌治疗患者在进行服药/注射前均提前上洗手间，一般不会产生放射性废液。

本项目所产生的废水主要为核素显像诊断过程中，患者注射放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水，核医学科工作场所清洗及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。通过环评分析可知，该项目放射性废水含有的放射性核素主要是 ^{18}F 和 ^{68}Ga 。

⑦放射性废气

本验收项目使用放射性核素的化合物均不具备挥发性。在诊疗过程中，不具备挥发性的药物均密封在注射器或容器中，因此随自然挥发产生的放射性废气量极少，基本可以忽略不计。患者注射后，药物主要通过体液代谢，随呼吸排出的放射性废气量也极少，基本可以忽略。本验收项目核医学科工作场所和分装柜均设置有独立的管道对废气进行排放，分装柜顶端设置有过滤装置，排气管道排出口也设置有活性炭吸附，排气位置高于屋顶排放。

（2）事故工况

①由于管理不善，公众误入核医学科内部。

②放射性药物或放射源被盗、丢失。

③在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面放射性污染，严重时可能造成辐射工作人员衣服或身体污染。

④工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

表三 辐射安全与防护设施/措施

3.1 工作场所布局及分区

因环评阶段设计方案的地埋式衰变池池线与原有建设基础存在冲突无法施工，所以实际建成的衰变池与设备间调换了位置，但其整体边界范围依然位于核医学科的东北角落，且衰变池为地埋式，调整前后衰变池都位于核医学科东北角的地下，衰变池防护检修井盖均位于设备房内，具体见图 2-2 和图 2-3。参照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），该调整未导致废水的不利环境影响加重，该变动不属于重大变动。其余布局与环评阶段设计方案一致。

建设单位按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：分装注射室、废物间、储源室、注射后候诊室、留观室、污洗间、SPECT/CT 机房（不在本次验收范围内），PET/CT 机房，卫生通过间，甲功测定室（不在本次验收范围内），衰变池划定为控制区。建设单位在衰变池检修井盖上的设备房门入口地面张贴“辐射控制区”标识。

监督区：将操作室、衰变池所在房间及控制区外 30cm 处等区域划分为监督区，并定期检查其辐射剂量率水平。

建设单位的核医学工作场所分区的实际情况与规划情况一致。

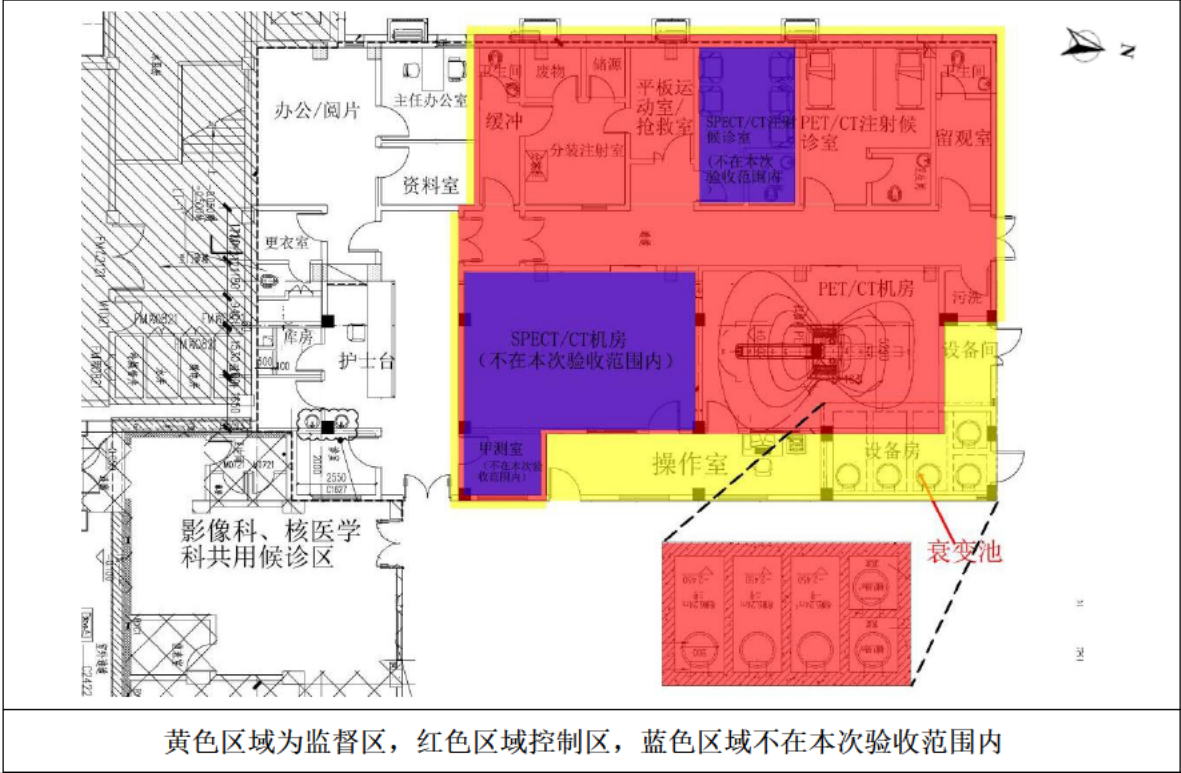




图 3-1 核医学科工作场所监督区控制区划分及现场图片

3.2 辐射屏蔽设施建设情况

核医学科工作场所辐射工作场所均考虑了邻室及周围场所的人员防护与安全，墙体、顶棚、门和窗均进行了辐射防护设计，屏蔽设施建设情况见表 3-1。参照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），不存在重大变动。

验收项目为部分验收，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 四种核素，未验收 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 两种核素。本次仅针对与首期验收项目相关的防护设施，后续核医学科拟使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素开展相应的放射诊疗项目，应单独组织验收，核实各项辐射防护措施。

核医学科工作场所中建设了 1 个分装柜和 1 个注射窗，可满足首期验收项目的核素注射需求。

排水管道室外区域部分环评规划采用 100mm 硫酸钡涂料回填，实际建设采用 100mm 厚的 C30 混凝土回填，根据表七验收监测，排水管道室外区域部分地面上方 30cm 周围剂量当量率为 $0.527\mu\text{Sv/h}$ ，明显小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的限值要求。

根据表七验收监测中内容可知，本次验收项目在正常运行时，周围剂量当量率和人员的年有效剂量，均可以满足本次验收提出的要求，因此，本项目屏蔽设施的屏蔽效能可以满足验收要求。

表 3-1 新核医学科工作场所的屏蔽设施建设情况

房间	墙体	屏蔽设计情况	实际建设情况	结论
分装注射室	墙体	180mm 实心砖 +100mm 硫酸钡涂料	180mm 实心砖+100mm 硫酸钡涂料	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有 楼板）+8mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+8mm 铅板	与环评设计一致，满足要求
	屏蔽门	10mmPb	10mmPb	与环评设计一致，满足要求
	分装柜 1	50mmPb	50mmPb	与环评设计一致，满足要求
	分装柜 2	20mmPb	本次验收项目分装柜 2 未建设	
	注射窗 1	40mmPb	40mmPb	与环评设计一致，满足要求
	注射窗 2	30mmPb	本次验收项目注射窗 2 未建设	
储源室，废物 暂存间	墙体	180mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	西、南、北墙：180mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料； 东墙：180mm 实心砖+100mm 硫酸钡涂料	西、南、北墙与环评设计一致，东墙比环评设计增加了 40mm 硫酸钡涂料，满足要求。
	屏蔽门	6mmPb	6mmPb	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有 楼板）+4mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+4mm 铅板	与环评设计一致，满足要求
平板运动室 （抢救室）	墙体	180mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	西、南、北墙和东墙（非与注射室共墙部分）：180mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料； 东墙（与注射室共墙部分）：180mm 实心砖+100mm 硫酸钡涂料	西、南、北墙和东墙（非与注射室共墙部分）与环评设计一致，东墙比环评设计增加了 40mm 硫酸钡涂料，满足要求。
	屏蔽门	6mmPb	6mmPb	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有 楼板）+4mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+4mm 铅板	与环评设计一致，满足要求
污洗间	墙体	180mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	180mm 实心砖+80mm 硫酸钡涂料	四面墙体比环评设计增加了 20mm 硫酸钡涂料，满足要求。

	屏蔽门	6mmPb	6mmPb	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有楼板）+4mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+4mm 铅板	与环评设计一致，满足要求
PET 候诊室	墙体	180mm 实心砖+100mm 硫酸钡涂料	180mm 实心砖+100mm 硫酸钡涂料	与环评设计一致，满足要求
	屏蔽门	10mmPb	10mmPb	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有楼板）+8mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+15mm 铅板	比环评设计增加了 7mm 铅板，满足要求
留观室	墙体	180mm 实心砖+80mm 硫酸钡涂料	东墙、西墙和北墙：180mm 实心砖+80mm 硫酸钡涂料； 南墙：180mm 实心砖+100mm 硫酸钡涂料	东墙、西墙和北墙与环评设计一致，南墙比环评设计增加了 20mm 硫酸钡涂料，满足要求
	屏蔽门	6mmPb	6mmPb	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有楼板）+4mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+11mm 铅板	顶棚比环评增加了 7mm 铅板，满足要求。
PET/CT 机房	墙体	180mm 实心砖+80mm 硫酸钡涂料	180mm 实心砖+80mm 硫酸钡涂料	与环评设计一致，满足要求
	屏蔽门，观察窗	8mmPb	屏蔽门：8mmPb； 观察窗：11mmPb	屏蔽门与环评设计一致，观察窗比环评设计增加了 4mmPb，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有楼板）+6mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+6mm 铅板	与环评设计一致，满足要求
缓冲间	墙体	180mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料	180mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料	与环评设计一致，满足要求
	门	4mmPb	4mmPb	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有楼板）+2mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+2mm 铅板	与环评设计一致，满足要求
走廊	入口门(2个)	6mmPb	6mmPb	与环评设计一致，满足要求

	出口门	6mmPb	6mmPb	与环评设计一致，满足要求
	顶棚	120mm 混凝土（原有楼板）+4mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+4mm 铅板	与环评设计一致，满足要求
通风管道		2mm 铅板	4mm 铅板	通风管道比环评规划增加 2mm 铅板，满足要求
排水管道室外区域部分		100mm 硫酸钡涂料回填	100mm 厚的 C30 混凝土回填	根据表七验收监测可知，排水管道室外区域部分地面上方 30cm 外测点小于 2.5 μ Sv/h，满足验收项目限值要求

注：根据建设单位提供的施工图（部分）和检测报告（见附件 7），混凝土采用 C15、C25 和 C30 混凝土，密度满足环评阶段设计方案的不小于 2.35t/m³ 的要求；实心砖采用灰砂砖，密度满足环评阶段设计方案的不小于 1.65t/m³ 的要求；硫酸钡涂料干密度（表观密度）为 4.18g/cm³，满足环评阶段设计方案的不小于 3.8g/cm³ 的要求。

表 3-2 核医学科辐射工作场所表面和装备结构建设情况

序号	要求	设计情况	实际建设情况	结论
1	结构屏蔽：需要	本项目整个核医学科辐射工作场所拟设置专门的屏蔽设施。	本项目整个核医学科辐射工作场所设置专门的屏蔽设施。	与环评设计一致，满足要求
2	地面：与墙壁接缝无缝隙	本项目整个核医学科辐射工作场所拟采用 PVC 材料的光滑塑胶地板，与墙面的连接处采用圆弧形踢脚线，保证连接处无缝隙。	本项目整个核医学科辐射工作场所采用 PVC 材料的光滑塑胶地板，与墙面的连接处采用圆弧形踢脚线，保证连接处无缝隙。	与环评设计一致，满足要求
3	表面：易清洗	地面采用塑胶地板，工作台面表面采用不锈钢材料。	地面采用塑胶地板，工作台面表面采用不锈钢材料。	与环评设计一致，满足要求
4	分装柜：需要	本项目核医学科内注射室内设置有 2 个分装柜。	本项目核医学科内注射室内设置有 1 个分装柜。	满足首期验收项目要求
5	室内通风：特殊的强制通风	本项目核医学科内注射室设置有 2 个分装柜，均设置独立通风装置与活性炭过滤装置，排风立管高于本建筑屋脊。	本项目核医学科内注射室设置有 1 个分装柜，设置了独立通风装置与活性炭过滤装置，排风立管高于本建筑屋脊。	满足首期验收项目要求
6	管道：特殊的管道	本项目核医学科辐射工作场所各排水管道为具有辐射屏蔽效果的特殊管道。	本项目核医学科辐射工作场所各排水管道为具有辐射屏蔽效果的特殊管道，管道路径与环评阶段一致，管	与环评设计一致，满足要

			道用混凝土包封。	求
7	盥洗和去污设备：需要	拟在控制区内设置污洗间，放置专用拖把、抹布等清洗去污设备。	本项目在控制区内设置了污洗间，放置专用拖把、抹布等清洗去污设备。	与环评设计一致，满足要求

3.3 工作场所内表面及装备结构要求

根据表二分析可知，本项目核医学科辐射工作场所为 I 类核医学工作场所，核医学科内放射性核素操作设备的表面、工作台台面均为不锈钢结构，可保证平整光滑。室内地面采用 PVC 材料的光滑塑胶地板，与墙面的连接处采用圆弧形踢脚线，保证连接处无缝隙，易于清洗、去污，可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对于核医学地面和台面的要求。核医学科内辐射工作场所表面和装备结构可满足验收要求，具体见表 3-2。

3.4 辐射安全措施

3.4.1 单向门禁和标识

为了限制患者或受检者的随意流动，核医学科辐射工作场所出入和入口均为单向门，新核医学科工作所在地面张贴了路线标识，并在门上加装单向门禁。入口门为单向入口，控制权在护士站；出门口为单向出口，内部设置开门按钮。医护人员通道均将设置门禁，仅授权人员可打开。

建设单位在出入口门张贴了符合要求的电离辐射标识，单向门禁和标识见图 3-2。



图 3-2 建设单位核医学科已设置单向门禁和标识

3.4.2 监控，对讲和检测设备

建设单位为核医学科配备了 1 台便携式 X-γ 巡测仪和 2 台表面污染仪，见图 3-3，为核医学科专用，建设单位将检测设备放置在护士站，供医护人员日常检测使用。

辐射工作人员每天诊疗工作结束后，对室内工作台、分装柜、注射台等进行全面的辐射水平测量并进行记录，确保工作场所表面沾污满足标准要求。辐射工作人员离开辐射工作区之前使用放射性表面污染监测检测身体及衣物的放射性表面污染水平，确认放

放射性污染低于标准要求后才能离开，避免将可能的放射性污染带出辐射工作区外。

建设单位在核医学科内设置视频监控和对讲装置，设置的视频监控和对讲装置情况见图 3-4 和图 3-5。对照环评视频监控设置情况，验收项目 PET/CT 机房增加设置 2 个摄像装置；由于建设单位首期验收项目建设 1 个分装柜，分装注射室设置 1 个摄像装置，可以满足首期验收项目要求。对照环评对讲装置设置情况，由于实际工作要求，验收项目护士站增设 1 个对讲装置，平板运动室（抢救室）的对讲装置移至分装注射室，PET 候诊室和留观室各增设 1 个对讲装置，可以满足要求。参照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），不属于重大变动。

日常诊断过程中，医护人员不进入核医学患者候诊室，医护人员通过监控和对讲装置与患者进行沟通，引导患者进行候诊，诊断和留观。本项目在候诊室，留观室，平板运动室均设置有监控和对讲装置，在分装注射室设置有监控，PET/CT 机房设置有对讲装置和观察窗，可满足日常诊断中指引工作的需求，且可通过监控和观察窗观察患者状态，可以满足验收要求。



图 3-3 建设单位已配备检测设备

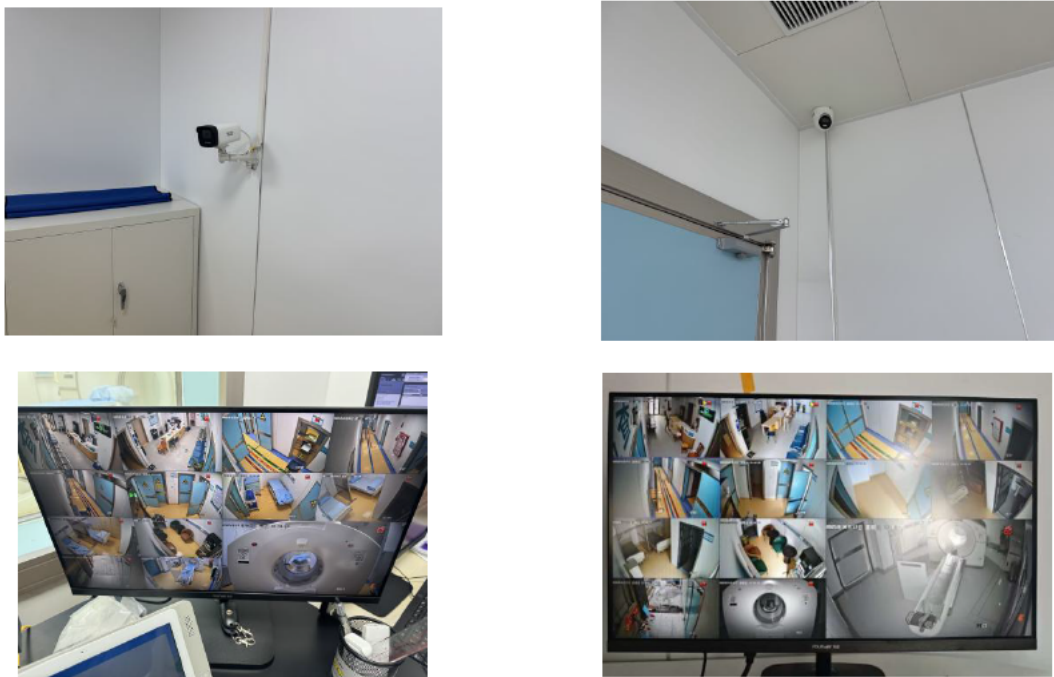


图 3-4 建设单位已设置监控设施

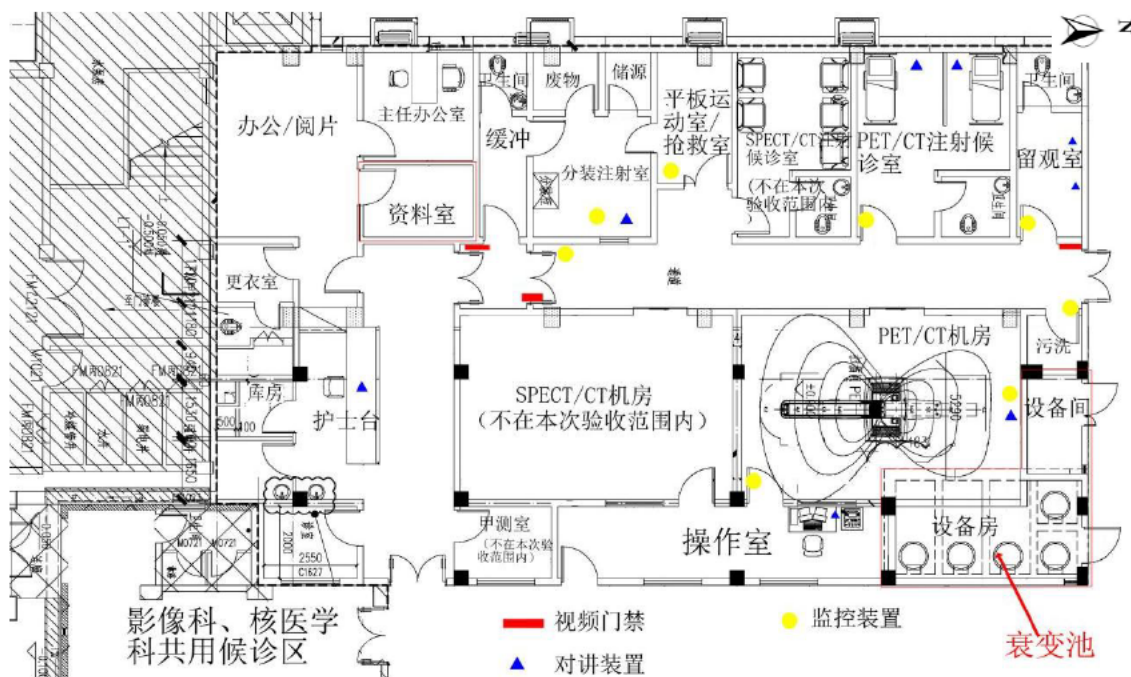


图 3-5 本项目核医学科监控、门禁及对讲装置设置布点图

3.4.3 辐射防护用品和设施

建设单位为核医学科工作场所配备了铅衣、铅眼镜、铅围脖、铅帽等防护用品，核医学科工作场所的防护用品配备情况见表 3-3。

表 3-3 辐射防护用品和设施配备情况

序	种类名称	环评设计	实际配备情况	来	结论
---	------	------	--------	---	----

号		数量	铅当量	数量	铅当量	源	
1	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅防护单	4套	0.5mmPb	4套	0.5mmPb	利旧	与环评要求一致
		4套	0.5mmPb	不在本次验收范围内			
2	校准源储存铅罐	2个	50mmPb	2个	50mmPb	利旧	与环评要求一致
3	双锁放射源保险箱	1个	/	1个	/	利旧	与环评要求一致
4	FDG 分装防护装置（ ¹⁸ F 手动分装）	1个	20mmPb	1个	20mmPb	利旧	与环评要求一致
5	钨合金注射器防护套（ ¹⁸ F 用）	3个	15mmPb	3个	15mmPb	利旧	与环评要求一致
6	铅玻璃注射器防护套（骨转移癌治疗用）	3个	3mmPb	3个	3mmPb	利旧	与环评要求一致
7	^{99m} Tc 注射器防护套	2个	3mmPb	不在本次验收范围内			
8	注射器携带箱(手提式铅箱)（ ¹⁸ F 用）	1个	20mmPb	1个	20mmPb	利旧	与环评要求一致
9	注射器携带箱(手提式铅箱)（ ^{99m} Tc 用）	1个	10mmPb	不在本次验收范围内			
10	注射防护车	1个	20mmPb	1个	20mmPb	新购	与环评要求一致
11	铅屏风	4个	10mmPb	4个	10mmPb	利旧	与环评要求一致
		3个	5mmPb	不在本次验收范围内			
12	脚踏式放射性废物桶	6个	30mmPb	6个	30mmPb	利旧	本项目配备 7 个脚踏式放射性废物桶，可满足本次验收项目要求。
		5个	5mmPb	1个	30mmPb	新购	
13	放射性废物储存箱(大容量)	1个	30mmPb	1个	30mmPb	利旧	与环评要求一致
14	尖锐物收集铅箱	1个	10mmPb	1个	10mmPb	利旧	与环评要求一致

本项目由于现阶段未开展 SPECT/CT 单光子显像诊断、甲亢治疗和甲功测定，因此未配置相应的辐射防护用品和设施。现阶段的个人防护用品数量和铅当量可以满足医院开展本项目运行的要求。建设单位后续开展 SPECT/CT 单光子显像诊断、甲亢治疗和甲功测定，应单独组织验收，核实辐射防护用品和设施。除此以外，医院通过制度规范辐

射工作人员的操作，包括放射性核素的管理、使用，放射性污染物的处理和患者的活动限制等。

3.5 PET/CT 机房

建设单位在核医学科工作场所建设了 1 间 PET/CT 机房，从对 X 射线屏蔽的角度考虑，相当于机房内安装 1 台放射诊断的 X 射线 CT 机，属于 III 类射线装置，因此以《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对射线机房的辐射屏蔽建设情况及防护设施进行技术分析，分析结果见表 3-4 和表 3-5。

表 3-4 核医学科工作场所 X 射线机房防护实际建设情况与标准对比分析

项目		环评阶段设计方案	实际建设情况	GBZ130-2020 要求	
PET/CT 机房	墙体	180mm 实心砖+80mm 硫酸钡涂料	180mm 实心砖+80mm 硫酸钡涂料	CT 机房屏蔽铅当量不低于 2.5mmPb	满足
	屏蔽门，观察窗	8mmPb	屏蔽门：8mmPb； 观察窗：11mmPb		满足
	顶棚	120mm 混凝土+6mm 铅板	120mm 混凝土（原有楼板）+6mm 铅板		满足

注：根据建设单位提供的施工图（部分）和检测报告（见附件 7），混凝土采用 C15、C25 和 C30 混凝土，密度满足环评阶段设计方案的不小于 2.35t/m³ 的要求；实心砖采用灰砂砖，密度满足环评阶段设计方案的不小于 1.65t/m³ 的要求；硫酸钡涂料干密度（表观密度）为 4.18g/cm³，满足环评阶段设计方案的不小于 3.8g/cm³ 的要求。

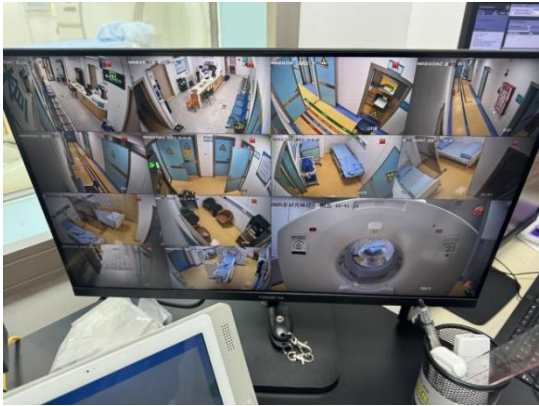
表 3-5 核医学科工作场所 X 射线机房实际建设情况与标准对照

项目	GBZ130-2020 对机房的要求	实际建设情况	规划情况
机房设置和布局	应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	根据 PET/CT 机房 CT 部分的工作原理，其有用线束方向下方有屏蔽铅块，不会直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	与规划一致
	应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	本项目 PET/CT 机房四面墙体、天棚以及观察窗、进出口的建设均采取了辐射屏蔽。	与规划一致
	每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。	本项目 PET/CT 机房为独立机房	与规划一致
机房空间	最小有效使用面积为 30m ² ，机房内最小单边长度 4.5m。	PET/CT 机房：最小有用使用面积： 7.49m×4.76m=35.65m ² ；最小单边长度：4.76m。	最小有用使用面积比环评设计减小了 0.22 m ² ，最小单边长度比环评设计增加 0.04m，可以满足标准要求

监控	机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	本项目 PET/CT 机房设置有观察窗和摄像监控装置，摄像监控装置设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	与规划一致
机房通风	机房应设置动力排风装置，并能保持良好的通风。	本项目 PET/CT 机房设计排气装置，保证通风状况良好。	与规划一致
标志、警示灯	机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。	本项目 PET/CT 机房患者门和医护门按照相关规定设置电离辐射警告标志，并在机房门上设置工作状态指示灯，灯箱上设置了可视警示语句。	与规划一致
屏蔽门	平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目 PET/CT 机房均设置有 1 个平开机房门和 1 推拉式机房门，平开机房门有自动闭门装置，推拉式门通过管理保证曝光时该门关闭，机房门和工作状态指示灯关联。电动门设置有感应装置，可以防夹。	与规划一致



PET/CT 机房内摄像头



PET/CT 操作台监控显示器



PET/CT 观察窗



工作警示灯和电离辐射标识

图 3-6 PET/CT 机房防护设施

通过以上对照分析，本项目的 PET/CT 机房有足够的使用空间，其四面墙体、顶棚和观察窗、机房进出口的建设均进行了辐射屏蔽，充分考虑了邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全。各面墙体的防护厚度均大于标准及环评中规定的屏蔽厚度，并配备了恰当的辐射防护措施。从 X 射线放射诊断场所的安全防护方面考虑，PET/CT 机房的防护设施的技术要求可以满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

3.6 总结分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对于核医学科的辐射安全与防护措施要求，对本项目实际建设情况进行对照分析，具体情况见表 3-6。

表 3-6 核医学科工作场所辐射安全与防护措施实际建设情况与标准对照情况

标准	标准要求	实际建设情况	分析
HJ1188-2021	6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	本项目核医学科设备和工作台面等采用不锈钢的一体产品，保证操作面平整光滑；室内地面铺设防渗塑胶地板、在墙面施工至离地至少 50cm，能够保证地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。	符合
	6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	本项目核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，分装柜为手套箱式分装柜。 建设单位核医学科配备有必要的防护用品，可满足要求。 本项目 PET/CT 注射后候诊室和留观室均设置有铅屏风，以减少对其他患者和医护人员的照射。	符合
	6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	建设单位在卫生通过间设置洗涤去污设施和表面污染检测仪器，从控制区离开的人员和物品可以利用监测仪器进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，使用去污设施进行去污。	符合
	6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	本项目核医学科设置了储源室，并在其放置储源防护罐和双锁放射源保险箱，用于储存放射源。 建设单位制定了监测计划，会定期进行辐射监测。	符合

		建设单位建立了放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。	
	6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	本项目核医学科配备钨小瓶防护罐、 β 、 γ 射线防护罐和分装专用防护铅罐，注射器携带箱等用于放射性药品的贮存和转运，贮存和转运容器上方均设置电离辐射标志。因建设单位转运均为核医学科内部，转运容器设置有手提装置。药物配送均由设备供应商使用其容器完成。可满足标准要求。	符合
	6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	PET/CT 机房门框上方设置了工作状态指示灯，可满足要求。	符合
GBZ120-2020	5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	本项目核医学科注射后候诊室设置了视频监控和对讲装置，PET/CT 机房控制室设置观察窗和对讲装置。	符合
	5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。	本项目核医学科配备钨小瓶防护罐、 β 、 γ 射线防护罐和分装专用防护铅罐，注射器携带箱等用于放射性药品的贮存和转运，贮存和转运容器上方均设置电离辐射标志。	符合
	5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	PET/CT 机房门框上方设置了工作状态指示灯。	符合
	6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。	本项目新核医学科操作放射性药物设置有专用辐射工作场所用于开展核素诊断和治疗。	符合
	6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。	本项目核医学科配备注射器屏蔽套筒。	符合
	6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。	本项目配备了 6 名辐射工作人员，均熟悉核医学科工作流程，具备熟练操作技能，可正确使用个人防护用品，可满足要求。	符合
	6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。	建设单位已制定《核医学科辐射安全防护管理制度》，禁止在控制区内进食、饮水、吸烟、化妆，以及进行其他与核医学科诊疗无关的工作和物品存放。	符合
	6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过规定值，应采取相应去污措施。	本项目核医学科在注射室前设置卫生通过间和淋洗间，操作放射性核素的工作人员在离开放射性工作场所前将洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过规定值，将采取相应去污措施。	符合
	6.2.7 从控制区取出物品应进行表面	建设单位已制定《核医学科辐射安全防护管理制度》，当从控制区取出物	符合

	污染检测，以杜绝超过规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。	品应进行表面污染检测，取出的物品应不超过清洁解控水平。	
	6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。	建设单位配备双锁放射源保险箱，用于暂存 ^{68}Ge 校准源，存放在储源室内。放射性药物将装在铅罐中存在储源室的保险箱内，储源室和注射室相邻，易于存取。放射性药物暂存于分装柜中，分装柜屏蔽可满足要求。	符合
	6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。	医院已制定辐射监测计划，定期对辐射工作场所进行防护监测，且储源室位于限制区内，无关人员不会进入。	符合
	6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。	本项目核医学科设置储源室，并在其放置储源防护罐和双锁放射源保险箱，用于储存放射源。 建设单位严格按照规程操作，不会污染容器。放射性药物运输由药物厂家负责运输至本项目核医学科内，内部转运配备有专用箱，为手提式，可满足要求。	符合
	6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	建设单位已制定《放射性药品的采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》，登记内容将包含生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	符合
	6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	本项目核医学科采用预约检查制，根据预约情况送药。如当天有人员未到达诊断，放射性药物将在分装柜中储存，当天下午或第二日返回至药物供应商。返回前储存于分装柜内设置有监控和门禁，可保证放射性物质安全。	符合
	6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。	建设单位已制定了辐射事故应急预案，当发生放射性药物溢出、散漏事故时，将启用应急预案，穿戴防护用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，将迅速清洗去污，并送至本院相关科室给予医学处理。	符合
	6.2.15 核医学放射工作人员应按照 GBZ128 的要求进行外照射个人监测。	建设单位已委托有资质的单位对其辐射工作人员进行个人剂量监测。	符合
根据上述对照分析结果可知，本项目核医学工作场所采取的辐射安全与防护措施基本符合《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) 相关要求。

3.7 放射性三废处理设施的建设和处理能力

3.7.1 放射性废气

本项目核医学科设置了排风系统，每套排风系统设有独立风机，管线设有止回阀，不存在回流现象，可有效保持核医学科工作场所的负压和各区之间的压差，防止放射性气体及气溶胶对核医学科工作场所造成交叉污染，保证场所内通风状况良好。本项目通风管道布局图见图 3-7。

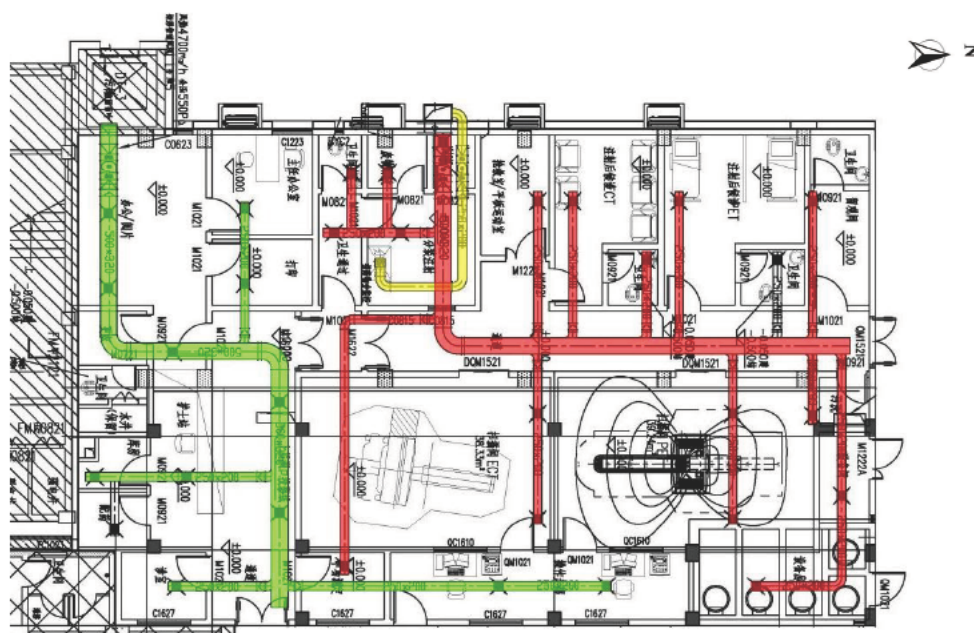


图 3-7 通风管道布置图



核医学科排风口



活性炭吸附过滤装置



排风管道

图 3-8 排风管及排风口照片

本项目通风管道分为 3 个部分：①办公区和射线装置操作室排风为一根管道，排风量为 $4700\text{m}^3/\text{h}$ ，全压 550Pa ，该管道不涉放射性核素；②核医学科工作场所分装注射室，废物间，储源室，候诊室，留观室，PET/CT 机房，空置机房（SPECT/CT 机房），空置房间（甲功测定室），污洗间和设备间共用一根管道，排风量为 $4700\text{m}^3/\text{h}$ ，全压 550Pa ；③分装柜排风设置一根管道，排风量为 $1649\text{m}^3/\text{h}$ ，全压 500Pa ，分装柜通风速率不小于 0.5m/s 。所有通风管道口均设置有逆止阀，防止通风倒流。②和③排风共用一根主管道，汇入主管道前独立。

验收项目为部分验收，现有的通风管道可满足首期验收项目的通风需求。后续核医学科拟使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素开展相应的放射诊疗项目，应单独组织验收，核实各项辐射防护措施。

核医学科涉放的排风系统在核医学科天台排出前先经过活性炭过滤吸附装置过滤，建设单位根据活性炭的保质期定期更换活性炭过滤吸附装置，废旧的活性炭过滤吸附装置作为放射性固体废物暂存在核医学科废物间内。②③管道由核医学科西侧墙体引出并连接至屋顶，屋顶图如图 3-8 所示，排风口位置向下做有防水弯并设置防雨百叶，防止雨水倒灌。核医学科涉放射排风口所在屋面高度为 22.5m ，排风口高于屋面 2.5m 处排放，所以排风口总高度为 25m 。通风口见图 3-8 所示，核医学科北侧住院楼高度为 21.9m ，南侧急诊楼高度为 17.4m ，排放口高于两栋楼屋顶。

本项目通风管道主管道室外公众可达处采用 4mmPb 进行辐射防护屏蔽，通风管道辐射屏蔽可满足要求。

综上所述，本项目核医学科工作场所放射性废气处理方案满足《核医学辐射防护与

安全要求》（HJ1188-2021）关于气态放射性废物管理的要求。

3.7.2 放射性废水

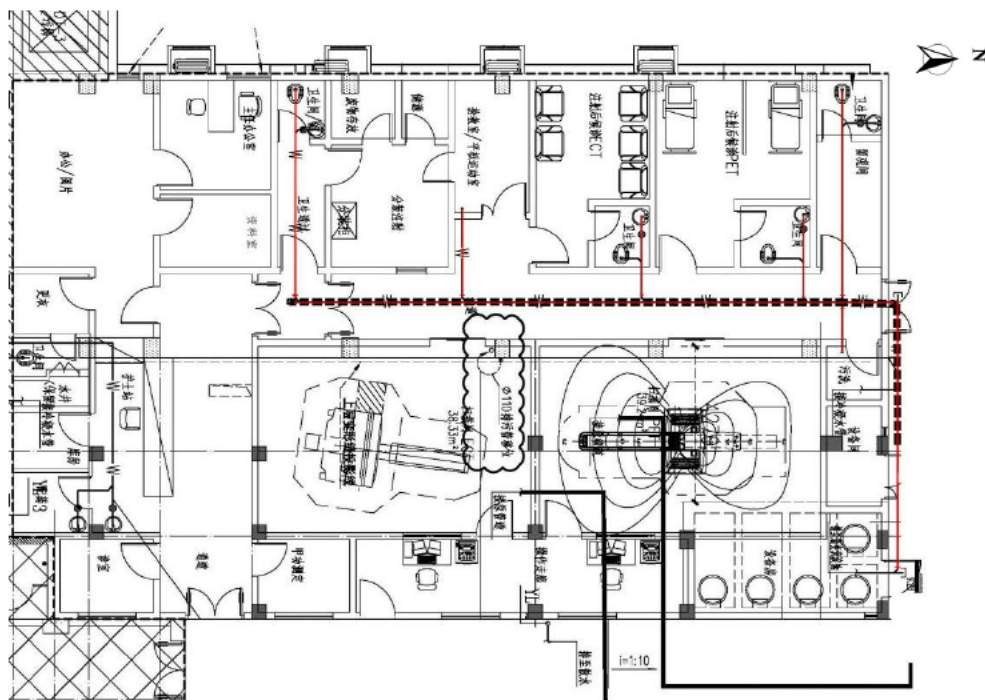


图 3-9 排水管道走向图

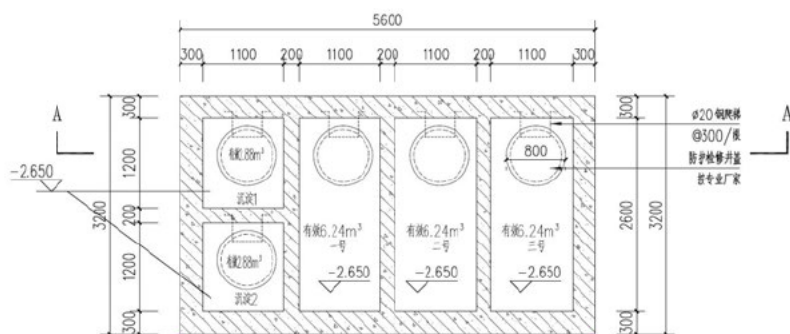


图 3-10 衰变池平面图

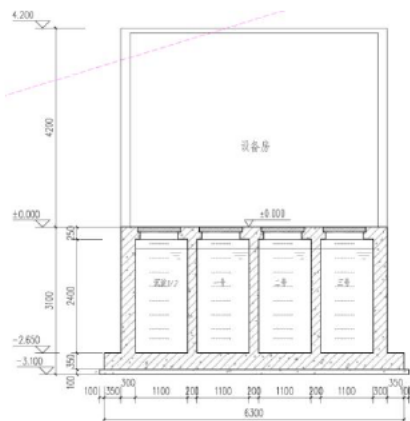


图 3-11 衰变池剖面图



图 3-12 衰变池现场图

①放射性废水排水管道

核医学科衰变池建设于核医学科东北角，核医学科下方，为避免人员误入，设置了单独的房间，建设单位已经将衰变池房间划定为监督区，衰变池划入控制区，详见图 3-1 所示。管道走向图见图 3-9。

因部分排水管道需要在核医学科外部区域，建设单位采取管沟顶建设使用 100mm 厚的 C30 混凝土回填的方式对该病人排水管道外部区域进行辐射屏蔽补偿。

②衰变池

本项目衰变池有 2 格沉渣池、3 格并联式衰变池，其中 2 格沉渣池有效容积均为 2.88m^3 （一用一备），3 格并联式衰变池有效容积均为 6.24m^3 （并联式衰变池总容积为 $6.24\text{m}^3 \times 3$ ），本验收项目实际建成的衰变池容积与环评阶段的设计方案一致。该衰变池设置防渗措施，防渗措施为在池壁靠内一侧设置二层防水砂浆防水层，抗渗等级为 P8，优于环评阶段设计的抗渗等级 P6，对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。对照《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），未导致不利影响加重，不属于重大变动。验收项目衰变池平面图见图 3-10，剖面

图见图 3-11，现场图见图 3-12。

本项目 3 个衰变池并联设计，交替贮存、衰变和排放废液，工作流程如下：两个沉渣池一用一备，且沉渣池定期清理，当沉渣池水位达到高液位时，抽水泵自动打开向衰变池抽水，到达低液位时抽水泵停止运行；首次运行时 1 号电磁阀打开向 1 号衰变池抽水，其余电磁阀关闭，1 号衰变池水位至高液位时 1 号电磁阀关闭，同时 2 号电磁阀打开向 2 号衰变池抽水，2 号衰变池水位至高液位时 2 号电磁阀关闭，同时 3 号电磁阀打开向 3 号衰变池抽水，当 3 号衰变池至高液位时排出 1 号池废水先排向医院污水处理站，之后同其他废水混合处理后再排向市政管网，并重新开始向 1 号池抽水，如此循环进行。衰变池工作原理与环评阶段一致，可保证衰变池自动控制的有效性。

该项目已按环评设计方案建设了相应容积的衰变池，根据环评文件的论证分析，该衰变池能满足按环评规划建成的终期项目正常运行时的放射性废水处理要求，放射性废水暂存时间为 34.6 个自然日，可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对槽式衰变池贮存方式：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放的要求。

由于目前本验收项目处于调试阶段，衰变池仍未有达到可排放的废水暂存量，因此本次验收项目未对衰变池的排放废水进行采样分析。建设单位将对放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

3.7.3 放射性固废

核医学科的固体废物主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、棉签、滤纸、手套等，核医学科废气处理系统定期更换的活性炭吸附装置也应作为放射性固体废物管理，这些放射性固体废物按污染水平及暂存时间进行分类收集。

根据环评文件分析，核素诊断项目全年产生放射性固废量 300kg，甲亢和甲功测定全年产生放射性固废量 50kg，骨转移癌治疗全年产生放射性固废量 2kg。核素诊断项目含 ^{18}F ， ^{68}Ga ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 三种核素的放射性废物一起暂存 30 天，含 ^{131}I 核素的放射性废物暂存 180 天， ^{89}Sr ， ^{223}Ra 核素的放射性废物一起暂存 505 天后，经监测辐射剂量率达到所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，并进行台账记录，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、废物去向等，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

环评阶段核医学科规划配备 11 个脚踏式放射性废物桶，其中利旧 6 个，新增 5 个。由于核医学科未使用 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 核素开展相应的放射诊疗项目，因此本验收项目仅新增 1 个脚踏式放射性废物桶，利旧 6 个脚踏式放射性废物桶，便可满足首期验收项目要求。其中，在留观室设置 2 个脚踏式放射性废物桶，其他区域包括注射室、平板运动室、PET/CT 候诊室、PET/CT 机房等，各设 1 个脚踏式放射性废物桶，合计放置 6 个脚踏式放射性废物桶，并留有 1 个脚踏式放射性废物桶作为备用。废物间内配备废物箱，建设单位会定期将放射性废物转存至废物箱中，其中核素诊断固废为每三周封包一次，预计每包重量为 $300\text{kg}/50\times 3=18\text{kg}$ ；对于骨转移癌治疗产生的固废单独进行收集，固废量达到 1kg 后进行封存。建设单位配备的放射性固废暂存箱容量可满足其固废日常收集用。建设单位配备专用的尖锐物收集铅箱，对于尖锐（如针头）物品将按照核素种类和暂存时间进行单独收集和暂存。

根据建设单位工作安排，PET/CT 诊断在同一时间段内进行，骨转移癌治疗在同一时间段进行。对于分装注射室，每次在开展下个项目时，均会对分装注射室内的放射性废物进行整理和收集至废物暂存间后再开展，以便于不同暂存时间的放射性废物分类存放。因此，不会出现不同类型核素诊断/治疗的放射性固体废物混放的情况。由于核医学科目前未使用放射性核素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像诊断和使用放射性 ^{131}I 开展甲亢测定和甲亢治疗，只涉及使用核素诊断和涉及骨转移癌治疗，因此在留观室设置了 2 个脚踏式放射性废物桶。废物桶分别贴有核素诊断、骨转移癌治疗的标签，以便于对放射性固体废物进行分类管理。对于其他房间，仅涉及单一核素，所以不再对放射性废物桶进行区分。建设单位放射性废物桶设置合理。

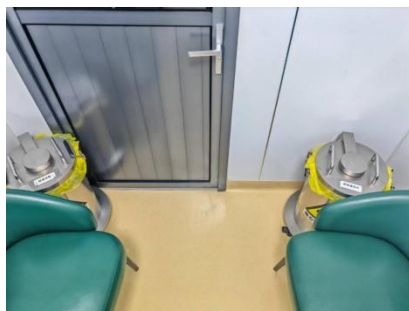


图 3-13 留观室内脚踏式放射性废物桶

建设单位现有固废收集箱容积可满足建设单位放射性固废收集流转需要。固废收集完成后，将进行封包，放入设置的放射性固废暂存间进行暂存。暂存时，在封包张贴标签进行记录，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、废物预计暂存截止日期。

核医学科的工作场所设置废物间，废物间紧邻注射室，可方便的对已收集的固废进行暂存和封包。废物间设有动力排风系统，采取了适当屏蔽措施，防护门设置门锁，以防止丢失；防护门上设置电离辐射警告标志，并根据消防要求设置防火措施。废物间内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

^{68}Ge 校准源属于密封放射源，放射源报废后拟由放射源供应单位回收或送交至广东省城市放射性废物库贮存；核医学工作场所废气排放口更换下来的废活性炭吸附装置按放射性固体废物处理，按照不少于 505 天进行暂存。

综上所述，本项目放射性固体废物收集和贮存措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

3.8 辐射安全管理情况

3.8.1 辐射安全与管理机构

建设单位已开展核技术项目工作多年，为做好医院辐射防护管理工作，已成立了辐射安全和防护管理委员会，并明确了辐射防护管理委员会的成员名单和主要职责。医院已经将本次验收项目纳入辐射防护管理委员会进行管理。辐射防护管理委员会的成员名单如下，辐射安全与环境管理机构的实际情况与环评规划一致。

主 任：秦大江

委 员：张帆、周瑛、王江、欧阳石、杨沈雷、邓茂发、申路、关玉宝、赵年章、石兴源、徐桂彬、陈为坚、卢才义、曲红光、张斌、杨孔宾、田应海、黄美兴、孙妍、赵荣。

辐射安全和防护管理委员会下设办公室，日常工作由设备科负责，办公室主任由申路兼任，秘书由喻明晰担任。

3.8.2 规章制度

医院已经制定了各项规章制度，包括《辐射事故应急预案》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射监测制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《台账管理制度》等。另外各科室也针对各设备制定了设

备操作规程，根据各科室开展放射诊疗工作内容制定了相关管理制度。

建设单位核医学科项目还制定了《放射性药品的采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》、《核医学科辐射安全防护管理制度》、《核医学科放射性废物管理制度》、《放射性药物操作规程》、《放射源管理制度》、《安全管理制度》。

医院已经将规章制度张贴在控制室的墙面上。规章制度的实际情况与环评阶段的规划一致。

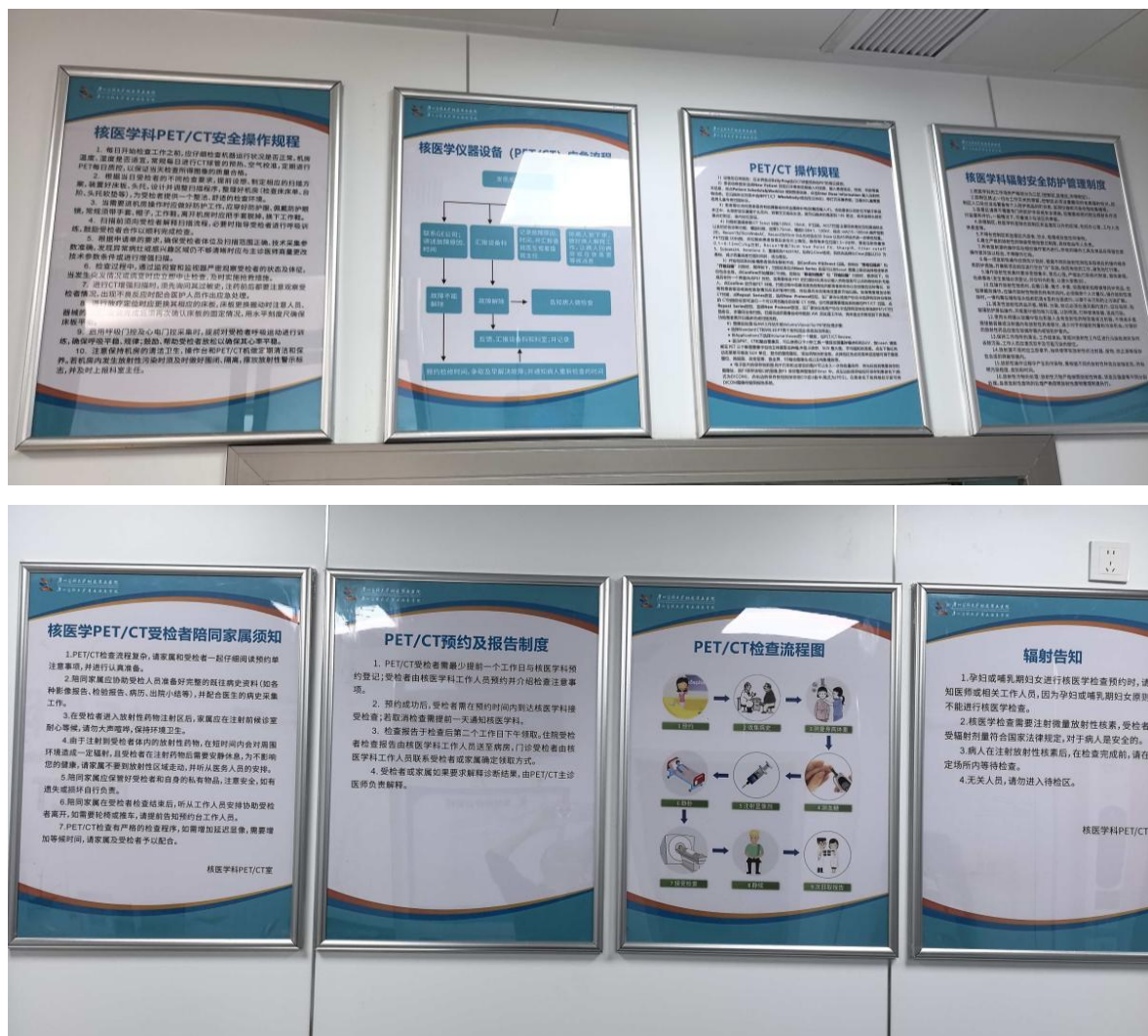


图 3-14 规章制度上墙图

3.8.3 辐射工作人员培训

建设单位为本项目配备了 6 名辐射工作人员，均已按要求参加并通过了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，辐射安全与防护培训合格证书见附件 3。辐射工作人员培训的实际情况与环评阶段的规划一致。

3.8.4 辐射工作人员个人剂量监测

本次验收项目的辐射工作人员，均配备了个人剂量计，个人剂量计每季度送往广东省职业病防治院进行检测。医院已建立了辐射工作人员的个人剂量管理档案并终身保存，由专人负责。辐射工作人员个人剂量监测的实际情况与环评阶段的规划一致。

3.8.5 监测设备

核医学科配备了 2 台表面污染仪，1 台便携式 X- γ 巡测仪，实际配备数量与环评规划一致，满足要求。

表 3-7 核医学科已配置的监测仪器信息

序号	仪器名称	型号	厂家	出厂编号	检验/检定有效期
1	α 、 β 表面污染仪	IA-V2	IMI	I09311	2026 年 9 月 18 日
				I09312	
2	便携式 X- γ 巡测仪	NT6101-D	上海明核仪器有限公司	01D22004	2026 年 9 月 16 日

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

4.1 环境影响报告表中的辐射安全与防护设施/措施的落实情况

本次验收项目对核医学工作场所（属于乙级非密封放射性物质工作场所）建设 1 间 PET/CT 机房及辅助功能用房，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（配备 2 枚 ^{68}Ge 校准源），使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断与使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 开展骨转移癌治疗项目进行验收。

本次验收项目为部分验收，辐射安全与防护设施/措施仅针对与本次验收项目相关的。后续建设单位拟使用未验收的核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 开展相应的放射诊疗项目，应单独组织验收，核实各项辐射安全与防护设施/措施。

核医学科工作场所中建设了 1 个分装柜和 1 个注射窗，可满足首期验收项目的核素注射需求；排水管道室外区域部分由环评阶段设计的 100mm 硫酸钡涂料回填，改用 100mm 厚的 C30 混凝土回填，排水管道室外区域部分地面上方周围剂量当量率小于限值要求；其余辐射屏蔽设施建设项目优于环评阶段设计方案。

因环评阶段设计方案的地埋式衰变池池线与原有建设基础存在冲突无法施工，所以实际建成的衰变池与设备间调换了位置，但其整体边界范围依然位于核医学科的东北角落，且衰变池为地埋式，调整前后衰变池都位于核医学科东北角的地下，衰变池防护检修井盖均位于设备房内，其余工作场所布局的实际情况与规划情况一致。

本次验收项目的辐射工作场所已分为控制区和监督区，进行了分区管理。本次验收项目的分区情况与规划情况一致。

本次验收项目进行了辐射防护施工，落实了辐射防护要求，配备了辐射防护用品。根据“表七验收监测”中内容可知，本次验收项目在正常运行时，周围剂量当量率和人员的年有效剂量，均可以满足本次验收提出的要求，辐射防护屏蔽设施的屏蔽效能可以满足验收要求。

4.2 其他在验收中需要考核的内容

通过验收监测，并根据监测结果进一步估算，辐射工作人员的年有效剂量低于 5mSv，公众的年有效剂量低于 0.1mSv。

本次验收项目的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。医院已按规定的程序申请并取得了辐射安全许可证。

表五 验收监测质量保证及质量控制

5.1 实施质量保证和控制措施方案

- ①监测前制定了详细的监测方案及实施细则；
- ②合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- ③监测工作在温度为-10~40℃，相对湿度<95%（35℃）的条件下开展；
- ④监测所用仪器已通过计量部门校准、检定合格，且在校准、检定有效使用期内使用。监测仪器与所测对象在频率、量程、响应时间等方面相符合，以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制，严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行；
- ⑤监测人员均参加过相关的电离辐射监测培训，均持证上岗；
- ⑥每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- ⑦现场监测严格按照规定的监测点位、方法、记录内容等进行，按照科学方法处理异常数据和监测数据；
- ⑧建立完整的文件资料。仪器校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查；
- ⑨监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。
- ⑩监测过程处于受控状态。

表六 环境监测内容

6.1 监测项目

建设单位：广州医科大学附属第五医院

项目地址：广州市黄埔区港湾路 621 号

检测因子：周围剂量当量率和 α 、 β 表面污染

检测对象：核医学科场所及周边场所。

6.2 监测点位

根据检测方法依据中的布点原则，验收监测在典型工况下进行测量，测量时先进行巡测确定剂量率水平相对较高的位置再记录最大值；布点考虑辐射源释放等因素，重点关注人员长时间驻留以及防护薄弱位置。

结合现场实际情况，检测布点见表 6-1 和表 6-2，布点图见图 6-1~图 6-8。

表 6-1 周围剂量当量率检测布点

序号	检测点位位置	序号	检测点位位置
A1	分装柜正面外 30cm 处	H5	PET/CT 机房南墙外 30cm 处 (SPECT/CT 机房)
A2	分装柜操作孔（关闭）外 30cm 处	H6	PET/CT 机房大门右门缝 30cm 处
	分装柜操作孔（打开）外 30cm 处	H7	PET/CT 机房大门中部外 30cm 处
	分装柜操作孔（打开）外 5cm 处	H8	PET/CT 机房大门左门缝 30cm 处
B1	储源室北墙外 30cm 处（平板运动抢救室）	H9	PET/CT 机房大门下门缝 30cm 处
B2	储源室门外 30cm 处(分装注射室)	H10	PET/CT 机房大门上门缝 30cm 处
B3	放射源存储箱外 5cm 处	H11	PET/CT 机房西墙外 30cm 处(走廊)
B4	校准源储存铅罐外 5cm 处	H12	PET/CT 机房北墙外 30cm 处（污洗间）
C1	废物间门外 30cm 处(分装注射室)	H13	PET/CT 机房北墙外 30cm 处（设备间）
C2	废物桶表面外 30cm 处	H14	PET/CT 机房东墙外 30cm 处（设备房）
D1	分装室南门外 30cm 处（缓冲通道）	I1	衰变池 1 正上方 30cm
D2	分装室南墙外 30cm 处（缓冲通道）	I2	衰变池 2 正上方 30cm
D3	分装室东墙外 30cm 处（走廊）	I3	衰变池 3 正上方 30cm
D4	注射窗口外 30cm 处（走廊）	I4	沉淀池 1 正上方 30cm

D5	分装室外北墙外 30cm 处（走廊）	I5	沉淀池 2 正上方 30cm
D6	分装室北门外 30cm 处（平板抢救室）	I6	核医学科护士台
D7	缓冲通道上一层（扩增分析室）	I7	核医学科候诊区
D8	分装注射室上一层（产物分析室）	I8	核医学科办公室 1
D9	平板抢救室上一层（标本制备室）	I9	核医学科资料室
D10	辐射区走廊上一层（检验科走廊）	I10	核医学科办公室 2
E1	注射窗口外 30cm 处（分装注射室）	I11	缓冲通道上一层（扩增分析室）
E2	走廊南门外 30cm 处（走廊）	I12	分装注射室上一层（产物分析室）
F1	PET/CT 注射后候诊室门外 30cm 处（走廊）	I13	平板抢救室上一层（标本制备室）
F2	PET/CT 注射后候诊室东墙外 30cm 处（走廊）	I14	SPECT/CT 注射后候诊室上一层（标本制备室）
F3	PET/CT 注射后候诊室北墙外 30cm 处（留观室）	I15	PET/CT 注射后候诊室上一层（试剂准备室）
F4	PET/CT 注射后候诊室南墙外 30cm 处 （SPECT/CT 注射后候诊室）	I16	PET/CT 注射后候诊室上一层（HIV 初筛室）
F5	PET/CT 注射后候诊室西墙外 30cm 处（室外通道）	I17	PET/CT 注射后候诊室上一层（楼上缓冲间）
F6	排水管道室外区域地面上方 30cm 处	I18	辐射区走廊上一层（检验科走廊）
F7	SPECT/CT 注射后候诊室上一层（标本制备室）	I19	核医学科北侧通道中央
F8	PET/CT 注射后候诊室上一层（试剂准备室）	I20	住院楼一楼大厅中央
F9	PET/CT 注射后候诊室上一层（HIV 初筛室）	I21	住院楼二楼手工免疫区中央
F10	PET/CT 注射后候诊室上一层（楼上缓冲间）	I22	急诊楼一楼楼梯间中央
F11	辐射区走廊上一层（检验科走廊）	I23	急诊楼二楼楼梯间中央
G1	留观室西墙外 30cm 处（室外通道）	I24	急诊楼一楼大厅中央
G2	留观室北墙外 30cm 处（室外通道）	I25	临床综合楼一楼大厅中央
G3	走廊北门外 30cm 处（室外通道）	I26	临床综合楼一楼缴费处中央
H1	PET/CT 机房控制室防护门外 30cm 处（操作室）	I27	临床综合楼西侧道路中央
H2	PET/CT 机房观察窗外 30cm 处（操作室）	I28	住院楼急诊楼道路中央
H3	PET/CT 操作位	I29	急诊楼北侧道路中央
H4	PET/CT 机房线缆口外 30cm 处（操作室）	I30	医院大门外港湾路中央

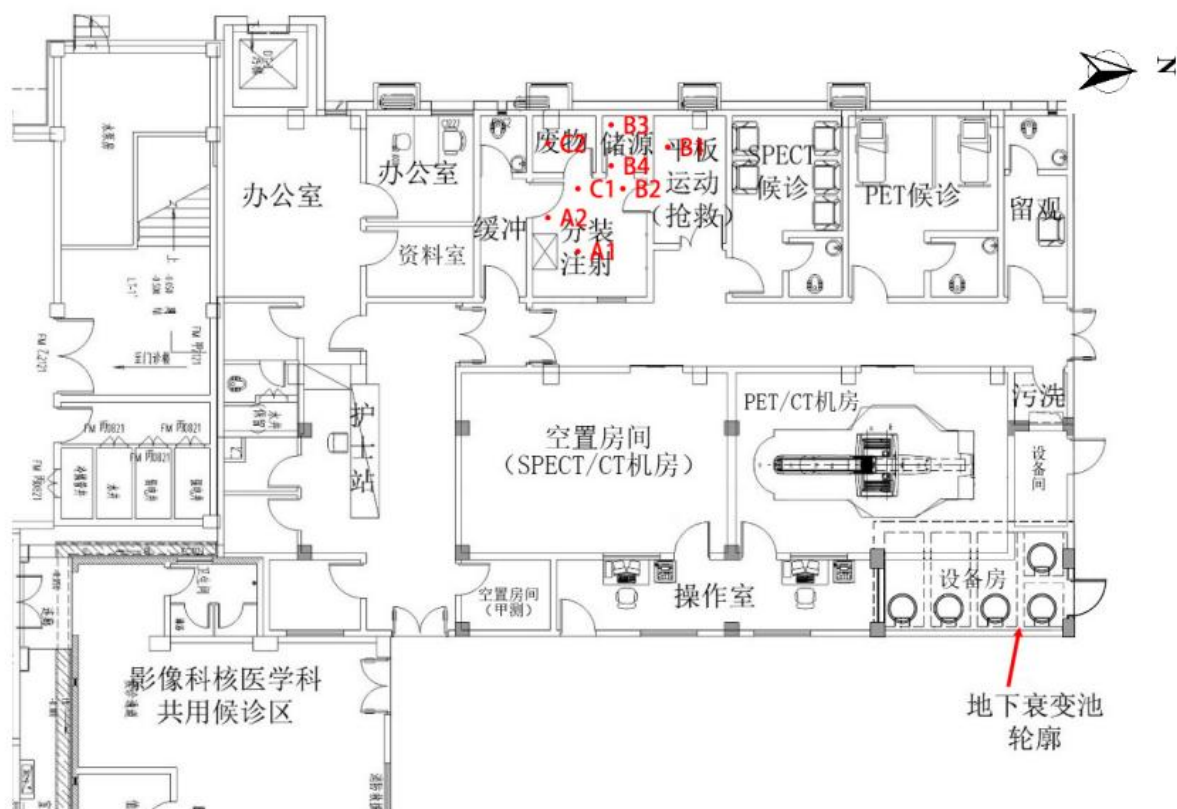


图 6-1 周围剂量率检测布点图

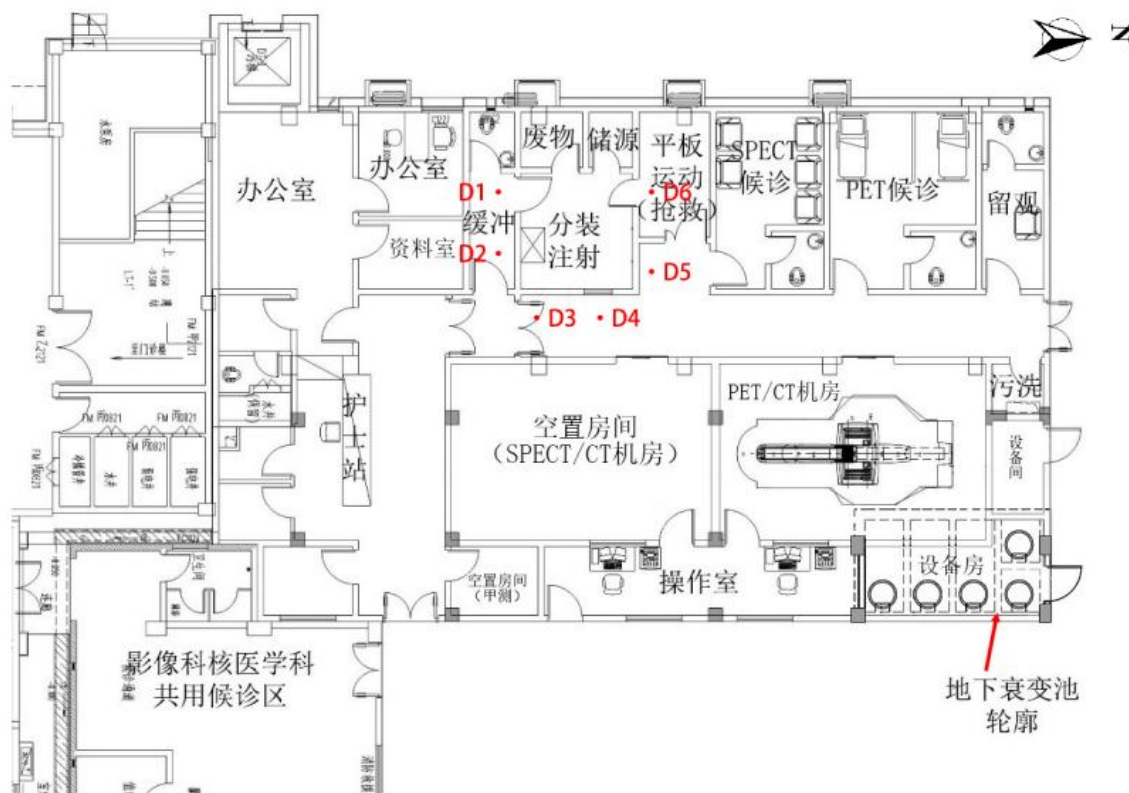


图 6-2 周围剂量当量率检测布点图

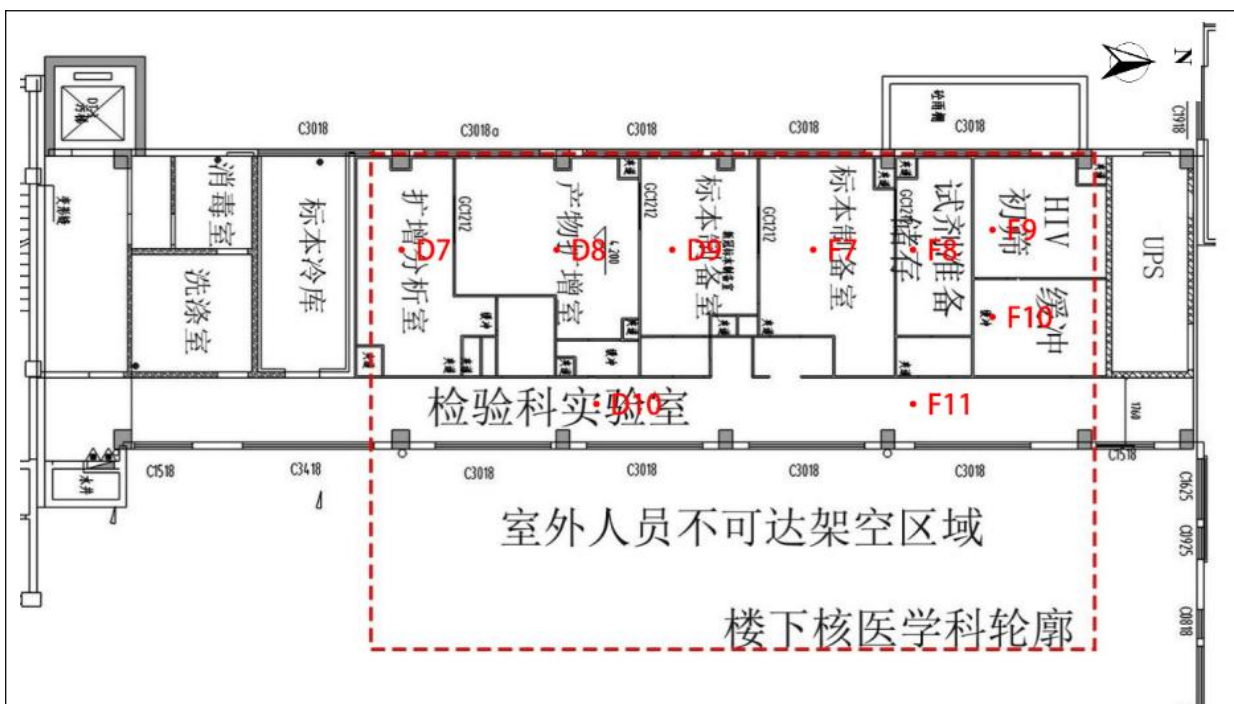


图 6-3 周围剂量当量率检测布点图

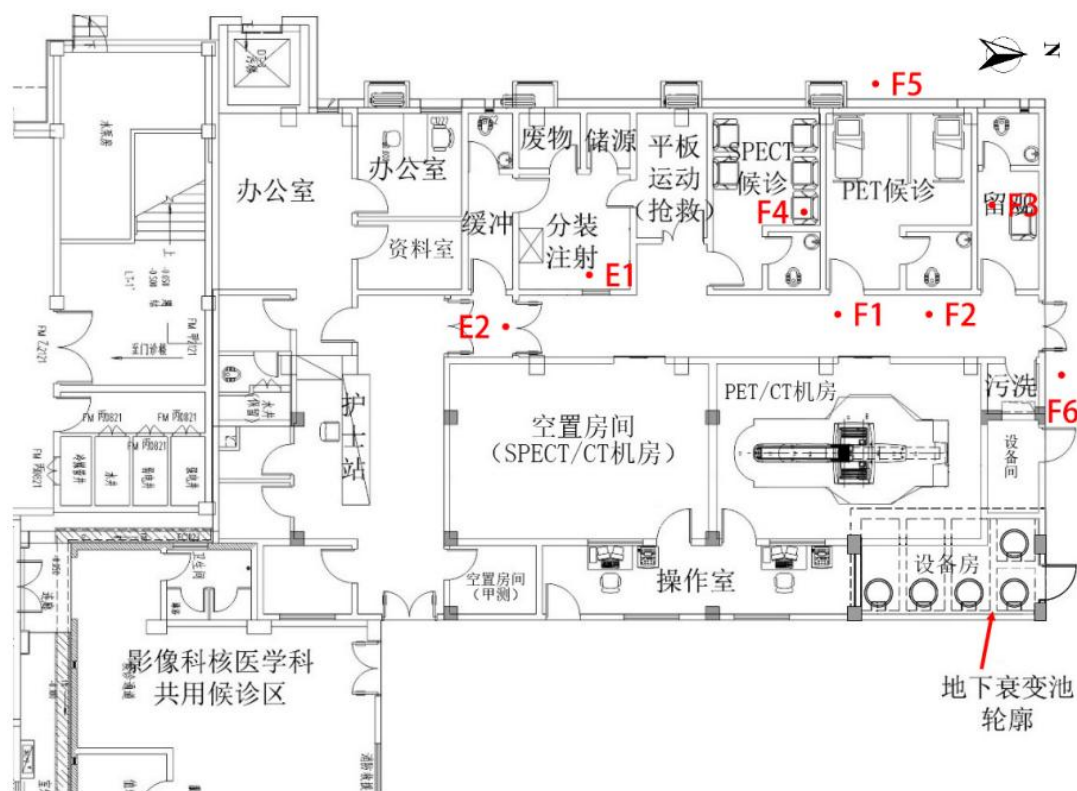
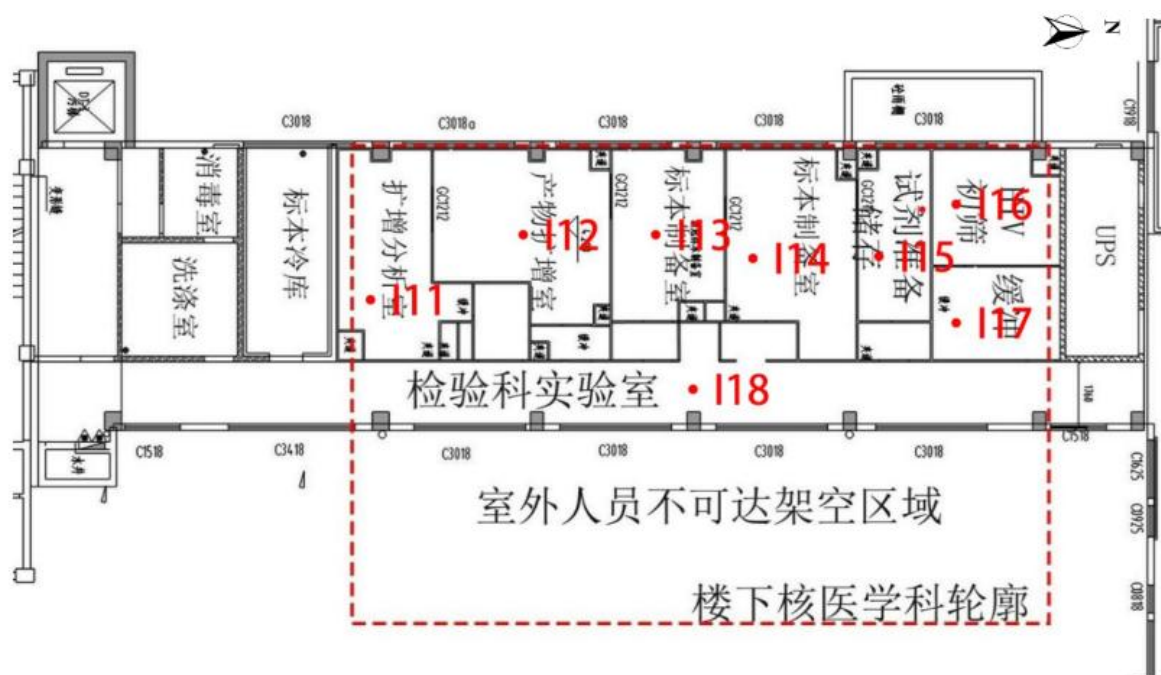
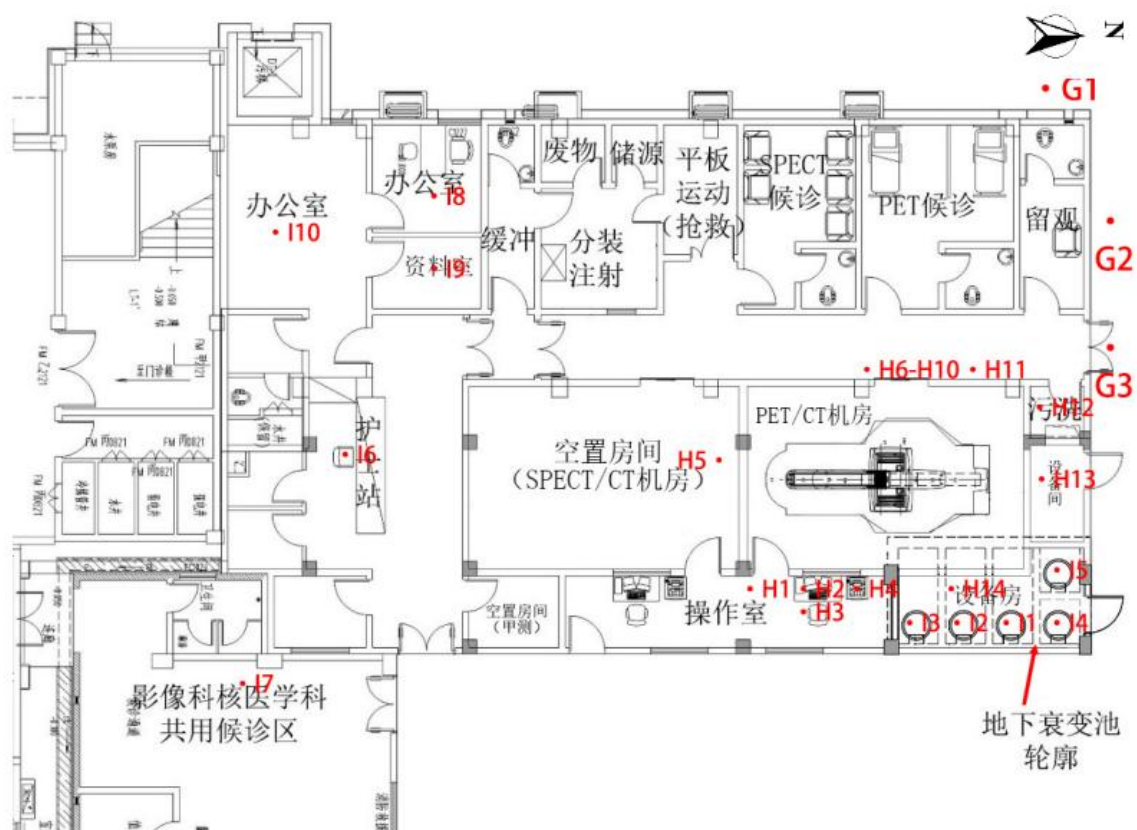


图 6-4 周围剂量当量率检测布点图



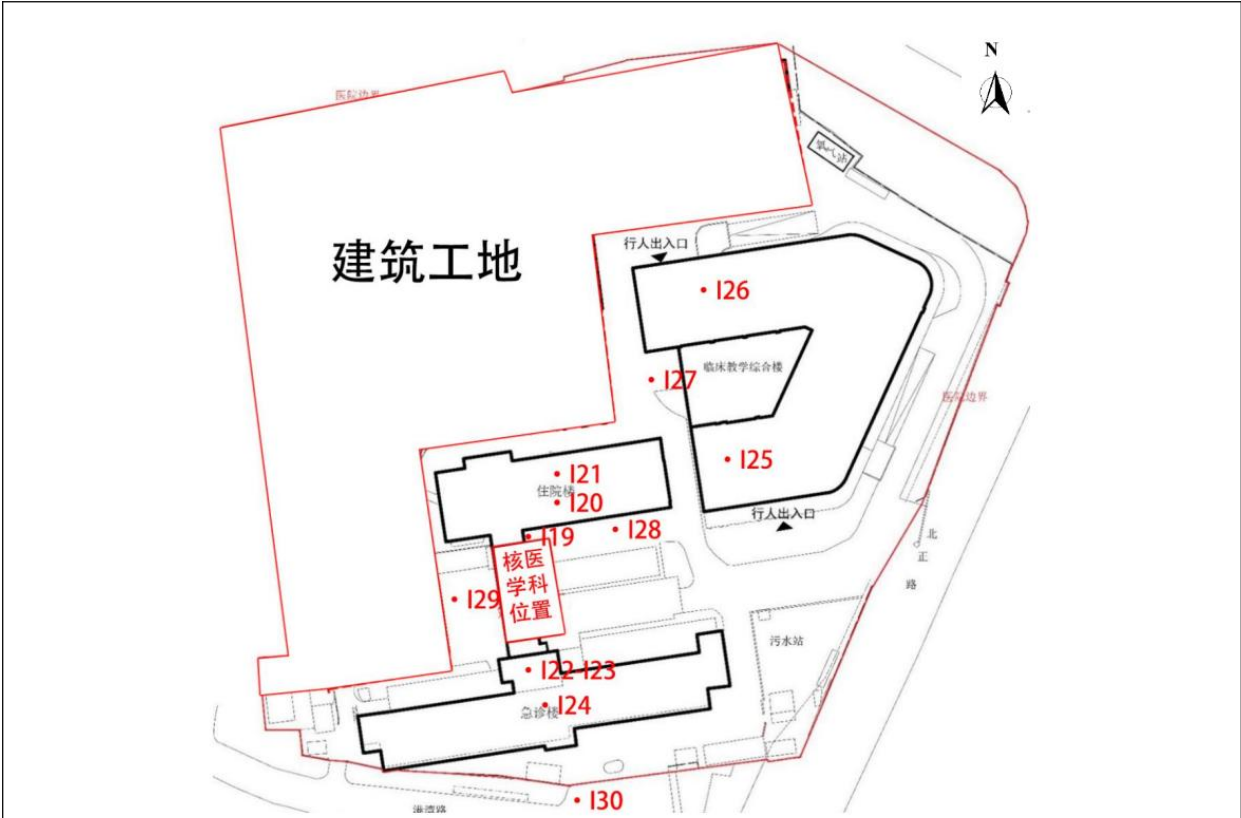


图 6-7 周围剂量当量率检测布点图

表 6-2 α 、 β 表面污染检测布点

序号	检测点位位置	序号	检测点位位置
J1	分装注射室地面	J10	PET/CT 注射后候诊室地面
J2	分装柜操作孔表面	J11	PET/CT 注射后候诊室床
J3	分装柜表面	J12	PET/CT 注射后候诊室卫生间地面
J4	注射窗口表面	J13	PET/CT 机房地面
J5	抢救室地面	J14	PET/CT 机房诊断床
J6	注射窗口座位	J15	PET/CT 机房控制台表面
J7	走廊地面	J16	操作室地面
J8	留观室地面	J17	污洗间地面
J9	留观室座位	J18	设备房地面

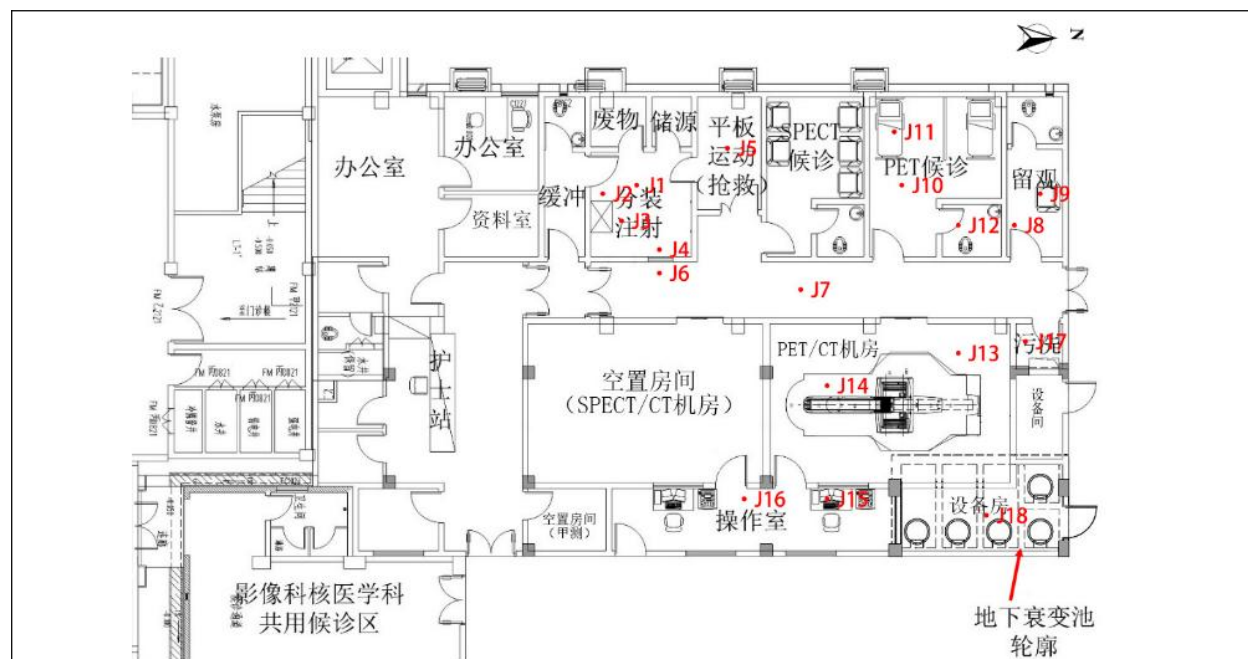


图 6-8 α 、 β 表面污染检测布点图

6.3 监测仪器

现场监测使用的仪器主要技术参数见表 6-3 和表 6-4。

表 6-3 周围剂量当量率现场监测使用的仪器主要技术参数

仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪	仪器型号	6150AD 6/H+6150AD-b/H
生产厂家	AUTOMESS	仪器编号	171412（主机）+176695（探头）
测量范围	1nSv/h~99.9 μ Sv/h	能量范围	38keV~7MeV
检定单位	中国计量科学研究院	证书编号	DLjl2026-06151
检定日期	2026 年 05 月 18 日	有效期	1 年

表 6-4 α 、 β 表面污染现场监测使用的仪器主要参数

仪器名称	α 、 β 表面污染仪	仪器型号	CoMo-170
生产厂家	NUVIA	仪器编号	12271
测量范围	α : 0~999999cps; β : 0~999999cps		
检定单位	广东省辐射剂量计量 检定站	证书编号	GRD1-20260103
检定日期	2026 年 05 月 08 日	有效期	1 年

6.4 监测分析方法

本次验收的检测方法和评价依据有《表面污染测定第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

表七 验收监测

7.1 验收期间的运行工况

在确保主体工程工况稳定、辐射安全与防护设施建成并运行正常的情况下，本项目进行了验收监测，选取了典型工况并进行了如实记录。

建设单位于 2026 年 5 月 27 日取得辐射安全许可证，至调试阶段只使用核素 ^{18}F 进行测试。本验收项目共使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 四种核素。其中， ^{18}F 、 ^{68}Ga 属于 β^+ 衰变正电子核素，衰变后发生湮灭反应产生 0.511MeV 成对 γ 光子， γ 射线穿透能力强； ^{89}Sr 是一种亲骨性放射性核素，发射最大能量为 1.463MeV 的 β 射线， β 射线穿透能力弱，组织内最大射程约 8mm； ^{223}Ra 主要发射 α 射线（能量范围 5.0-7.5MeV），并伴随发射 β 射线和 γ 射线， α 射线在生物组织中的射程极短（ $<100\mu\text{m}$ ），外照射贡献极小。上述四种核素中， ^{89}Sr 的 β 射线和 ^{223}Ra 的 α 射线穿透能力弱，外照射贡献可忽略； ^{18}F 、 ^{68}Ga 产生的 γ 射线穿透能力强，是外照射的主要贡献来源。

^{18}F 裸源 1m 处的周围剂量当量率常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ， ^{68}Ga 裸源 1m 处的周围剂量当量率常数为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。本验收项目 ^{18}F 和 ^{68}Ga 两种核素单人最大给药量均为 370MBq，为四种核素中单人给药量最多的核素。所以在相同施用量和相同距离条件下 ^{18}F 产生的周围剂量当量率比 ^{68}Ga 大。

综上，四种核素中 ^{18}F 的外照射贡献最显著，且在相同给药量下其周围剂量当量率最大。当使用 ^{18}F 辐射屏蔽满足要求时，对于同一房间涉及其他核素也可满足防护要求。本项目核医学科通过在时间上错开各核素的使用，不存在核素同时使用的情况。因此本次验收项目使用最具代表性的核素 ^{18}F 开展周围剂量当量率检测；待新核医学科完成 ^{18}F 配药、分装、注射和相关诊疗工作以及后续清洁后，再开展表面污染监测。本次 ^{18}F 配药、分装、注射和相关诊疗工作为建设单位内部模拟的测试，无病人参与。

7.2 验收监测结果

本项目核医学科的验收监测结果见表 7-1~表 7-2，检测结果均可以满足验收要求。

表 7-1 周围剂量当量率检测结果

测点 编号	测点位置	检测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）		检测工况
		平均值	标准差	
A1	分装柜正面外 30cm 处	0.124	0.002	约 370MBq 的 ^{18}F 置于铅罐里，铅罐放置在分装
A2	分装柜操作孔（关闭）外 30cm 处	0.135	0.002	

	分装柜操作孔（打开）外 30cm 处	0.298	0.003	柜内
	分装柜操作孔（打开）外 5cm 处	2.10	0.02	
B1	储源室北墙外 30cm 处（平板运动抢救室）	0.179	0.004	存储箱和储存铅罐各存有 1 枚校准源，存储箱和储存铅罐均存于储源室中
B2	储源室门外 30cm 处(分装注射室)	0.224	0.003	
B3	放射源存储箱外 5cm 处	3.21	0.03	
B4	校准源储存铅罐外 5cm 处	1.25	0.02	
C1	废物间门外 30cm 处(分装注射室)	0.197	0.004	装有若干放射性固废的废物桶置于废物间内
C2	废物桶表面外 30cm 处	0.153	0.002	
D1	分装室南门外 30cm 处（缓冲通道）	0.781	0.003	分装注射室内放置约 370MBq 的 ^{18}F
D2	分装室南墙外 30cm 处（缓冲通道）	0.285	0.003	
D3	分装室东墙外 30cm 处（走廊）	0.473	0.004	
D4	注射窗口外 30cm 处（走廊）	0.313	0.002	
D5	分装室外北墙外 30cm 处（走廊）	0.574	0.003	
D6	分装室北门外 30cm 处（平板抢救室）	2.03	0.03	
D7	缓冲通道上一层（扩增分析室）	0.181	0.003	
D8	分装注射室上一层（产物分析室）	0.206	0.002	
D9	平板抢救室上一层（标本制备室）	0.198	0.003	
D10	辐射区走廊上一层（检验科走廊）	0.201	0.002	
E1	注射窗口外 30cm 处（分装注射室）	0.818	0.007	注射窗口放置约 370MBq 的 ^{18}F
E2	走廊南门外 30cm 处（走廊）	1.66	0.03	
F1	PET/CT 注射后候诊室门外 30cm 处（走廊）	0.419	0.003	PET/CT 注射后候诊室内放置约 605MBq 的 ^{18}F
F2	PET/CT 注射后候诊室东墙外 30cm 处(走廊)	0.210	0.003	
F3	PET/CT 注射后候诊室北墙外 30cm 处(留观室)	0.341	0.003	
F4	PET/CT 注射后候诊室南墙外 30cm 处（SPECT/CT 注射后候诊室）	1.67	0.03	
F5	PET/CT 注射后候诊室西墙外 30cm 处(室外通道)	0.352	0.005	
F6	排水管道室外区域地面上方 30cm 处	0.527	0.002	PET/CT 注射后候诊室往排水管道倒入约 370MBq 的 ^{18}F

F7	SPECT/CT 注射后候诊室上一层（标本制备室）	0.201	0.002	PET/CT 注射后候诊室内放置约 605MBq 的 ^{18}F
F8	PET/CT 注射后候诊室上一层（试剂准备室）	0.215	0.002	
F9	PET/CT 注射后候诊室上一层（HIV 初筛室）	0.223	0.006	
F10	PET/CT 注射后候诊室上一层（楼上缓冲间）	0.211	0.003	
F11	辐射区走廊上一层（检验科走廊）	0.196	0.002	
G1	留观室西墙外 30cm 处（室外通道）	0.432	0.008	留 观 室 内 放 置 约 344MBq 的 ^{18}F
G2	留观室北墙外 30cm 处（室外通道）	0.767	0.005	
G3	走廊北门外 30cm 处（室外通道）	1.25	0.03	
H1	PET/CT 机房控制室防护门外 30cm 处（操作室）	0.171	0.001	PET/CT 机房内放置约 260MBq 的 ^{18}F ，PET/CT 以 140kV, 250mAs, 7.5s 出束扫描
H2	PET/CT 机房观察窗外 30cm 处（操作室）	0.181	0.002	
H3	PET/CT 操作位	0.201	0.003	
H4	PET/CT 机房线缆口外 30cm 处（操作室）	0.188	0.003	
H5	PET/CT 机房南墙外 30cm 处（SPECT/CT 机房）	0.156	0.002	
H6	PET/CT 机房大门右门缝 30cm 处	0.179	0.001	
H7	PET/CT 机房大门中部外 30cm 处	0.163	0.002	
H8	PET/CT 机房大门左门缝 30cm 处	0.164	0.002	
H9	PET/CT 机房大门下门缝 30cm 处	0.178	0.003	
H10	PET/CT 机房大门上门缝 30cm 处	0.176	0.005	
H11	PET/CT 机房西墙外 30cm 处（走廊）	0.210	0.001	
H12	PET/CT 机房北墙外 30cm 处（污洗间）	0.204	0.002	
H13	PET/CT 机房北墙外 30cm 处（设备间）	0.287	0.002	
H14	PET/CT 机房东墙外 30cm 处（设备房）	0.194	0.003	
I1	衰变池 1 正上方 30cm	0.180	0.002	核医学科内正常开展 PET/CT 诊断
I2	衰变池 2 正上方 30cm	0.169	0.002	
I3	衰变池 3 正上方 30cm	0.173	0.003	
I4	沉淀池 1 正上方 30cm	0.177	0.002	
I5	沉淀池 2 正上方 30cm	0.176	0.002	
I6	核医学科护士台	0.180	0.002	

I7	核医学科候诊区	0.204	0.001
I8	核医学科办公室 1	0.177	0.003
I9	核医学科资料室	0.178	0.002
I10	核医学科办公室 2	0.181	0.002
I11	缓冲通道上一层（扩增分析室）	0.183	0.002
I12	分装注射室上一层（产物分析室）	0.200	0.002
I13	平板抢救室上一层（标本制备室）	0.198	0.003
I14	SPECT/CT 注射后候诊室上一层（标本制备室）	0.197	0.001
I15	PET/CT 注射后候诊室上一层（试剂准备室）	0.206	0.002
I16	PET/CT 注射后候诊室上一层（HIV 初筛室）	0.192	0.002
I17	PET/CT 注射后候诊室上一层（楼上缓冲间）	0.196	0.002
I18	辐射区走廊上一层（检验科走廊）	0.194	0.001
I19	核医学科北侧通道中央	0.217	0.003
I20	住院楼一楼大厅中央	0.222	0.002
I21	住院楼二楼手工免疫区中央	0.210	0.002
I22	急诊楼一楼楼梯间中央	0.214	0.002
I23	急诊楼二楼楼梯间中央	0.227	0.003
I24	急诊楼一楼大厅中央	0.222	0.002
I25	临床综合楼一楼大厅中央	0.176	0.003
I26	临床综合楼一楼缴费处中央	0.182	0.003
I27	临床综合楼西侧道路中央	0.183	0.003
I28	住院楼急诊楼道路中央	0.175	0.002
I29	急诊楼北侧道路中央	0.198	0.004
I30	医院大门外港湾路中央	0.152	0.002

注：所有测量值均未扣除背景值和检测仪器对宇宙射线的响应值。

表 7-2 α 、 β 表面污染检测结果

测点编号	测量位置	α 表面污染 (Bq/cm ²)	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1	分装注射室地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
2	分装柜操作孔表面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
3	分装柜表面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$

4	注射窗口表面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
5	抢救室地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
6	注射窗口座位	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
7	走廊地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
8	留观室地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
9	留观室座位	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
10	PET/CT 注射后候诊室地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
11	PET/CT 注射后候诊室床	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
12	PET/CT 注射后候诊室卫生间地面	$<N_{\alpha}$	0.346
13	PET/CT 机房地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
14	PET/CT 机房诊断床	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
15	PET/CT 机房控制台表面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
16	操作室地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$
17	污洗间地面	$<N_{\alpha}$	0.207
18	设备房地面	$<N_{\alpha}$	$<N_{\beta}$

注：1、 α 表面污染探测限 $N_{\alpha}=0.004\text{Bq/cm}^2$ ， β 表面污染探测限 $N_{\beta}=0.05\text{Bq/cm}^2$ ；

2、采用直接测量法，测量仪器探头距检测面 5mm。

通过表 7-1 和表 7-2 可知，分装柜表面的周围剂量当量率为 $0.124\mu\text{Sv/h}\sim 2.10\mu\text{Sv/h}$ ，注射窗口的周围剂量当量率为 $0.313\mu\text{Sv/h}\sim 0.818\mu\text{Sv/h}$ ，满足本次验收要求：分装柜，注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；分装柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。放射性固废桶、排水管道和衰变池上方的周围剂量当量率为 $0.153\mu\text{Sv/h}\sim 0.527\mu\text{Sv/h}$ ，满足本次验收要求：固废存放垃圾桶，衰变池排水管，衰变池外 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。其他工作场所屏蔽体外的周围剂量当量率为 $0.156\mu\text{Sv/h}\sim 2.03\mu\text{Sv/h}$ ，满足本次验收要求：距核医学工作场所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应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

α 表面污染均未检出， β 表面污染大部分区域未检测出，检出的最大值为 0.346Bq/cm^2 ，均满足本次验收要求：控制区工作场所 α （极毒性）表面污染 $<4\text{Bq/cm}^2$ ， β 表面污染 $<40\text{Bq/cm}^2$ ；监督区工作场所 α （极毒性）表面污染 $<0.4\text{Bq/cm}^2$ ， β 表面污染 $<4\text{Bq/cm}^2$ 。本次 α 、 β 表面污染检测中 PET/CT 注射后候诊室卫生间地面和污洗间地面检测出 β 表面污染，经调查，该结果为清洁不彻底所致，建设单位后续已对这两处地面再次清洁。

7.3 人员受照剂量分析

根据环评阶段分析的辐射工作人员各操作环节的时间参数以及周围环境的代表性公众的受照时间参数，结合验收检测数据进行辐射工作人员和公众的受照剂量估算。其中分装、质控、注射和扫描等操作岗位都是经过辐射屏蔽体的防护，所以辐射工作人员直接以各操作环节的检测最大值作为工作岗位的周围剂量当量率进行计算；而核素转移和摆位基本是未经过屏蔽体而直接受到放射性核素的照射，因此引用环评文件中理论预测的周围剂量当量率作为计算参数；周围环境的公众则是采用场所中有辐射源时和无辐射源时的不同检测结果差值作为对应点位的周围剂量当量率进行计算，具体的相关参数和计算结果详见表 7-3。

表 7-3 人员受照剂量估算

人员性质	操作环节	验收检测结果/环评预 测结果（μSv/h）	时间参数	年有效剂量 （mSv）	
辐射工作人员 （护士）	分装、质控	2.10	60s×30 人×250d	0.263	1.415
	核素转移	26.4	20s×30 人×250d	1.101	
	注射	0.818	30s×30 人×250d	0.051	
辐射工作人员 （技师）	摆位	28.2	1min×750 人	0.353	0.730
	扫描	0.201	15min×7500 人	0.377	
上一层公众	——	0.223-0.192=0.031	8h×5d×50 周	0.062	
四周环境公众	——	1.25-0.217=1.033	8h×5d×50 周×1/32	0.065	

通过验收监测结果进一步估算可知，本项目辐射工作人员最大年有效剂量为 1.415mSv/a，公众最大年有效剂量为 0.065mSv/a，均满足本次验收标准：新核医学科工作场所辐射工作人员的职业年照射剂量约束值不超过 **5mSv**，公众的年照射剂量约束值不超过 **0.1mSv**。

表八 验收监测结论

8.1 验收内容

本次验收项目为易址迁建的新核医学科首期建成项目，具体内容包括已在 PET/CT 扫描机房安装了利旧的 PET/CT，配备 2 枚 ^{68}Ge 校准源，使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 正电子显像诊断，使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 开展骨转移癌治疗。新建核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

8.2 辐射环境监测结果

本次验收项目正常运行情况下，监测结果可以满足环境影响报告表及其审批部门审批决定。

8.3 辐射安全与防护设施落实情况

通过现场调查分析，本验收项目符合环评文件论证，不存在重大变动。该验收项目的实际辐射防护设施满足环境影响报告表中的相关防护设施的技术要求，不存在重大变动。

建设单位按照环评文件和环评批复对辐射安全管理方面的要求，设置了辐射安全与环境管理机构，制定了相应的辐射安全管理规章制度和辐射监测计划，落实了辐射工作人员的培训和个人剂量监测制度等环评要求。

8.4 项目运行期间的辐射影响

本项目在正常运行时，均可以满足本次验收提出的：新核医学科工作场所辐射工作人员的年照射剂量约束值不超过 5mSv ，公众的年照射剂量约束值不超过 0.1mSv 。项目运行期间对辐射工作人员和公众的辐射影响均满足验收执行标准。

8.5 结论

广州医科大学附属第五医院核医学科迁建项目（首期验收）落实了工程设计、环境影响报告表及其审批部门审批决定对本项目的环境保护要求，可以通过竣工环保验收。

本项目投入使用后，放射性三废的处理，需严格执行相关标准要求进行处理。后续核医学科拟使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素开展相应的放射诊疗项目，应单独组织验收，核实各项辐射防护措施；建设单位在首次使用核素 ^{223}Ra 时应进行监测，并将监测数据作为验收材料。