

核技术利用建设项目
新建核医学科项目
环境影响报告表

北京四惠中医医院有限责任公司

2026年5月

核技术利用建设项目
新建核医学科项目
环境影响报告表

建设单位名称：北京四惠中医医院有限责任公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号

邮政编码：100124

联系人：李小龙

电子邮箱：443807769@qq.com

联系电话：15311117097

表 1 项目基本情况

| | | | | | |
|-----------------|--------------|--|---|------------------------|-------------|
| 建设项目名称 | | 新建核医学科项目 | | | |
| 建设单位 | | 北京四惠中医医院有限责任公司 | | | |
| 法人代表 | 龙启浪 | 联系人 | 李小龙 | 联系电话 | 15311117097 |
| 注册地址 | | 北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号 | | | |
| 项目建设地点 | | 北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号北京四惠中医医院综合楼二期负一层西南部 | | | |
| 立项审批部门 | | / | | 批准文号 | / |
| 建设项目总投资 (万元) | 1600 | 项目环保投资 (万元) | 255 | 投资比例(环保 投资/总投资) | 15.9% |
| 项目性质 | | <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它 | | 占地面积 (m ²) | 432.3 |
| 应用 类型 | 放射源 | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 | | |
| | 非密封放 射性物质 | <input type="checkbox"/> 生产 | 制备 PET 用放射性药物 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | / | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙 | | |
| | 射线装置 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 | | |
| | 其它 | / | | | |

1.1 医院概况

北京四惠中医医院有限责任公司（以下简称“四惠中医院”）是注册地址为北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，营业执照见附件 1。北京四惠中医医院成立于 2016 年，是一家现代化二级中医医院，2022 年 12 月正式纳入北京市医疗保险定点医疗机构，是北京市中西医结合肿瘤会诊中心、北京市焦虑抑郁研究防治示范基地。

四惠中医院以“聚全国名医，为人民服务”的发展理念，汇聚了国医大师许润三、名老中医金哲、王素梅、金明等多位名医；以中国医学科学院肿瘤医院、中国医学科学院肿瘤医院、北京协和医院、中国中医科学院望京医院、中国中医科学院广安门医院、北京医院、北京中医药大学附属护国寺中医医院、北京中医药大学东直门医院等众多知

名三甲医院中西医专家，共同在诊疗服务、学术传承、技术推广、经验方转化等领域展开全面合作。四惠中医院以中西医结合治疗肿瘤为特色，是北京市中西医结合肿瘤会诊中心，专家资源较为丰富。目前，医院门诊专家 30 余位，其中国家级名中医和各学科带头人 10 余位，高级职称专家比例在 90%以上。四惠中医院全院建筑面积 11000 平方米，院内设有肿瘤科、微创介入科、中医内科、乳腺外科、中西医妇科、儿科、骨科、康复理疗科、针灸科、皮肤科、超声科、中西医眼科等 20 余个临床科室，开设床位 100 余张，住院医生团队、护理团队、医助团队、药剂团队和功能科室团队健全。

北京四惠中医医院位于北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院院区东侧为盛泰大厦，南侧和西侧均为菩提北路，北侧为惠河南街，四惠中医院地理位置见附图 1，医院院区平面布局和周边关系示意图见附图 2。

本项目四惠中医院计划新建 1 处核医学科工作场所，拟新增配备 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT 设备，使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核医学显像诊断工作。项目建设地点位于医院综合楼二期负一层的西南部区域。四惠中医院计划新成立“核医学科”，北京四惠中医医院的组织架构图见图 1.1。

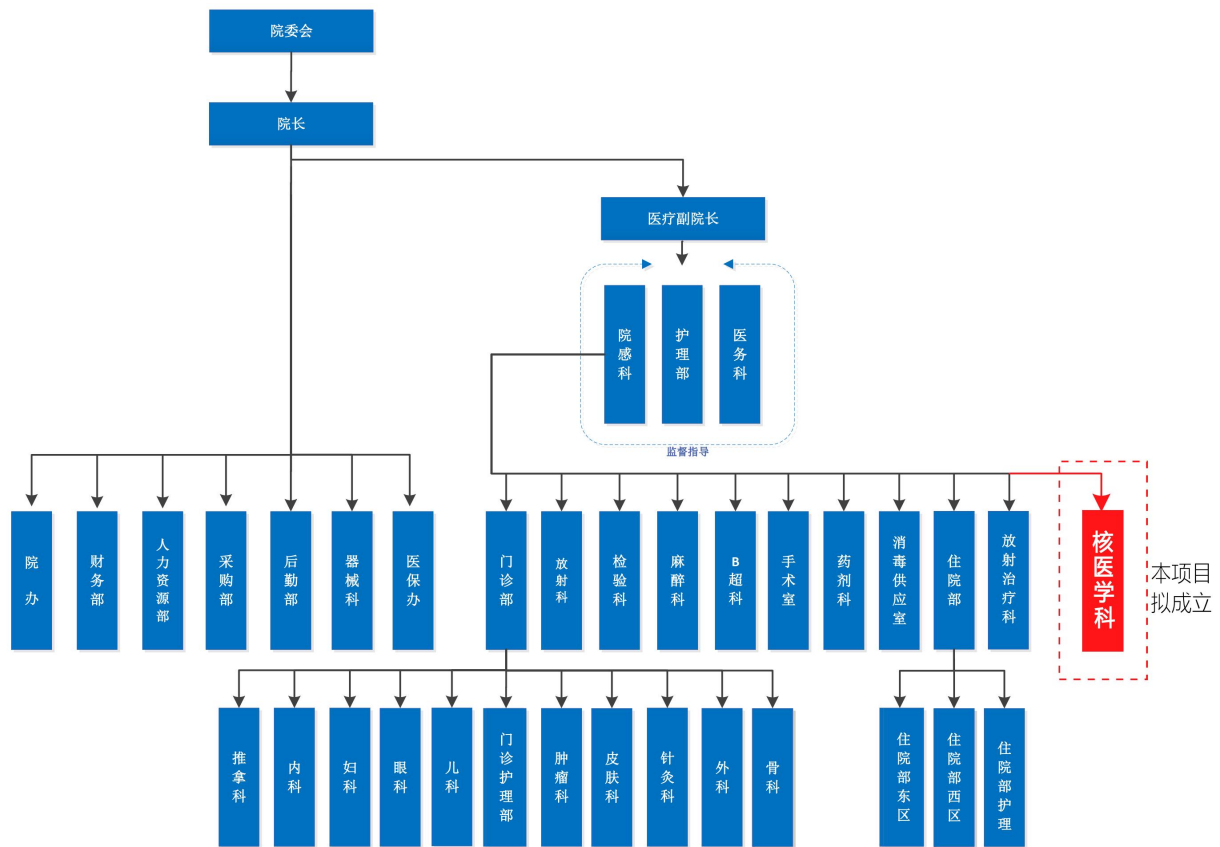


图 1.1 北京四惠中医医院组织架构图

1.2 核技术应用情况

北京四惠中医医院有限责任公司现持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[E0492]，有效期至2028年7月11日，见附件2），已许可种类和范围为：使用II类、III类射线装置。四惠中医院已获许可使用的射线装置见表1-1；

表 1-1 四惠中医院已许可使用的射线装置（III类 2 台）

| 序号 | 装置名称 | 类别 | 数量 | 规格型号 | 使用场所 | 活动种类 |
|----|---------------|-----|-----|-----------------|---------|------|
| 1 | 数字化 X 射线摄影系统 | III | 1 台 | uDR263e | DR 室 | 使用 |
| 2 | X 射线计算机体层摄影设备 | III | 1 台 | uCT520 | CT 室 | 使用 |
| 3 | 螺旋断层放射治疗系统 | II | 1 台 | Radixact X5 | TOMO 机房 | 使用 |
| 4 | 模拟定位 CT | III | 1 台 | Quantum CT Q576 | 模拟定位室 | 使用 |

1.3 医院近几年履行环保审批手续情况

四惠中医院严格遵守辐射安全法律法规要求办理环评审批、验收和辐射安全许可手续，四惠中医院已开展的辐射类建设项目情况见表1-2。

表 1-2 四惠中医院已开展的辐射类建设项目

| 序号 | 项目名称 | 批复文号（备案号） | 项目进展情况 | 项目内容 |
|----|---------------|--------------------|---------------------|-----------|
| 1 | 使用III类射线装置项目 | 202011010500004035 | 已建设完成，已获使用许可 | 2 台III类设备 |
| 2 | 放疗科新增模拟定位CT项目 | 202611010500006686 | 已建设完成，已获使用许可 | 1 台III类设备 |
| 3 | 新增使用II类射线装置项目 | 京环审[2025]5号 | 项目正在建设中，其中TOMO设备已登证 | 2 台II类设备 |

1.4 辐射安全管理情况

（一）辐射环境安全管理机构

为了保证射线装置的安全使用和有效管理，保障辐射工作人员的健康与安全，北京四惠中医院成立了辐射安全与防护管理小组。由法定代表人任组长，执行院长任副组长，成员包括医务科、放疗科、放射科、药械设备科、保卫科的负责人，由医院副院长康文博任辐射防护负责人，专职负责医院的辐射安全与防护管理工作。四惠中医院辐射安全与防护管理小组人员组成见表1-3。

表 1-3 北京四惠中医医院辐射安全与防护管理小组

| 人员类别 | 姓名 | 性别 | 职务或职称 | 工作部门 | 专/兼职 |
|------|-----|----|-------|------|------|
| 组长 | 龙启浪 | 男 | 法定代表人 | 院办 | 兼职 |

| | | | | | |
|---------|-----|---|------|-------|----|
| 副组长 | 郭建东 | 男 | 执行院长 | 院办 | 兼职 |
| 辐射防护负责人 | 康文博 | 男 | 副院长 | 院办 | 专职 |
| 成员 | 李明明 | 女 | 主任 | 医务科 | 兼职 |
| 成员 | 王朋 | 男 | 主任 | 放疗科 | 兼职 |
| 成员 | 李恒 | 男 | 医师 | 放射科 | 兼职 |
| 成员 | 孙洪微 | 男 | 科长 | 药械设备科 | 兼职 |
| 成员 | 刘国义 | 男 | 科长 | 保卫科 | 兼职 |

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

四惠中医院已根据辐射工作的实际情况，制定并印发了《北京四惠中医医院有限公司辐射安全与防护制度》（四惠办发[2025]010号，详见附件3），其中包括《辐射安全领导小组及其职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《射线装置检修维护制度》、《射线装置台账管理制度》、《辐射安全培训制度》、《辐射监测方案》、《III类射线装置操作规程》、《TOMO 操作规程》、《辐射事故（件）应急预案》等。各项辐射安全管理规章制度具有可操作性，均已得到有效落实，能够满足医院当前辐射安全与防护管理的要求。四惠中医院每年均对医院辐射工作的安全和防护状况进行总结评估，并编写年度评估报告，于每年1月31日前按时上报生态环境主管部门。

（三）辐射工作人员培训

四惠中医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员培训考核制度，四惠中医院现有17名辐射工作人员和1名专职辐射安全管理人员，上述人员均已通过辐射安全与防护考核，医院现有辐射工作人员基本情况见表1-4。

表 1-4 四惠中医院现有辐射工作人员基本情况

| 序号 | 姓名 | 性别 | 工作岗位 | 专业 | 考核日期 | 成绩单编号 |
|----|-----|----|------|--------|------------|---------------|
| 1 | 李思曼 | 女 | 放疗科 | 医学影像技术 | 2025-06-02 | FS25BJ0300094 |
| 2 | 张恒源 | 男 | 放疗科 | 放射治疗 | 2023-04-12 | FS23SX0200037 |
| 3 | 曹井丽 | 女 | 放疗科 | 临床医学 | 2021-12-24 | FS21BJ0200653 |
| 4 | 高扬 | 男 | 放疗科 | 核物理 | 2021-10-23 | FS21BJ0200466 |
| 5 | 朱春磊 | 女 | 放疗科 | 护理 | 2024-02-27 | FS24HE0300046 |
| 6 | 张雪 | 女 | 放疗科 | 护理学 | 2022-09-22 | FS22BJ0300393 |
| 7 | 王鲲鹏 | 男 | 放疗科 | 医学影像技术 | 2023-08-05 | FS23BJ0200590 |

| | | | | | | |
|----|-----|---|----------|--------|------------|---------------|
| 8 | 刘波 | 男 | 放疗科 | 放射治疗 | 2023-12-03 | FS23BJ0200843 |
| 9 | 王朋 | 男 | 放疗科 | 临床医学 | 2023-12-15 | FS23BJ0200856 |
| 10 | 吴素婷 | 女 | 放疗科 | 临床医学 | 2021-12-09 | FS21FJ0100764 |
| 11 | 李媛媛 | 女 | 放疗科 | 临床医学 | 2022-04-16 | FS22BJ0100421 |
| 12 | 刘桂梅 | 女 | 放疗科 | 临床医学 | 2021-08-02 | FS21BJ0200349 |
| 13 | 王庆胜 | 男 | 放疗科 | 临床医学 | 2024-05-09 | FS24BJ0300093 |
| 14 | 张允清 | 男 | 放疗科 | 放射治疗 | 2022-05-28 | FS22AH0200096 |
| 15 | 高志宏 | 女 | 放射科 CT 室 | 放射诊断 | 2023-02-20 | FS23BJ0100927 |
| 16 | 刘建利 | 男 | 放射科 | 医学影像技术 | 2023-02-09 | FS23BJ0100667 |
| 17 | 李恒 | 男 | 放射科 | 医学影像技术 | 2023-04-18 | FS23BJ0102424 |
| 18 | 康文博 | 男 | 辐射专职 | 放射诊断 | 2023-03-17 | FS23BJ0101781 |

（四）个人剂量监测和工作场所监测情况

（1）个人剂量监测

四惠中医院严格按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第55号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部18号令）的要求，建立了辐射工作人员个人剂量档案并终生保存。

四惠中医院目前已委托北京市朝阳区疾病预防控制中心开展个人剂量监测工作，所有辐射工作人员均配置了个人剂量计，监测频次为1次/季度。医院已安排专人负责个人剂量计收发、送检和个人剂量监测报告的存档工作，个人剂量档案齐全。

2025年度，医院共有5名辐射工作人员参与了个人剂量监测（另有13人为2026年新入职辐射工作人员，目前已参与2026年度的个人剂量监测），辐射工作人员的个人有效剂量最大为0.536mSv，个人剂量监测结果未见异常。医院2025年度个人剂量监测报告见附件4。

四惠中医院今后将继续加强放射工作人员个人剂量监测的管理，如果某位职业人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值1/4的，须对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；如果年度个人剂量监测结果高于剂量约束值，追查超标原因，将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

（2）工作场所环境辐射水平监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第18号）的要

求，四惠中医院每年委托有资质单位开展工作场所环境辐射水平监测，监测数据均记录存档。2025年4月，四惠中医院委托凯杰方大检测技术河北有限公司对医院CT室和DR室进行了环境辐射水平监测，检测结果均符合国家相关标准的要求。医院2025年度辐射工作场所监测报告见附件5。

（五）辐射监测仪器和防护用品配备情况

四惠中医院现配备有便携式巡检仪、固定式辐射监测仪、个人剂量报警仪等辐射监测设备，已为医护人员和受检者配备了必要的个人防护用品，详情见表1-5。

表 1-5 四惠中医院现有的辐射监测仪器和个人防护用品配备情况

| 序号 | 仪器名称 | 型号 | 购置日期 | 仪器状态 | 数量 | 备注 |
|--------|---------|---------|------------|------|----|----|
| 1 | 巡检仪 | GP-011W | 2026-01-04 | 正常 | 1 | - |
| 2 | 固定式剂量率仪 | RG-1097 | 2026-01-04 | 正常 | 1 | - |
| 3 | 个人剂量报警仪 | FJ3200 | 2026-01-04 | 正常 | 2 | - |
| 个人防护用品 | | | | | | |
| 名称 | 数量 | | 名称 | 数量 | | |
| 铅衣 | 4 | | 铅帽 | 10 | | |
| 铅手套 | 1 | | 铅眼镜 | 1 | | |
| 铅围裙 | 6 | | 铅围脖 | 11 | | |
| 铅屏风 | 1 | | 个人剂量计 | 17 | | |

（六）辐射应急措施

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条，原国家环境保护总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号）的规定，北京四惠中医医院有限责任公司制定了《辐射事故（件）应急预案》，医院自从事辐射工作以来，未发生过辐射应急情况。

射线装置失控可能导致人员受到超过年剂量限值的照射，甚至出现急性重度放射病、局部器官残疾等辐射事故，当发生辐射事故时，医院应立即启动应急预案并采取应急处置措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告，造成或怀疑造成人员超剂量照射的，还应向当地卫生行政部门报告。同时，须进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并作好详细的监测记录。

四惠中医院每年均定期开展辐射事故应急演练和应急培训，2025年度已开展了1次辐射事故应急演练，医院主要放射科室的主任和辐射工作人员均参加了应急演练。此次

应急演练进一步巩固了事故报告、应急预案启动、应急响应、应急处置措施、应急终止和恢复等流程，取得了预期效果。

1.6 本项目概况

1.6.1 项目背景

北京四惠中医医院以中西医结合治疗肿瘤为特色，是北京市中西医结合肿瘤会诊中心。北京市中西医结合肿瘤会诊中心是北京市中医管理局批准设立的，北京四惠中医医院作为建设单位，负责会诊中心的建设与管理。顺应国家政策导向与时代发展，北京四惠中医医院建设核医学科已成为一项必要且紧迫的自身战略任务。国家《核技术应用产业高质量发展三年行动方案（2024-2026年）》及《医用同位素中长期发展规划》等顶层设计，已将核医疗提升至产业发展与民生保障的重点领域，并明确了具体目标。我院已于2025年6月正式取得了北京市中医药管理局原则同意北京四惠中医医院增设核医学专业诊疗科目的批复，这不仅是响应国家战略号召的必然之举，更为项目建设提供了坚实的政策许可与行动依据。

从医院自身发展定位来看，核医学科将是提升肿瘤精准诊疗能力的核心引擎。作为“北京市中西医结合肿瘤会诊中心”建设单位，医院汇聚了大量肿瘤专家，致力于提供中西医结合诊疗服务。核医学凭借PET、SPECT等分子影像技术，能够从功能代谢层面实现肿瘤的极早期发现与精准分期，其“诊疗一体化”模式更能对疗效进行实时、可视化的评估，从而为整个肿瘤多学科综合治疗（MDT）体系提供精准导航和关键决策支持，彻底改变传统疗效评估的滞后局面。

尤为重要的是，核医学科的建设将成为推动中西医深度融合与创新的关键桥梁。现代核医学从分子层面揭示疾病本质，能与强调整体观和辨证论治的中医理念形成深层次互补。例如，通过SPECT/CT脑血流灌注显像等技术，可以客观、可视化地评估针刺或中药对脑功能的改善效果，用现代科学语言阐释中医疗效。同时，核医学的精准诊断信息能为中医辨证提供更微观的客观依据，辅助医生更精细地判断证型，实现“辨病”与“辨证”的更好结合，最终构建起“精准评估-中西医结合治疗-疗效监测”的闭环诊疗新模式。

立足于区域发展与医院未来，建设核医学科是满足重大民生需求、提升核心竞争力的战略支点。面对人口老龄化与肿瘤高发的现实，该项目能有效缓解区域内患者对高端精准医疗的迫切需求，让百姓就近享受前沿服务。它将与医院现有放疗科及战略合作资

源协同，形成“诊断-治疗”一体的完整肿瘤放射治疗体系，是对学科布局的关键补强。作为技术人才密集型平台，核医学科还将吸引和培养高端人才，带动全院科研与诊疗水平提升，塑造“中西医结合精准医疗”的独特品牌，为医院可持续发展注入强大动能。

1.6.2 项目基本情况

(1) 项目建设内容

本项目四惠中医院拟在综合楼二期负一层西南部的空置场地新建 1 处核医学科工作场所，拟使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核医学显像诊断工作，全部为外购药物。拟配套使用 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT 设备，PET/CT 设备为明峰医疗系统股份有限公司生产的 ScintCare PET/CT 720E 型（属 III 类射线装置），SPECT 设备为滨松光子医疗科技（廊坊）有限公司生产的 BHP6601 型（不属于射线装置），2 台设备均无需使用密封源进行校准。本项目核医学科工作场所拟配套建设 1 座槽式衰变池，衰变池位于场所南侧楼外的绿化带地下，总有效容积为 24m^3 （ $8\text{m}^3 \times 3$ 槽）。

(2) 放射性核素使用量

本项目拟使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，预计使用情况如下：

1) PET/CT 显像检查使用外购的 ^{18}F 药物，采用静脉注射，单名患者最大注射量不超过 $3.70 \times 10^8 \text{Bq/人}$ （ 10mCi/人 ），单日最多实施 PET/CT 检查 10 人次，年工作 250 天，年接诊量不超过 2500 人次；

2) SPECT 显像检查使用外购的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 成品针剂（厂家已按所需剂量分装完成，无需再次分装），采用静脉注射，单名患者最大注射量不超过 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （ 25mCi/人 ），单日最多实施 SPECT 检查 10 人次，年工作 250 天，年接诊量不超过 2500 人次；

本项目拟配套新增的 1 台 PET/CT 属于 III 类射线装置，场所设计阶段已考虑了射线装置机房的防护和空间尺寸要求，根据相关法律法规和标准要求，本项目将对其进行简单分析。根据生产厂家提供的设备技术文件，本项目 PET/CT 设备具备智能无源校准功能，不使用密封源进行质控校准。

本项目拟建核医学科的放射性核素和射线装置使用情况详见表 1-6。

表 1-6 本项目核医学科放射性核素和射线装置使用情况

| 一、拟使用放射性核素情况 | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|--------------|
| 核素种类 | 单人最大用量 (Bq) | 日最多检查 人数(人) | 年使用天数 (天) | 日最大操作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 备注 |
| ^{18}F | 3.70E+08 | 10 | 250 | 3.70E+09 | 9.25E+11 | 外购药物 静脉注射 |

| | | | | | | |
|-------------------|----------|----|-----|----------|----------|----------------|
| ^{99m}Tc | 9.25E+08 | 10 | 250 | 9.25E+09 | 2.31E+12 | 外购成品针剂 静脉注射 |
|-------------------|----------|----|-----|----------|----------|----------------|

注：各核素的日最大操作量和年最大用量均按单人最大注射量进行核算。

二、拟新增射线装置情况

| 设备名称 | 类别 | 数量（台） | 设备型号 | CT 球管参数 | 使用场所 | 设备厂家 |
|--------|-----|-------|--------------------------|-------------|----------------------------|---------------------------------|
| PET/CT | III | 1 | ScintCare PET/CT 720E | 140kV/300mA | 综合楼二期地下一层 核医学科 PET/CT 室 | 明峰医疗系统股份 有限公司 浙环辐证[D2246] |

(3) 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 进行本项目工作场所日等效最大操作量的核算。根据《关于明确核技术辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）的要求：医疗机构使用 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 的相关活动视为“很简单的操作”，相应的操作方式与状态的修正因子取 10（液体）。

本项目工作场所日等效最大操作量的核算详见表 1-7：

表 1-7 本项目核医学科场所日等效最大操作量核算表

| 核素名称 | 毒性分组 | 毒性组别修正因子 | 状态 | 操作方式 | 操作方式与状态修正因子 | 日最大操作量 (Bq) | 日等效最大操作量 (Bq) |
|------------------|------|----------|----|-------|-------------|-------------|---------------|
| ^{18}F | 低毒 | 0.01 | 液态 | 很简单操作 | 10 | 3.70E+09 | 3.70E+06 |
| | | | | 源的贮存* | 100 | 7.40E+09 | 7.40E+05 |
| ^{68}Ga | 低毒 | 0.01 | 液态 | 很简单操作 | 10 | 9.25E+09 | 9.25E+06 |
| 日等效最大操作量合计 | | | | | | | 1.37E+07（丙级） |

注： ^{18}F 的送药量约为最大使用量的 2 倍（ ^{18}F 药物的贮存量按日最大用量的 2 倍考虑）。

由表 1-7 的核算结果可知，本项目核医学科工作场所的日等效最大操作量为 1.37E+07Bq，小于丙级工作场所的上限（2.0E+07Bq），属于丙级非密封放射性物质工作场所。

1.6.2 项目由来

本项目为新建丙级非密封放射性物质工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》和《<建设项目环境影响评价分类管理名录>北京市实施细化规定（2022 年本）》的相关要求，本项目应当开展环境影响评价，编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019 年生态环境部部令第 9 号）的要求，核工业北京化工冶金研究院符合第九条第一款规定，不

属于该条第二款所列单位，无该条第三款所列情形，核工业北京化工冶金研究院有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受北京四惠中医医院有限责任公司委托，核工业北京化工冶金研究院组织技术人员对本项目进行了现场踏勘和辐射环境现状监测，收集相关技术资料，整理编制完成了本项目环境影响报告表。评价重点是核医学科工作场所运行期间产生的 γ 射线、 β 射线、X射线和放射性“三废”对职业人员、周围公众和环境所产生的辐射影响。

1.6.3 实践正当性分析

本项目是利用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核医学影像诊断工作，属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024年本）》的决定》，本项目属于鼓励类产业。根据《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022年版）》，本项目不属于禁止和限制类产业。因此，本项目符合国家和北京市目前的产业政策要求。

本项目拟使用的放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 是核医学影像诊断领域应用最广泛的两种核素，相关技术已经非常成熟。PET影像检查作为一种反映分子代谢的显像技术，当疾病还处于分子水平变化的早期阶段时，将标记有正电子核素的药物（如 ^{18}F -FDG）注射到人体内，再通过PET探测器探测这些正电子核素药物在人体内的分布情况，再结合CT扫描影像，即可观察到病灶的生理变化及形态特征，可实现各类疾病特别是肿瘤疾病的早期诊断，具有常规影像检查无法比拟的优势。SPECT影像检查是把标记有发射单光子核素的药物注射到人体内，药物在特定的器官或组织聚集并发射出 γ 射线，然后借助SPECT设备探测这些光子，即可观察到这些单光子核素药物在人体脏器内的分布情况，为相关疾病的诊断提供有价值的信息，SPECT显像在癌症骨转移、冠心病、肺动脉栓塞、急性脑梗塞、甲状腺癌的诊断和评价等方面，能够发挥不可替代的作用。

虽然本项目在运行期间产生的电离辐射和放射性“三废”会对周围人员和环境可能产生一定辐射影响，但是利用这些医学诊断技术，能够有针对性地开展各类疾病的早期诊断，所获得的利益远大于可能产生的辐射危害。四惠中医院将严格按照国家相关法律、法规和标准的要求对核医学科工作场所采取相应的辐射安全与防护措施，加强辐射安全管理工作。因此，本项目的建设和运行对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其带来的社会效益和经济利益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的原则与要求。

1.6.4 辐射工作人员配置

本项目核医学科拟配备 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT 设备，根据北京市卫生健康委员会《关于印发乙类大型医用设备配置许可管理实施细则的通知》（京卫药械[2019]10 号）和《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》，拟新增的 PET/CT 设备属于乙类大型医用设备，四惠中医院将按要求申请乙类大型医用设备配置许可证。本项目四惠中医院拟新成立“核医学科”，并计划新增配备 10 名辐射工作人员，其中包括具备相应资质的医师 4 名、技师 3 名、护士 2 名、物理师 1 名，核医学科所有辐射工作人员均不从事其他辐射工作。本项目核医学科辐射工作人员的配置情况见表 1-8。

表 1-8 本项目核医学科人员配置情况

| 《准入标准》要求 | 本项目人员配置计划 |
|---|--|
| 具有完整的专业人员构成：医师、技师、物理师和护士，其中医师应取得核医学或放射医学（医学影像）专业的执业医师资格；单台 PET/CT 设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名。 | 本项目拟新增配备具有相应资质的医师 4 名，拟新增配备 3 名技师、2 名护士和 1 名物理师。 |

本项目核医学科 10 名辐射工作人员的职责分工如下：

- 1) 4 名医师负责开展医疗照射正当性判断，为就诊患者开具检查单，负责阅片、影像诊断、诊断报告出具等工作；
- 2) 3 名技师轮流负责 PET/CT 设备和 SPECT 设备操作、患者摆位等工作；
- 3) 2 名护士轮流负责患者登记，药物交接、分装和注射，放射性三废管理，表面污染监测等工作；
- 4) 1 名物理师负责剂量测量与校准、设备的质量保证和质量控制、场所辐射安全与防护设施管理等工作。

1.6.5 项目选址与周围环境

北京四惠中医医院位于北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院院区东侧为楼外道路和盛泰大厦，南侧为菩提北路和空地，西侧为菩提北路、球场和停车场区域，北侧为惠河南街和通惠河。北京四惠中医医院地理位置图详见图 1.2，医院平面布局 and 周边关系示意图详见图 1.3。

本项目的建设地点位于四惠中医院综合楼二期负一层，综合楼为地上 4 层、地下一层建筑物。目前，综合楼二期负一层东部区域为放射治疗科，负一层西部区域现状为空置场地。本项目核医学科工作场所拟建于综合楼二期负一层的西南部，场所建成后，其东侧为更衣室和控制走廊，南侧为医患通道和土层，西侧为楼外废弃的汽车坡道（本项

目拟将其封闭)，北侧为报警阀室、走道和库房，楼上为戊类库房和休息室，地下为土层。

本项目拟建核医学科工作场所位于综合楼最底层的西南部区域，场所选址相对独立，设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，并尽可能做到了集中设置。拟建场所毗邻区域无产科、儿科、食堂等部门及人员密集区域，患者出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域，总体认为本项目核医学科选址合理。

本项目辐射工作场所选址周围 50m 范围内无居民楼、学校、养老院等环境敏感目标，工作场所选址和布局已充分考虑了周围场所辐射安全与防护，预计在采取了有效的实体屏蔽措施后，场所的运行对周围公众人员和环境造成的辐射影响将非常有限。

北京四惠中医医院综合楼二期负一层的现状平面图见图 1.4，本项目核医学科工作场所建成后综合楼二期负一层平面布局图见图 1.5。



图 1.2 北京四惠中医医院地理位置示意图

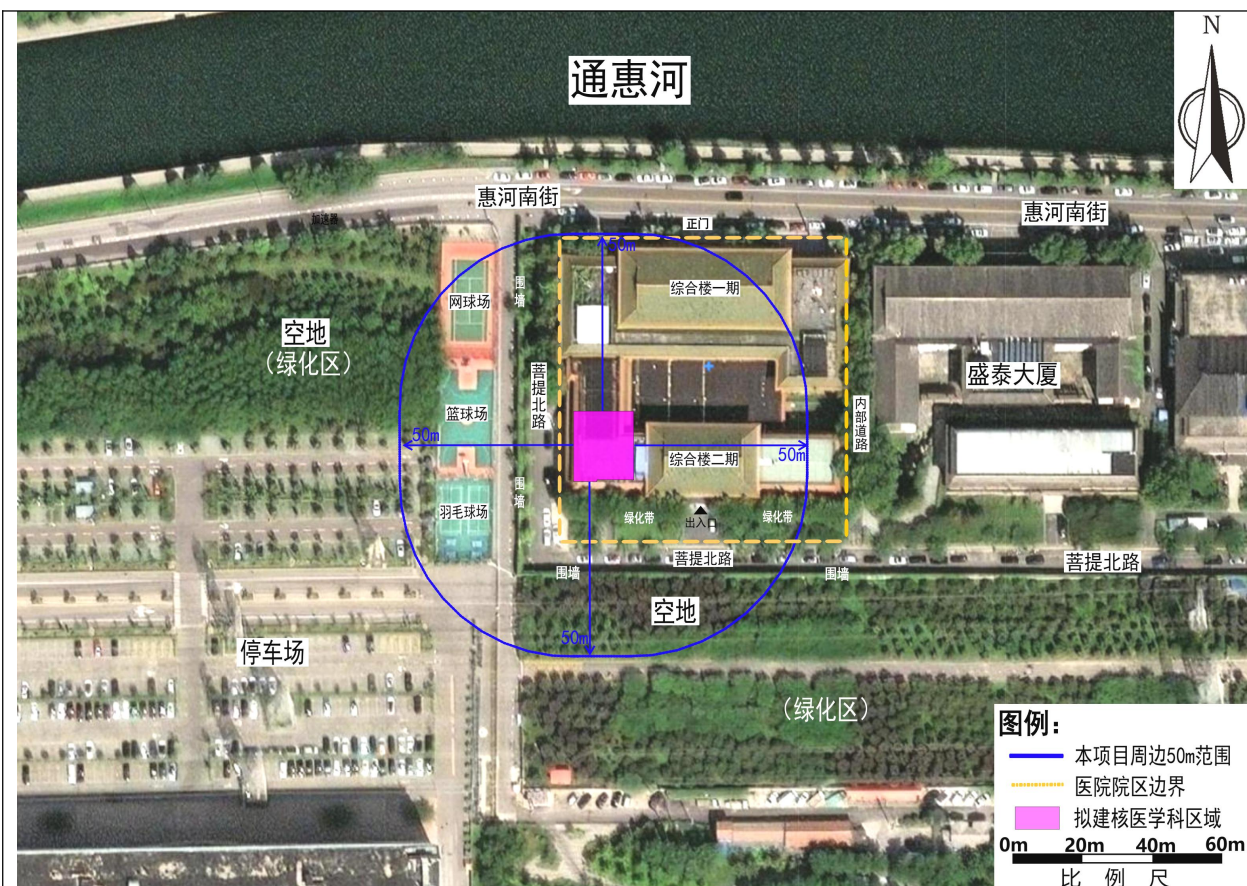


图 1.3 医院院区平面布局和周边关系示意图

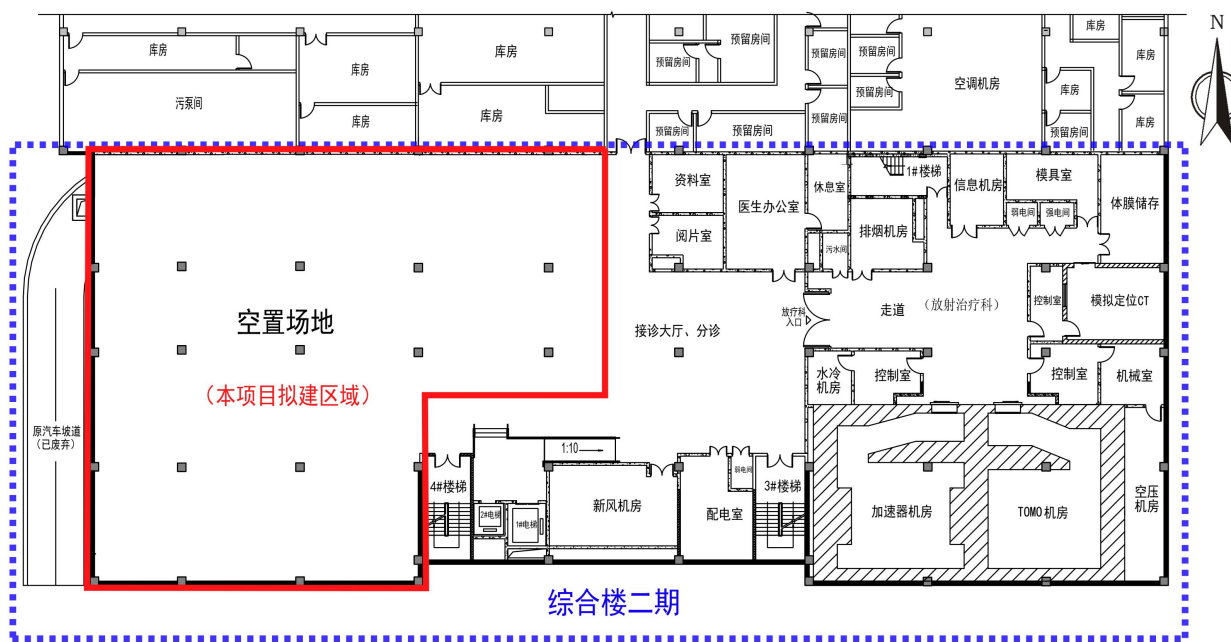


图 1.4 医院综合楼二期负一层现状平面图



图 1.5 本项目建成后综合楼负一层平面布局图

表 2 放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数 | 类别 | 活动种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|----|------|----------------------------|----|------|----|------|---------|----|
| 无 | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

| 序号 | 核素名称 | 理化性质 | 活动种类 | 实际日最大操作量 (Bq) | 日等效最大操作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 用途 | 操作方式 | 使用场所 | 贮存方式与地点 |
|----|--------|-------------------------|------|---------------|---------------|------------|----|-------|---------------|-----------------------------------|
| 1 | F-18 | 液态针剂、低毒 半衰期 109.8min | 使用 | 3.70E+09 | 3.70E+06 | 9.25E+11 | 诊断 | 很简单操作 | 综合楼二期地下一层核医学科 | 核医学科高活室 ¹⁸ F 通风橱内 |
| 2 | Tc-99m | 液态针剂、低毒 半衰期 6.02h | 使用 | 9.25E+09 | 9.25E+06 | 2.31E+12 | 诊断 | 很简单操作 | 综合楼二期地下一层核医学科 | 核医学科高活室 ^{99m} Tc 通风橱内 |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|--------|-----|-----|-----------------------|---------------|---------------|------|----------------------------|------------------|
| 1 | PET/CT | III | 1 台 | ScintCare PET/CT 720E | 140 | 300 | 显像诊断 | 综合楼二期地下一层 核医学科 PET/CT 室 | 明峰医疗系统股份 有限公司 |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

| 序号 | 名称 | 类 别 | 数 量 | 型号 | 最大管电 压 (kV) | 最大靶电 流 (μA) | 中子强 度(n/s) | 用途 | 工作场所 | 氚靶情况 | | | 备注 |
|----|----|--------|--------|----|----------------|----------------|---------------|----|------|---------|------|----|----|
| | | | | | | | | | | 活度 (Bq) | 贮存方式 | 数量 | |
| 无 | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称 | 状态 | 核素名称 | 活度 | 月排放量 | 年排放总量 | 排放口浓度 | 暂存情况 | 最终去向 |
|----------------------------|----|-----------------|----|------|--------------------|------------------------|--|--|
| 手套、棉签、吸水纸等其他固态物质、一次性注射器等废物 | 固态 | F-18、Tc-99m | / | / | 100kg | <10 ⁴ Bq/kg | 在废物库铅废物桶内暂存 | 暂存至少 30 天，经自行检测，符合 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》的要求后，按医疗废物委托有资质单位处置。 |
| 洗涤废水、病人排泄物、冲刷废水等 | 液态 | F-18、Tc-99m | / | / | 45.5m ³ | 总β <10Bq/L | 在配套建设的槽式衰变池内暂存（总有效容积 3×8m ² ） | 按照 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》的要求，暂存至少 30 天后，排入医院污水处理站，严格记录废水解控排放台账。 |
| 通风橱和工作场所排气 | 气态 | 微量的 F-18、Tc-99m | / | / | 少量，可忽略 | / | 不暂存，经通风橱废气、场所废气经独立通风管道引至综合楼楼顶排放，楼顶排风口设置活性炭过滤装置 | 经净化过滤后排放至环境大气。 |
| 手套箱、排风口废弃滤芯 | 固态 | F-18、Tc-99m | / | / | 14kg | <10 ⁴ Bq/kg | 在核医学科废物库内暂存 | 暂存至少 30 天，经自行检测，符合 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》的要求后，实施清洁解控，按危险废物委托有资质单位处置。 |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |

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

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

表 6 评价依据

| | |
|------|---|
| 法规文件 | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 6 月 28 日修订，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日修订并实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号修订，2017 年 6 月 21 日公布，2017 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订版公布并实施；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部令第 16 号，2020 年 11 月 30 日公布，2021 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 9 月 20 日公布，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，经生态环境部部令第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日公布并实施；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第 18 号令，2011 年 4 月 18 日公布，2011 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，2017 年 12 月 5 日公布并实施；</p> <p>(11) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日公布并实施；</p> <p>(12) 《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，2019 年 12 月 24 日印发，2020 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(13) 北京市生态环境局关于发布《<建设项目环境影响评价分类管理名录>北京市实施细化规定（2022 年本）》的通告，通告〔2022〕4 号，2022 年 4 月 1 日起实施；</p> <p>(14) 北京市生态环境局关于发布《北京市生态环境局环境影响评价文件管理权限的建设项目目录（2024 年本）》的通告，京环发〔2024〕24 号，2025 年 1 月 1 日起实施；</p> |
|------|---|

| | |
|--------------------|--|
| | <p>(15) 关于印发《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》的通知，原北京市环境保护局，京环发[2011]347号，2012年1月1日起实施；</p> <p>(17) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环境保护部，环办辐射函[2016]430号；</p> <p>(18) 《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，京环办[2018]13号，2018年12月6日。</p> |
| <p>技术标准</p> | <p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(6) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(7) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(8) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(9) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(10) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(11) 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）</p> <p>(12) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(13) 《表面污染测定第一部分β发射体（$E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$）和$\alpha$发射体》（GB/T14056.1-2008）。</p> |
| <p>其他</p> | <p>(1) 北京四惠中医医院有限责任公司环境影响评价咨询协议书；</p> <p>(2) 北京四惠中医医院有限责任公司提供的本项目工程设计图纸、施工图纸和辐射防护工程设计资料；</p> <p>(3) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.P hys.33(1), January 2006;</p> <p>(4) 《放射性核素和辐射防护数据手册》，[Radiation Protection Dosimetry.98(1), 2002];</p> <p>(5) 《辐射安全手册》，潘自强主编，科学出版社，2011年；</p> <p>(6) 《中国核与辐射安全管理体系 现场监督检查和执法程序》，2020年版。</p> |

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目主要就核医学科工作场所运行期间对周围环境以及工作人员、公众等产生的辐射影响进行分析。

7.1.2 评价因子

本项目主要评价因子为核医学科工作场所运行期间产生的 γ 射线、X射线、 β 射线和放射性“三废”。

7.1.3 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，本项目辐射环境影响评价范围为：以本项目核医学科工作场所控制区边界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7.1。



图 7.1 本项目评价范围示意图

7.2 保护目标

本项目建设地点位于北京四惠中医医院综合楼二期负一层。北京四惠中医医院地处北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院院区东侧为楼外道路、快捷酒店和盛泰大厦，南侧为菩提北路和空地，西侧为菩提北路、球场和停车场，北侧为惠河南街和通惠河，医院院区平面布局和周边关系情况如图 7.1 所示。

本项目拟建的核医学科工作场所位于医院综合楼二期负一层西南部，场所建成后，其东侧为更衣室和控制走廊，南侧为医患通道和土层，西侧为楼外废弃的汽车坡道（本项目拟将其封闭），北侧为报警阀室、走道和库房，楼上为戊类库房和休息室，地下为土层。

本项目拟建辐射工作场所周围 50m 评价范围内的建筑物仅有四惠中医医院综合楼的一期和二期，主要保护目标为本项目辐射工作人员和周边公众，其中公众成员主要包括医院其他职工、就诊患者和家属等公众人员。本项目评价范围内主要保护目标分布情况见表 7-1。本项目综合楼二期负一层平面布局图见图 7.2，综合楼二期一层平面布局图见图 7.3。

表 7-1 本项目评价范围内的保护目标分布情况

| 辐射场所 | 方位 | 距离(m) | 周围主要场所 | 人数 | 保护目标 |
|------------------|----|-------------|---------------------|---------|--------|
| 综合楼二期 负一层核医学科 | 东侧 | 0~3 | 控制走廊、更衣室 | 10 人 | 辐射工作人员 |
| | | 3~19 | 阅片室、诊室、会议室/远程会诊、储藏室 | | |
| | | 3~32 | 接诊大厅、分诊、电梯厅等 | 约 40 人 | 公众 |
| | | 23~50 | 放射治疗科 | 约 25 人 | |
| | 南侧 | 0~2 | 医患通道、卫生通过间、更衣/淋浴室等 | 偶尔有人 | 辐射工作人员 |
| | | 2~28 | 楼外绿化带、道路 | 流动人员 | 公众 |
| | | 28~50 | 空地（绿化区域） | 偶尔有人 | |
| | 西侧 | 0~20 | 楼外道路 | 流动人员 | 公众 |
| | | 20~40 | 网球场、篮球场、羽毛球场 | 约 30 人 | |
| | | 40~50 | 停车场、空地 | 偶尔有人 | |
| | 北侧 | 0~8 | 报警阀室、库房、排烟机房等 | 偶尔有人 | 公众 |
| | | 8~45 | 综合楼一期 | 约 200 人 | |
| | | 45~50 | 医院正门、市政道路 | 流动人员 | |
| 楼上 | 紧邻 | 戊类库房、走道、休息室 | 偶尔有人 | 公众 | |

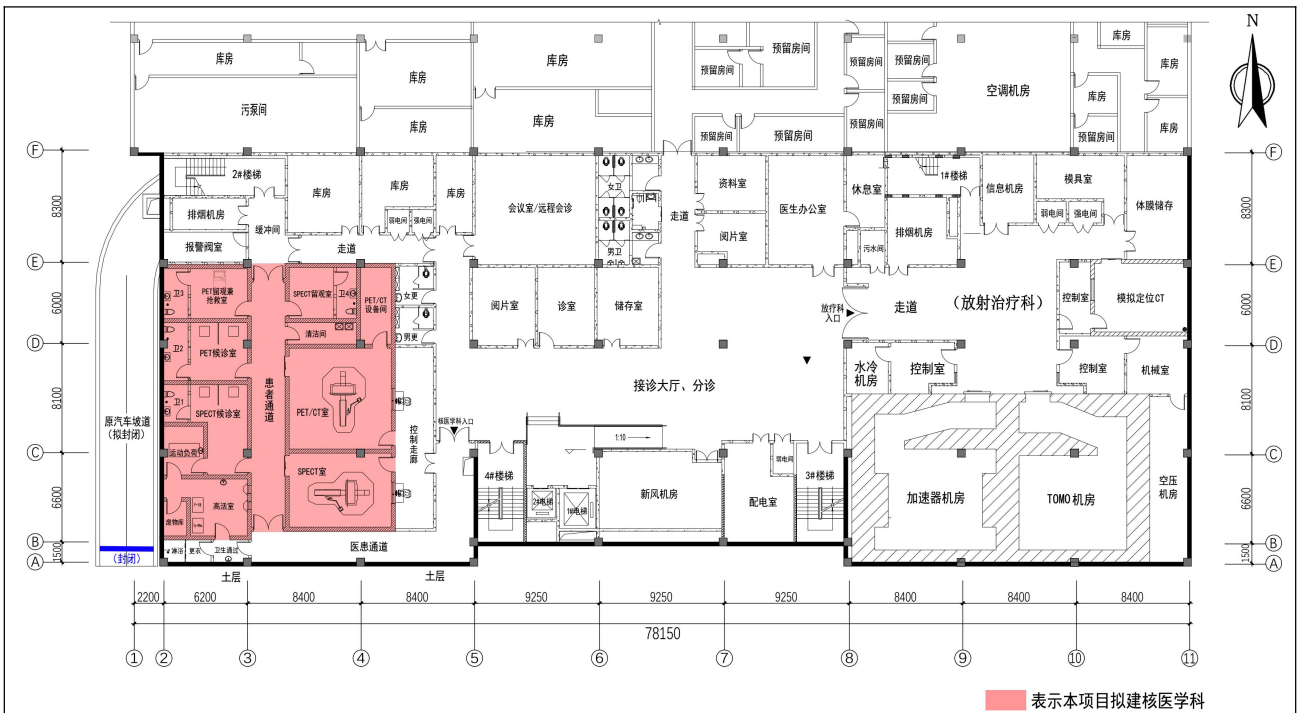


图 7.2 本项目综合楼二期负一层平面布局图

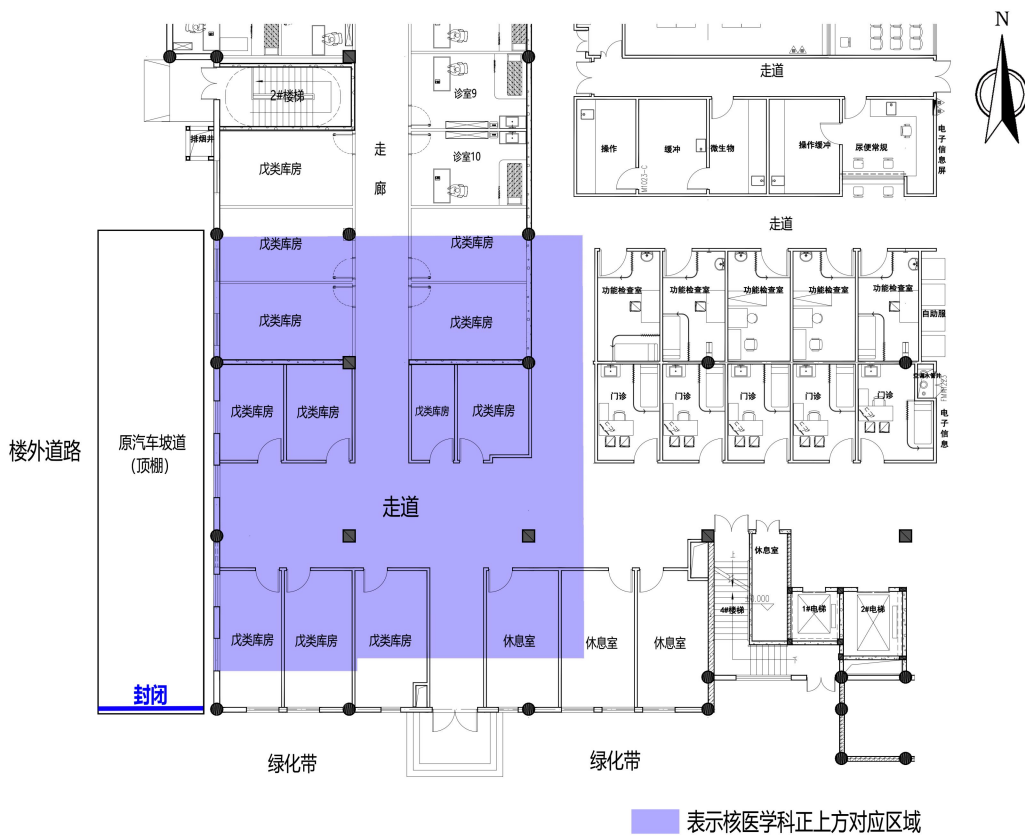


图 7.3 本项目综合楼二期一层平面布局示意图

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定,工作人员的

职业照射和公众照射的剂量限值见表 7-2。

表 7-2 个人剂量限值

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

7.3.2 剂量约束值

本项目拟新增配备 10 名辐射工作人员，综合考虑本项目情况，本次评价对职业照射和公众分别设定了年受照剂量约束值：

- (1) 本项目核医学科辐射工作人员的剂量约束值取 2mSv/a；
- (2) 本项目公众成员的剂量约束值取 0.1mSv/a。

7.3.3 放射工作场所周围剂量率控制水平

在《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，均对核医学科工作场所周围剂量当量率控制水平做出了要求。按照上述两项标准要求并结合本项目实际情况，本项目核医学工作场所周围剂量当量率水平拟从严控制，具体包括：

- (1) 在核医学科控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h；
- (2) 控制区内各房间屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h；
- (3) 高活室通风橱外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h；
- (4) 固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。

7.3.4 工作场所放射性表面污染控制水平

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），本项目核医学科工作场所放射性表面污染控制水平见表 7-3。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平（单位 Bq/cm²）

| 表面类型 | | β 放射性物质 |
|---------------|------|-----------------------------|
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区* | 4 \times 10 |
| | 监督区 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区 | 4 |
| | 监督区 | |
| 手、皮肤、内衣、工作袜 | | 4 \times 10 ⁻¹ |
| 注：该区内的污染子区除外。 | | |

根据 GB18871-2002 附录 B2.2 条款规定：工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-3 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或监管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

7.3.5 非密封源工作场所的分级

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C，非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级见表 7-4。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

| 级别 | 日等效最大操作量/Bq |
|----|------------------------------------|
| 甲 | $>4 \times 10^9$ |
| 乙 | $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ |
| 丙 | 豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$ |

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-5 和表 7-6。

表 7-5 放射性核素毒性组别修正因子

| 毒性组别 | 毒性组别修正因子 |
|------|----------|
| 极毒 | 10 |
| 高毒 | 1 |
| 中毒 | 0.1 |
| 低毒 | 0.01 |

表 7-6 操作方式与放射源状态修正因子

| 操作方式 | 放射源状态 | | | |
|---------|-------------|-----------|----------|---------------------|
| | 表面污染水平较低的固体 | 液体，溶液，悬浮液 | 表面有污染的固体 | 气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体，固体 |
| 源的贮存 | 1000 | 100 | 10 | 1 |
| 很简单的操作 | 100 | 10 | 1 | 0.1 |
| 简单操作 | 10 | 1 | 0.1 | 0.01 |
| 特别危险的操作 | 1 | 0.1 | 0.01 | 0.001 |

依据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016] 430 号）中操作因子选取原则，医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单的操作”，经核算，本项目核医学科日等效最大操作量为 $1.37\text{E}+07\text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。

7.3.6 场所安全与防护措施要求

(1) 《核医学科辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)关于场所安全措施的要求:

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。

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。

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。

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。

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。

⑥ 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

(2) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)关于放射防护措施的要求:

① 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级,并采取相应防护措施。

② 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理,不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-7。

表 7-7 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

| 种类 | 分类 | | |
|-------|----------|----------|--------|
| | I | II | III |
| 结构屏蔽 | 需要 | 需要 | 不需要 |
| 地面 | 与墙壁接缝无缝隙 | 与墙壁接缝无缝隙 | 易清洗 |
| 表面 | 易清洗 | 易清洗 | 易清洗 |
| 分装柜 | 需要 | 需要 | 不必须 |
| 通风 | 特殊的强制通风 | 良好通风 | 一般自然通风 |
| 管道 | 特殊的管道 | 普通管道 | 普通管道 |
| 盥洗与去污 | 洗手盆和去污设备 | 洗手盆和去污设备 | 洗手盆 |

根据 GBZ120-2020 附录 G 进行核算,本项目核医学科工作场所各区域的放射性核素加权活度均大于 50MBq,小于 50000MBq,均属于 II 类场所,按照表 7-7 的要求,需采取屏

蔽措施，地面与墙壁接缝无缝隙，使用易清洗材料敷设，设通风橱和通风设施，设洗手盆和去污设备。

7.3.7 放射性废水排放控制要求

(1) 水污染物排放标准

根据《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）的规定，本项目排入公共污水处理系统的水污染物排放限值执行：总 β ≤10Bq/L。

(2) 放射性废水排放管理要求

本项目核医学科使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，核素半衰期均小于 24h，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）的要求，本项目核医学科废水按 A 类放射性废水管理收集。本项目拟新建放射性废水槽式衰变池（共设 3 槽，总有效容积 $3\times 8\text{m}^3$ ），A 类放射性废水注满后，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。须建立《放射性废水暂存、处置管理台账》，详细记录放射性废液所含核素、体积、废液暂存起始日期、责任人员、排放日期等信息。

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

7.3.8 放射性固体废物管理要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018] 13 号）的要求：核医学放射性固体废物须设置独立的暂存室，药物操作场所、废物暂存室应分别设置有屏蔽能力并有电离辐射警示标志的废物桶、废物箱，并按照废物类别进行标识。药物操作场所废物桶内应使用不易破损的塑料袋对固体废物进行收集，密封袋口后转移至暂存室废物箱中，并在塑料袋外表面注明废物类别、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息；固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

本项目核医学科使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，均属于 A 类（半衰期小于 24 小时）废物放射性固体废物，具体要求如下：

(1) A 类放射性固体废物暂存时间超过 30 天后，使用经检定或校准合格的监测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测；

(2) 经自行监测，固体废物表面辐射剂量率为所处环境本底水平，且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置；

(3) 须建立《放射性固体废物暂存、处置管理台账》，详细记录放射性固体废物分类（A类）、所含核素名称、重量、废物暂存起始日期、废除暂存截止日期、自行监测结果、废物处置日期、处置人员、废物去向等信息，并对自行监测数据、解控与排放记录的真实性负责。每一袋放射性固废应填写一行记录。

7.3.9 放射性废气管理要求

(1) 《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）关于通风的要求：

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

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

③ 通风橱应有足够的通风能力。设有通风橱、手套箱等场所的通风系统，排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

(2) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于通风的要求：

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

本项目核医学科拟设置 2 套独立的排风系统，其中：高活室拟安装 2 个通风橱（各设置 1 根独立的排风管），2 个通风橱内均设有高效过滤器，2 根排风管内安装止逆阀，各通风橱内废气通过 2 根独立排风管汇入 1 套独立的排风系统；本项目核医学科工作场所区域内设置 1 套独立的排风系统；本项目 2 套独立排风系统的排风口均位于综合楼楼顶，排风口处设置活性炭过滤装置（共设 2 套），2 处排风口均位于综合楼屋面上方 3m 高度处，且高于周围 50m 范围内的其他建筑物。

7.3.10 X 射线设备机房的要求

(1) X 射线设备机房空间要求：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），

本项目 PET/CT 室最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-8 的规定。

表 7-8 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

| 设备类型 | 机房内最小有效使用面积(m ²) | 机房内最小单边长度(m) |
|------|------------------------------|--------------|
| CT 机 | 30 | 4.5 |

(2) X 射线设备机房空间要求：根据 GBZ130-2020，本项目 PET/CT 室的屏蔽防护铅当量厚度不应低于表 7-9 的要求。

表 7-9 X 射线机房的屏蔽防护要求

| 机房类型 | 有用线束方向铅当量(mm) | 非有用线束方向铅当量(mm) |
|-------|---------------|----------------|
| CT 机房 | 2.5 | 2.5 |

7.4 评价目的

(1) 对建设项目环境辐射现状进行调查或监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平；

(2) 评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

(3) 评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境主管部门的管理提供依据；

(4) 通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；

(5) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

(6) 评价项目的可行性，从环境保护角度为生态环境主管部门和北京四惠中医医院进行辐射环境管理提供依据。

7.5 评价原则

依据国家相关法律、法规及部门规章展开评价，严格执行国家和北京市的有关标准。要求辐射防护设计和安全措施必须满足相关标准的规定，并保证各类人员受照剂量在规定的限值以内，满足辐射实践的正当性、辐射防护与安全的最优化原则。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

8.1.1 地理位置

北京四惠中医医院地处北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院东侧为楼外道路和盛泰大厦，南侧为菩提北路和空地，西侧为菩提北路、球场和停车场，北侧为惠河南街和通惠河。北京四惠中医医院地理位置示意图见附图 1，医院院区平面布局和周边关系示意图详见附图 2。

8.1.2 场所位置

本项目建设地点位于四惠中医院综合楼二期负一层，目前，综合楼二期负一层东部区域为放射治疗科，负一层西部区域现状为空置场地，医院综合楼二期负一层的现状平面图见附图 3。

本项目核医学科工作场所拟建于综合楼二期负一层的西南部，场所建成后，其东侧为更衣室和控制走廊，南侧为医患通道和土层，西侧为楼外废弃的汽车坡道（本项目拟将其封闭），北侧为报警阀室、走道和库房，楼上为戊类库房和休息室，地下为土层。本项目建成后综合楼二期负一层平面布局图见附图 4。

8.2 环境质量和辐射现状

8.2.1 监测内容

核工业北京化工冶金研究院分析测试中心于 2026 年 4 月 27 日对本项目拟建核医学科工作场所及周边区域开展了的辐射环境现状监测。

8.2.2 监测方法

监测方法按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）进行。

8.2.3 监测仪器

本次监测所使用的仪器已通过中国计量科学研究院检定，并处于有效期内，检测仪器性能和参数如表 8-1 所示。

表 8-1 监测所使用的监测仪器及性能参数

| | |
|------|------------------------|
| 仪器名称 | X- γ 辐射剂量率仪 |
| 仪器型号 | FH40G+FHZ672E-10 |
| 仪器编号 | YQ-HJ-0003 |
| 能量范围 | 48keV~3MeV |
| 量程 | 10nSv/h~100 μ Sv/h |

| | |
|-------|-----------------------|
| 检定证书 | DLjl2025-12678 |
| 检定有效期 | 2025年9月25日-2026年9月24日 |

8.2.4 质量保证措施

- 合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性；
- 采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- 检测仪器已经过计量部门检定，并处于有效期内；
- 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- 检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人签发。

8.2.5 监测结果及分析

本项目现状监测结果见表 8-2，现状监测布点图见图 8.1，现状监测报告详见附件 6。

表 8-2 辐射环境现状监测结果

| 序号 | 点位描述 | 检测值* (nGy/h) |
|----|----------------|--------------|
| 1 | 拟建核医学科场所内（中部） | 106±1 |
| 2 | 拟建核医学科场所内（西北部） | 104±2 |
| 3 | 拟建核医学科场所内（东北部） | 105±1 |
| 4 | 拟建核医学科场所内（西南部） | 106±1 |
| 5 | 拟建核医学科场所内（东南部） | 108±1 |
| 6 | 拟建核医学科场所北侧 | 105±1 |
| 7 | 拟建核医学科场所东侧 | 107±1 |
| 8 | 拟建核医学科楼上区域 | 61.2±0.9 |
| 9 | 综合楼二期南侧绿化带（楼外） | 66.9±1.2 |
| 10 | 综合楼二期西侧道路（楼外） | 50.0±1.1 |

注*：（1）监测数据已扣除仪器对宇宙射线的响应，仪器在测量点处对宇宙射线响应值为7.5nGy/h；
（2） γ 剂量率对应数值已参照 JJG393-2018 附录 D 表 D.2 进行换算， ^{137}Cs γ 参考辐射的空气比释动能与周围剂量当量转换系数 $h_K^*(10)$ 取推荐值 1.20Sv/Gy。

监测结果表明：本项目拟建核医学科工作场所区域内及周围环境的 γ 辐射剂量率范围为 50.0nGy/h~108nGy/h，根据《中国天然放射性水平》（1995），北京市天然辐射水平范围为 60nGy/h~123nGy/h（室外，含宇宙射线）和 69.8nGy/h~182nGy/h（室内，含宇宙射线）。因此，本项目拟建辐射工作场所区域及周边环境的辐射水平率处于北京市正常本底水平范围内，未发现辐射水平异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 设备组成及工作原理

(一) PET/CT 设备

PET 即正电子发射断层显像技术 (Positron Emission Tomography)，PET 技术采用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为示踪剂，通过病灶对示踪剂的摄取来反应其代谢变化，在分子水平上通过动态、定量的监测人体内部的代谢变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变，所以 PET 又称为“生化显像”或“分子显像”。

CT 即 X 射线计算机断层摄影技术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射线衰减数据，通过数学运算和电子计算机数据处理，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

PET/CT 的全称为“正电子发射断层显像/X 射线计算机断层成像仪” (Positron Emission Tomography / Computed Tomography)，是将 PET 设备和 CT 设备有机结合在一起的先进影像设备，两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过图像融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变，具有灵敏度高，特异性强，病灶定位准确等特点，可实现各类疾病特别是肿瘤疾病的早期诊断，具有常规影像检查所无法比拟的优势。本项目拟新增 PET/CT 设备外观见图 9.1。



图 9.11 本项目拟新增 PET/CT 设备外观示意图

正电子药物 PET 显像剂按功能大致分为脑功能显像剂、心功能显像剂、肿瘤阳性显像剂等，目前应用最为广泛的正电子 PET 药物为 ^{18}F -脱氧葡萄糖 (^{18}F -FDG)。FDG 可测定肿瘤、心脏及脑中的葡萄糖代谢，用于肿瘤、冠心病及神经/精神疾病的早期诊断、鉴别诊断及指导

治疗。本项目核医学科 PET/CT 仅使用正电子药物 ^{18}F 开展 PET 显像诊断。

PET 显像原理是将正电子放射性核素（如 ^{18}F ）标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物（如脱氧葡萄糖）上，并将其注射到受检者体内，受检者通常需要经过一段时间的候诊，待正电子标记化合物参与到人体的代谢循环后，让受检者在 PET 设备有效视野范围内进行 PET 显像。放射性核素发出的正电子在体内与组织中的负电子结合发生湮灭，产生两个能量相等（ 0.511MeV ）、方向相反的 γ 光子。PET 探测器系统在规定的时间内探测到两个互成 180° 的 γ 光子时，即判定为是一个符合事件，此时探测器分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲信号整为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，即可得到人体各部位的 PET 显像图像。

（二）SPECT 设备

SPECT 即单光子发射计算机断层显像（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种核医学科常规的影像技术。SPECT 技术是将标记有发射单光子核素（如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的重要生命物质（如糖、蛋白质、脂肪等）注射到人体内，然后借助 SPECT 装置进行扫描成像，以观察这些单光子核素标记化合物在人体全身脏器的分布情况，以显示它们在人体内的代谢过程。SPECT 成像的基本原理为：受检者注射被放射性核素标记的药物，药物在特定的器官或组织发射出 γ 射线，穿过人体器官组织后到达 SPECT 探测器。SPECT 通过准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能量转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转换为电信号，经放大器后，得到的测量值代表该投影线上放射性数值，再利用计算机求解断层图像。

SPECT 在癌症骨转移、冠心病、肺动脉栓塞、急性脑梗塞、甲状腺癌诊断和评价等方面，能够发挥不可替代的作用。本项目核医学科仅使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT 显像检查，本项目拟新增的 SPECT 设备外观见图 9.2。



图 9.12 本项目 SPECT 设备外观示意图

9.1.2 工作流程

核医学科显像检查的工作流程是将放射性药物经由静脉注射方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放 γ 射线，再利用 PET/CT 或 SPECT 设备进行扫描和显像，最终获得有诊断价值的医学影像。具体的工作流程如下：

(1) 药物预定：核医学工作人员根据预约人数和药物用量，确定第二天的总订药量，向有资质的供药厂家订购 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物，其中 ^{18}F 药物整装贮存在专用铅罐中，使用前需根据实际用量进行分装； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物已经由供药厂家根据每人份订药量直接分装在注射器内，使用前无需再次进行分装。本项目核医学科每日最多实施 PET/CT 检查 10 人/次、SPECT 检查 10 人/次，于每天早上 7 点送药；

(2) 药物交接：预定的药物由供药公司派专人运输至核医学科高活室门口，工作人员核对放射性药物名称、规格、活度，检查药物外包装和质量，在高活室内摄像头的监控下，负责药物注射的人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后将放射性药物按核素类别，分别暂存在高活室的 ^{18}F 通风橱和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱内；

(3) 药物分装：本项目核医学科仅有 ^{18}F 药物需要注射人员手动分装，负责药物注射的护士根据实际用量完成 ^{18}F 药物分装，使用放射性活度计测定活度。 ^{18}F 药物的分装工作在高活室的 ^{18}F 通风橱（防护厚度 50mmPb）内进行，并使用专用分装铅罐或翻转式铅罐（防护厚度 40mmPb）进行分装。分装完成后，将药物装入专用注射器并放入运输防护铅盒内（防护厚度 25mmPb），等待注射；

(4) 药物注射：预约患者从患者入口的单向门进入核医学科，到达对应的药物注射窗。注射人员在患者手臂下铺垫吸水纸，提前建立静脉通路，随后注射人员打开铅盒，从铅盒内取出注射器，在注射窗的防护下进行药物注射；注射完成后将废注射器、针头暂存在铅盒内，然后放入高活室的铅废物桶内；

(5) 显像检查：患者注射药物后沿导流标线进入对应的候诊室候诊， ^{18}F 显像检查候诊时间平均为 1h， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查候诊时间约为 0.5h~1.5h 不等。候诊完成后，患者根据语音提示，沿导流标线进入 PET/CT 室或 SPECT 室进行扫描检查，扫描检查时间平均为 20min；

(6) 扫描检查完成后，患者进入对应留观室内留观约 10min 左右，影像符合要求、无不良反应后，即可从患者出口的单向门离开核医学科。

9.1.3 放射性核素使用量

根据设备厂家提供的信息，本项目 ScintCare PET/CT 720E 设备采用低剂量平台，对影像链各环节进行了优化设计， ^{18}F 标记药物的注射剂量可降低 50%，推荐的药物注射量为

0.05mCi/kg，本报告保守按最大用量 370MBq/人（10mCi/人）进行评价。本项目核医学科单日最多实施 PET/CT 检查 10 人次，¹⁸F 核素的日最大操作量不超过 3.70E+09Bq，年工作 250 天，年最大用量不超过 9.25E+11Bq。

本项目 ^{99m}Tc 药物的最大用量为 925MBq（平均每人 740MBq），本报告保守按最大用量 925MBq/人（25mCi/人）进行评价。本项目核医学科单日最多实施 SPECT 检查 10 人次，^{99m}Tc 核素的日最大操作量不超过 9.25E+09Bq，年工作 250 天，年最大用量不超过 2.31E+12Bq。

9.2 污染源项描述

9.2.1 放射性核素分析

¹⁸F 核素的半衰期为 109.8min，主要发射γ射线、正电子（β⁺粒子），β⁺粒子与β⁻粒子结合发生湮灭，会产生两个运动方向相反、能量均为 0.511MeV 的γ光子。^{99m}Tc 核素的半衰期为 6.02h，衰变方式是轨道电子俘获（IT），产生能量为 0.141MeV 的γ射线。本项目拟使用放射性核素主要物理特性列于表 9-1。

表 9-1 本项目使用的放射性核素主要物理参数

| 序号 | 核素 | 毒性 | 半衰期 | 衰变方式 | β最大能量和强度 (MeV/%) | 主要γ射线能量和强度 (MeV/%) |
|----|-------------------|----|----------|--------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1 | ¹⁸ F | 低毒 | 109.8min | β ⁺ 、EC | β ⁺ —0.63 (97%) | γ—0.511 (194%) |
| 2 | ^{99m} Tc | 低毒 | 6.02h | IT | / | γ—0.141 (89%) |

9.2.2 放射性污染途径分析

(1) 正常工况的污染途径

① 外照射影响：在进行放射性药物的交接、暂存、¹⁸F 药物分装、药物注射、患者候诊、患者摆位、显像检查等工作环节中，辐射工作人员及周围停留的公众可能受到放射性核素释放的γ射线的外照射影响；β射线在空气和人体组织中射程很短，对周围工作场所及人员的外照射影响较小。此外，在 PET/CT 设备的 CT 机运行期间，工作人员及周围公众还会受到 X 射线外照射的影响。

② 放射性固废：主要包括 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 药物操作产生的废弃注射器、针头、棉棒、吸水纸、一次性个人防护用品等，患者候诊期间产生的固体废物，以及排风系统的活性炭滤芯、高效过滤器等固体废物；

③ 放射性废水：主要来包括各患者候诊室、留观室卫生间的冲厕废水，高活室工作人员洗手废水，以及冲洗拖布废水、质控废水、应急淋洗废水等。

④ 放射性废气：本项目外购的 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物均为液体溶液，不易挥发，且操作时间较短，操作期间产生的放射性气体十分微量；本项目 ^{18}F 药物分装操作在通风橱内进行（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物无需分装），放射性废气经通风橱内置的高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.9\%$ ）和楼顶排风口处活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ）过滤吸附后，排放至大气的放射性废气很少，对周边公众和环境的影响很小。

（2）事故工况下的污染途径

在使用放射性同位素的过程中如操作管理不善或发生异常情况，会对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

① 放射性污染：在操作放射性药物期间，发生药物容器破碎、药物泼洒等意外事件，可能会污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手部和皮肤的污染，对局部环境和工作人员造成 β 放射性表面污染；意外泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，清理污染还会产生一定量放射性固体废物和应急排放的放射性废水；

② 放射性药物保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染。本项目放射性药物暂存在高活室的通风橱内，拟采取闭路监视、防盗门等安保措施，并执行使用登记管理制度，可有效防止放射性药物被盗和丢失事件的发生；

③ 放射性废物处置不当：放射性固体废物和放射性废水管理不当、未暂存足够时间或者未按解控规定擅自处理，可能会造成局部环境放射性污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所选址和平面布局

本项目拟建核医学科工作场所位于四惠中医院综合楼二期负一层的西南部，该区域目前为空置场地。本项目工作场所建成后，其东侧为更衣室和控制走廊，南侧为医患通道和土层，西侧为楼外废弃的汽车坡道（本项目拟将其封闭），北侧为报警阀室、走道和库房，楼上为戊类库房和休息室，地下为土层。

本项目核医学科工作场所内部功能用房包括高活室、废物库、患者通道、SPECT 候诊室、运动负荷室、PET 候诊室、PET 留观兼抢救室、SPECT 留观室、PET/CT 室、SPECT 室、清洁间和衰变池等，SPECT 候诊室、PET 候诊室、PET 留观兼抢救室、SPECT 留观室内均设有患者专用卫生间。工作场所的基本布局为：患者通道位于工作场所中部，呈南北走向，患者入口设置在南侧，患者出口设置在北侧，患者出入口均设置单向门禁系统。患者通道将工作场所分隔为东西两部分，SPECT 候诊室、运动负荷室、PET 候诊室布置在患者通道西侧，PET/CT 室、SPECT 室布置在患者通道东侧，高活室和废物库布置在工作场所西南角区域。本项目拟配套建设的放射性废水衰变池位于综合楼南侧楼外的绿化带内。

10.1.2 工作场所分区管理措施

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《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）的相关要求，结合本项目具体情况，本项目核医学科工作场所拟按照使用功能划分为控制区和监督区进行管理，其中：

控制区：包括高活室、废物库、患者通道、SPECT 候诊室（含患者卫生间 1）、运动负荷室、PET 候诊室（含患者卫生间 2）、PET 留观兼抢救室（含患者卫生间 3）、SPECT 留观室（含患者卫生间 4）、PET/CT 室、PET/CT 设备间、SPECT 室、清洁间和衰变池，控制区各出入口处拟设置电离辐射警告标志和控制区文字标识；

监督区：包括控制走廊、更衣室、卫生通过间、更衣/淋浴室等医护人员工作区域，以及患者入口处的医患通道、患者出口处的缓冲间、报警阀室、走道等区域。监督区各出入口处拟设置监督区文字标识。

本项目核医学科工作场所的平面布局和分区管理示意图详见图 10.1。

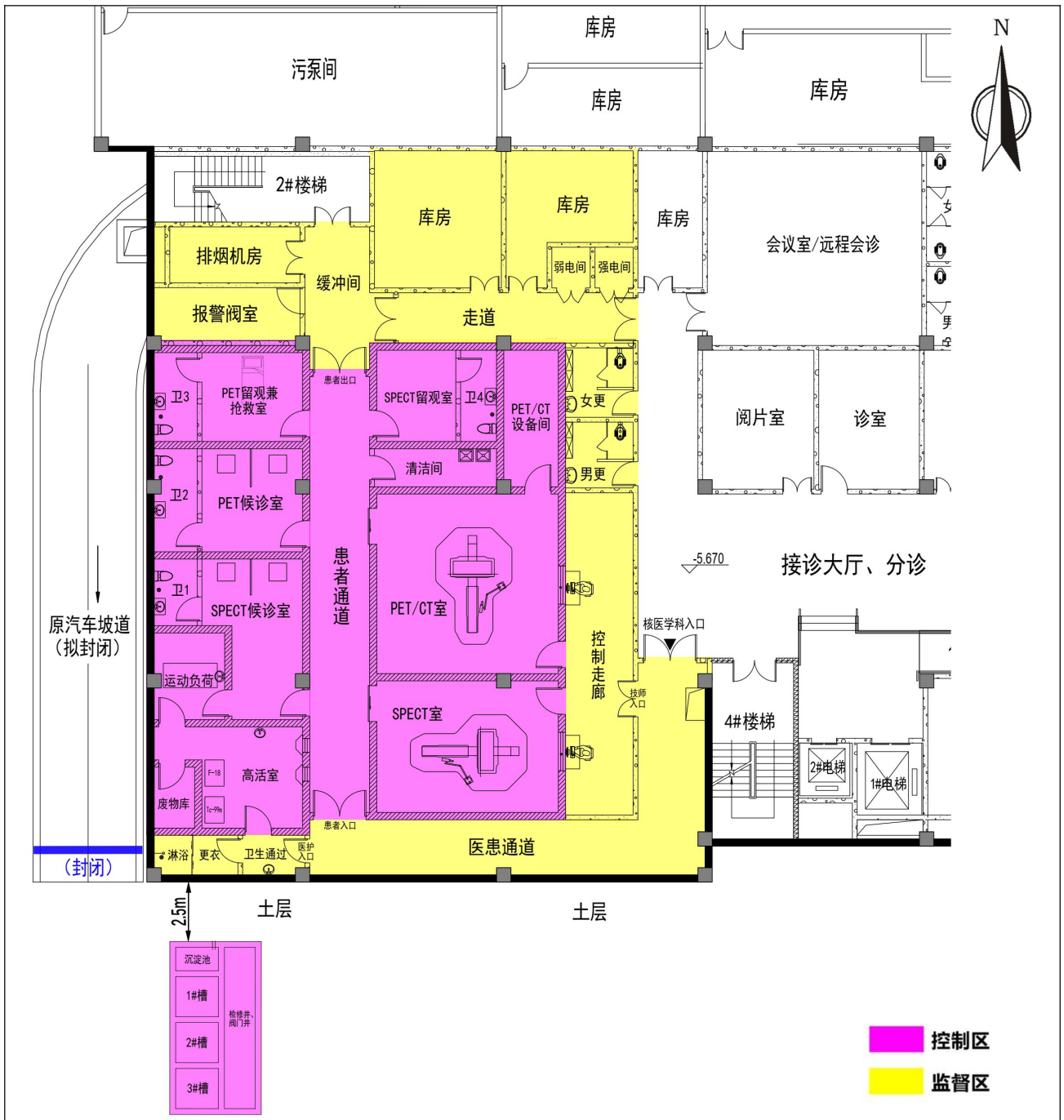


图 10.1 本项目核医学科工作场所平面布局和分区管理示意图

10.1.3 工作场所人流、物流路径规划

本项目核医学科拟相对独立的工作人员、患者、放射性药物路径。患者通道、卫生通过间、控制走廊等重要出入口处均设置有门禁系统，只有核医学科的辐射工作人员拥有门禁系统的授权。

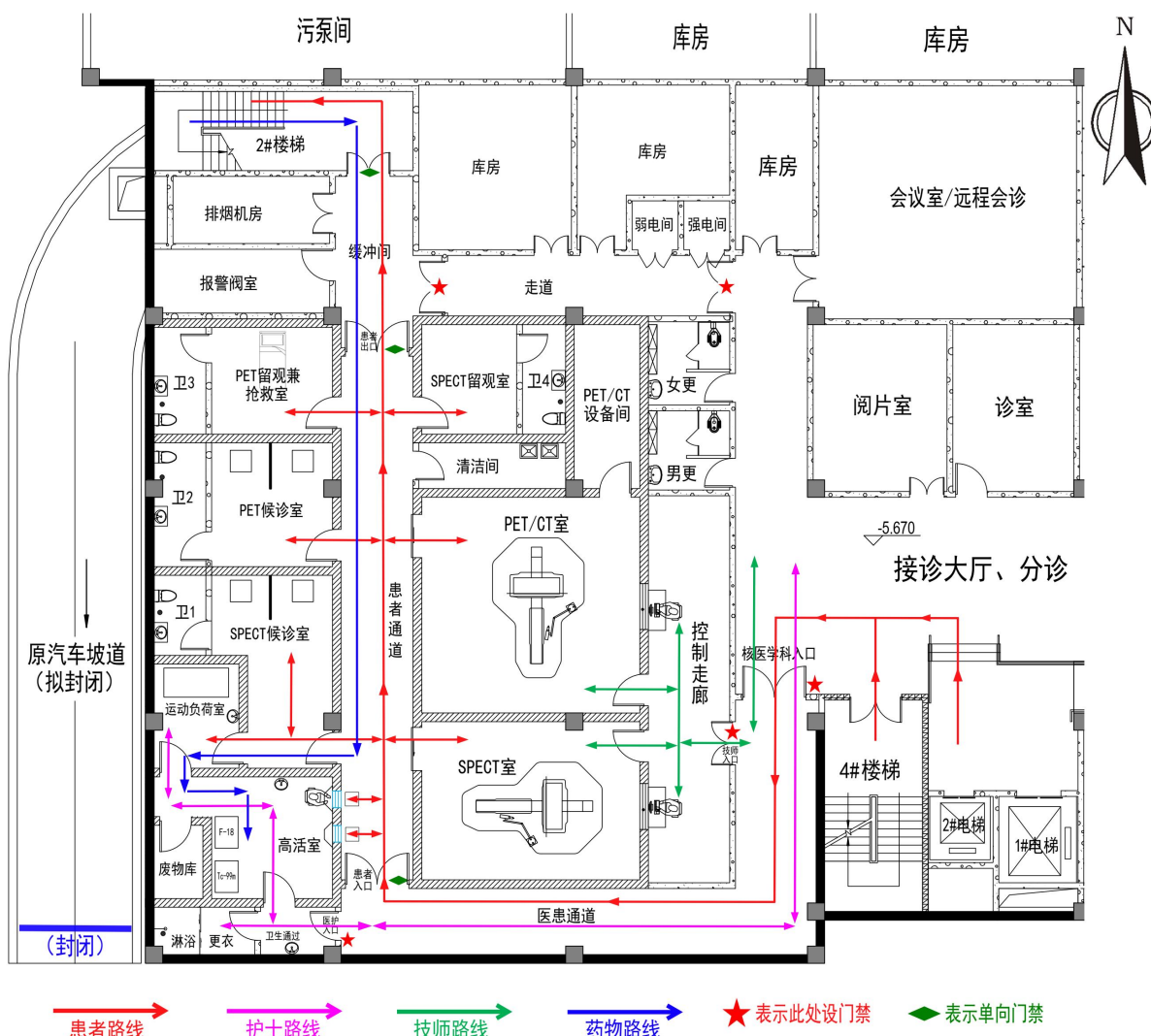
(1) **患者路径:** 预约患者经 4#楼梯或 1#、2#电梯到达负一层核医学科→登记完成后从核医学科入口进入医患走廊→从南侧患者入口进入患者通道→在注射窗口接受药物注射→进入指定的候诊室候诊→进入指定机房进行显像扫描→在指定留观室留观约 10min→从北侧患者出口离开核医学科→患者经缓冲间、2#楼梯离开综合楼。

患者入口门设有单向门禁系统（单向进），从里面出来需刷卡。患者出口门设有单向门禁系统（单向出），从外面进入需要刷卡。核医学科控制区地面设置患者导流标线，PET 检查患者、SPECT 检查患者的导流标线以不同颜色进行区分，引导 PET 患者和 SPECT 患者到指定位置注射药物、候诊、显像扫描和留观。

(2) 医护路径：医护人员进入医患走廊→护士进入卫生通过间→更衣换鞋后进入高活室→在高活室内分装药物→在高活室或运动负荷室内注射药物→工作完成后开展表面污染监测→离开高活室进入卫生通过间→更衣后离开卫生通过间；技师进入控制走廊→进入扫描机房进行患者摆位→进入控制走廊操作设备→离开控制走廊；

(3) 药物路径：供药厂家送药人员经 2#楼梯抵达核医学科北侧→经核医学科工作人员授权后进入患者通道→经患者通道将药物送至高活室→在高活室内摄像头下办理“点对点”交接手续→将放射性药品分别暂存在高活室通风橱内。送药时间为早上 7:00 之前（如需二次送药，时间为中午 13:00 点）医院人较少、核医学科无患者的时间段，以实现时间隔离。

本项目核医学科人流、物流路径示意图详见图 10.2。



10.1.4 选址和布局合理性分析

(一) 选址的合理性分析

本项目核医学科选址与《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）相关要求的对照分析情况见表 10-1。

表 10-1 本项目核医学科选址与标准要求的对照情况

| 《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) | 本项目选址情况 |
|---|---|---|
| <p>5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。</p> <p>5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。</p> <p>5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。</p> | <p>5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。</p> | <p>本项目核医学科工作场所位于综合楼最底层的西南部区域，选址相对独立，设有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道；工作场所的布置较为集中，场所周边毗邻区域无产科、儿科、食堂等部门及人员密集区域，与非放射性工作场所所有明确的分界隔离；本项目工作场所设有单独的患者出入口和医护人员出入口，患者出口已避开门诊大厅、收费处等人群稠密区。</p> <p>本项目核医学科的 2 个排风口均设置在综合楼楼顶上方 3m 处，且高于综合楼屋脊。除综合楼外，核医学排风口周边 50m 范围内无高层建筑。</p> |

根据表 10-1，本项目核医学科的选址满足《核医学放射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求，总体认为本项目选址合理。

(二) 布局的合理性分析

本项目核医学科工作场所布局与《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）相关要求的对照分析情况见表 10-2。

表 10-2 本项目核医学科工作场所布局与标准要求的对照情况

| 《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) | 本项目场所情况 |
|---|--|---|
| <p>4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，进行相应的管理。</p> <p>4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。</p> <p>4.3.3 核医学工作场所的监督区</p> | <p>5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、</p> | <p>本项目工作场所的控制区包括：高活室、废物库、患者通道、SPECT 候诊室（含患者卫生间 1）、运动负荷室、PET 候诊室（含患者卫生间 2）、PET 留观兼抢救室（含患者卫生间 3）、SPECT 留观室（含患者卫生间 4）、PET/CT 室、PET/CT 设备间、SPECT 室、清洁间和衰变池。监督区包括：控制走廊、更衣室、卫生通过间、更衣/淋浴室等医护人员工作区域，以及医患通道、缓冲间、报警</p> |

| | | |
|---|---|---|
| <p>主要包括显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。</p> <p>4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。</p> | <p>更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。</p> | <p>阅室、走道等与控制区相连的其他区域。本项目工作场所控制区各出入口处设置电离辐射警告标志和控制区文字标识，监督区各出入口处设置监督区文字标识。</p> |
| <p>5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间</p> | <p>5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减小放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。</p> | <p>本项目工作场所控制区较为集中，场所内部各功能区域的布局较为合理，患者通道位于工作场所中央，各患者候诊室均布置在患者通道西侧，各扫描机房均布置在患者通道东侧，高活室和废物库均布置在场所的西南角，各功能区分开布置，布局明确，可有效防止交叉污染，有利于工作的开展；放射性药物均存放在固定位置，其中 ^{18}F 药物存放在高活室 ^{18}F 通风橱内，$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物存放在高活室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱内，放射性废物暂存在废物库内，高活室和废物库等高污染区域均设置在工作场所的西南角区域，有效限制了放射性药物、废物的存放范围，可有效防止污染扩散。</p> |
| <p>5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。</p> | <p>5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。</p> | <p>本项目核医学科工作场所设置了独立的医护人员、患者、放射性药物、放射性废物路径；工作人员通道和患者通道分开设置，可保证给药后患者路径与工作人员路径不交叉，给药后患者路径与给药前患者路径不交叉；本项目外购放射性药物的运输均安排在当天工作开始前或科室无患者的时间段，放射性废物收集和处理均安排在当天核医学科工作结束后进行，与人员路径实现了时间隔离；放射性药物和放射性废物路径的设置较为合理，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理。</p> |
| <p>5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后</p> | <p>5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：</p> <p>a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；</p> <p>b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免干扰影像质量；</p> <p>c) 在核医学诊疗工作区域，控</p> | <p>患者通道入口和出口拟设置单向门禁，患者单向通过。控制区内地面设置导流标线，限制给药后患者的活动空间。本项目核医学科控制区、监督区出入口处均设有门禁，可有效防止无关人员进入核医学科工作区域。本项目核医学科高活室出入口处设立了卫生通过间、更衣室和淋浴间，工作人员进入高活室前穿工作服、佩戴</p> |

| | | |
|-----------|--|--|
| 患者的专用卫生间。 | 制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射； d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。 | 防护用品，工作结束离开前开展表面污染监测。控制区内的各患者候诊室、留观室内均设有给药后患者的专用卫生间。 |
|-----------|--|--|

根据表 10-2 可知，本项目核医学场所“两区”划分明确，工作人员路径和患者路径相对独立且没有交叉，放射性药物和放射性废物运送通道较为合理。工作场所控制区相对集中，场所内部的各功能区域分开布置，可有效防止交叉污染，有助于工作的开展，满足《核医学放射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求。因此，总体认为本项目工作场所布局合理。

10.1.5 工作场所实体屏蔽设计

本项目核医学科工作场所内各房间墙体均为 240mm 混凝土实心砖墙（混凝土实心砖密度为 1.95t/m³），屋顶均为 120mm 混凝土楼板，地下为土层，各房间墙体和屋顶拟使用硫酸钡水泥砂浆进行防护（硫酸钡水泥砂浆密度为 3.8t/m³）。控制区内各房间和患者通道出入口门均为铅防护门，PET/CT 室、SPECT 室均设置铅玻璃观察窗。本项目配套建设的 1 座槽式衰变池位于综合楼二期南侧楼外绿化带内，衰变池四侧墙体均为 250mm 钢筋混凝土，池顶和池底均为 300mm 钢筋混凝土。本项目核医学科工作场所实体屏蔽设计见表 10-3。

表 10-3 本项目核医学科工作场所实体屏蔽设计情况

| 房间名称 | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 | 屏蔽体外场所 | 房间内尺寸 |
|---------|-------|-------------------------|----------------|---|
| 高活室 | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 医患通道、患者通道 | 东西 4.2m 南北 4.2m 面积 20.5m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 卫生通过、更衣/淋浴室 | |
| | 西墙 | 300mm 混凝土墙 | 土层 | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 运动负荷、SPECT 候诊室 | |
| | 南墙防护门 | 8mmPb | 卫生通过间 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 | 戊类库房 | |
| 废物库 | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖 | 高活室 | 东西 1.7m 南北 2.6m 面积 4.4m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 更衣/淋浴室 | |
| | 西墙 | 300mm 混凝土墙 | 土层 | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖 | 高活室 | |
| | 防护门 | 6mmPb | 高活室 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 | 戊类库房 | |
| SPECT 室 | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 控制走廊 | 东西 7.6m |

| | | | | |
|-----------------------|--------|-------------------------|----------------|---|
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 医患通道 | 南北 5.5m 面积 41.8m ² |
| | 西墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 患者通道 | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | PET/CT 室 | |
| | 患者防护门 | 6mmPb | 患者通道 | |
| | 医用防护门 | 6mmPb | 控制走廊 | |
| | 观察窗 | 6mmPb | 控制走廊 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥 | 休息室、走道 | |
| PET/CT 室 | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 控制走廊 | 东西 7.6m 南北 7.5m 面积 57.0m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | SPECT 室 | |
| | 西墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 患者通道 | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 清洁间、PET/CT 设备间 | |
| | 患者防护门 | 8mmPb | 患者通道 | |
| | 医用防护门 | 8mmPb | 控制走廊 | |
| | 设备间防护门 | 8mmPb | PET/CT 设备间 | |
| | 观察窗 | 8mmPb | 控制走廊 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 | 戊类库房、走道 | |
| PET/CT 设备间 | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖 | 更衣室 | 东西 2.2m 南北 5.7m 面积 12.5m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖 | PET/CT 机房 | |
| | 西墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 清洁间、SPECT 留观室 | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖 | 走道 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土 | 走道 | |
| SPECT 候诊室 (含卫生间 1) | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 患者通道 | 东西 6.2m 南北 6.7m 面积 28.8m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 高活室 | |
| | 西墙 | 300mm 混凝土墙 | 原汽车坡道（封闭） | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | PET 候诊室 | |
| | 东墙防护门 | 6mmPb | 患者通道 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥 | 戊类库房、走道 | |
| 运动负荷室 | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | SPECT 候诊室 | 东西 2.9m 南北 3.6m 面积 10.4m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 高活室 | |
| | 西墙 | 300mm 混凝土墙 | 原汽车坡道（封闭） | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | SPECT 候诊室 | |
| | 东墙防护门 | 6mmPb | SPECT 候诊室 | |
| | 南墙防护门 | 8mmPb | 高活室 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥 | 走道 | |
| PET 候诊室 (含卫生间 2) | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 患者通道 | 东西 6.2m |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | SPECT 候诊室 | 南北 4.3m |

| | | | | |
|---|-------|-------------------------|------------|--|
| | 西墙 | 300mm 混凝土墙 | 原汽车坡道（封闭） | 面积 26.7m ² |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | PET 留观兼抢救室 | |
| | 东墙防护门 | 8mmPb | 患者通道 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 | 戊类库房 | |
| PET 留观兼抢救室(含卫生间 3) | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 患者通道、缓冲间 | 东西 6.2m 南北 3.8m 面积 23.6m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | PET 候诊室 | |
| | 西墙 | 300mm 混凝土墙 | 原汽车坡道（封闭） | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡水泥 | 报警阀室 | |
| | 东墙防护门 | 8mmPb | 患者通道 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 | 戊类库房 | |
| SPECT 留观室(含卫生间 4) | 东墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | PET/CT 设备间 | 东西 5.0m 南北 3.8m 面积 19.0m ² |
| | 南墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 清洁间 | |
| | 西墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 患者通道、缓冲间 | |
| | 北墙 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡水泥 | 走道 | |
| | 西墙防护门 | 6mmPb | 患者通道 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥 | 戊类库房 | |
| 患者走廊 | 患者入口门 | 8mmPb | 医患通道 | 东西 2.5m 南北 18.2m 面积 45.5m ² |
| | 患者出口门 | 8mmPb | 缓冲间 | |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥 | 走道 | |
| 衰变池 | 四侧墙体 | 250mm 混凝土 | 土层 | 衰变池 3*8m ³ 沉淀池 5m ³ |
| | 池底 | 300mm 混凝土 | 土层 | |
| | 池顶 | 300mm 混凝土 | 绿化带 | |
| 注：1) 混凝土密度为 2.35t/m ³ ，混凝土实心砖密度不低于 1.95t/m ³ ，硫酸钡水泥密度为 3.8t/m ³ ，铅密度为 11.34t/m ³ ；各功能室墙面、地面均为易去污饰面，墙地接缝处无缝隙； 2) 核医学科屋顶楼板均为 120mm 混凝土楼板，SPECT 室、SPECT 候诊室、运动负荷室、SPECT 留观室屋顶附加 40mm 硫酸钡水泥，其他区域屋顶附加 60mm 硫酸钡水泥。 | | | | |

10.1.6 辐射安全与防护措施

(1) 场所分区和管理措施：本项目核医学科工作场所拟实行分区管理措施，拟设置分区管理中文标识。患者通道入口门拟设置单向门禁（单向进），从里面出来须刷卡，患者通道出口门拟设置单向门禁（单向出），从外面进入需刷卡，以实现患者单向通过的目的。卫生通过间、控制走廊、医患走廊出入口处拟安装门禁系统，禁止无关人员进入核医学科工作区域。核医学科控制区地面设置患者导流标线，PET 检查患者、SPECT 检查患者的导流标线以不同颜色进行区分，引导 PET 患者和 SPECT 患者到指定位置注射药物、候诊、影像扫描和留观。

(2) 警示措施：工作场所控制区所有出入口门外、控制区内部各房间门外拟设置明显的电离辐射警告标志，PET/CT室、SPECT室防护门上方均设置工作状态指示灯，并设置门灯联动，当控制室的防护门关闭，工作状态指示灯应自动亮起。

(3) 表面污染控制措施：高活室、废物库、PET/CT室、SPECT室、各候诊室、各留观室、患者通道、清洁间等控制区地面拟选用无缝隙、防渗、易清洗去污的材料覆盖（如地胶），墙面1.5m高度拟采用易清洗去污的防渗墙裙（如铝塑板或釉面砖），地面与墙壁接缝处无缝隙；通风橱、注射窗等放射性药物操作台面拟选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料（如不锈钢）；高活室和卫生通过间的洗手盆拟采用非接触感应式水龙头；拟为放射性药物操作人员配备防护服、乳胶手套，高活室器械柜内拟配备足量的去污用品和试剂。

(4) 外照射防护措施：

① 核医学科控制区边界、药物操作区域、患者候诊室、显像扫描室、患者通道等拟采取混凝土实心砖墙体、混凝土楼板、硫酸钡水泥涂层、铅防护门和铅玻璃等实体屏蔽措施，确保核医学科工作场所控制区边界外30cm处周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

② 药物操作防护：高活室内拟配备1个 ^{18}F 通风橱（50mmPb）和1个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱（20mmPb）， ^{18}F 药物的分装操作在 ^{18}F 通风橱内进行；拟配备1个 ^{18}F 药物运输铅盒（25mmPb）和1个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 转运防护罐（10mmPb），用于药物注射器的转运和临时存放；

③ 药物注射防护：高活室拟安装2个具有防护功能的注射窗，其中PET注射窗防护厚度40mmPb，SPECT注射窗防护厚度20mmPb。拟配备1个可移动的铅防护注射车（运动负荷患者注射时使用），防护厚度不低于5mmPb；

④ 铅废物桶：拟配备5个铅废物桶用于固体放射性废物的收集，其中：高活室内配备1个铅废物桶（20mmPb、容积10L）；PET候诊室、SPECT候诊室内各配备1个5mmPb的铅废物桶（容积10L）；废物间内配备2个5mmPb废物桶（容积不低于20L），两桶交替使用；所有铅废物桶拟内衬不易破损的塑料袋，废物桶外表面拟张贴电离辐射警告标志；

⑤ 个人防护用品：本项目拟配备2套0.5mmPb的铅防护用品（每套包括铅衣、铅帽子、铅围脖等），PET/CT室和SPECT室各1套。

⑥ 候诊患者防护：PET候诊室的2个座位之间拟设置1张8mmPb的铅屏风（长1.5m、高2m），SPECT候诊室的2个座位之间拟设置1张3mmPb的铅屏风（长1.5m、高2m），以减少候诊患者之间的相互照射。

(5) 内照射的防护：高活室配备1个 ^{18}F 通风橱和1个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱，放射性药物的暂存、分装操作均在通风橱内进行。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除

方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置；本项目高活室的 2 个通风橱均设有高效过滤器，顶部各设置 1 根独立的排风管，风量满足要求（风速大于 0.5m/s），各通风橱内废气经高效过滤器过滤后，分别通过 2 根排风管汇入 1 套独立的排风系统，2 根排风管在汇入主管道前均安装止逆阀，可防止气体逆流；本项目核医学科工作场所设置 1 套独立的排风系统，控制区内的高活室、废物库、运动负荷室、SPECT 候诊室、PET 候诊室、SPECT 室、PET/CT 室、PET 留观兼抢救室、SPECT 留观室、患者通道、患者卫生间和清洁间等房间均设有排风口，各排风口处均设有止逆阀，其中患者卫生间和清洁间设计了 1 条单独的排风路径（与其他房间的排风管道不交叉），卫生间、清洁间排风管道在综合楼屋顶处汇入场所的主排风管道。上述 2 套排风系统的主管道经场所东侧的排风井直通综合楼楼顶，排风口均位于综合楼楼顶上方 3m 高度处，楼顶 2 个排风口处均设有活性炭过滤装置。

(6) 妥善收集固体放射性废物：拟配备 5 个铅废物桶（1 个 20mmPb、4 个 5mmPb）用于固体放射性废物的收集。高活室内设 1 个 20mmPb 铅废物桶，用于暂存废弃的放射性药物注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，于每周星期一早上转移至废物库。废物库内配备 2 个 5mmPb 废物桶（容积不低于 20L），用于轮流暂存 A 类放射性固体废物；SPECT 候诊室、PET/CT 候诊室内各配备 1 个 5mmPb 废物桶，用于收集患者候诊期间可能产生的固体废物；放射性固体废物按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018] 13 号）的要求进行暂存、解控和处置，建立《放射性固体废物暂存、处置管理台账》，详细记录放射性固废的暂存、检测、解控、处置等信息。

(7) 放射性废水收集和处置：放射性废水主要包括：高活室工作人员洗手废水、各患者卫生间的冲厕废水、清洁间冲洗拖布废水、少量质控废水，以及可能产生的应急淋浴废水（应急淋浴拟采取刷卡控制，在发生应急状态时方可使用，平时不得使用），放射性废水通过专用排水管道一并排入衰变池，排水管道均铺设在核医学科地下，排水管道设计有一定坡度，可利用重力自流排水；拟建的 1 座槽式衰变池位于核医学场所南侧楼外的绿化带内，总有效容积为 24m³（8m³×3 槽），衰变池前端设沉淀池（容积 5m³，设较刀自吸泵），能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018] 13 号）中 A 类放射性废水至少暂存 30 天的要求。放射性废水衰变满足解控要求后，排入医院污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”。

(8) 辐射监测：本项目核医学科拟新增配备 1 台便携式辐射巡检仪和 2 台表面污染监

测仪，拟开展工作场所表面污染和剂量率水平监测。药物操作人员进入高活室前，穿防护服并佩戴乳胶手套，离开控制区前进行体表和操作台的表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，须立即采取去污措施。

定期开展工作场所和辐射环境监测：工作场所 X- γ 剂量率自行监测频次不少于 1 次/半年；每日工作结束后，对高活室墙面、地面，通风橱台面操作，注射窗台面等位置进行表面污染监测，监测数据记录存档；每年委托有资质的检测单位开展工作场所环境辐射水平和表面污染水平监测。

(9) 监视对讲措施：拟在核医学科高活室内安装监控摄像头，用于实时监控高活室内放射性药品的“点对点”交接、安全贮存和取用情况；拟在各患者候诊室、各留观室、患者通道内、患者通道出入口门外等处设置视频监控系统，便于观察和管理给药患者的活动；拟在 SPECT 室、PET/CT 室、各患者候诊室、留观室等区域安装语音对讲装置。

(10) 药物的订购、送药、交接措施：应按患者的实际预约量按需订购放射性药品。送药通道为核医学科北侧的 2#楼梯，供药厂家的送药人员经 2#楼梯下到负一层，获得开门权限后，经缓冲间从核医学科北侧的患者出口进入患者通道，将放射性药品送入高活室。送药时间一般安排在早上 7:00 之前医院人较少的时间段，需要二次送药的，一般安排在中午 13:00 点科室无患者的时间段，以减少对周围人员的影响；核医学科拟安排专人在高活室的摄像头下“点对点”接收放射性药品，核对核素名称、活度、数量等信息，登记放射性药品台账， ^{18}F 药物贮存在 ^{18}F 通风橱内， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物贮存在 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱内。放射性药品的铅屏蔽包装物应暂存在通风橱内，由供药厂家在下次送药时取走。

(11) 本项目核医学科拟配备的 10 名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核（考核类别为“核医学”）。拟为所有辐射工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。

本项目核医学科拟配备的防护设施、用品统计详见表 10-4，核医学科常用的防护设施和用品样图见图 10.3。

表 10-4 本项目核医学科拟配备的防护设施和用品统计表

| 名称 | 数量 | 规格 | 使用场所 |
|-------------|-----|-----------------------------|-------|
| 活度计 | 2 个 | 型号待定 | 高活室 |
| 通风橱 | 2 个 | 1 个 50mmPb、1 个 20mmPb | 高活室 |
| 翻转式铅罐（分装铅罐） | 1 个 | 40mmPb | 高活室 |
| 运输防护铅盒、防护罐 | 2 个 | 1 个 25mmPb、1 个 10mmPb | 高活室 |
| 铅防护注射窗 | 2 个 | 1 个 40mmPb、1 个 20mmPb | 高活室 |
| 移动式注射车 | 1 个 | 5mmPb | 运动负荷室 |
| 注射器防护套 | 2 个 | 1 个 5mmPb 钨合金、1 个 2mmPb 钨合金 | 高活室 |

| | | | |
|--|-----|--|--|
| 铅废物桶 | 5 个 | 1 个 20mmPb (容积 10L) | 高活室 |
| | | 2 个 5mmPb (容积 20L) | 废物库 |
| | | 2 个 5mmPb (容积 10L) | SPECT 候诊室、PET 候诊室 |
| 铅橡胶个人防护用品 | 2 套 | 0.5mmPb 铅衣、铅帽、铅围脖 | PET/CT 室、SPECT 室 |
| 铅屏风 | 2 个 | 1 个 8mmPb、1 个 3mmPb | SPECT 候诊室、PET 候诊室 |
|  | |  |  |
| (通风橱) | | (翻转式分装铅罐) | (药物运输防护铅盒) |
|  | |  |  |
| (铅防护注射窗) | | (铅废物桶、移动注射车) | (钨合金注射器防护套) |

图 10.3 核医学科常用的防护设施、用品的样图

10.2 放射性“三废”的治理

10.2.1 放射性固体废物

① **固废收集措施:** 本项目核医学科工作场所配备数量足够的铅废物桶, 所有废物桶外表面均须张贴电离辐射警告标志, 并内衬不易破损的塑料袋收纳废物; 高活室的铅废物桶主要用于暂存废弃注射器、包装物、棉球、吸水纸、一次性用品、去污废物等, 工作人员于每周星期一早上将废物密封收集并标注日期后, 转移至废物库的铅废物桶内; 废物库内配备 2 个铅桶, 两桶交替使用, 一个废物桶存满后更换另一个, 废物库内不得堆放与放射性固废暂存无关的物品。本项目 SPECT 候诊室、PET 候诊室内各配备 1 个铅废物桶, 患者候诊期间产生的放射性废物于当天工作结束后密封收集、标注日期后, 转移至废物库暂存;

② **固废暂存与解控:** 放射性固废在废物库暂存至少 30 天后, 使用经检定或校准合格的检测仪器对废物辐射剂量率和表面污染水平进行监测, 经监测废物表面辐射剂量率为所处

环境本底水平，且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物进行清洁解控并作为医疗废物处置，经患者通道从核医学科北侧门运出。放射性固体废物的清洁解控拟安排在当天核医学科工作结束后进行。

③ **台账记录：**须建立《放射性固体废物暂存、处置管理台账》，详细记录放射性固体废物分类（A类）、所含核素名称、重量、暂存起始日期、暂存截止日期、表面污染和辐射剂量率自测结果、处置日期、处置操作人员、部门负责人审核、废物去向等信息，并对自行监测数据、解控记录的真实性和真实性负责。每一袋放射性固废应填写一行记录。

④ **其他放射性固废：**本项目工作场所排风系统楼顶排风口处的1个活性炭过滤装置、高活室通风橱内的2个高效过滤器和楼顶排风口处的1个活性炭过滤装置，每年更换1次。拆下的废弃滤材按放射性固体废物管理，密封包装暂存于废物库内，暂存至少30天后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物辐射剂量率和表面污染水平进行监测，固体废物表面辐射剂量率为所处环境本底水平，且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，方可实施清洁解控并作为危险废物处理，详细记录《放射性固体废物暂存、处置管理台账》。

本项目核医学科放射性固废的转移路径见图 10.4。

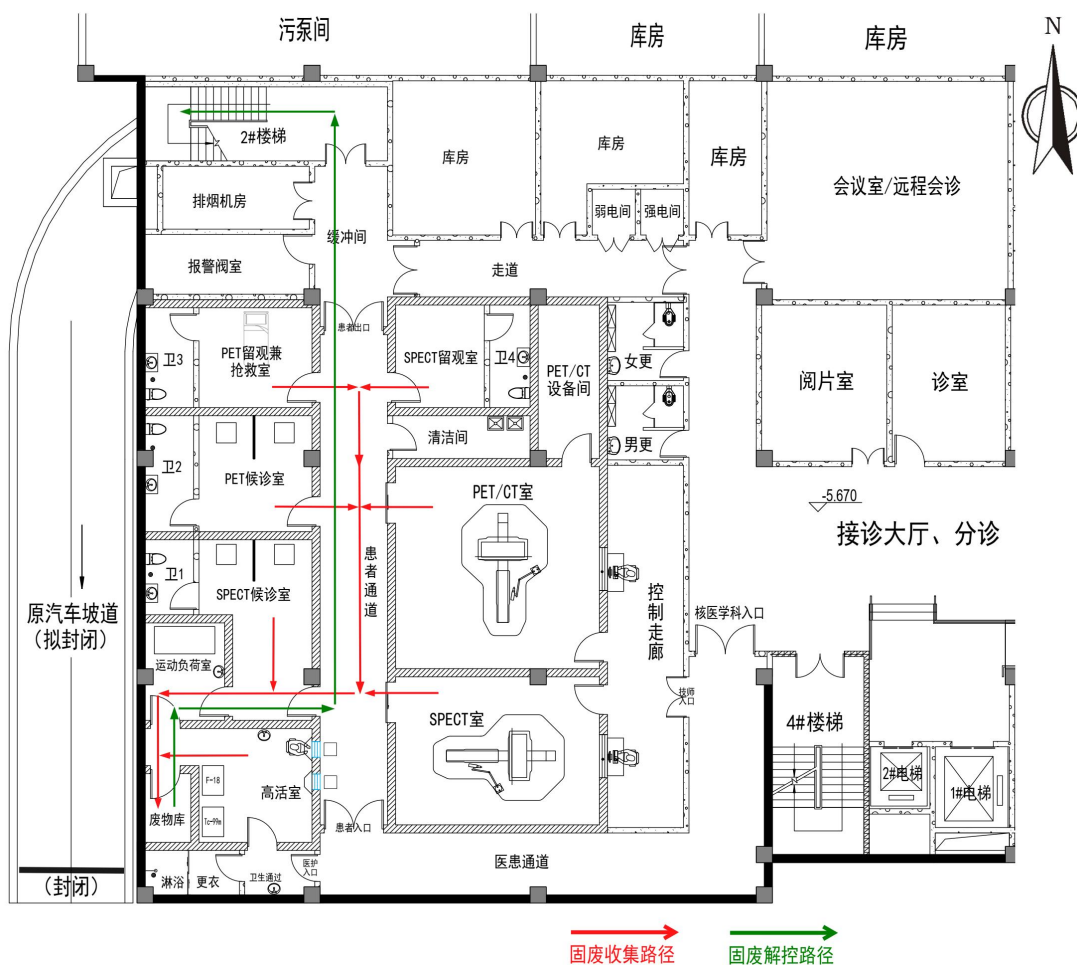


图 10.4 本项目放射性固体废物转移路径示意图

10.2.2 放射性废水管理

本项目拟新建 1 座放射性废水槽式衰变池（前端设置 1 个 5.0m^3 的沉淀池），单槽有效容积均为 8.0m^3 ，总有效容积为 24m^3 。本项目拟建的槽式衰变池位于核医学科北侧楼外的绿化带内，距离综合楼约 2.5m，衰变池正上方对应的绿化带区域拟设置围栏，围栏处拟设置“禁止停留”的警示语，衰变池井盖上方拟设置电离辐射警告标志。

（1）衰变池设计：本项目拟建衰变池位于综合楼南侧绿化带的地下，衰变池的底部标高为-4.15m，池顶检修口高出地面 0.2m，沉淀池和各衰变槽之间使用排水管道、电动阀门和污水泵依次连接，排水管道、电动阀门和污水泵均布置在检修井内。

本项目衰变池主体为钢筋混凝土结构，四周池壁均为 250mm 厚钢筋混凝土，池底和池顶均为 300mm 厚钢筋混凝土，混凝土强度等级为 C30，抗渗等级应不小于 S8，衰变池（含沉淀池）内壁和池底拟涂抹防水砂浆及耐酸碱腐蚀涂料，采用防水卷材加强防渗效果，确保放射性废液在暂存期间不发生渗漏；衰变池顶检修口的井盖拟采用铅防护井盖（等效铅当量 5mmPb），井盖处拟采取密闭措施，防止雨水倒灌。检修井上方拟设通风井。

（2）放射性废液组织路径：本项目核医学科的排水管道均铺设在地下，排水管道设计有一定坡度，可利用重力自流排水，高活室、各患者卫生间、清洁间、淋浴室的排水经支管（ND50）汇入主管道（DN110），所有管道均采用耐腐蚀的 UPVC 材质，其中主排水管道拟使用铅套管（8mmPb）进行防护。

（3）衰变池的控制和管理：

① 本项目放射性废水衰变池由程控式 PLC 控制系统自动控制，各衰变槽设有电动/手动双控球阀和液位指示装置，可实时显示液位高度、废水暂存时间等信息，具备故障自诊断和多状态报警提示功能，可在无人值守状态下实现长时间稳定运行。

② 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”方式，各衰变槽独立工作、循环使用。为防止液位控制装置失灵导致的废水超位溢流，在各衰变槽之间设溢流孔，溢流孔设置在“液位上限”上方 20cm 处。若衰变池液位控制系统故障导致电动球阀不能自动切换，则超位废液可自行溢流到下一个衰变槽内（后续轮流使用的衰变槽），避免放射性废水倒灌或溢出。衰变池的进、排水阀门均采用电动/手动双控球阀，当电动控制出现故障时，可手动开启或关闭，保证进、排水系统的正常运行。沉淀池设置铰刀自吸泵，可将固体杂质粉碎成颗粒排出，防止沉淀池内杂质堆积；

③ 放射性废水首先排入沉淀池，再通过自吸泵排入衰变槽内。衰变池系统运行时，先开启 1 槽进水管电动阀，关闭 2 槽、3 槽进水管电动阀，废水进入 1 槽——待 1 槽水位达到设计液位后，关闭 1 槽进水管电动阀，此时 1 槽内废水开始计算暂存时间——开启 2 槽进

水管电动阀，废水进入 2 槽——待 2 槽水位达到设计液位后，关闭 2 槽进水管电动阀，此时 2 槽内废水开始计算暂存时间——开启 3 槽进水管电动阀，废水进入 3 槽——在 3 槽水位还未到达设计液位前，1 槽内的废水已经暂存超过 30 天，此时开启 1 槽排水管电动阀和排水泵，对废水进行解控排放，排空后关闭 1 槽排水管电动阀和排水泵——待 3 槽水位达到设计液位后，关闭 3 槽进水管电动阀，开启 1 槽进水管电动阀，废水再次进入 1 槽。按照上述流程循环运行。

(4) 废水暂存和解控排放：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018] 13 号），本项目放射性废水仅含有 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，半衰期均小于 24h，属于 A 类放射性废水，废水暂存时间超过 30 天后，可直接解控排放，解控废水均排入医院污水处理站预处理后，排入市政管网。本项目衰变池系统拟设置取样测量装置，可对解控废水进行取样监测。四惠中医院拟安排专人负责放射性废水暂存和解控管理工作，拟建立《放射性废水暂存、处置管理台账》，详细记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。

本项目放射性废水排放路径示意图见图 10.5，衰变池的平面和剖面设计图见图 10.6。

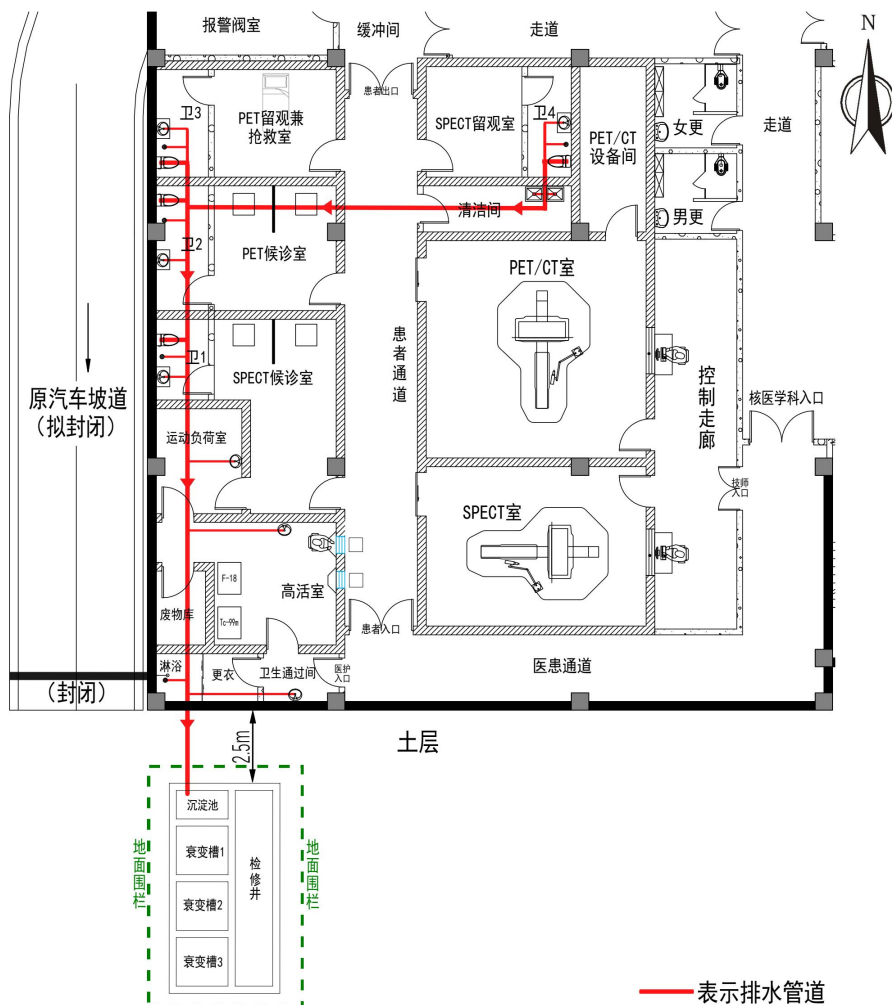
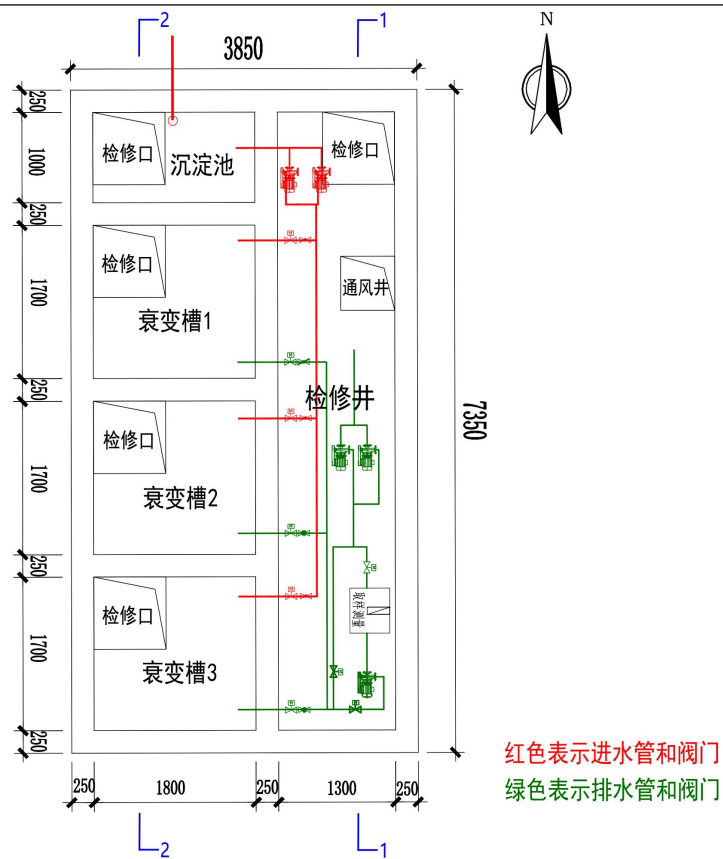
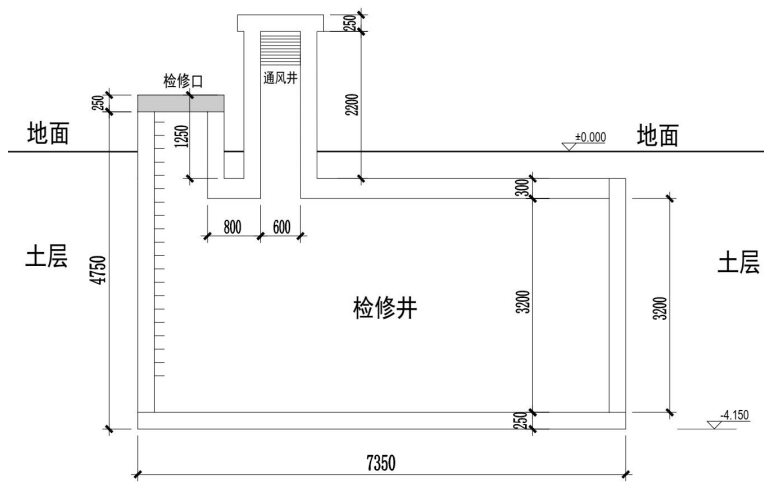


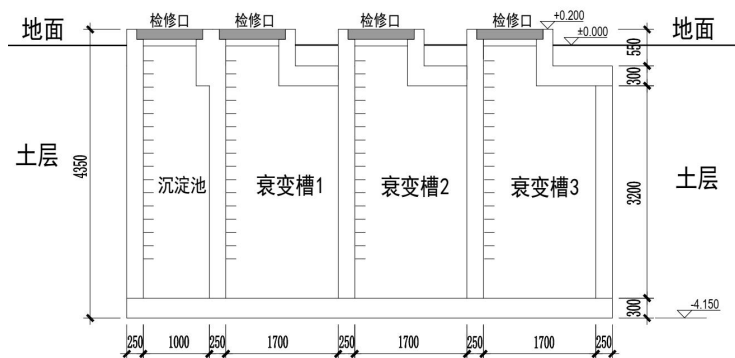
图 10.5 本项目核医学科放射性废水排放路径示意图



(衰变池平面图)



1-1剖面图



2-2剖面图

图 10.6 本项目衰变池平面和剖面设计图

10.2.3 放射性废气

本项目核医学科共设置 2 套独立排风系统，工作场所的气流组织按照监督区向控制区的流向设置，拟采取排风量略大于新风量的控制措施，维持各房间负压状态。所有排风口均拟设置止回阀，防止气体倒流。

(1) 高活室 2 个通风橱设置 1 套独立排风系统，2 个通风橱内部均设有高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.9\%$ ），顶部各设置 1 根独立排风管（均含止逆阀），各通风橱内废气通过 2 根独立排风管汇入主排风管道，主排风管道经场所东侧的排风竖井直通综合楼楼顶，排风口均位于综合楼楼顶上方 3m 高度处，排风口处设置活性炭过滤装置（过滤效率 $\geq 90\%$ ）。

(2) 核医学科工作场所区域设置 1 套独立排风系统，控制区内的高活室、废物库、运动负荷室、SPECT 候诊室、PET 候诊室、SPECT 室、PET/CT 室、PET 留观兼抢救室、SPECT 留观室、患者通道、患者卫生间和清洁间等房间均设有排风口。其中，患者卫生间和清洁间设有独立的排风路径，可防止异味扩散，患者卫生间、清洁间排风管道在综合楼屋顶处汇入工作场所的主排风管道。主排风管道经场所东侧的排风竖井直通综合楼楼顶，排风口均位于综合楼楼顶上方 3m 高度处，排风口处设置活性炭过滤装置（过滤效率 $\geq 90\%$ ）。

本项目核医学科工作场所排风系统设计示意图见图 10.7，本项目核医学科楼顶排风口位置示意图见图 10.8。

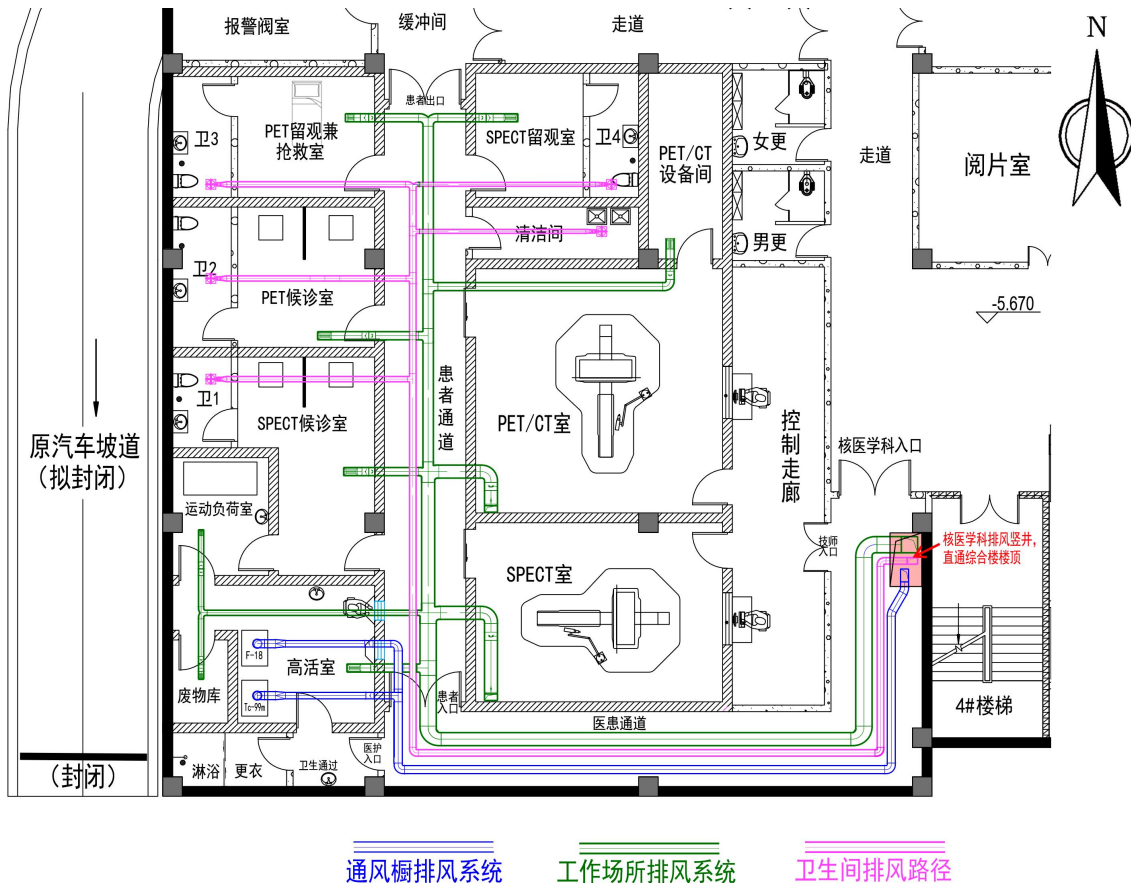


图 10.7 本项目核医学科放射性排风路径示意图

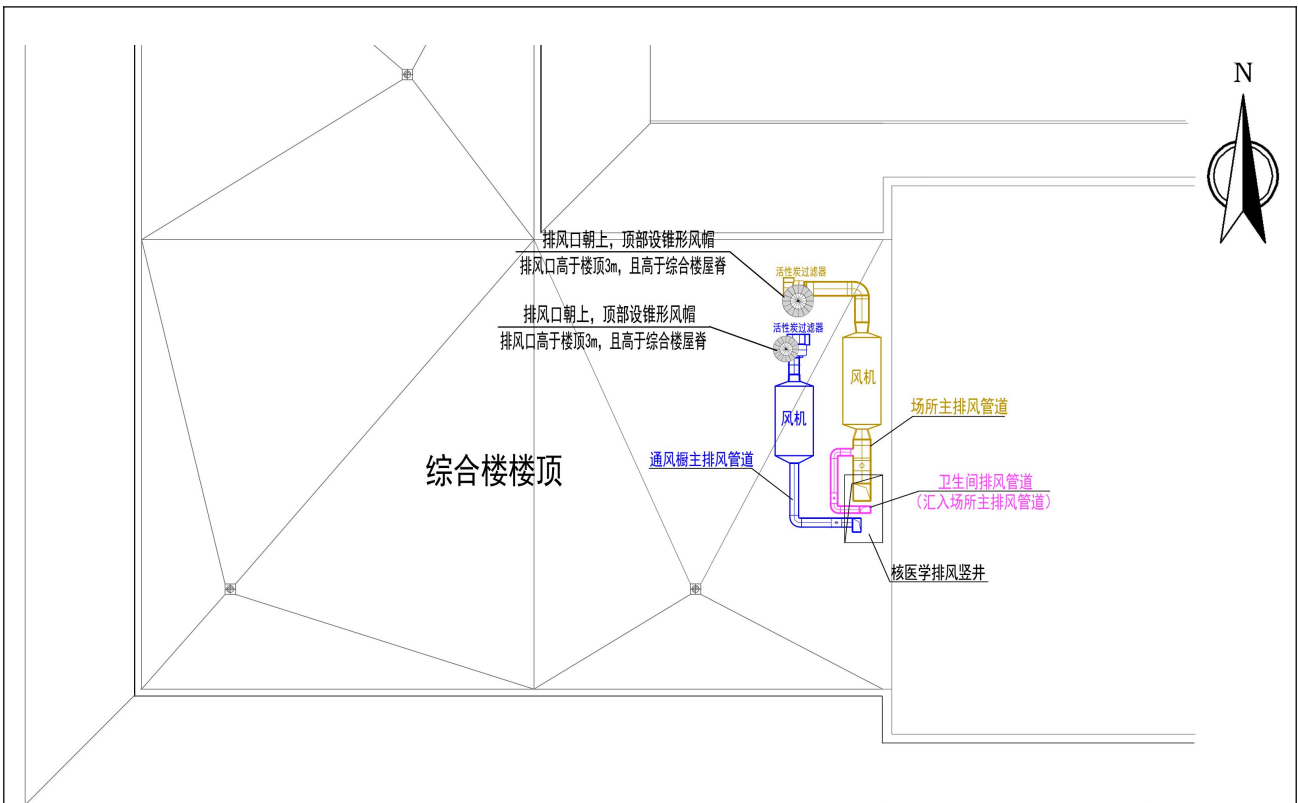


图 10.8 本项目核医学科楼顶排风口位置示意图

10.3 工作场所辐射安全与防护设施管理

本项目核医学科工作场所拟设置的辐射安全防护设施与《中国核与辐射安全管理体系现场监督检查和执法程序》（2020年版）中“非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序”（程序编号：NNSA/HQ3-08-JD-IP-030）的对比情况见表 10-5。

表 10-5 非密封放射性物质医学应用场所管理要求

| 序号 | 项目 | 检查内容 | 是否拟设置 | 备注 |
|----|--------|----------------------|-------|--|
| 1* | A 场所设施 | 场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识 | √ | 工作场所的分区布局满足 HJ1188-2021 和 GBZ120-2020 的相关要求，设置控制区标识和监督区标识，控制区和监督区主要出入口设置门禁装置 |
| 2* | | 电离辐射警告标志 | √ | 控制区所有出入口门外、控制区内部各房间门外均设置 |
| 3* | | 独立的通风设施 | √ | 工作场所设 1 套独立排风系统，高活室 2 个通风橱设 1 套独立排风系统 |
| 4* | | 治疗病房病人之间防护 | / | 门诊场所无治疗病房 |
| 5* | | 给药操作人员屏蔽 | √ | 配有通风橱、药物转运容器、铅防护注射窗（车）、钨合金注射套等 |
| 6 | | 易去污的工作台面 | √ | 不锈钢台面，表面光洁，易清洗去污 |

| | | | | |
|-----|------------|-----------------|---|---|
| 7* | | 病人专用卫生间 | √ | 各候诊室、留观室均设患者专用卫生间 |
| 8* | | 放射性核素暂存场所或设施 | √ | 放射性药物在高活室的2个通风橱内暂存，高活室内设监控摄像头 |
| 9* | B 监测设备 | 表面污染监测仪 | √ | 新增2台表面污染监测仪 |
| 10* | | 便携式辐射水平监测仪 | √ | 新增1台便携式辐射巡检仪 |
| 11* | | 个人剂量计 | √ | 10支 |
| 12 | | 个人剂量报警仪 | / | 不配备 |
| 13* | C 放射性废物和废液 | 放射性废液处理排放系统及标识 | √ | 新建24m ³ 的槽式衰变池(3槽)，井盖处设放射性标志，地面处设置围栏 |
| 14* | | 放射性固体废物暂存场所或设施 | √ | 设废物库，共配备5个铅废物桶 |
| 15* | D 防护器材 | 个人防护用品 | √ | 配备2套0.5mmPb的铅衣、铅裙、铅围脖，配备防护服、橡胶手套，口罩等用品 |
| 16* | | 放射性表面去污用品和防污染材料 | √ | 酒精、清洁剂、吸水纸、棉球、不易破损塑料袋等各类去污防护用品 |

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的均划/。不能详尽的在备注中说明。

10.4 本项目法规符合情况

10.4.1 与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的符合情况

原环保部2011年第18号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目与“18号令”要求的对照情况见表10-6。

表10-3 安全和防护能力对照检查情况

| 安全和防护管理办法要求 | 建设单位情况 | 符合情况 |
|--|---|-----------|
| 第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全连锁、报警装置或者工作信号。 | 本项目核医学科工作场所实行分区管理，设有分区管理标识，控制区所有出入口、控制区内部各房间门外设置电离辐射警告标志。患者通道出入口设有单向门禁，患者单向通行。控制区和监督区主要出入口设置门禁装置，禁止无关人员出入。PET/CT机房、SPECT机房防护门外设置工作状态指示灯和门灯连锁。工作场所拟配备通风橱、铅防护注射窗、铅废物桶等防护设施。 | 落实后 符合 |
| 第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射 | 四惠中医院每年将委托有资质单位对所有辐射工作场所开展1次辐射水平监测和表面污染水平监测，监测数据记录存档；四 | 落实后 符合 |

| | | |
|---|---|--------------|
| <p>线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。</p> | <p>惠中医院拟利用本项目新增辐射监测设备开展工作场所辐射水平和表面污染水平自行监测工作，详细记录监测结果并妥善存档。</p> | |
| <p>第十二条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。</p> | <p>医院每年1月31日前向生态环境主管部门提交上一年度的辐射安全与防护状况年度评估报告。</p> | <p>近期符合</p> |
| <p>第十七条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的不得上岗。</p> | <p>四惠中医院现有的辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，持证上岗；</p> <p>本项目拟新增的10名辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后方可上岗。</p> | <p>落实后符合</p> |
| <p>第二十三条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。</p> | <p>四惠中医院所有从事辐射工作的人员均配有个人剂量计，已委托有资质的监测机构开展个人剂量监测，个人剂量计每季度送检1次，个人剂量档案齐全。</p> <p>拟为本项目新增10名辐射工作人员配备个人剂量计，并按要求开展个人剂量监测工作。</p> | <p>落实后符合</p> |
| <p>第二十四条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。</p> | <p>四惠中医院已委托有资质的单位开展辐射工作人员个人剂量监测工作。</p> | <p>近期符合</p> |

10.4.2 对《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求满足情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环保部“3号令”，2021年1月4日生态环境部部令第20号修正）第十六条的规定，对使用射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与法规要求的对照检查见表10-7。

表 10-4 与“3 号令”要求对照检查情况

| 3 号令要求 | 建设单位落实情况 | 是否符合 |
|---|--|-------|
| 设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。 | 四惠中医院已成立辐射安全与防护管理小组，岗位职责明确，设有专职人员负责辐射安全管理的日常工作。 | 近期符合 |
| 从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。 | 四惠中医院现有的辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，持证上岗； 本项目拟新增的 10 名辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后方可上岗。 | 落实后符合 |
| 使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。 | 本项目使用的放射性药物均为外购药物，采用预定送货制，药物于使用当天送达，并暂存在高活室通风橱内，放射性药物不在核医学科长时间贮存。 | 落实后符合 |
| 放射性同位素与射线装置使用场所所有防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。 | 本项目工作场所实行分区管理，设分区管理标识，控制区所有出入口、控制区内部各房间门外设置电离辐射警告标志。患者通道出入口设有单向门禁，患者单向通行。控制区和监督区主要出入口设置门禁装置，禁止无关人员出入。PET/CT 机房、SPECT 机房防护门外设置工作状态指示灯和门灯联锁。工作场所拟配备通风橱、铅防护注射窗、铅废物桶等防护设施。 | 落实后符合 |
| 配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。 | 本项目拟新增配备 1 台便携式辐射巡检仪和 2 台表面污染监测仪，所有辐射工作人员配备个人剂量计。 | 落实后符合 |
| 有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。 | 四惠中医院拟根据本项目建设内容，完善各项辐射安全管理制度。拟新增本项目核医学科的辐射防护和安全保卫制度、放射性药物订购、放射性药物使用登记、放射性三废暂存和解控等各项管理制度，拟制定 PET/CT、SPECT 设备操作规程、核医学科工作场所辐射监测方案等。 | 落实后符合 |
| 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可 | 本项目高活室配备 2 个通风橱，通风橱设高效过滤器，设置 1 套独立排风系统。核医学科工作场所设置 1 套独立排风系统。2 套排风 | 落实后符合 |

| | | |
|----------------------|--|--------------|
| <p>行的处理方案。</p> | <p>系统收集废气后，将废气引至综合楼楼顶，经活性炭过滤后排放；核医学科产生的废水通过专用排水管道收集，排入放射性废水衰变池，按 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》的要求，暂存至少 30 天后，排入医院污水处理站；核医学科产生的放射性固体废物密封收集，在废物库的铅废物桶内暂存，暂存至少 30 天后，经自行检测符合 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》的要求后实施解控，作为医疗废物或危险废物处置。</p> | |
| <p>有完善的辐射事故应急措施。</p> | <p>四惠中医院拟更新并完善现有的《辐射事故应急处理预案》，将本项目核医学科工作场所和设备纳入应急预案进行管理。</p> | <p>落实后符合</p> |

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设阶段和设备安装阶段无辐射产生，不会对周围环境产生辐射影响。

本项目建设过程中，施工活动对环境的影响主要是产生的噪声、粉尘以及振动等，为降低对周围环境的影响，在施工过程中将严格遵守施工安全相关规定，施工期间采取降噪、防尘措施，合理安排施工时间，将产生振动较大的工程安排在下班或节假日进行。本项目是医院在已有的建筑物最底层建设核医学科场所，对室外环境和周围人群的影响很小。本项目设备安装过程由设备厂家的专业安装人员完成，设备安装过程中严格限制无关人员停留，在室内进行设备安装活动，对公众和周围环境的影响较小，不再进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科使用规划

本项目核医学科拟使用放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 标记药物开展核医学显像诊断工作，所有放射性药物均为外购，本项目核医学科工作场所使用规划见表 11-1。

表 11-1 本项目核医学科的使用规划

| 序号 | 核素种类 | 用途 | 日最大接诊量 (人次) | 单次最大用量 (Bq) | 年使用天数 (天) | 年最大接诊量 (人次) | 年最大用量 (Bq) |
|----|-------------------|-----------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|
| 1 | ^{18}F | PET/CT 诊断 | 10 人 | 3.70E+08 | 250 天 | 2500 | 9.25E+11 |
| 2 | ^{99m}Tc | SPECT 诊断 | 10 人 | 9.25E+08 | 250 天 | 2500 | 2.31E+12 |

11.2.2 剂量率估算源强

(1) PET/CT 显像诊断 ^{18}F 药物用量保守按最大用量 10mCi/人次 (370MBq/人次) 计算。根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中表 H.1，核素 ^{18}F 的周围剂量当量率常数 (裸源) 为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。将活度为 370MBq 的 ^{18}F 药液看作裸源，则距其 1m 处剂量率约为 $52.9\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；根据 GBZ120-2020 表 L.1，注射 ^{18}F 药物的患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率为 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，注射 370MBq 的 ^{18}F 药物后，距患者 1m 处剂量率为 $34\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；注射后患者平均候诊 60min 后进入 PET/CT 室开展显像检查，根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 ^{18}F 核素经过 60min 后的活度衰减因子为 0.68，则患者进入 PET/CT 室开展显像检查时，距患者 1m 处的剂量率降为 $23.1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(2) SPECT 显像诊断 ^{99m}Tc 药物用量保守按最大用量 25mCi/人次 (925MBq/人次) 计算。根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中表 H.1，核素 ^{99m}Tc 的周围剂量当量

率常数（裸源）为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。将活度为 925MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药液看作裸源，则距其 1m 处剂量率为 $28\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；根据 GBZ120-2020 表 L.1，注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的患者体内单位活度的所致体外 1m 处的周围剂量当量率为 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，注射 925MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物后，距患者 1m 处剂量率为 $19.1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

（3）本项目 PET 候诊室同时可容纳 2 名患者候诊，患者之间设置 8mmPb 的铅屏风。SPECT 候诊室同时可容纳 2 名受检者同时候诊，患者之间设置 3mmPb 的铅屏风。在计算各候诊室周围剂量率时，考虑 2 名患者同时候诊的剂量率叠加。

（4）外购的 ^{18}F 药物需要在高活室的 ^{18}F 通风橱内进行分装。本项目核医学科 ^{18}F 药物每日最大使用量为 100mCi ，每日 ^{18}F 药物最大送药量按 200mCi 计算（即 10 人次用药量，并考虑 2 倍的衰减裕量）。将活度 200mCi 的 ^{18}F 药液视为裸源，距其 1m 处的剂量率约为 $1058.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ ， ^{18}F 药物密闭存放于 40mmPb 分装铅罐中，并暂存在 50mmPb 的分装柜内（ 90mmPb 的衰减因子为 $3.79\text{E}-06$ ），则 ^{18}F 药物暂存期间，通风橱外 30cm 处（距离按 0.6m 计算）剂量率为 $4.01\text{E}-03\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，因此 ^{18}F 药物暂存期间的辐射影响很小。假设 ^{18}F 药物分装期间铅罐盖打开（即药物上方没有铅罐屏蔽），此时 ^{18}F 药物距通风橱顶部外表面的距离至少 1m 以上，经过 50mmPb 通风橱屏蔽后（衰减因子为 $9.73\text{E}-04$ ），距离通风橱上表面 30cm 处的剂量率不超过 $6.09\text{E}-01\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；考虑到工作人员在抽取药液时，每次最多只有 10mCi （ 370MBq ）的 ^{18}F 药物在铅罐外（剩余的都储存在铅罐内），经过 50mmPb 通风橱的屏蔽后（衰减因子为 $9.73\text{E}-04$ ），则 ^{18}F 药物分装期间通风橱外 30cm 人员操作位的剂量率不超过 $2.06\text{E}-01\mu\text{Sv}/\text{h}$ （药物分装操作距离取 0.5m ），因此， ^{18}F 药物贮存和分装期间通风橱外表面 30cm 处的周围剂量当量率可满足小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

（5）外购的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物为成品针剂，无需再次分装。本项目核医学科 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物每日最大使用量为 250mCi ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物针剂储存在铅屏蔽包装内，并暂存在高活室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱内。将活度 250mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药液视为裸源，距其 1m 处的剂量率约为 $280.3\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，经 20mmPb 通风橱屏蔽后（衰减因子为 $1.00\text{E}-20$ ），则 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱外 30cm 处的剂量率为 $7.79\text{E}-18\mu\text{Sv}/\text{h}$ （距离取 0.6m ），因此， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物暂存期间的辐射影响可以忽略。

（6）本项目高活室配备的铅废物桶的防护厚度为 20mmPb ，保守假设每次注射器中残留 0.1mCi 的 ^{18}F 药液，经 20mmPb 铅桶屏蔽后（衰减因子为 $6.24\text{E}-02$ ），距铅桶外 30cm 处（距离取 0.5m ）的附加剂量率为 $0.13\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，假设上午完成 10 次 ^{18}F 药物注射，考虑到注射器废物不断累积和 ^{18}F 核素衰变，距废物桶外 30cm 处（距离取 0.5m ）的辐射剂量率不超过 $0.7\mu\text{Sv}/\text{h}$ ； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的射线能量远低于 ^{18}F ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废注射器中的残留药物经 20mmPb 的铅废物

桶屏蔽后（衰减因子为 $1.00E-20$ ），对铅废物桶外的剂量率贡献可以忽略；废物库废物桶的防护厚度不低于 5mmPb ，高活区产生的放射性固废于每周一上班前转移至废物库的铅废物桶内，由于 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的半衰期很短，废物的放射性活度已大大降低，距废物桶 30cm 处的剂量率一般不超过 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ，可满足距废物桶外 30cm 处剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

11.2.3 估算方法

在进行工作场所周围剂量率估算时，将注射后患者、药物注射器等源项近似视为点源，根据辐射剂量率和距离成平方反比衰减的规律，同时考虑墙壁、屋顶、防护门和观察窗的屏蔽作用，估算高活室、各候诊室、各检查室等有代表性场所周围的辐射剂量率和重点部位的叠加剂量率，然后结合工作环节和受照时间，估算职业人员和公众的受照剂量。

(1) 辐射剂量率估算公式

$$H = \frac{H_0 \cdot 10^{(-X/TVL)}}{d^2} \quad (1)$$

式中： H — 估算点的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 — 距源项 1m 处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

d — 源项中心到关注点的距离， m ；

X — 屏蔽体的厚度， mm ；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度， mm 。对于 ^{18}F 核素，在铅中的 TVL 取 16.6mm ，在混凝土中的 TVL 取 176mm ；对于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，在铅中的 TVL 取 1mm ，在混凝土中的 TVL 取 110mm ；混凝土实心砖和硫酸钡水泥按密度折算为混凝土厚度进行计算。

(2) 年有效剂量估算公式

$$E = H \times T \times t \quad (2)$$

式中： E — 年有效剂量， μSv ；

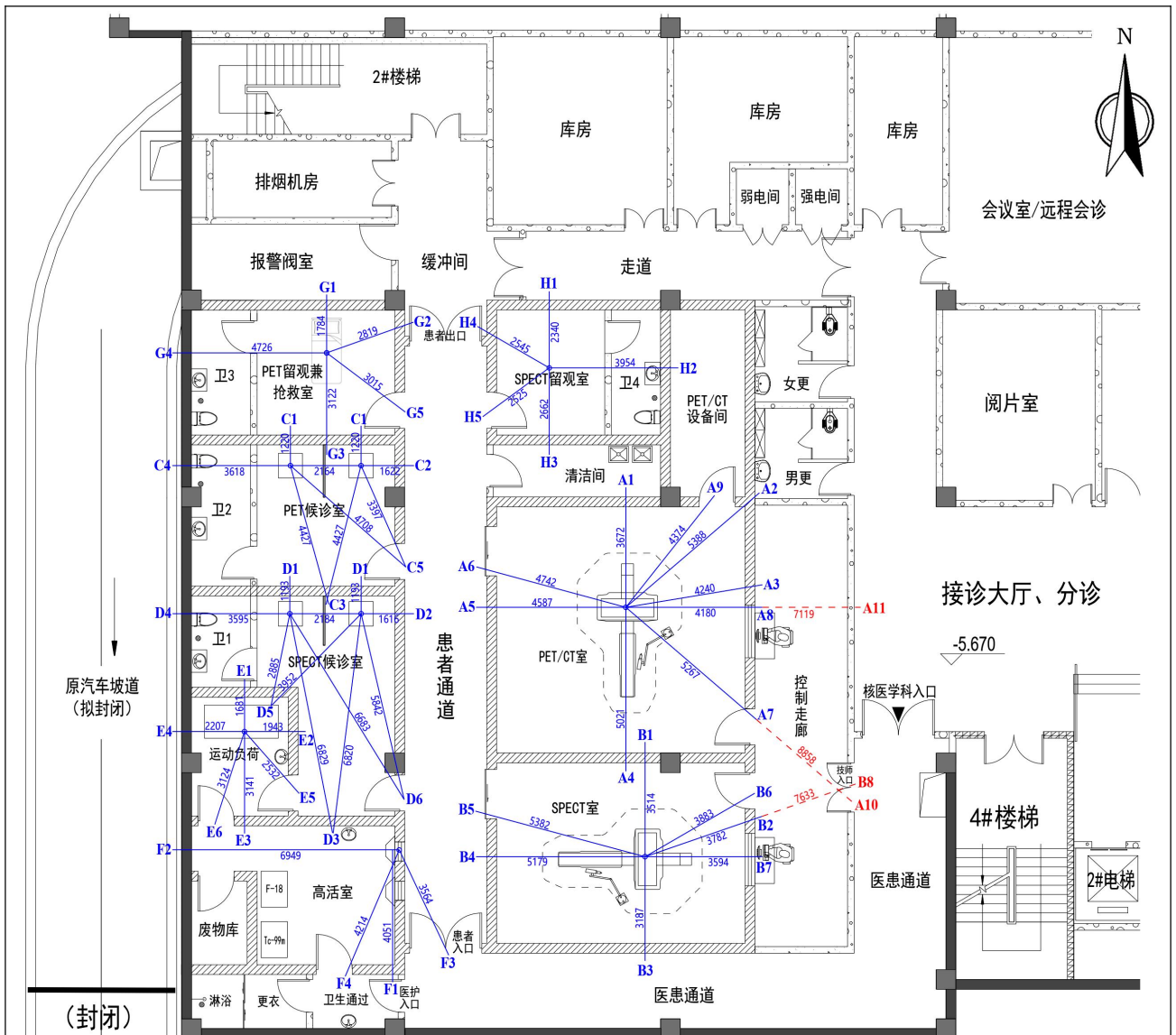
H — 关注点处的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T — 人员的居留因子；

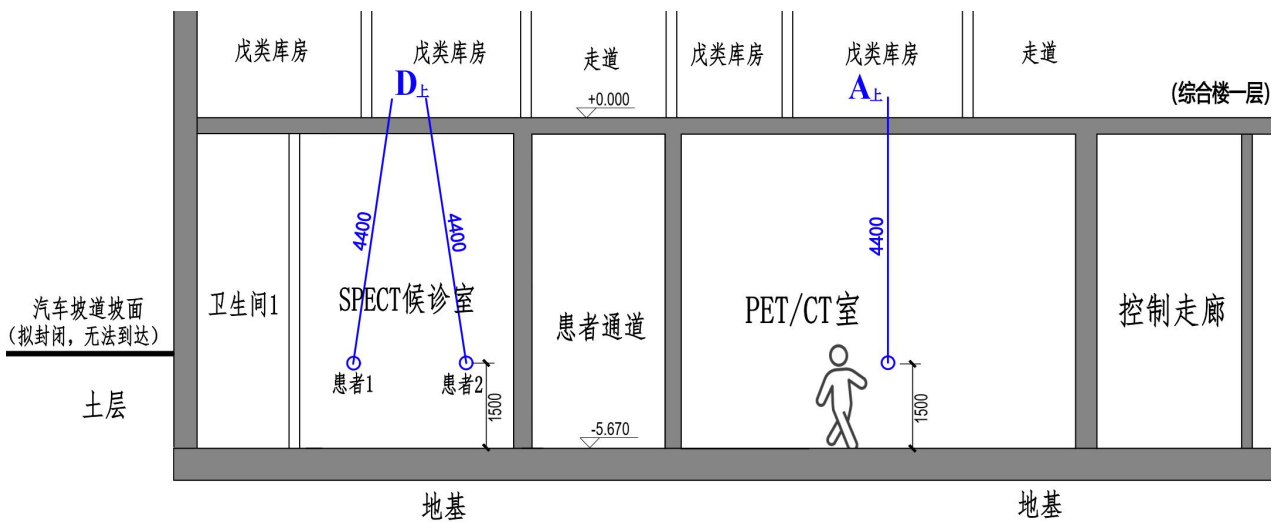
t — 年受照时间， h/a ；

(3) 关注点的选取

参考 AAPM108 号报告给出关注点选取原则，并结合本项目情况：本次评价工作场所四周的关注点位置取各房间墙、防护门窗外 30cm 处，楼上关注点位置取一层距地面上方 30cm 处，工作场所各房间的层高约 5.6m ，将药物和受检者均视为点源，距地面的高度保守取 1.5m 。PET 候诊室、SPECT 候诊室均考虑 2 名患者同时候诊的剂量率叠加情况。本项目核医学科工作场所周围关注点示意图详见图 11.1。



土层
(平面示意图)



(剖面示意图)

图 11.1 本项目核医学科工作场所周围关注点示意图

11.2.4 剂量率计算结果

(1) 各关注点的计算结果

基于上述源强分析和估算方法，保守估算工作场所各房间周围以及楼上各关注点的最大附加剂量率，本项目核医学科工作场所周围附加剂量率估算结果见表 11-2。

表 11-2 本项目核医学科工作场所周围各关注点附加剂量率估算结果

| 关注点位置 | | 估算源强 | 距离 (m) | 屏蔽材料与厚度* | 衰减因子 | 附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 所属区域 |
|-------------------------------|--------------------|--|-----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------|------|
| PET/CT 室 (A) | A1 北墙外清洁间 | 1 名 ^{18}F 显像患者 (23.1 $\mu\text{Sv/h}$) | 3.7 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 3.51E-02 | 控制区 |
| | A2 东北侧更衣室 | | 5.4 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 (考虑 45°斜射) | 4.18E-03 | 3.31E-03 | 监督区 |
| | A3 东墙外控制走廊 | | 4.2 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 2.72E-02 | 监督区 |
| | A4 南墙外 SPECT 室 | | 5.0 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 1.92E-02 | 控制区 |
| | A5 西墙外患者通道 | | 4.6 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 2.27E-02 | 控制区 |
| | A6 机房防护门外 | | 4.7 | 8mmPb | 3.30E-01 | 3.45E-01 | 控制区 |
| | A7 控制室防护门外 | | 5.3 | 8mmPb | 3.30E-01 | 2.71E-01 | 监督区 |
| | A8 观察窗外 | | 4.2 | 8mmPb | 3.30E-01 | 4.32E-01 | 监督区 |
| | A9 设备间防护门外 | | 4.4 | 8mmPb | 3.30E-01 | 3.94E-01 | 控制区 |
| | A10 控制走廊入口门外 | | 8.8 | 8mmPb | 3.30E-01 | 9.84E-02 | 监督区 |
| | A11 控制走廊东侧接诊大厅 | | 7.1 | 8mmPb | 3.30E-01 | 1.51E-01 | 普通场所 |
| A _上 楼上距地 0.3m 处 | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+60mm 硫酸钡 | 5.85E-02 | 6.98E-02 | 普通场所 | | |
| SPECT 室 (B) | B1 北墙外 PET/CT 室 | 1 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像患者 (19.1 $\mu\text{Sv/h}$) | 3.5 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.04E-03 | 3.18E-03 | 控制区 |
| | B2 东墙外控制走廊 | | 3.8 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 5.38E-03 | 监督区 |
| | B3 南墙外医患通道 | | 3.2 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 7.59E-03 | 监督区 |
| | B4 西墙外患者通道 | | 5.2 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 2.87E-03 | 控制区 |

| | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------|----------|----------|-----|
| | B5 机房防护门外 | | 5.4 | 6mmPb | 1.00E-06 | 6.55E-07 | 控制区 | |
| | B6 控制室防护门外 | | 3.9 | 6mmPb | 1.00E-06 | 1.26E-06 | 监督区 | |
| | B7 观察窗外 | | 3.6 | 6mmPb | 1.00E-06 | 1.47E-06 | 监督区 | |
| | B8 控制走廊入口门外 | | 7.6 | 6mmPb | 1.00E-06 | 3.31E-07 | 监督区 | |
| | B _上 楼上距地 0.3m 处 | | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+40mm 硫酸钡 | 2.12E-02 | 2.09E-02 | 普通场所 | |
| PET 候诊室 (C) | C1 北墙外 PET 留观/抢救室 | 2 名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h) | 1.2 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 9.82E-01 | 控制区 | |
| | | | 1.2 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | | | |
| | C2 东墙外患者通道 | 2 名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h) | 1.6 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 2.92E-01 | 控制区 | |
| | | | 3.8 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡+8mmPb | 6.86E-03 | | | |
| | C3 南墙外 SPECT 候诊室 | 2 名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h) | 4.4 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 7.31E-02 | 控制区 | |
| | | | 4.4 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | | | |
| | C4 西墙外汽车坡道 | 2 名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h) | 3.6 | 300mm 混凝土墙 | 1.97E-02 | 5.74E-02 | 普通场所 | |
| | | | 5.8 | 300mm 混凝土墙+8mmPb | 5.61E-03 | | | |
| | C5 防护门外 | 2 名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h) | 3.4 | 8mmPb (考虑 60°斜射) | 1.09E-01 | 6.41E-01 | 控制区 | |
| | | | 4.7 | 8mmPb (考虑 45°斜射) | 2.08E-01 | | | |
| | C _上 楼上距地 0.3m 处 | 2 名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h) | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+60mm 硫酸钡 | 5.85E-02 | 2.05E-01 | 普通场所 | |
| | | | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+60mm 硫酸钡 | 5.85E-02 | | | |
| | SPECT 候 诊室 (D) | D1 北墙外 PET 候诊室 | 2 名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.1μSv/h) | 1.2 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.04E-03 | 7.79E-02 | 控制区 |
| | | | | 1.2 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.04E-03 | | |
| D2 东墙外患者通道 | | 2 名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.1μSv/h) | 1.6 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 3.04E-02 | 控制区 | |
| | | | 3.8 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡+3mmPb | 4.07E-06 | | | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|---|---|-------------------------------------|--------------------------|----------|----------|-----|
| | D3 南墙外高活室 | 2名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.1μSv/h) | 6.8 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.04E-03 | 1.69E-03 | 控制区 | |
| | | | 6.8 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.04E-03 | | | |
| | D4 西墙外汽车坡道 | 2名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.1μSv/h) | 3.6 | 300mm 混凝土墙 | 1.87E-03 | 2.76E-03 | 普通场所 | |
| | | | 5.8 | 300mm 混凝土墙+3mmPb | 1.87E-06 | | | |
| | D5 南侧运动负荷室 | 2名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.1μSv/h) | 2.9 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 9.77E-03 | 控制区 | |
| | | | 3.9 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 (考虑 45°斜射) | 4.16E-04 | | | |
| | D6 防护门外 | 2名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.1μSv/h) | 5.8 | 6mmPb (考虑 60°斜射) | 1.00E-12 | 1.39E-09 | 控制区 | |
| | | | 6.7 | 6mmPb (考虑 45°斜射) | 3.27E-09 | | | |
| | D _上 楼上距地 0.3m 处 | 2名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.1μSv/h) | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+40mm 硫酸钡 | 2.12E-02 | 4.18E-02 | 普通场所 | |
| | | | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+40mm 硫酸钡 | 2.12E-02 | | | |
| | 运动负荷室 (E) | E1 北墙外 SPECT 候诊室 | 925MBq 的 ^{99m} Tc 药物 (28μSv/h) | 1.9 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 3.16E-02 | 控制区 |
| | | E2 东墙外 SPECT 候诊室 | | 1.9 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 3.16E-02 | 控制区 |
| E3 南墙外高活室 | | 3.1 | | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.04E-03 | 5.94E-03 | 控制区 | |
| E4 西墙外汽车坡道 | | 2.2 | | 300mm 混凝土墙 | 1.87E-03 | 1.08E-02 | 普通场所 | |
| E5 东墙防护门外 | | 2.5 | | 6mmPb | 1.00E-06 | 4.48E-06 | 控制区 | |
| E6 南墙防护门外 | | 3.1 | | 8mmPb | 1.00E-08 | 2.91E-08 | 控制区 | |
| E _上 楼上距地 0.3m 处 | | 4.4 | | 120mm 混凝土楼板+40mm 硫酸钡 | 2.12E-02 | 3.07E-02 | 普通场所 | |
| 高活室 (F) | F1 南墙外卫生通过间 | 370MBq 的 ¹⁸ F 药物 (52.9μSv/h) | 4.0 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 6.88E-02 | 监督区 | |
| | F2 西墙外汽车坡道 | | 6.9 | 300mm 混凝土墙 | 1.97E-02 | 2.19E-02 | 普通场所 | |
| | F3 患者通道入口门外 | | 3.6 | 8mmPb (考虑 30°斜射) | 2.78E-01 | 1.13E+00 | 监督区 | |
| | F4 南墙防护门外 | | 4.2 | 8mmPb (考虑 30°斜射) | 2.78E-01 | 8.34E-01 | 监督区 | |

| | | | | | | | |
|---|-------------------------------|--|-----|--------------------------|----------|----------|------|
| | F _上 楼上距地 0.3m 处 | | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+60mm 硫酸钡 | 5.85E-02 | 1.60E-01 | 普通场所 |
| PET 留观兼 抢救室 (G) | G1 北墙外报警阀室 | 1 名 ¹⁸ F 留观患者 (23.1μSv/h) | 1.8 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 1.48E-01 | 监督区 |
| | G2 东墙外缓冲间 | | 2.8 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 6.13E-02 | 监督区 |
| | G3 南墙外 PET 候诊室 | | 3.1 | 240mm 混凝土实心砖+60mm 硫酸钡 | 2.08E-02 | 5.00E-02 | 控制区 |
| | G4 西墙外汽车坡道 | | 4.7 | 300mm 混凝土墙 | 1.97E-02 | 2.06E-02 | 普通场所 |
| | G4 东墙防护门外 | | 3.0 | 8mmPb (考虑 30°斜射) | 2.78E-01 | 7.14E-01 | 控制区 |
| | F _上 楼上距地 0.3m 处 | | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+60mm 硫酸钡 | 5.85E-02 | 6.98E-02 | 普通场所 |
| SPECT 留 观室 (H) | H1 北墙外走道 | 1 名 ^{99m} Tc 留观患者 (19.1μSv/h) | 2.3 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 1.47E-02 | 监督区 |
| | H2 东墙外 PET/CT 设备间 | | 3.9 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 5.11E-03 | 控制区 |
| | H3 南墙外清洁间 | | 2.7 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 1.07E-02 | 控制区 |
| | H4 西墙外缓冲间 | | 2.5 | 240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡 | 4.07E-03 | 1.24E-02 | 监督区 |
| | H5 西墙防护门外 | | 2.5 | 6mmPb (考虑 30°斜射) | 1.18E-07 | 3.61E-07 | 控制区 |
| | G _上 楼上距地 0.3m 处 | | 4.4 | 120mm 混凝土楼板+40mm 硫酸钡 | 2.12E-02 | 2.09E-02 | 普通场所 |
| <p>注:(1)混凝土密度为 2.35t/m³,混凝土实心砖密度不低于 1.95t/m³,硫酸钡水泥密度为 3.8t/m³,铅密度 11.34t/m³; (2)混凝土实心砖和硫酸钡水泥按密度折算为混凝土厚度进行计算,240mm 混凝土实心砖约相当于 199mm 混凝土,60mm 硫酸钡水泥约相当于 97mm 混凝土,40mm 硫酸钡水泥约相当于 64mm 混凝土; (3)PET 候诊室、SPECT 候诊室周围关注点为均已保守按 2 名患者同时候诊进行估算; (4)高活室的源强保守取 370MBq 的 ¹⁸F 药物裸源,由于 ^{99m}Tc 药物裸源剂量率和射线能量均低于 ¹⁸F,故不再进行估算。</p> | | | | | | | |

由表 11-2 的估算结果可知,本项目核医学科工作场所控制区边界外 30cm 处的附加剂量率最大为 1.13μSv/h(患者入口防护门外 F3 点位),工作场所楼上的附加剂量率最大为 2.05E-01μSv/h(PET 候诊室内 2 名患者同时候诊时楼上戊类库房),控制区内各房间屏蔽体外表面 30cm 处的附加剂量率最大为 9.82E-01μSv/h(PET 候诊室内 2 名患者同时候诊时北墙外 C1 点位),以上估算结果均满足本项目提出的不大于 2.5μSv/h 的剂量率控制要求。

(2) PET/CT 的 CT 设备剂量率叠加分析

本项目 PET/CT 室四周墙体均为 240mm 混凝土实心砖墙+60mm 硫酸钡水泥，屋顶为 120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥，所有防护门屏蔽厚度均为 8mmPb，观察窗为 8mmPb 铅玻璃；本项目 PET/CT 室内部东西长 7.6m，南北长 7.5m，有效使用面积为 57.0m²；高清 PET/CT 间内东西长 5.5m，南北长 9.5m，净高 5.7m，使用面积为 50.6m²；本项目 PET/CT 室的空间尺寸和屏蔽设计情况见表 11-3 和表 11-4。

表 11-3 本项目 PET/CT 室的空间尺寸和使用面积

| 机房名称 | 机房空间尺寸 (m) | 机房使用面积 (m ²) | GBZ130-2020 要求 | 符合情况 |
|----------|--------------------|-----------------------------|--|------|
| PET/CT 室 | 7.6m×7.5m (长×宽) | 57.0m ² | 机房内最小单边长度 4.5m 机房内最小有效使用面积 30m ² | 符合 |

表 11-4 本项目 PET/CT 室的屏蔽防护设计情况

| 机房名称 | 屏蔽体 | 屏蔽材料及厚度 | 等效铅当量* (mmPb) | GBZ130-2020 要求 | 符合情况 |
|----------|------|------------------------------|------------------|-------------------------------|------|
| PET/CT 室 | 四周墙体 | 240mm 混凝土实心砖墙 +60mm 硫酸钡水泥 | 大于 5mmPb | 有用线束方向和非有用线束方向铅当量厚度均不小于 2.5mm | 符合 |
| | 屋顶 | 120mm 混凝土楼板+60mm 硫酸钡水泥 | 大于 4.2mmPb | | |
| | 各防护门 | 8mmPb | 8mmPb | | |
| | 观察窗 | 8mmPb | 8mmPb | | |

注：混凝土密度为 2.35t/m³，混凝土实心砖密度不低于 1.95t/m³，硫酸钡水泥密度为 3.8t/m³，铅密度 11.34t/m³；
(2) 混凝土等效铅当量换算方法依据 GBZ130-2020 附录 C，管电压取 140kV，120mm 混凝土楼板等效铅当量为 1.19mmPb。混凝土实心砖墙、硫酸钡水泥的等效铅当量取值参考《辐射防护手册-第三分册》P62 表 3.3，保守取 150kV 对应的数值，240mm 混凝土实心砖墙等效铅当量约 2mmPb，60mm 硫酸钡水泥等效铅当量大于 3mmPb。

由表 11-3 和表 11-4 可知，本项目 PET/CT 室的空间尺寸和屏蔽防护设计均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。本项目 PET/CT 的 CT 机最大管电压最高为 140kV，最大管电流为 300mA，与普通影像科 CT 的工况基本一致。环评单位查阅了普通影像诊断 CT（管电压 140kV）的剂量率分布曲线，距 CT 机 1m 处的杂散 X 射线剂量率为 0.052μGy/mAs（垂直）和 0.051μGy/mAs（水平），管电流通常不超过 300mA，1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h，故以此为例评价 PET/CT 设备的 CT 机运行时叠加辐射影响。

根据本项目 PET/CT 机房的屏蔽设计，屏蔽防护铅当量厚度最低为 4.2mmPb，依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算得，透射因子 9.87E-06，CT 机靶点至机房外关注点的最近距离按不低于 3.5m 计算，计算可得 CT 机运行所致周围的附加剂量率

不大于 $4.52\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ 。患者检查期间 PET/CT 机房周围最大附加剂量率为 $4.32\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，考虑 CT 机扫描导致的剂量率叠加后，本项目 PET/CT 室周围 30cm 处附加剂量率最高为 $4.77\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，仍满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。假设所有 PET/CT 显像诊断患者均进行 CT 扫描（全年 2500 人次），每人次 CT 扫描时间保守按照 30s 计，则全年 CT 扫描时间不超过 20.8h，则 CT 扫描对 PET/CT 室外 30cm 处全居留人员的最大附加剂量贡献仅为 $0.94\mu\text{Sv/a}$ 。因此，在保证各 PET/CT 室的辐射防护施工质量的前提下，本项目 PET/CT 设备的 CT 机运行对周围环境和人员产生的辐射影响可以忽略。

11.2.5 周围公众受照剂量估算

本项目核医学科实行工作日白班制，全年计划工作 250d，根据表 11-1 所列的最大工作量进行剂量估算，本项目核医学科各环节的工作时间如下：

（1）PET/CT 日检查人数最多为 10 人，年检查次数最多 2500 人次，PET/CT 显像检查时间平均约为 20min/人次，则 PET/CT 室内患者停留时间约为 833h/a。PET 候诊室内 ^{18}F 候诊患者累计停留时间按 2000h/a（ $8\text{h/d}\times 250\text{d/a}$ ，剂量率按 2 名患者同时候诊叠加值估算）；

（2）SPECT 日检查人数最多为 10 人，年检查次数最多 2500 人次，SPECT 显像检查时间平均约为 20min/人次，则 SPECT 室内患者停留时间约为 833h/a。SPECT 候诊室内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 候诊患者累计停留时间按 2000h/a（ $8\text{h/d}\times 250\text{d/a}$ ，剂量率按 2 名患者同时候诊叠加值估算）；

（3）保守假设每位患者均需要留观，留观时间取 10min/人，则 PET 留观室的累计使用时间为 417h/a，SPECT 留观室的累计使用时间为 417h/a；

（4） ^{18}F 药物采用预埋针方式注射，注射次数不超过 2500 次/年， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物为直接静脉注射，注射次数不超过 2500 次/年。全年总计注射 5000 次药物，每人次药物注射时间保守取 1min，全年累计药物注射时间为 83.4h/a（对应的剂量率保守均按 ^{18}F 估算）。外购的 ^{18}F 药物需要在高活室 ^{18}F 通风橱内分装并运输至注射位，每日最多分装 10 次，每年最多 2500 人次，每次 ^{18}F 药物分装时间按 2min 考虑，则全年累计操作时间为 83.4h/a。因此，本项目高活室涉源操作的累计时间按 $83.4\text{h/a}+83.4\text{h/a}=166.8\text{h/a}$ 估算（累计注射时间+ ^{18}F 累计分装时间）。

本项目核医学科工作场所采取分区管理并设置门禁系统，放射性药物操作、患者注射、候诊、显像检查区域及周边毗邻场所，无关人员无法进入核医学科的工作区域。公众人员可能停留的区域仅包括场所东侧的候诊/分诊大厅（A11 点位）、北侧的报警阀室（G1 点位）以及核医学科楼上等区域。根据 11-2 的计算结果和各环节工作时间，本项目公众成员的年受照剂量估算结果见表 11-5，可见，本项目核医学科运行所致公众人员的受照剂量不超过

25.6 μ Sv/a（PET 候诊室楼上库房），满足本项目设定的公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

表 11-5 本项目公众人员的年附加剂量估算结果

| 位置 | 关注点位 | 附加剂量率 (μ Sv/h) | 全居留时间 (h/a) | 居留 因子 | 年附加剂量 (μ Sv/a) | |
|------------------|----------------|------------------------|----------------|----------|------------------------|------|
| 东侧接诊/分诊大厅 | A11 | 1.51E-01 | 833 | 1/4 | 7.86 | |
| 控制走廊入口门外 | A10+B8 | A10 | 9.84E-02 | 833 | 1/16 | 5.12 |
| | | B8 | 3.31E-07 | 833 | | |
| 北侧报警阀室 | G1 | 1.48E-01 | 417 | 1/16 | 3.86 | |
| 北侧患者出口门外缓冲间 | G2+H4 | G2 | 6.13E-02 | 417 | 1/16 | 1.92 |
| | | H4 | 1.24E-02 | 417 | | |
| PET/CT 室楼上库房、走道 | A _上 | 6.98E-02 | 833 | 1/16 | 3.63 | |
| SPECT 室楼上休息室、走道 | B _上 | 2.09E-02 | 833 | 1/4 | 4.35 | |
| PET 候诊室楼上库房 | C _上 | 2.05E-01 | 2000 | 1/16 | 25.6 | |
| SPECT 候诊室楼上库房、走道 | D _上 | 4.18E-02 | 2000 | 1/16 | 5.23 | |
| 高活室楼上库房 | F _上 | 1.60E-01 | 166.8 | 1/16 | 1.67 | |
| PET 留观兼抢救室楼上库房 | G _上 | 6.98E-02 | 417 | 1/16 | 1.82 | |
| SPECT 留观室楼上库房 | H _上 | 2.09E-02 | 417 | 1/16 | 0.54 | |

11.2.6 职业人员附加剂量估算

（1）¹⁸F 药物分装：外购的 ¹⁸F 药物需要进行分装，¹⁸F 药物分装和活度测量均在 ¹⁸F 通风橱内完成，每日最多进行 10 次 ¹⁸F 药物分装，分装操作时间取 2min/次，年累计 ¹⁸F 药物分装时间为 83.4h/a，药物分装期间通风橱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率保守按 2.5 μ Sv/h 计算。

（2）药物转运：¹⁸F 药物单次最大注射活度为 370MBq，药物转运使用运输防护箱（防护厚度为 25mmPb），每次药物转运的平均时间保守按 20s/次，年运输 2500 次，年累计运输时间为 13.9h。运送过程中工作人员距防护箱约 30cm，经防护箱屏蔽后（衰减因子为 3.12E-02），则距防护箱外 30cm 处的剂量率约为 18.3 μ Sv/h；

^{99m}Tc 药物注射器转运铅罐防护厚度为 10mmPb，每次运送时间按 20s/次，年累计运输时间为 13.9h，25mCi 的 ^{99m}Tc 药物经 10mmPb 铅罐屏蔽后（衰减因子为 1.00E-10），则铅罐外表面 5cm 处的剂量率不超过 1.12E-05 μ Sv/h（距离取 5cm），所致工作人员年附加剂量仅有 1.56E-04 μ Sv，可忽略不计。

（3）药物注射：根据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry.98(1), 2002]：活度为 1MBq 的 ¹⁸F 药液，对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为

1.81E-03mSv/h，注射 10mCi（370MBq）的 ^{18}F 药液时，距药液 30cm 处人的深部当量剂量率约为 670 $\mu\text{Sv/h}$ 。 ^{18}F 药物注射使用 40mm 铅当量注射窗进行防护，剂量率至少可降低 2~3 个数量级，注射人员操作位的剂量率保守按 10 $\mu\text{Sv/h}$ 计算。 ^{18}F 药物注射时间保守取 1min/人次，全年 ^{18}F 药物累计注射时间为 41.7h/a。

参照《放射性核素和辐射防护数据手册》，将活度为 1MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药液看作点源，对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为 2.61E-04mSv/h，注射 25mCi（925MBq） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物时距 30cm 处人的深部当量剂量率约 241 $\mu\text{Sv/h}$ 。本项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射使用 20mmPb 的注射窗或 5mmPb 的注射车（对应的衰减因子分别为 1.0E-20 和 1.0E-05），剂量率至少可降低 5 个数量级，由于注射窗和注射车无法完全屏蔽人体的所有部位，因此注射人员操作位的剂量率保守按 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 计算。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射时间平均为 1min/人次，全年 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物累计注射时间为 41.7h/a。本项目拟配备钨合金材质的注射器防护套，供辐射工作人员注射药物时使用。

（4）患者摆位和设备操作环节：注射 ^{18}F 药物患者开展 PET 显像检查前已经过 1h 候诊，此时距离患者 1m 处的剂量率取 23.1 $\mu\text{Sv/h}$ ，技师摆位时与患者的平均距离取 1m，患者摆位时间平均为 30s/人次，年累计摆位时间为 20.8h。PET/CT 显像检查时间平均为 20min/人次，技师年累计操作 PET/CT 设备的时间为 833h；

注射 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物患者 1m 处的剂量率取 19.1 $\mu\text{Sv/h}$ ，技师摆位时与患者的平均距离取 1m，摆位时间平均为 30s/人次，年累计摆位时间为 20.8h，摆位时技师穿戴 0.5mmPb 铅衣（衰减因子为 3.16E-01），则技师铅衣后的剂量率为 6.03 $\mu\text{Sv/h}$ ；SPECT 显像检查时间平均为 20min/人次，技师年累计操作 PET/CT 设备的时间为 833h；

（5）质控环节：

① PET 质控：根据生产厂家提供的设备技术文件，本项目 PET/CT 设备具备智能无源校准功能，无需外置放射源，利用 PET 探测器 LYSO 晶体（硅酸钇镧）自带的天然本底辐射+AI 智能算法实现质控校准，包括均匀性、晶体死区、能量校准、时间校准等检测，计划每日开展 1 次智能校准，由系统自动完成，无需外置放射源和模体。在每日无源质控的基础上，本项目 PET/CT 设备计划每季度开展 1 次验证性的质控检测，该操作由物理师负责，每次最多使用 37MBq 的 ^{18}F 药物注入到水膜中进行检测，操作距离取 50cm，人员操作位剂量率为 21.2 $\mu\text{Sv/h}$ ，每次操作时间约 15min，每季度开展 1 次，年总操作时间为 1h。

② SPECT 质控：物理师定期进行 SPECT 的质控检测（包括均匀性、平面灵敏度、计数率等各项指标），假设每年设备质控总计需要用掉 740MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物，操作距离取 30cm，操作时间不超过 1h。活度为 740MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物距 30cm 处人的深部当量剂量率

为 193.1 μ Sv/h，物理师穿戴 0.5mmPb 铅衣（衰减因子为 3.16E-01），则铅衣后的剂量率为 61 μ Sv/h。

(5) 职业人员年附加剂量估算结果

根据前文分析，本项目核医学科职业人员年附加有效剂量估算结果见表 11-6。

表 11-6 本项目核医学科职业人员年附加有效剂量估算结果

| 人员岗位 | 工作环节 | 操作位附加剂量率 (μ Sv/h) | 年工作时间 (h/a) | 年附加剂量 (mSv/a) | 总附加剂量 (mSv/a) | 备注 |
|------|-------------------------------|---------------------------|----------------|------------------|------------------|-------------|
| 护士 | ^{18}F 药物分装 | 2.5 | 83.4 | 0.209 | 0.984 | 2 名护士 轮换 |
| | ^{18}F 药物转运 | 18.3 | 13.9 | 0.254 | | |
| | ^{18}F 药物注射 | 10 | 41.7 | 0.417 | | |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射 | 2.5 | 41.7 | 0.104 | | |
| 技师 | PET 患者摆位 | 23.1 | 20.8 | 0.480 | 0.970 | 4 名技师 轮换 |
| | PET 设备操作 | 4.32E-01 | 833 | 0.360 | | |
| | SPECT 患者摆位 | 6.03 | 20.8 | 0.125 | | |
| | SPECT 设备操作 | 5.38E-03 | 833 | 0.005 | | |
| 物理师 | PET 设备质控 | 21.2 | 1.0 | 2.12E-02 | 0.082 | 1 名 |
| | SPECT 设备质控 | 61.0 | 1.0 | 6.10E-02 | | |

由表 11-6 可知，本项目核医学科护士岗位的年附加剂量不超过 0.984mSv/a，技师岗位年附加剂量不超过 0.970mSv/a，物理师年附加剂量为 0.082mSv/a，估算结果均满足本评价设定的职业人员 2mSv/a 的剂量约束值要求，所有工作人员均为本项目核医学科全职人员，不从事其他辐射工作，不存在剂量叠加情况。

11.3 放射性“三废”环境影响分析

11.3.1 放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物主要包括放射性药物分装和注射期间产生的废注射器、针头、空药瓶、吸水纸、口罩和被污染的一次性用品等。本项目核医学科场所全年最大接诊量为 5000 人次，平均每人次检查产生放射性固体废物 0.02kg，全年产生放射性固体废物约 100kg，本项目核医学科仅使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，半衰期均小于 24h，根据 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，产生的放射性固体废物均属于 A 类废物。放射性固体废物使用不易破损的塑料袋密封收集、标注日期后，转移至废物库的铅废物桶内暂存，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物辐射剂量率和表面污染水平进行监测，经监测废物表面辐射剂量率为所处环境本底水平，且 β 表面污染水平小

于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物进行清洁解控并作为医疗废物处置。详细记录《放射性固体废物暂存、处置管理台账》，包括放射性固体废物分类（A类）、所含核素名称、重量、暂存起始日期、暂存截止日期、表面污染和辐射剂量率自测结果、处置日期、处置操作人员、部门负责人审核、废物去向等信息，并对自行监测数据、解控记录的真实性负责。每一袋放射性固废应填写一行记录。

此外，本项目核医学科 2 套排风系统的活性炭过滤装置滤芯（每个不大于 5kg ）、高活室 2 个通风橱的高效过滤器（每个不大于 2kg ）计划每年更换 1 次，预计每年额外产生 14kg 的固体废物，更换下来的废弃滤材妥善收集，密封包装后暂存在废物库内，暂存至少 30 天，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物辐射剂量率和表面污染水平进行监测，固体废物表面辐射剂量率为所处环境本底水平，且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，方可实施清洁解控并作为危险废物处理，并详细记录《放射性固体废物暂存、处置管理台账》。

11.3.2 放射性废水

本项目拟在核医学科南侧综合楼南侧的绿化带地下新建 1 座槽式衰变池，本项目核医学科产生废水包括：各患者专用卫生间的排泄物、冲厕废水、各洗手池废水、冲洗拖布废水、少量质控废水和应急淋洗废水等，均为 A 类放射性废水。

（1）放射性废水达标排放分析

本项目核医学科 PET 候诊室和 SPECT 候诊室设置患者专用卫生间，按照每位患者入厕 1 次，每次入厕和洗手的平均用水量按 $6\text{L}/\text{次}$ ，按照全年最大接诊量为 5000 人次计算，预计年产生废水量为 30m^3 。高活室工作人员洗手池废水量按 $20\text{L}/\text{天}$ ，年产生废水量为 5.0m^3 ；清洁间冲洗拖布废水量预计为 $40\text{L}/\text{天}$ ，年产生废水量为 10m^3 ；质控废水保守按每月 50L ，年产生废水量不超过 0.3m^3 ；应急淋浴废水保守按每年 1 次，预计用水不超过 0.2m^3 。根据以上分析，本项目核医学科满负荷运行年产生放射性废水量不超过 45.5m^3 。

本项目衰变池设有 3 个衰变槽轮流使用，单槽有效容积为 8.0m^3 ，注满单个衰变槽所用时间约 2 个月，放射性废水最多可在槽内暂存约 4 个月（即另外两槽依次注满的时间），满足 A 类放射性废水暂存时间超过 30 天的要求，可实现达标排放。

本项目核医学科的放射性废水的暂存时间超过 30 天后可直接解控排放，并在《放射性废水暂存、处置管理台账》上详细记录放射性废液所含核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息。解控排放的废水经医院的污水管网排入医院污水处理站，最终排入市政管网。

（2）衰变池的安全管理

本项目衰变池主体为钢筋混凝土结构，四周池壁均为 250mm 厚钢筋混凝土，池底和池顶均为 300mm 厚钢筋混凝土，衰变池地面上方为绿化带，没有长时间停留的公众人员。本项目衰变池正上方对应的绿化带区域拟设置围栏，围栏处拟设置“禁止停留”的警示语，衰变池井盖上方拟设置电离辐射警告标志，提醒周围公众人员不要靠近此区域，预计放射性废水的暂存和排放对周围人员和环境的影响很小。

衰变池的建设应使用抗渗等级和强度等级较高的混凝土，衰变池池壁和池底拟涂抹防水砂浆及耐酸碱腐蚀涂料，采用防水卷材加强防渗效果，确保放射性废液在暂存期间不发生渗漏。设置自动控制系统，各衰变槽设有电动/手动双控球阀和液位指示装置，能实时显示液位高度、废水暂存时间等信息，具备故障自诊断和多状态报警提示功能，可在无人值守状态下实现长时间稳定运行。

四惠中医院拟指派专人管理放射性废水的暂存、检测、解控排放和台账记录，每周派人巡视一次，加强放射性废水的管理工作。放射性废水必须暂存超过 30 天，确保废水的放射性水平符合排放标准后，依照相关规定放废水的排放要求排放。

11.3.3 放射性废气

本项目核医学科高活室的 2 个通风橱设 1 套独立排风系统，2 个通风橱内部均设有高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.9\%$ ），顶部各设置 1 根独立排风管（排风管均设有止逆阀），各通风橱内废气通过 2 根独立排风管汇入主排风管道。

本项目核医学科工作场所区域的 1 套独立排风系统，工作场所气流组织按照监督区向控制区的流向设置，控制区内各房间均设有排风口，其中患者卫生间和清洁间设单独排风路径，可防止异味扩散，患者卫生间、清洁间排风管道在综合楼屋顶处汇入工作场所主排风管道。

上述 2 套排风系统的主管道经核医学科东侧的排风竖井直通综合楼楼顶，排风口均位于综合楼楼顶上方 3m 高度处且高于综合楼屋脊，排风口处均设有活性炭过滤装置（过滤效率 $\geq 90\%$ ）。

^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的物理性质稳定且不易挥发， ^{18}F 药物分装在设有高效过滤器的通风橱内进行操作， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物无需分装直接注射，正常情况下药物操作环节不会产生气溶胶，操作时间较短，放射性核素挥发到空气中的份额可以忽略不计。即出现放射性药物偶然泼洒，含少量放射性物质的废气通过独立排风系统引至综合楼楼顶，经活性炭过滤后，排放至环境大气的放射性物质也很少，且排风口周边没有高层建筑物，废气经大气扩散后落地浓度更低，对周围公众和环境的辐射影响可忽略不计。

11.4 异常事件分析与防范建议

11.4.1 运行期间有可能发生以下异常事件

① 放射性物品保管不善：放射性药物保管不善，发生遗失或被盜，造成局部环境的放射性污染，对工作人员和公众造成额外照射；

② 药物意外洒漏：在操作放射性药物的过程中，由于工作人员操作不熟练或其他意外情况导致容器破碎、药物泼洒等事故，会污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手部和皮肤的污染，对局部环境和工作人员造成 β 放射性表面污染；意外泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，清理污染还会产生一定量放射性固体废物和应急排放的放射性废水；

③ 放射性废物管理不善：放射性固体废物、放射性废水未暂存足够时间、未按清洁解控规定擅自处理，可能会造成局部环境的放射性污染，对工作人员和公众产生辐射危害；

④ 未按规定采取铅防护措施：在放射性药物分装未按规定在通风橱内操作，放射性药物操作过程中未按规定使用铅防护设施和防护用品，药物转运过程中未使用专用的铅防护运输容器，可能造成工作人员受到超出年剂量约束值的照射。

11.4.2 事故风险防范和应急处理措施

针对在核医学科工作场所运行过程可能出现的事故，应采取一系列预防措施，避免事故的发生，尽可能控制或缓解事故后果和影响：

(1) 供药单位将放射性药物送至医院后，工作人员与送药人员在高活室内摄像头下“点对点”交接，检查药物包装，核实药物种类、活度等信息，放射性药物必须暂存在通风橱内。采取上述措施后可有效防止放射性药物丢失、被盜。

(2) 建立放射性药物使用管理制度，制定放射性药物操作规程，加强辐射工作人员的辐射安全知识和操作培训，增强辐射工作人员的安全意识。辐射工作人员上岗前须熟练掌握放射性药物操作技能和辐射防护基本知识，正确使用各类防护设施、防护用品，有能力正确处置突发意外情况。上述措施可有效避免因操作失误导致的工作场所局部放射性污染事件的发生。

(3) 在操作放射性同位素过程中，一旦发生容器破碎、药物意外泼洒造成放射性污染时，应及时采取擦拭方法去污，并用表面污染监测仪进行检测，直至表面污染水平满足GB18871-2002要求。工作人员离开高活室，在卫生通过间更换工作鞋和工作服，进行放射性表面污染监测，防止放射性污染扩散至控制区之外。

(4) 高活室、废物库配备铅废物桶，使用不易破损塑料袋妥善收集放射性固体废物，并在废物库铅废物桶内暂存，暂存超过30天并经自行检测合格后方可解控；放射性废水均

排入衰变池，废水须暂存超过 30 天后达标排放；高活室通风橱、工作场所区域内设置独立排风系统，安装高效过滤器和活性炭过滤器，废弃滤材须按放射性固体废物进行暂存和解控，解控后作为危险废物处置；上述措施可有效防止放射性“三废”对环境造成的污染和辐射影响。

(5) 严格落实个人剂量监测制度和辐射工作场所监测方案，利用辐射监测仪器开展工作场所辐射水平和表面污染水平自行监测，监测记录存档。辐射防护管理小组须定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正；加强工作场所分区管理措施，严格禁无关人员进入核医学科工作区域。

(6) 在发生意外事件与事故时，当值的工作人员应当立即向科室负责人、辐射安全管理专职人员报告，启动辐射事故应急预案。辐射防护管理小组等相关人员立刻到达现场，保护现场，控制污染范围，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。怀疑可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为了保证射线装置的安全使用和有效管理，保障辐射工作人员的健康与安全，北京四惠中医院成立了辐射安全与防护管理小组。由法定代表人任组长，执行院长任副组长，成员包括医务科、放疗科、放射科、药械设备科、保卫科的负责人，由医院副院长康文博任辐射防护负责人，专职负责医院的辐射安全与防护管理工作。

本项目核医学科成立后，核医学科主任应当加入辐射安全与防护管理小组，新的管理小组成立后，应以红头文件的形式将辐射安全与防护管理小组人员组成下发医院各科室和部门。

12.2 辐射安全管理规章制度

依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，四惠中医院已制定并印发了《北京四惠中医医院有限公司辐射安全与防护制度》（四惠办发[2025]010号），包括各项辐射安全管理规章制度、监测方案、操作规程和辐射事故应急预案等，各项规章制度已得到有效贯彻落实。

本项目实施后，四惠中医院核技术利用的种类和范围将增加“丙级非密封放射性物质工作场所”，四惠中医院将在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善现有的辐射安全管理规章制度，制定本项目核医学科工作场所辐射防护和安全保卫制度、放射性药物相关管理规定、放射性废物相关管理规定、工作场所监测方案、放射性药物/影像设备操作规程、辐射事故应急处置措施等，确保所有辐射工作有章可循。同时，组织相关科室人员进行学习，保障放射性同位素和射线装置的安全使用。

12.3 辐射工作人员

四惠中医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。目前，四惠中医院从事放射性工作的职业人员共计 17 名、辐射安全专职管理人员 1 名，均已通过了辐射安全与防护考核，持证上岗。

本项目核医学科拟配备不少于 10 名辐射工作人员，包括至少 3 名医师、4 名技师、2 名护士、1 名物理师。所有辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核（考核类别为“核医学”），通过考核后方可上岗从事辐射工作。

12.4 辐射监测

(1) 个人剂量监测

四惠中医院已定期开展辐射工作人员个人剂量监测工作，监测频次为每季度 1 次，在岗的辐射工作人员均已按照规范佩戴了个人剂量计，医院已安排专人负责个人剂量计的收发、送检和管理。四惠中医院已根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射工作人员职业健康管理规范》（卫生部令第 55 号）的要求建立了放射工作人员个人剂量档案并终生保存。

四惠中医院拟为本项目新增的 10 名辐射工作人员配备个人剂量计，委托有资质单位定期开展个人剂量监测工作。若辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值 1/4 的，须对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；如果年度个人剂量监测结果高于剂量约束值，追查超标原因，将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

(2) 工作场所辐射水平监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，四惠中医院每年应委托有资质单位对医院所有射线装置工作场所、非密封放射性物质工作场所开展工作场所环境辐射水平和表面污染水平进行监测，监测数据记录存档。

根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，四惠中医院拟利用本项目增配的便携式辐射巡检仪和表面污染监测仪开展工作场所的自行监测工作。本项目辐射工作场所的自行监测方案如下：

- 监测项目：X- γ 剂量率水平、 β 表面污染水平；
- 监测设备：便携式辐射巡检仪、表面污染监测仪；
- 监测频次：工作场所周围 X- γ 剂量率水平监测频次不少于 1 次/半年， β 表面污染水平于每日工作结束后监测 1 次，
- X- γ 剂量率监测点位：PET/CT 室和 SPECT 室的四周墙体、防护门、观察窗和楼上，高活室周围和楼上、各患者候诊室周围和楼上，以及控制区边界外 30cm 处辐射剂量率水平、衰变池上方的剂量率水平；
- β 表面污染监测点位包括：各通风橱、各注射窗的操作台面，高活室墙面和地面，PET/CT 室和 SPECT 室的扫描床、地面，各候诊室和留观室的地面、候诊椅、卫生间，患者通道地面、墙面，以及其他必要的监测点位（如铅废物桶外表面、注射车、药物转运容器、工作人员手部、工作服、防护用品、鞋帽等）

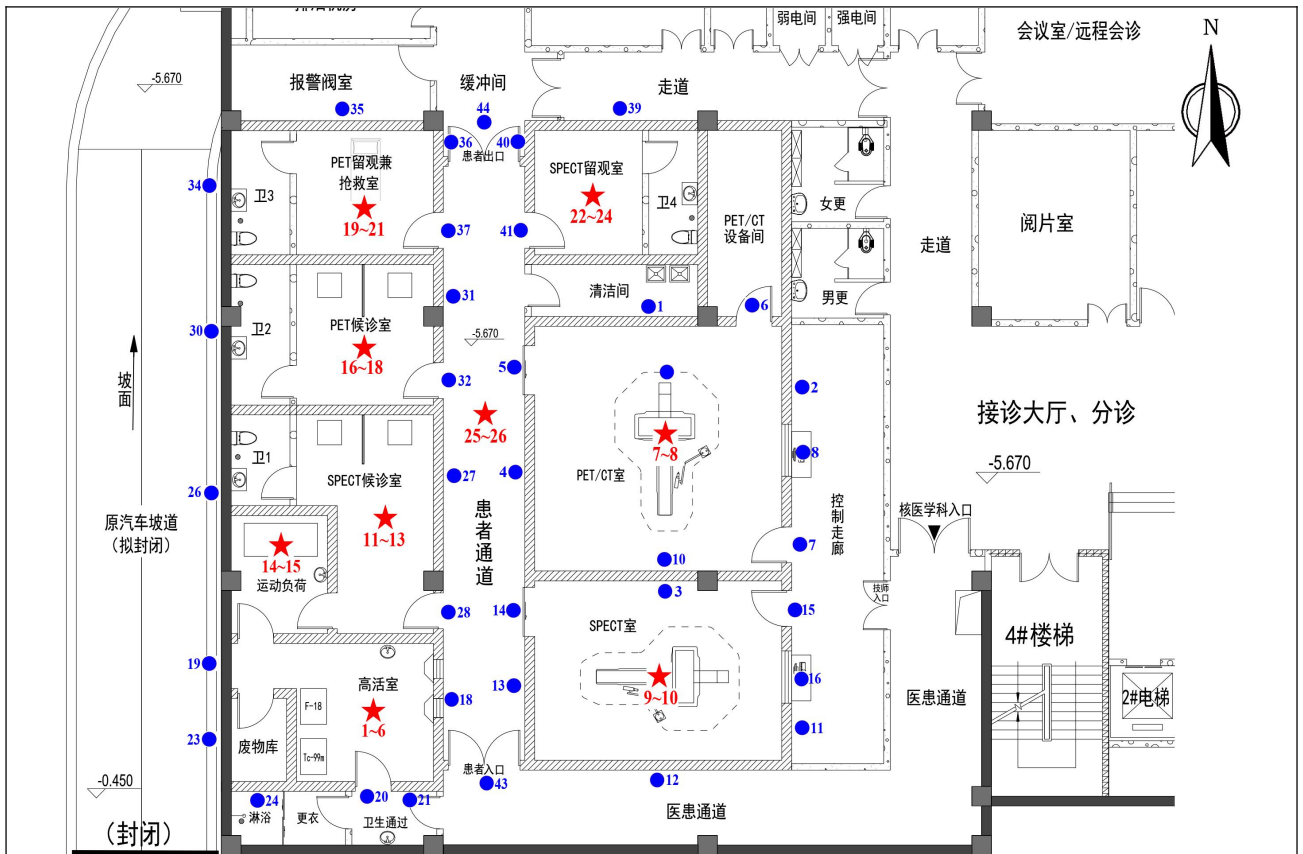
本项目核医学科工作场所 X- γ 剂量率和 β 表面污染自行监测点位分别见表 12-1 和表 12-2，自行监测点位图分别见图 12-1 和图 12-2。

表 12-1 本项目核医学科工作场所 X-γ剂量率监测点位统计

| 点位编号 | 场所名称 | 监测点位 | 监测结果 (μSv/h) |
|-------|------------|------------------------------------|--------------|
| 1~9 | PET/CT 室 | 四周墙体、观察窗、各防护门外和楼上 | |
| 10~17 | SPECT 室 | 四周墙体、观察窗、各防护门外和楼上 | |
| 18~22 | 高活室 | 东墙外患者通道、西墙外汽车坡道、南墙外卫生通过间、南墙防护门外、楼上 | |
| 23~25 | 废物库 | 西墙外汽车坡道、南墙外淋浴室、楼上 | |
| 26~29 | SPECT 候诊室 | 西墙外汽车坡道、东墙外患者通道、候诊室防护门外、楼上 | |
| 30~33 | PET 候诊室 | 西墙外汽车坡道、东墙外患者通道、候诊室防护门外、楼上 | |
| 34~38 | PET 留观兼抢救室 | 西墙外汽车坡道、北墙外报警阀室、东墙外缓冲间、留观室防护门外、楼上 | |
| 39~42 | SPECT 留观室 | 北墙外走道、西墙外缓冲间留观室防护门外、楼上 | |
| 43~44 | 患者通道 | 患者入口门外医患通道、患者出口门外缓冲间 | |
| 45 | 衰变池 | 衰变池顶部上方 | |

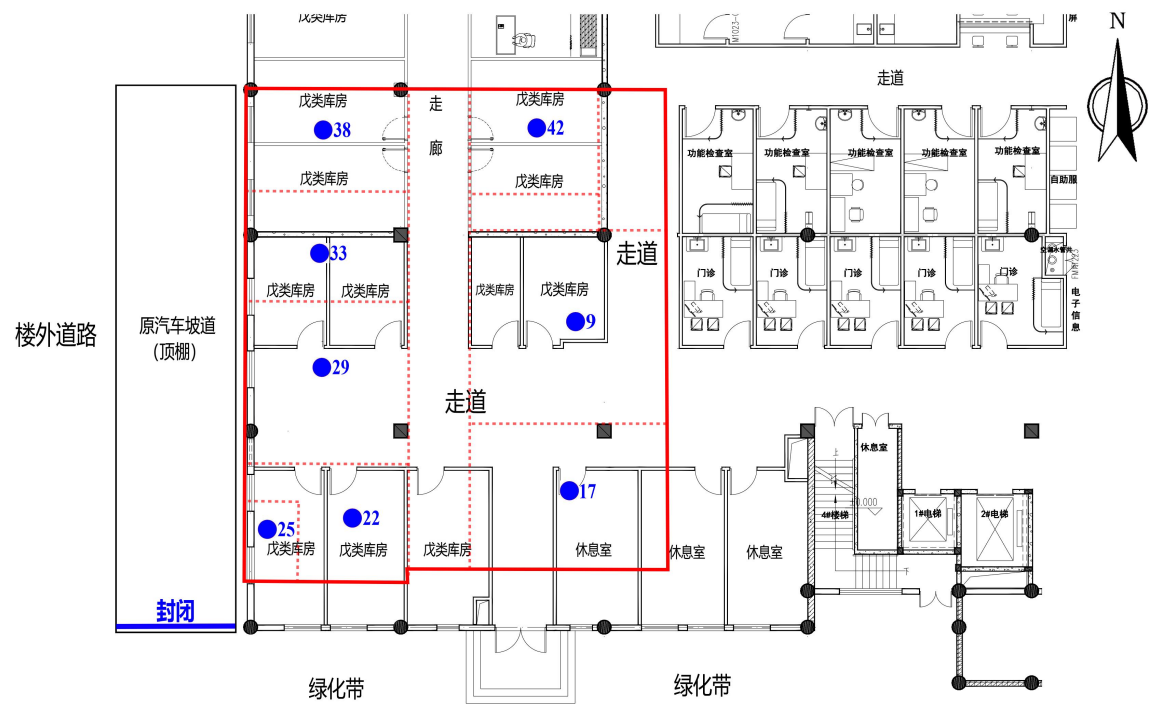
表 12-2 本项目核医学科工作场所表面污染监测点位统计

| 点位编号 | 场所名称 | 监测点位 | β表面污染 (Bq/cm ²) |
|-------|------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1~6 | 高活室 | 2 个通风橱台面、2 个注射窗台面 高活室墙面、地面 | |
| 7~8 | PET/CT 室 | 扫描床、室内地面 | |
| 9~10 | SPECT 室 | 扫描床、室内地面 | |
| 11~13 | SPECT 候诊室 | 房间地面、候诊椅、卫生间 | |
| 14~15 | 运动负荷室 | 房间地面、墙面 | |
| 16~18 | PET 候诊室 | 房间地面、候诊椅、卫生间 | |
| 19~21 | PET 留观兼抢救室 | 房间地面、病床、卫生间 | |
| 22~24 | SPECT 留观室 | 房间地面、椅子、卫生间 | |
| 25~26 | 患者通道 | 地面、墙面 | |
| 27~ | 其他重要点位 | 废物桶、注射车、药物转运容器、工作人员手部、衣服、鞋帽等 | |



● 45 衰变池
 ● 表示剂量率监测点位
 ★ 表示表面污染监测点位

图 12.1 本项目核医学工作场所自行监测点位图（负一层）



□ 表示核医学科正上方对应区域
 ● 表示剂量率监测点位

图 12.2 核医学工作场所楼上剂量率监测点位（一层）

12.5 辐射监测设备和防护用品

本项目四惠中医院拟新增配备 1 台便携式辐射巡检仪和 2 台表面污染监测仪，拟配备必要的铅防护设施设备和个人防护用品等，具体情况见表 12-3。

表 12-3 本项目核医学科拟配备防护设施和监测仪器统计

| 名称 | 数量 | 规格 | 使用场所 |
|-------------|-----|---------------------------------|-------------------|
| 通风橱 | 2 个 | 1 个 50mmPb、1 个 20mmPb | 高活室 |
| 分装铅罐 | 1 个 | 40mmPb | 高活室 |
| 运输防护铅盒、防护罐 | 2 个 | 1 个 25mmPb、1 个 10mmPb | 高活室 |
| 铅防护注射窗 | 2 个 | 1 个 40mmPb、1 个 20mmPb | 高活室 |
| 移动式注射车 | 1 个 | 5mmPb | 运动负荷室 |
| 注射器防护套 | 2 个 | 1 个 5mmPb 钨合金、 1 个 2mmPb 钨合金 | 高活室 |
| 铅废物桶 | 5 个 | 1 个 20mmPb (容积 10L) | 高活室 |
| | | 2 个 5mmPb (容积 20L) | 废物库 |
| | | 2 个 5mmPb (容积 10L) | SPECT 候诊室、PET 候诊室 |
| 铅屏风 | 2 个 | 1 个 3mmPb、1 个 8mmPb | SPECT 候诊室、PET 候诊室 |
| 个人防护用品 | 2 套 | 0.5mmPb 铅衣、铅帽、铅围脖 | PET/CT 室、SPECT 室 |
| 便携式 X-γ剂量率仪 | 1 台 | 型号待定 | 辐射水平监测 |
| 表面污染监测仪 | 2 台 | 型号待定 | 表面污染监测 |

12.6 辐射事故应急

四惠中医院拟更新现有的《辐射事故应急处理预案》，并将本项目核医学科工作场所纳入应急预案进行管理，在应急预案中进一步明确应急管理小组人员及应急职责、辐射事故的分级、应急响应流程、事故应急处置措施、事故上报流程、应急终止、应急联系方式、以及应急演练和应急培训等各项内容，每年按要求组织 1 次应急演练和应急培训。

一旦发生辐射事故，应立即启动医院辐射事故应急预案，采取必要的应急处置措施和防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应向当地卫生行政部门报告，同时，还须进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并作好详细的监测记录。

12.7 项目环保验收内容建议

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规环评[2017]4 号规定，自项目竣工之日起 3 个月内，四惠中医院应开展自主验收工作，编制竣工环境保护验收监测报告，并向社会公开相关信息，接受社会监督。本环评建议自主验收内容及要求见表 12-4。

表 12-4 本项目竣工环保验收主要内容

| 验收内容 | 验收要求 |
|-------------|---|
| 剂量限值和剂量约束值 | 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和环评预测结果,公众和职业人员的剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a;放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 的要求。 |
| 剂量率控制水平 | 核医学科工作场所控制区外 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h;控制区内各房间周围 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h;通风橱外表面 30cm 处和人员操作位处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h;废物桶外表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h; |
| 电离辐射标志和中文警示 | 工作场所控制区所有出入口门外、控制区内部各房间门外拟设置明显的电离辐射警告标志;通风橱、注射窗、药物转运容器、铅废物桶等防护设施表面均张贴电离辐射警告标志;PET/CT 室、SPECT 室防护门外设置工作状态指示灯。 |
| 场所布局和屏蔽设计 | 核医学科工作场所的布局和屏蔽防护措施与环评报告表描述一致,工作场所控制区屏蔽墙、防护门、观察窗、屋顶屏蔽射线的的能力满足辐射防护的要求。 |
| 辐射安全与防护措施 | 核医学工作场所实行分区管理,设置分区管理标识;患者通道出入口设有单向门禁,患者单向通行,工作场所控制区和监督区出入口设门禁,禁止无关人员进入;PET/CT 室、SPECT 室防护门设有工作状态指示灯和门灯连锁;高活室和工作场所内部设置视频监控系统;工作场所采取表面污染控制措施,配备防护能力符合要求的通风橱、注射窗、药物转运容器、铅废物桶等防护设施。 |
| 监测仪器 | 本项目新增配备 1 台便携式辐射巡检仪和 2 台表面污染监测仪,核医学科所有辐射工作人员配备个人剂量计,开展个人剂量监测。 |
| 放射性“三废”防治措施 | 核医学科设置满足要求的放射性固废暂存场所,配备数量足够的铅废物桶,妥善收集放射性固体废物,放射性固废暂存超过 30 天后,经自行监测达标后实施解控,建立放射性固废台账; 建设 1 座满足环境管理要求的放射性废水衰变池,衰变池具有远程监控、报警提示灯功能,可现实液位高度、暂存时间等信息,放射性废水须暂存超过 30 天后达标排放,建立放射性废水台账; 核医学科工作场所设置 1 套独立排风系统,通风橱设置 1 套独立排风系统,通风橱内部设高效过滤器;排风口设置在综合楼楼顶,排风口设有活性炭过滤装置。排风系统过滤器滤芯每年更换 1 次; |
| 规章制度 | 更新并完善现有的辐射安全管理制度,增加本项目核医学科工作场所辐射防护和安全保卫制度、放射性药物相关管理规定、放射性废物相关管理规定、工作场所监测方案、放射性药物操作规程、影像设备操作规程等管理制度,将本项目核医学科工作场所纳入监测方案管理。各项规章制度应符合工作实际,并得到有效贯彻落实。 |
| 人员培训 | 本项目拟新增 10 名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核。 |
| 应急预案 | 在现有的辐射安全事故应急预案的基础上,根据本项目内容进一步完善应急预案,辐射事故应急预案符合工作实际,针对放射性药物、射线装置使用过程可能存在的风险,制定详细的应急处置措施和应急响应流程,配备必要的应急用品,开展过辐射事故应急演练和应急培训。 |

表 13 结论与建议

13.1 结论

(1) 实践的正当性：本项目北京四惠中医医院拟在医院综合楼二期负一层西南部的空置场地新建 1 处核医学科工作场所，配套建设 1 座槽式衰变池，拟使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核医学显像诊断工作，新增使用 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT 设备。本项目的建设将进一步提升医院对各类肿瘤疾病的综合治疗能力，形成“诊断-治疗”一体的完整肿瘤放射治疗体系，为区域内患者提供更完善、更科学医疗服务，四惠中医院具备开展本项目的技术能力、专家团队、人员和经费等条件。本项目的建设和运行对受照射个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中“实践正当性”的原则与要求。

(2) 选址与布局的合理性：本项目核医学科选址周围 50m 范围内无居民楼、学校、商场等环境敏感目标和人员密集场所，评价区域内的辐射本底未见异常。工作场所不邻接产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，与周边非放射性工作场所有明确的分界隔离，尽可能做到了相对集中、独立设置，场所出口无人群稠密区域，总体认为项目选址合理。

本项目核医学工作场所布局充分考虑了核医学的工作特点和人员的安全与防护，工作场所“两区”划分明确，各功能区相对独立，功能用房齐全，工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径设置合理，实现了患者、医护、物流通道不交叉，可有效防止交叉污染，有助于工作的开展，总体认为场所布局合理。

(3) 辐射安全与防护措施：本项目核医学工作场所拟实行分区管理，拟设置分区管理标识，控制区所有出入口、控制区内部各房间门外设置电离辐射警告标志。患者走廊拟设置单向门禁控制，可保证患者单向通行，拟在控制区和监督区的主要出入口设置门禁装置，禁止无关人员出入。PET/CT 机房、SPECT 机房防护门外设置工作状态指示灯和门灯连锁；高活室和工作场所内部设置视频监控系统；工作场所操作台面、地面、墙面拟采取表面污染控制措施，拟使用易清洗去污材料；拟配备防护能力符合要求的通风橱、注射窗、药物转运容器、铅废物桶等防护设施和个人防护用品；本项目拟新增配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪和 2 台表面污染监测仪；上述各项辐射安全与防护措施落实后，可有效防止放射性污染，避免工作人员和公众受到意外照射。

(4) 辐射环境影响分析：本项目辐射工作场所屏蔽设计符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。预计核医学科工作场所运行后，工作场所控制区边界外 30cm 处及楼上的周围剂量当量率均满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求，职业人员和公众的年有效剂量均满足

本评价提出的职业人员 2mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

(5) 放射性“三废”防治措施：预计本项目核医学科投入运行后，产生放射性固体废物总量不超过 114kg/a（含废旧滤材），放射性固体废物暂存在废物库的铅废物桶内，暂存超过 30 天后，经自行监测达标后实施清洁解控；本项目拟配套建设 1 座放射性废水槽式衰变池（3 槽），单槽有效容积均为 8.0m³，总有效容积为 24m³，核医学科产生的放射性废水总量不超过 45.5m³/a，拟建衰变池可满足 A 类放射性废水暂存超过 30 天要求；本项目核医学科工作场所设置有独立的排风系统，高活室通风橱设置有独立排风管道，少量的放射性废气经高效过滤器和活性炭过滤后，引至综合楼楼顶高空排放，所有过滤器滤芯计划每年更换 1 次，废旧滤芯按放射性固体废物管理；预计采取上述防治措施后，放射性“三废”对周围环境和人员产生的辐射影响较小。

(6) 辐射安全管理：四惠中医院已成立辐射安全与防护管理小组，配备了辐射安全与防护专职管理人员，建立了各项辐射安全管理规章制度。本项目投入运行前，医院拟更新并完善现有的辐射安全管理制度，增加本项目核医学科工作场所辐射防护和安全保卫制度、放射性药物管理规定、放射性废物管理规定、工作场所监测方案、放射性药物操作规程、影像设备操作规程、辐射事故应急处置措施等。医院现有辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，本项目拟新增的 10 名辐射工作人员须网上报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后持证上岗。

(7) 与生态环境部 2021 年修订的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和原环保部第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》提出的具体要求进行对照评估，环评报告中描述的辐射安全和防护措施如果得到落实，能够满足运行的要求。

综上所述，北京四惠中医医院有限责任公司综合楼新建核医学科项目，相应的辐射安全与防护措施、放射性“三废”防治措施和辐射安全管理措施可行，在落实本报告表提出的辐射安全防护措施和放射性“三废”防治措施的前提下，工作场所运行对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的相关要求。故从辐射环境保护角度论证，该建设项目是可行的。

13.2 建议和承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京四惠中医医院有限责任公司郑重承诺：

- (1) 在项目运行过程中，严格遵守操作规程，不弄虚作假，不违规操作；
- (2) 定期检查核医学工作场所各项辐射安全与防护设施、放射性“三废”防治设施，发现问题及时整改，检查或整改记录妥善保存；
- (3) 不断加强医院的辐射安全管理工作，进一步完善辐射安全管理规章制度，落实辐

射安全管理责任；

（4）严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所进行监测，并将监测记录保存留档；

（5）加强辐射工作人员的管理，所有辐射工作人员须通过辐射安全与防护考核方可从事辐射工作。按要求定期开展辐射工作人员个人剂量监测，个人剂量档案妥善存档；

（6）及时办理辐射安全许可证重新申领手续，严格落实建设项目环境保护“三同时”制度。项目竣工后，及时组织开展竣工环境保护自行验收，在后续运行过程中接受生态环境主管部门的监督检查。

表 14 审批

下一级生态环保部门预审意见：

经办人

公 章

年 月 日

审批意见：

经办人

公 章

年 月 日