核技术利用建设项目

# 核医学科改造项目
# 环境影响报告表

北京清华长庚医院

**2021** 年 **11** 月

环境保护部监制

核技术利用项目

# 核医学科改造项目
# 环境影响报告表

建设单位名称：北京清华长庚医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市昌平区立汤路 **168** 号

邮政编码：**102218**　　联系人：李娜

电子邮箱：**lna00687@btch.edu.cn**

联系电话：**13811769361**

# 目 录

表 1　项目基本情况 ..... 1
表 2　放射源 ..... 14
表 3　非密封放射性物质 ..... 15
表 4　射线装置 ..... 16
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... 17
表 6　评价依据 ..... 18
表 7　保护目标与评价标准 ..... 21
表 8　环境质量和辐射现状 ..... 29
表 9　项目工程分析与源项 ..... 32
表 10　辐射安全与防护 ..... 39
表 11　环境影响分析 ..... 55
表 12　辐射安全管理 ..... 75
表 13　结论与建议 ..... 80
表 14　审 批 ..... 83
附图 1　北京清华长庚医院地理位置图 ..... 84
附图 2　北京清华长庚医院平面布局图 ..... 85
附图 3　北京清华长庚医院 1 号楼地下一层平面图 ..... 86
附图 4　地下一层核医学平面布局及周围关系图 ..... 87
附图 5　地上一层平面布局图（核医学科楼上） ..... 88
附图 6　地下一层平面布局图（核医学科楼下） ..... 89
附图 7　核医学科楼层剖面图 ..... 90
附图 8　核医学科分区及路由图 ..... 91
附件 1　辐射安全许可证 ..... 92

# 表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">核医学科改造</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">北京清华长庚医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>姜胜耀</td><td>联系人</td><td>李娜</td><td>联系电话</td><td>13811769361</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">北京市昌平区立汤路 168 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">北京市昌平区立汤路 168 号医院 1 号楼地下一层</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">无</td><td>批准文号</td><td colspan="2">无</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>500</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>200</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>40%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">□新建 ☑改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积（$m^2$）</td><td>390</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="4">□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">□I类（医疗使用） □II类 □III类 □IV类 ☑V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="4">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑乙　□丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="4">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">□II类 ☑III类</td></tr>
<tr><td colspan="2">其他</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

**1.1 单位概况**

北京清华长庚医院（简称“医院”）是由清华大学与北京市共建共管的大型综合性公立医院，建设和运营过程中得到了台塑企业和台湾长庚纪念医院的无私捐助和援建。医院座落于北京市昌平区天通苑地区，总规划床位 1500 床。于 2014 年 11 月 28 日开业，一期开设 1000 张床位。2015 年 11 月正式为医保患者服务；2017 年 6 月，实现异地医保直接结算；医院二期规划新增 500 张床位。

北京清华长庚医院借鉴并在地化台湾长庚纪念医院管理模式，构建现代医院管理体制和运营模式，实行党委领导下的院长负责制，专业化医疗团队与职业化行政团队分工协同治理，提高医院管理的效率和效益。

医院以优越的事业平台、舒心的工作环境和体面的薪酬待遇，从海内外引进

了一批优秀的专家，组成高水平医疗团队。首任院长董家鸿为国际著名肝胆胰外科和肝脏移植专家，于 2017 年当选中国工程院院士。医院实行 Attending 医师负责制、全责护理制和全人照护模式，并全面推行以疾病为导向的整合式医疗，持续优化医疗流程，为各类病患提供高效、优质、经济的诊疗服务，不断提升疾病治愈率和康复水准。

医院已经形成了涵盖内科部、外科部、妇儿部、专科部、急重症部、医技部、全科与健康医学部的 7 大医疗部和 50 余个临床医技专科，初步建成临床布局合理、专科设置完善、优秀人才汇聚、医院治理良善、医疗品质一流，在业界和社会享有美誉的综合性精品医院；形成了肝胆胰中心、神经中心、消化中心、急重症中心等优势突出的整合式医疗中心，涌现出心脏内科、妇产科、耳鼻咽喉头颈外科、泌尿外科、骨科、放射科、麻醉科等重点专科。医院开展国内外领先的医疗技术百余项，创下多项世界记录，以先进技术和优质服务成功救治了大批来自海内外的复杂危重病患，综合水平进入全国三级公立医院绩效考核前百位。2018 年 12 月，医院获批为首批国家临床教学培训示范中心。

北京清华长庚医院现有设备包括螺旋 CT、SPECT/CT、C 臂血管造影机、电子直线加速器、模拟定位系统等一批先进的放射诊断、治疗仪器设备。

北京清华长庚医院为已取得《辐射安全许可证》单位。

**1.2 核技术利用及辐射安全管理现状**

**1.2.1 核技术利用现状**

北京清华长庚医院已取得了辐射安全许可证（京环辐证[O0116]，有效期至 2024 年 10 月 11 日，许可的种类和范围是：使用II类、III类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，见附件 1，北京清华长庚医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1　北京清华长庚医院已许可的射线装置情况

| 序号 | 名称 | 类别（类） | 数量（台） |
|---|---|---|---|
| 1 | 计算机断层扫描仪（CT） | III | 5 |
| 2 | 牙科 X 射线 CT | III | 1 |
| 3 | SPECT/CT | III | 1 |
| 4 | 移动式 C 型臂 X 射线机 | III | 5 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | 牙根尖 X 射线机 | III | 1 |
| 6 | 移动 X 射线机 | III | 5 |
| 7 | 数字乳房摄影 X 射线机 | III | 1 |
| 8 | 碎石机 | III | 1 |
| 9 | 医疗电子直线加速器 | II | 1 |
| 10 | 遥感摄影 | III | 1 |
| 11 | 血管造影机（DSA） | II | 3 |
| 12 | 骨密度侦检仪 | III | 1 |
| 13 | 牙科全景 X 光机 | III | 1 |
| 14 | 数字常规检查射线 X 光机 | III | 4 |
| 15 | 数字胸部 X 射线机 | III | 1 |
| 16 | 移动式 G 型臂 X 射线机 | III | 1 |

北京清华长庚医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1-2。

表 1-2　北京清华长庚医院已许可非密封放射性同位素使用情况

| 工作场所名称 | 等级（类别） | 核素名称 | 日等效最大操作量（Bq） | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | 乙级 | Tc-99m | 3.70E+08 | |
| | | I-131 | 3.70E+05 | |

**1.2.2 近几年履行环保审批情况**

北京清华长庚医院近几年以来一共有 1 个辐射环评报告表项目，具体落实情况见表 1-3。

表 1-3　建设项目竣工验收落实情况

| 序号 | 环评批复文号 | 项目名称 | 类别 | 竣工验收文号 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 京环审[2018] 1 号 | 核医学科改扩建项目 | 报告表 | 未开始实施 | 计划与本项目一起实施 |

**1.2.3 辐射安全管理情况**

**1.2.3.1 辐射管理机构基本情况**

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进放射性同位素和射线装置的安全使

用，北京清华长庚医院专门成立了辐射安全管理委员会，由医技部部长担任主席，医务管理部、核医学科、放射诊断科、总务处、心脏内科、血管外科、总务处、血管外科、心内科、神经外科等各部门的相关人员担任组员，并指定医务管理部李娜专职负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表 1-4。

表 1-4　北京清华长庚医院辐射安全管理委员会成员名单

| 职位 | 姓名 | 职务或职称 | 专业 | 工作部门 | 专/兼职 |
|---|---|---|---|---|---|
| 主席 | 郑卓肇 | 医技部部长，放射诊断科科主任 | 影像医学与核医学 | 放射诊断科 | 兼职 |
| 委员 | 谢志毅 | 医务管理部部长 | 临床医学 | 医务管理部 | 兼职 |
| 委员 | 何作祥 | 核医学科科主任 | 临床医学 | 核医学科 | 兼职 |
| 委员 | 黎功 | 放射诊断科科执行主任 | 肿瘤放射治疗学 | 放射诊断科 | 兼职 |
| 委员 | 佘飞 | 心脏内科主任医师 | 心血管介入 | 心脏内科 | 兼职 |
| 委员 | 赵克强 | 血管外科副主任医师 | 胸心外科 | 血管外科 | 兼职 |
| 委员 | 苏伟 | 神经外科医师 | 外科学 | 神经外科 | 兼职 |
| 委员 | 张跃伟 | 肝胆胰介入科科主任 | 影像医学与核医学 | 肝胆介入科 | 兼职 |
| 委员 | 张琳 | 肝胆胰介入科副主任医师 | 外科学 | 肝胆介入科 | 兼职 |
| 委员 | 张小峰 | 神经内科主治医师 | 神经病学 | 神经内科 | 兼职 |
| 委员 | 唐红卫 | 消化内科主任医师 | 内科学（消化疾病） | 消化内科 | 兼职 |
| 委员 | 赵喆 | 骨科副主任医师 | 临床医学 | 骨科 | 兼职 |
| 委员 | 李冬蓉 | 护理部督导 | 护理学 | 护理部 | 兼职 |
| 委员 | 张杰 | 基础运行部部长 | 工商管理 | 基础运行部 | 兼职 |
| 委员 | 闫伟娜 | 总务处副处长 | 护理学 | 总务处 | 兼职 |
| 委员 | 李树勋 | 工务处副处长 | 项目管理 | 工务处 | 兼职 |
| 委员 | 段鹏 | 保卫科科长 | 建筑环境与设备工程 | 保卫科 | 兼职 |
| 专管员 | 刘国庆 | 放射诊断科技师 | 医学影像技术 | 放射诊断科 | 兼职 |
| 专管员 | 王兴 | 放射治疗科技师 | 医学影像技术 | 放射治疗科 | 兼职 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 专管员 | 翟彦龙 | 心脏内科技师 | 医学影像 | 心脏内科 | 兼职 |
| 专管员 | 梁斌 | 介入技师 | 生物医学工程 | 放射诊断科 | 兼职 |
| 秘书 | 李娜 | 助理主办 | 会计学 | 医务管理部 | 专职 |

**1.2.3.2 制定规章制度及落实情况**

北京清华长庚医院结合医院实际情况，已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，包括辐射防护领导小组及岗位职责、放射性同位素与射线装置操作规程、辐射工作人员培训考核计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射安全事故应急预案等，并严格按照规章制度执行。

**1.2.3.3 工作人员考核情况**

北京清华长庚医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关工作人员共 86 人（其中核医学科辐射工作人员 4 人）分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核，最早一批于 2018 年 7 月取得合格证书。

今后，医院将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

**1.2.3.4 个人剂量监测**

北京清华长庚医院所有从事辐射工作的医护人员均佩带 TLD 个人剂量计，每季度 1 次监测一次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至北京市辐射安全监管系统中。

目前，个人剂量监测工作已委托中国医学科学院放射医学研究所承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院 2020 年度个人剂量监测结果表明，大部分辐射工作人员年剂量都在 0.2mSv 左右，参与个人剂量检测人员年度个人受照剂量超出 1mSv 的只有 4 人，其中放射诊断科 1 人（剂量为 1.25 mSv），另外 3 人都是从事 DSA 工作人员（剂量分别为 1.64 mSv、1.99 mSv、1.39 mSv），其余人员

均不高于 0.6mSv，2020 年度的个人剂量报告见附件 2。

开展个人剂量检测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射防护领导小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作，如果某位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的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；必要时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。

**1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测**

已制定辐射工作场所监测制度和自行监测记录档案，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次等，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。监测记录记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，监测记录随本单位辐射安全和防护年度评估报告一并提交北京市生态环境局。

**工作场所辐射水平监测：**医院每年委托有 CMA 资质的单位对医院已有的辐射场所防护和机器性能检测一次，且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

**表面污染监测：**每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台台面、通风橱台面、注射台以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测其工作服、体表的表面污染水平。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，该项工作由使用科室工作人员自行完成。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-5。

表 1-5　医院现有辐射防护监测仪器清单

| 序号 | 仪器名称 | 型 号 | 购置日期 | 仪器状态 | 数量 | 备 注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 个人剂量仪 | 贝谷/BS2010 | 2014-07-11 | 正常 | 5 | 放射治疗科 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | x/γ 射线报警仪 | 中康联/SB-I（智能）型 | 2015-10-09 | 正常 | 1 | 放射治疗科 |
| 3 | 个人剂量仪 | RADOS/RAD-60 | 2014-12-20 | 正常 | 3 | 核医科 |
| 4 | 电离室巡测仪 | Fluck/451p | 2015-04-15 | 正常 | 1 | 放射科 |
| 5 | 射线报警仪 | 济南华宇新/BJY-1型 | 2014-07-11 | 正常 | 1 | 放射治疗科 |
| 6 | 活度计 | Capintec/CRC-25R | 2014-12-20 | 正常 | 1 | 核医科 |
| 7 | 表面沾污仪 | Mirion/RDS-80 | 2014-12-20 | 正常 | 1 | 核医科 |
| 8 | 多通道辐射剂量监测系统 | 大建华克/HK-2108 | 2014-12-20 | 正常 | 1 | 核医科 |
| 9 | 巡测仪 | 上海贝谷/BS9511 | 2014-07-11 | 正常 | 1 | 放射治疗科 |

本项目改造运行后，周围场所的辐射水平监测工作，将继续纳入医院辐射工作场所的监测范围，一并按照现有制度规定的频度开展。

**1.2.3.6 辐射事故应急管理**

北京清华长庚医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故（件）应急预案，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

2021 年 10 月 11 日下午，为规划和加强放射突发事件应急处理能力，同时最大程度地降低放射事件可能造成的后果，保障放射工作人员及患者的生命安全，医院保卫处联合医务管理部、放射科、放疗科等相关科室在门诊楼 2F 介入导管室内进行了医院本年度的放射安全事件应急演练，使工作人员知晓发生辐射时的处置流程，加强应对各类突发事件的处理能力，有效提高工作人员辐射事件的防范意识，效果良好。

**1.2.3.7 放射性废物的管理情况**

北京清华长庚医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）对放射性废物进行管理。放射性

固体废物分类收集于专用的废物库内，暂存时间分别超过 30 天、10 倍最长半衰期，对表面污染和辐射剂量率水平自行监测无异常后做为医疗废物处置。医院最近于 2021 年 8 月按照要求对废物库内暂存时间满足要求的固体废物进行了清洁解控，并进行了详细解控记录（解控记录详见附件 3），为 Tc-99m 核素的放射性固废。2019 年 3 月按照要求对衰变池 100m$^3$ 的放射性废水进行了清洁解控，并进行了详细解控记录（解控记录详见附件 4）。

**1.2.3.8 其他情况**

2020 年度，北京清华长庚医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，编写并上报了年度评估报告。

**1.3 本项目概况**

**1.3.1 建设项目背景**

医院核医学科现有 SPECT/CT 设备 1 台，2016 年 4 月正式投入使用，2019 年专科正式独立收治病患，2021 年 5~7 月核医学科检查月均检查量 107 人次/月，较 2019 年人次/月增加约 13%，预计 2022 年动用率达 100%。

目前医院正在进行二期工程建设，预计 2025 年完工后投入使用。在核医学科检查符合率达 100%至二期核医学科正式投入使用仍有至少 3 年等待期，因此需要增加相应检查设备来提升核医学科服务能力，切实保障回龙观、天通苑地区乃至周边局面的检查需求。

医院目前已联合北京大学第一医院、北京永新医疗设备有限公司开展国产创新 SPECT 的示范推广研究。该项目已在北京市科技科学技术委员会立项。希望通过该课题建立临床试验平台，开展与进行常规临床应用样板示范，开展临床特色应用对照示范，在项目实施周期内，组织核医学相关专家及人员编写使用临床规范，并定期举办相关交流会，加强 SPECT 核医学的临床推广。

1 号楼（门诊住院楼）地下一层 “核医学科改扩建项目”于 2018 年履行了环评手续，并取得了原北京市环境保护局同意建设的批复（京环审〔2018〕1 号）。该项目一直未实施。

综上所述，希望通过引进国产 SPECT，来不断加强推广 SPECT 诊疗的临床应用，熟知国产设备的临床优点及适应症，帮助医生解决问题。同时，建立远程诊断网络，实现专家资源下沉共享，实现人才队伍的培养和技术的提升。

### 1.3.2 核医学科重新改造评价

为了解决拟增加的 1 台 SPECT 安装位置及近年来核医学科布局新理念，对 1 号楼（门诊住院楼）地下一层核医学科的布局进行调整，基本原则是核医学科场所边界维持不变，高活室、注射室区域、PET 机房、PET 候诊室位置不变，放射性药物的暂存、分装、注射等活动仍集中于在高活室内完成，增加高活室与运动负荷室的通道，出、入口位置不变，衰变池位置不变，将调整 SPECT 相关区域和甲功室调到控制区内，并为了减小对楼上门急诊大厅的影响，在核医学科控制区内距楼上底板 2.0m 处增加重晶石混泥土层（隔层上面为设备管道层）。新设计图纸与已批复布局对照，具体见图 1-2 和图 1-3，场所布局发生了明显变化，属于项目重大变更，故医院拟对核医学科场所重新履行环境影响评价手续。

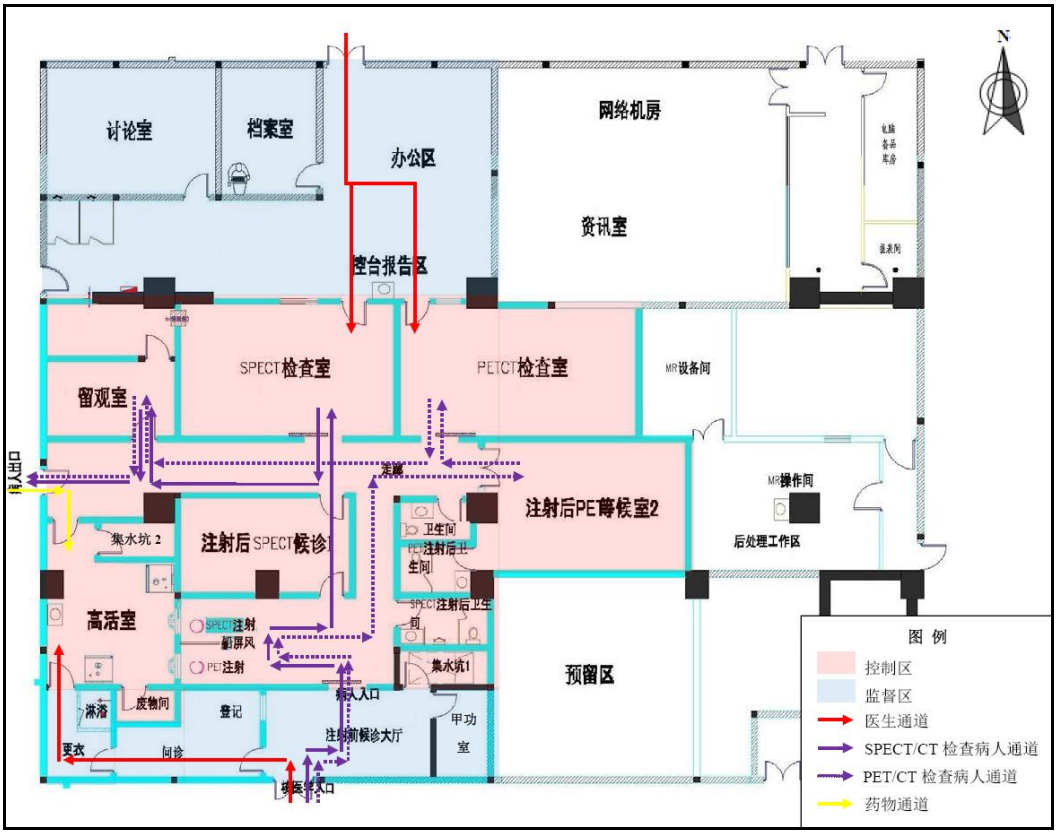



图**1-1**　京环审〔2018〕1 号批复的核医学科布局

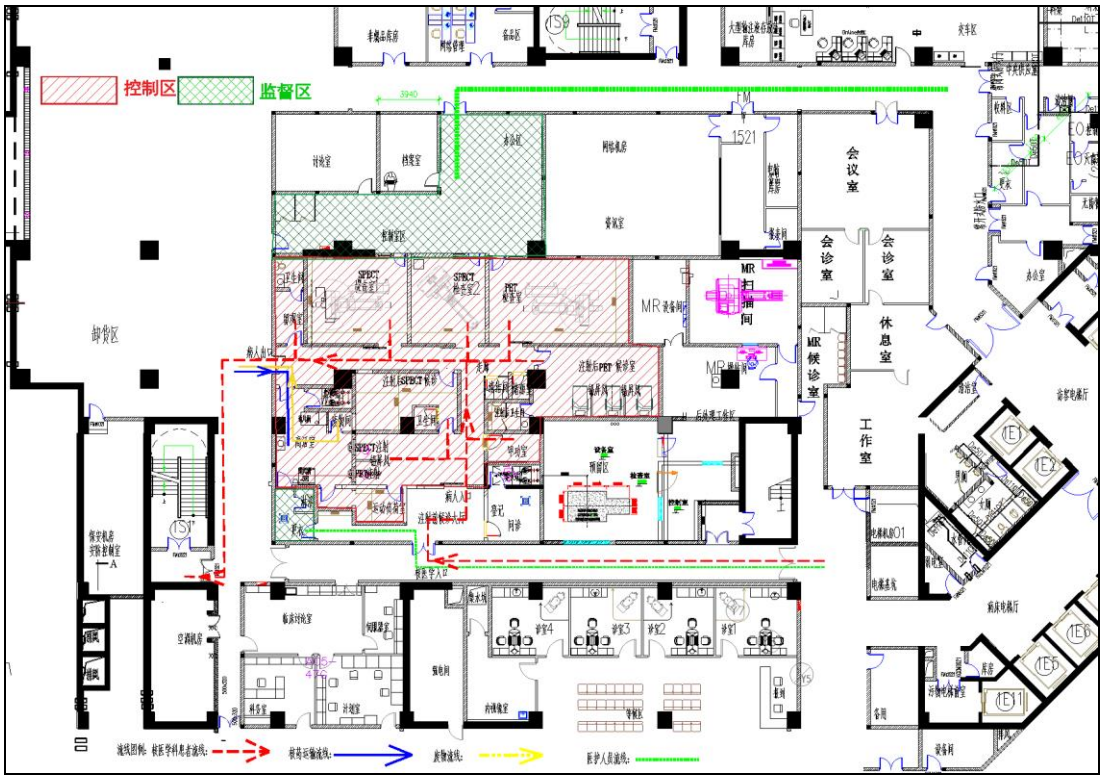



图**1-2**　重新调整后的核医学科布局

### 1.3.3 本项目建设内容

本项目除了增加1台SPECT装置（不带CT）和I-131甲亢治疗外，其它的核素种类和用量及使用的射线装置与京环审〔2018〕1 号项目一致，内容包括：

（1）使用 PET/CT、SPECT/CT、SPECT 各 1 台，使用 Tc-99m 核素药物开展 SPECT 诊断，使用 F-18 核素药物开展 PET 诊断，使用 I-131 开展核医学门诊治疗和甲状腺摄碘功能测定，该场所仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）本项目涉及的III类射线装置（PET/CT 和 SPECT/CT）及配套的校准源，方案设计时已考虑储源室和III类射线装置的防护和机房面积等要求。

（3）本项目核医学科启用后将开展一系列核医学检查和治疗项目，使用情况预计如下：

1）F-18 不大于 370MBq/人，每个检查日 PET 检查 20 人次，每年最多工作 250 天；

2）Tc-99m不大于925MBq/人，每个检查日最多检查20人次，每年最多工作250天；

3）I-131 甲状腺摄碘功能测定，每人每粒胶囊约 0.333MBq（9μCi），每日最

多实施 10 人次，每年最多工作 100 天（原来环评每年工作 250 天）；

4）用于甲亢的 I-131 使用量最多为 10 名病人/天，每周 2 天，370MBq/人

改造后核医学科各种核素和射线装置计划使用情况如表 1-6 所示。

表 1-6　核医学科诊疗拟使用的核技术情况

| 一　拟使用的射线装置情况 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 序号 | 设备名称 | 台数 | 厂家及型号 | 技术参数 | 类别 | 使用场所 |
| 1 | SPECT/CT | 1 | DiscoveryNM/CT670 | 140kV/440mA | III 类 | SPECT检查室1 |
| 2 | PET/CT | 1 | Discovery MI | 140kV/440mA | III 类 | PET检查室 |

| 二　拟使用的刻度源情况 | | |
|---|---|---|
| 序号 | 刻度源使用情况 | 备注 |
| 1 | 1 枚 Ge-68V 类源，1 枚 5.5E+7 Bq（桶源），1 枚 3.5E+6 Bq（膜体源） | PET/CT |

| 三　拟使用的核素情况 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **使用场所** | **核素种类** | **患者最大使用量（Bq）** | **预计每日最多诊疗人数** | **年最大使用天数（天）** | **日最大操作量（Bq）** | **年用量（Bq）** | **用途** |
| 核医学科 | F-18 | 3.7E+8 | 20 | 250 | 7.40E+09 | 1.85E+12 | PET 诊断 |
| | Tc-99m | 9.25E+8 | 20 | 250 | 1.85E+10 | 4.63E+12 | SPECT 诊断 |
| | I-131 | 3.33E+5 | 10 | 100 | 3.33E+06 | 3.33E+08 | 甲功检查 |
| | I-131(甲亢) | 3.7E+8 | 10 | 100 | 3.70E+09 | 3.70E+11 | 门诊治疗 |

**1.3.4 核素使用量及场所分级**

GB18871-2002 以及《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）明确了常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取：医疗机构使用 F-18 、Tc-99m 相关活动视 为“很简单的操作”，使用 I-131 核素相关活动视为“简单操作”。

核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-7 所示，小于非密封放射性物质工作场所乙级的上限（$4\times10^9$Bq）。

表 1-7　核素日等效最大操作量

| 使用场所 | 核素种类 | 日最大操作量（Bq） | 毒性组别修正因子 | 操作方式修正因子 | 日等效最大操作量（Bq） | 场所等级 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | F-18 | 5.55E+9 | 0.01 | 10 | **7.40E+06*** | 乙级（日等效最大操作量为3.96E+8Bq，保守假设全部在一天内使用） |
| | Tc-99m | 1.11E+11 | 0.01 | 10 | **1.85E+07** | |
| | I-131 | 1.33E+6 | 0.1 | 1 | **3.70E+08** | |

备注：F-18日等效最大操作量未考虑衰减量的影响，当PET检查患者饱和时，厂家为每天三次送药，送药量大约为最大使用量的2倍，则储存量对日等效最大操作量的影响很小。

**1.3.5核医学科建设规划**

（1）整体部署：1 号楼核医学科建设完成并获得相关使用许可证（辐射安全许可证、放射诊疗许可证）后，马上投入使用。

（2）设备配置：核医学科配备 1 台 SPECT 、1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT。

（3）辐射工作人员配备

根据《放射诊疗管理规定》和 2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》的要求，北京清华长庚医院制定了核医学科的辐射工作人员配置计划，详见表 1-8 所示。

**表 1-8　核医学工作人员要求及配置计划表**

| 序号 | 源项 | 相关要求 | 人员配置计划 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1台PET/CT | 单台 PET/CT 或 PET 设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名 | 医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名 | 本项目 |
| 2 | 2台SPECT | / | 医师 4 名、技师 2 名 | |

核医学科现有辐射工作人员 4 人（医师 2 人，技师 1 人，护士 1 人），根据《放射诊疗管理规定》和 2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》等要求，本项目都启用后，核医学科应配备至 12 人，需要新增 8 人（拟增医师 4 人、技师 2 人、物理师 1 人），本项目核医学科相对于已有项目，增加了 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT。新工作人员上岗前须通过辐射安全和防护考核。医院将为所有辐射工作人员配备个人剂量计，并定期对其进行剂量监测，及时告知其每季度受照剂量，并妥善保存监测数据。核医学科人员分工如下：

1）4 名放射技师负责 PET 和 SPECT 设备操作、受检者摆位、核素门诊治疗、放射性废物管理、表面污染监测等操作。

2）1 名物理师负责剂量测量与校准、治疗计划的设计与监督实施、设备的质量保证和质量控制以及辐射安全与防护管理。

3）6 名医师负责 PET 检查对象的筛选和确认，PET 和 SPECT 诊断报告编写等。

4）1名护士负责药物交接、分装和注射等。

（5）辐射监测仪器配备情况

本项目实施后核医学科继续使用已有1台表面污染仪和3台便携式剂量仪，能够满足核医学科常规的监测需求。

**1.3.6 项目建设正当性**

核医学显像可以得到三维立体信息，即由若干组二维断层图像重建而成三维图像，改变深度信息重叠的脏器方面的空间分辨率。并且能够提供全定量的分析手段，可测得单位体积的放射性浓度，能反映脏器深度方面的活性差异，提供定量分析的依据。

应用于多种肿瘤和非肿瘤性疾病的诊断，如准确定量和定性内分泌和神经内分泌肿瘤、淋巴瘤、前列腺癌、良恶性骨病变、肺栓塞、心肌缺血及消化道出血等疾病。此外，SPECT 在缩小侵袭性手术范围、心血管疾病的准确诊断和预估等方面亦有一定的价值。

本项目的建设将使医院的核医学科有能力接诊更多人次患者，帮助更多患者及时发现疾病、摆脱疾病困扰。此外，本项目建成后，也为医院核医学技术的深入研究和提高提供了支持，有利于核医学科在临床应用方面积累更丰富的经验，促进核医学技术的发展，从而进一步提高周边地区的医疗水平，可以产生一定的社会效益和经济效益。

该项目使用的 F-18、Tc-99m、I-131 标记放射性药物，开展核医学影像诊断和治疗，是核医学科较成熟的、常用的医疗手段，其使用过程中获得的利益远大于辐射可能造成的损害，符合实践正当性原则的要求。

综上所述，本项目的建设所带来的利益远高于代价，对受电离辐射照射的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》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

# 表 2　放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度（Bq）/<br>活度（Bq）×枚数 | 类别 | 活动种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Ge-68 | 5.5E+7 Bq×**1** | V | 使用 | 桶源，质控校准 | PET/CT室 | 核医学科源室 | 一般由物理师每周一次校准 |
| 2 | Ge-68 | 3.5E+6Bq×**1** | V | 使用 | 膜体源、PET和CT的对准定位 | PET检查室 | 核医学科源室 | 由厂家工程师操作 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

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 | 液体 | 使用 | 7.40E+09 | 7.40E+06 | 1.85E+12 | 使用 | 很简单操作 | 核医学科 | 核医学科高活室 |
| 2 | Tc-99m | 液体 | 使用 | 1.85E+10 | 1.85E+07 | 4.63E+12 | 使用 | 很简单操作 | | |
| 3 | I-131 | 液体、固体 | 使用 | 3.70E+09 | 3.70E+08 | 3.70E+11 | 使用 | 简单操作 | | |

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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 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 | SPECT/CT | III类 | 1 | DiscoveryNM/CT670 | 140 | 440 | 医疗诊断 | SPECT检查室1 | |
| 2 | PET/CT | III类 | 1 | Discovery MI | 140 | 440 | 医疗诊断 | PET检查室 | |
| | | | | | | | | | |

（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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 退役源 | 固体 | Ge-68 | | | | | 不长期暂存 | 送交北京市城市放射性废物库 |
| 核医学科放射性废水 | 液态 | Tc-99m F-18等（A类）<br>I-131（B类） | | | 97m$^3$ | 总β<10 Bq/L或者按表7-3值控制 | 200m$^3$衰变池暂存 | 依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，设槽式衰变池（罐），放射性废水暂存至少80d 后，经检测达标后排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。 |
| 放射性固废（手套、纱布等其他固态物质、一次性注射器） | 固态 | Tc-99m F-18等（A类） | | | 约120kg | <10$^4$ Bq/kg | 放射性固体废物在放射性废物库内储存。 | 分类收集，A 类暂存 30d，B 类暂存 10 倍核素半衰期且不少于30 天后，经自行检测，符合《关于加强医疗机 构核医学放射性废物管理的通 知》要求后，对废物办理解控并作为医疗废物处理，并做好台账记录。 |
| | | I-131、（B类） | | | | | | |
| 放射性废气 | 气态 | I-131等 | | | <3.7×10$^8$ Bq | / | 净化过滤后稀释排放 | 经通风橱自带活性炭过滤器过滤后，在建筑顶部排放。 |
| 气体过滤装置废滤材 | 固态 | | | | 20kg（每年更换一次） | <10$^4$ Bq/kg | 放射性废物库内储存。 | 暂存至少 80d（关注I-131），经自行检测，符合《关于加强医疗机 构核医学放射性废物管理的通 知》要求后解控为普通废物。 |
| | | | | | | | | |

## 表6　评价依据

| | |
|---|---|
| 法规文件 | （1）《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日。<br>（2）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日。<br>（3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日。<br>（4）《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日。<br>（5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》,2019 年 3 月 2 日。<br>（6）《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2021 年 1 月 1 日。<br>（7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日。<br>（8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 4 月 18 日。<br>（9）《关于发布＜射线装置分类＞的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告第 66 号，2017 年 12 月 5 日。<br>（10）《关于发布放射源分类办法》的公告，原国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日。<br>（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。<br>（12）《北京市环保局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24 号，2018 年 1 月 25 日。<br>（13）《北京市禁止违法建设若干规定》,北京市政府第 228 号令，2011 年 4 月 1 日。<br>（14）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函〔2016〕430 号。<br>（15）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日。<br>（16）《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号。<br>（17）《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年 2 月; |

| | |
|---|---|
| | （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。<br>（19）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日。 |
| **技术标准** | （1）《辐射环境保护管理导则－核技术利用建设项目　环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），环境保护部。<br>（2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）<br>（3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）<br>（4）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）<br>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）<br>（6）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）<br>（7）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）<br>（8）《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）<br>（9）公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）<br>（10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）<br>（11）《环境 γ 辐射剂量绿测量技术规范》（HJ1157-2021）<br>（12）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）<br>（13）《表面污染测定 第一部分 β 发射体（$E_{\beta}$max＞0.15MeV）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）<br>（14）《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测规范》（WS523-2019）<br>（15）《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》（试行版） |
| **其他** | （1）AAPM Task Group 108：PET and PET/CT Shielding Requirements，Med.Phys. 33（1），January 2006<br>（2）Radiation Protection Dosimetry Vol.98 No 1，2002<br>（3）Bernard Shleien.1998. Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd<br>（4）国际放射防护委员会，第 52 号出版物，1987 年。 |

| | |
|---|---|
| | （5） 国际放射防护委员会，第 94 号出版物，2004 年。<br>（6）辐射安全手册，科学出版社，2011 年。<br>（7）北京清华长庚医院提供的与本项目相关的申请和技术资料，2021.10。 |

# 表 7　保护目标与评价标准

## 7.1 评价范围

### 7.1.1 评价内容

本项目为现有核医学科进行改造，改造后仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

### 7.1.2 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则－核技术利用建设项目　环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，并结合该项目辐射为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定本项目评价范围为：以核医学科控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示，本项目相关场所控制区周围 50m 范围内都为医院内部，无敏感目标，主要为 1 号门诊住院楼和院内马路等。

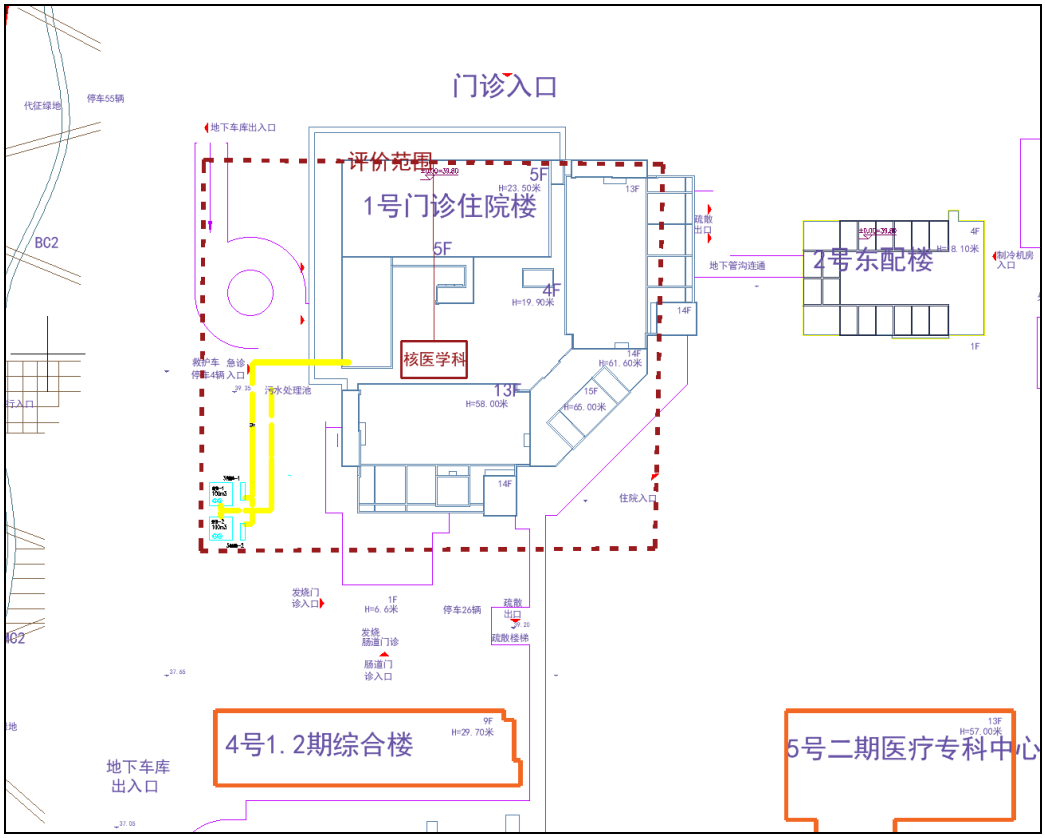



图 7-1 本项目评价范围示意图

### 7.1.3 关注问题

（1）拟改造核医学科场所辐射屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。

（2）辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足法规及相关标准的要求。

**7.1.4 评价因子**

本项目的环境影响评价因子为 X 射线、γ 射线、β射线、放射性“三废”等。

**7.2 保护目标**

本项目核医学科位于 1 号楼地下一层中部，东侧为核磁共振检查区、系统网管科、集中更衣区、电梯厅、中央供应室等，南侧为放疗科，西侧为过道、卸货区，北侧为 UD 药局、仪器科、药库、供应处等，楼上一层为急诊输液室等（紧邻上方为管道层），楼下为停车场和往生室。上述场所的具体位置见图 7-2 ~图 7-4，以及附图 3 至附图 6 所示，都充分考虑周围场所的安全，核医学科不邻接产科、儿科、食堂等部门，满足 GBZ120－2020 的选址要求。场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7-1 所示。

表 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

| 项目 | 保护目标 | 最近距离（m） | 常居留人数（人） | 方位 | 周围 50m 范围内主要场所或建筑物 |
|---|---|---|---|---|---|
| 核医学科 | 核医学科工作人员 | 紧邻 | 12 | / | 预登记室、控制室、高活室等 |
| | 患者或其他部门工作人员 | 紧邻 | 20 | 东侧 | 核磁共振检查区、中央供应室等 |
| | 放疗科工作人员 | 3 | 20 | 南侧 | 放疗科 |
| | 卸货和安保工作人员 | 5 | 5 | 西侧 | 卸货区、安防控制室 |
| | 其他部门工作人员 | 紧邻 | 15 | 北侧 | 网络机房、UD 药局、药处、供应处 |
| | / | 紧邻 | 0 | 楼上 | 管道层 |
| | 急诊和超声工作人员 | 2 | 10 | 楼上 | 一层急诊输液室、超声室等 |
| | 停车位管理人员 | 紧邻 | 2 | 楼下 | 地下一层停车位、往生室 |

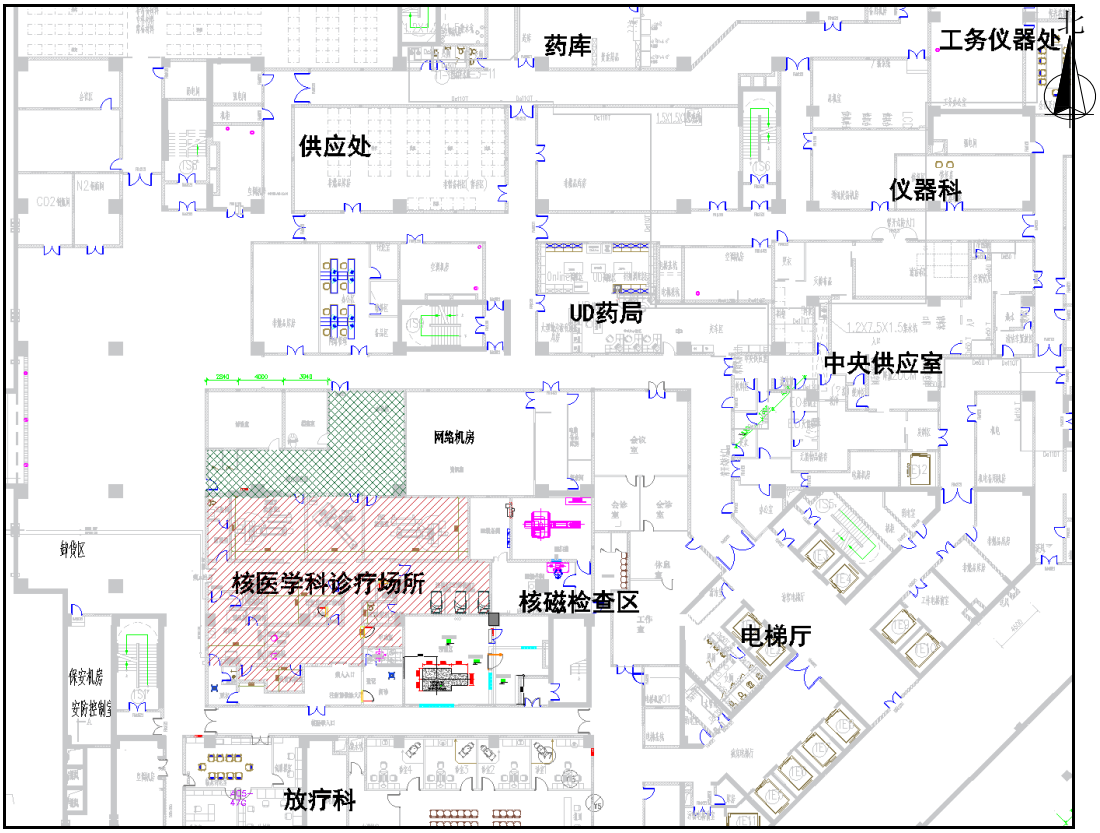



图 7-2 本项目地下二层周围关系图

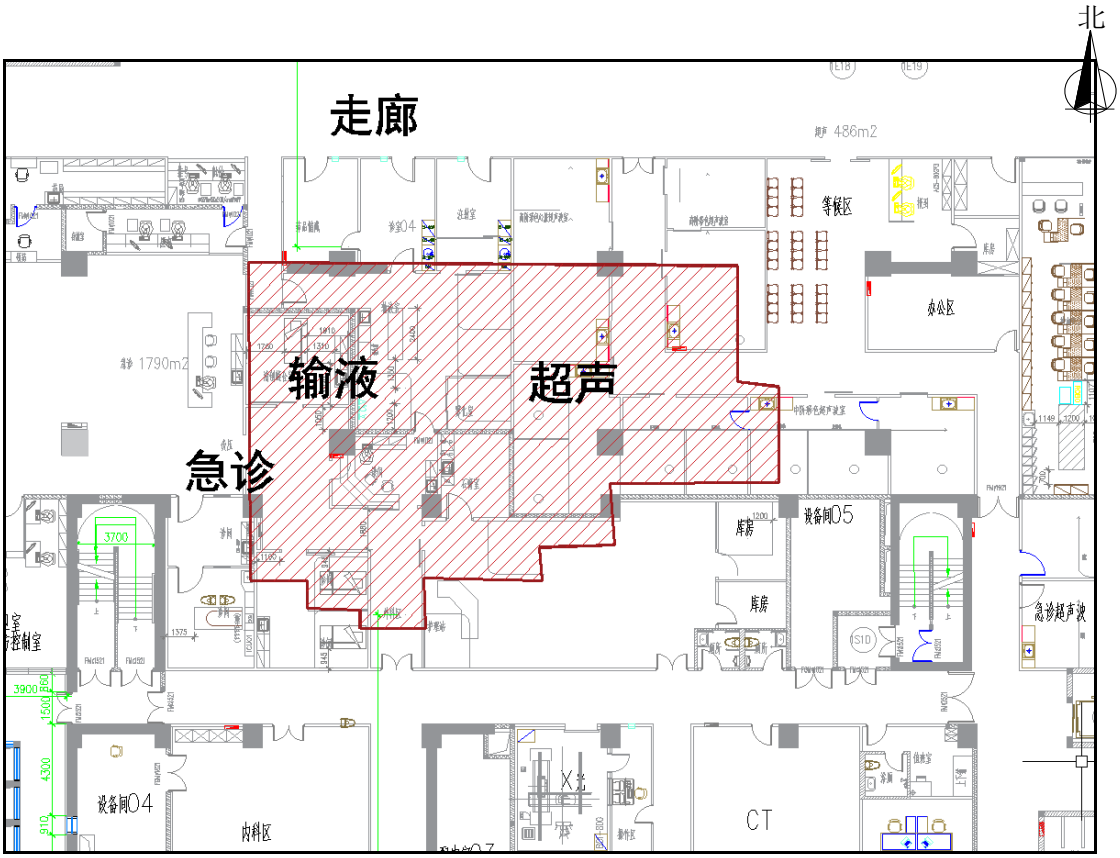



图 7-3 一层周围关系图（核医学楼上，中间隔设备层）

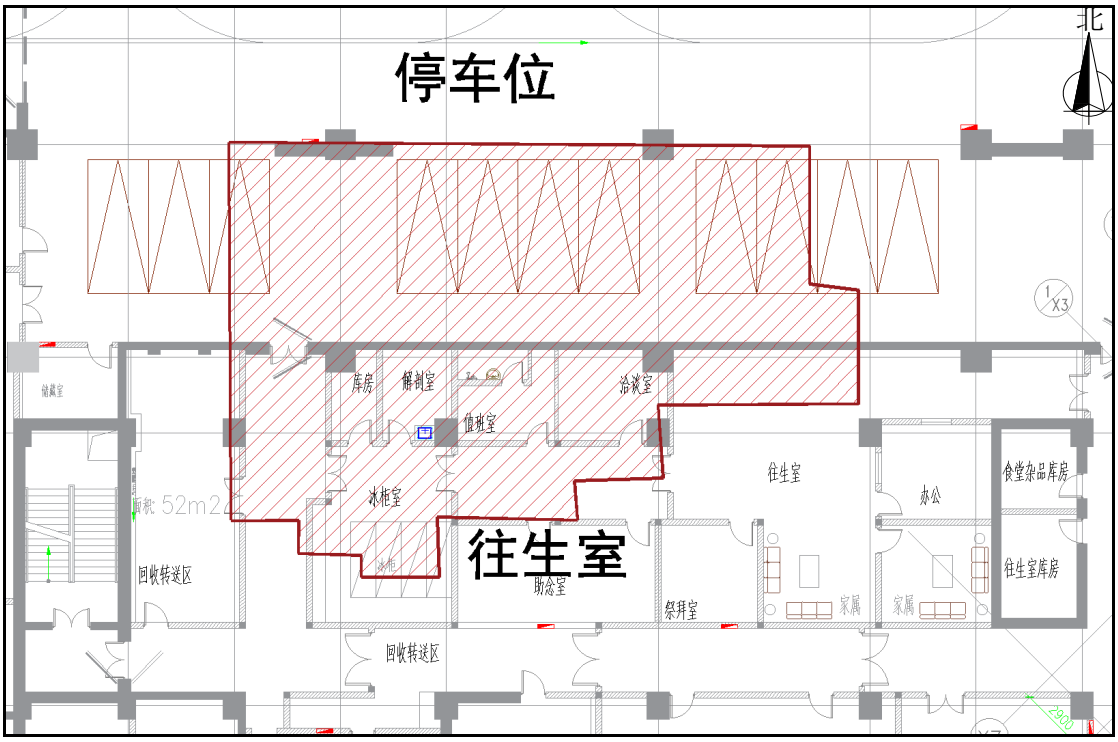



**图 7-4 本项目地下二层周围关系图（核医学科楼下）**

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）规定的剂量限值列于表 7-2。

表 7-2　工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB18871-2002）

| 职业工作人员 | 公众 |
|---|---|
| 连续五年平均有效剂量 20mSv，且任何一年有效剂量 50mSv | 年有效剂量 1mSv；但连续五年平均值不超过 1mSv 时，某一单一年可为 5mSv |
| 眼晶体的当量剂量 150mSv/a<br>四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a | 眼晶体的当量剂量 15mSv/a<br>皮肤的当量剂量 50mSv/a |

GB18871-2002 规定了剂量约束值：对于职业照射，剂量约束是一种与源相关的个人剂量值，用于限制最优化过程所考虑的选择范围。对于公众照射，剂量约束是公众成员从一个受控源的计划运行中接受的年剂量的上界。剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1～0.3mSv/a）的范围之内。

### 7.3.2 剂量约束值

职业照射，本项目所有从事核医学辐射工作人员取 5mSv/a 作为剂量约束值；

对公众，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

本次评价所取年剂量约束值是单位统一剂量管理目标值。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

**7.3.3 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平**

本项目周围公众除满足上述剂量约束要求外，周围剂量率还要满足以下要求，依照《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）并结合本项目实际情况，本项目辐射工作场所及设施的剂量率控制水平拟从严控制：

（1）在控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μSv/h。

（2）在控制区内人员可达处，屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 10μSv/h，宜不大于 2.5 μSv/h。

（3) 通风橱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/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不大于 2.5μSv/h。

**7.3.4 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）等规定，排入公共污水处理系统的水污染物排放要求：总 α 排放限值为 1Bq/L，总 β 排放限值为 10Bq/L。

（2）放射性废水排放管理要求

本项目放射性废水的排放管理依据《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）中对于 A 类和 B 类放射性废水的要求执行。根据京环办[2018]13 号文，对于槽式衰变池（罐）暂存方式，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；B 类放射性废水注满后，暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后，应委托有资质（CMA 或 CNAS）的检测机构对拟排放废水中 I-131 核素、最长半衰期核素的放射性活度浓度进行检测，活度浓度与单次排放总活度值均应满足 GB18871-2002 附录 A 表 A1 的规定。衰变池（罐）显著位置应设置电离辐射警示标志，池（罐）底、壁应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性和具有防泄漏措施。不同存储池（罐）应进行编号标记，且具有

液位显示、超限溢流、入口切换等装置。

**7.3.5 放射性固体废物管理**

由于核医学科本项目的放射性核素包含有 A 类和 B 类核素，因此可以将放射性废物分类收集暂存，待衰变至符合清洁解控水平时，再按医疗废物要求进行处理。

依据《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》，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 A 类、B 类废物进行标识。药物操作场所废物桶内应使用不易破损的塑料袋对固体废物进行收集，密封袋口后转移至暂存室废物箱中，并在塑料袋外表面注明废物类别（A 类、B 类）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

A 类固体废物暂存时间超过 30 天、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α、β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm$^2$ 和 0.8Bq/cm$^2$，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

**7.4 放射性工作场所分级**

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），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 7-3。

表 7-3　非密封源工作场所的分级

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

**7.5 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》（GB18871-2002），非密封放射

性物质工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-4。

表 7-4　工作场所的放射性表面污染控制水平（Bq/cm²）

| 类别 | | α 放射性物质 | | β 放射性物质 |
|---|---|---|---|---|
| | | 极毒组 | 其他 | |
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区 | 1 | 4×10 | 4×10 |
| | 监督区 | $1\times10^{-1}$ | 4 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区<br>监督区 | $4\times10^{-1}$ | $1\times10^{-1}$ | 4 |
| 手、皮肤、内衣、工作袜 | | $1\times10^{-2}$ | $4\times10^{-2}$ | $4\times10^{-1}$ |

上表中值包括固定污染和松散污染的总数。对于皮肤、内衣、工作袜的污染应及时清理，尽可能达到本底水平。对设备、墙、地面的污染，应适当去污后，残存的污染可适当放宽，但需有审管部门的同意，并不超过表中值的 5 倍。表面污染可按一定的面积计算平均值：工作服、皮肤取 100cm²，地板取 1000cm²。

GB18871-2001 附录 B2.2 条款规定：工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到上述表 7-4 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或监管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

**7.6 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求**

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.3 条要求： 合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，尽可能远离邻近的高层建筑，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

本项目核医学科高活室内安装通风橱，操作口风速均≥0.5m/s。通风橱设置独立的排风系统，通风橱设置活性炭过滤器。过滤器每年更换一次。

**7.7 核医学相关工作场所的放射性物质污染的防护要求**

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

表 7-5 核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求

| 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 [a] | 普通管道 | 普通管道 |
| **盥洗与去污** | 洗手盆 [b] 和去污设备 | 洗手盆 [b] 和去污设备 | 洗手盆 [b] |
| a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。<br>b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。 | | | |

经核算，核医学科高活室，按照最大使用量核算 F-18 药物时，放射性的加权活度大于 50MBq 、小于 50000MBq，属于II类场所。

综上，本项目核医学科场所属于II类场所， 均需按照表 7-5 要求，采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设分装柜和通风设施， 设洗手盆和去污设备。

## 7.8 射线装置机房屏蔽防护基本要求

### 7.8.1 CT机房屏蔽防护要求

本项目 SPECT-CT/PET-CT 设备机房屏蔽还执行《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） 给出的 CT 机房的屏蔽防护要求。

表 7-6 不同类型 **X** 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

| **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 | |

### 7.8.2 CT 机房的面积要求

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6.1 条款指出：机房应满足使用设备的空间要求；对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-7 的要求。

表 7-7 X 射线设备机房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 机房 | 30 | 4.5 |

# 表 8　环境质量和辐射现状

**8.1 项目地理和场所位置**

**8.1.1 地理位置**

北京清华长庚医院位于北京市昌平区立汤路 168 号，医院东邻立水桥北路，西邻立汤路，南邻太平庄中一街，北邻太平庄中二街，医院地理位置图见附图 1 所示。

**8.1.2 场所位置**

本项目核医学科位于 1 号门诊住院楼中部，医院平面布局及周围关系图见附图 2 所示，东侧为核磁共振检查区、系统网管科、集中更衣区、电梯厅、中央供应室等，南侧为放疗科，西侧为过道、卸货区，北侧为 UD 药局、仪器科、药库、供应处等，楼上一层为急诊输液室等（紧邻上方为管道层），楼下为停车场和往生室。地下一层核医学科周边关系图及楼上楼下平面图见附图 3~附图 6，核医学科上方管道层剖面图见附图 7。

**8.2 辐射环境现状监测**

2021 年 8 月 26 日，由深圳市瑞达检测技术有限公司对核医学科现状进行了辐射监测。监测内容为 γ 剂量率。监测仪表为 AT1121 型辐射检测仪（检定证书编号：DLjL2021-10490）和 CoMo170 型表面污染仪（检定证书编号：DLhd2021-10115）。γ 剂量率的监测数据见表 8-1，核医学科场所 β 表面污染水平见表 8-2。本底检测报告见附件 4。

表 8-1　**核医学科场所 γ 辐射剂量率**

| 场所名称 | 点位序号 | 测　点　描　述 | 辐射剂量率（μSv/h） |
|---|---|---|---|
| 核医学科 | 1 | 检查室（SPECT/CT）室中央 | 0.11～0.12 |
| | 2 | 检查室（SPECT/CT）北侧控制室 | 0.11～0.12 |
| | 3 | 患者入口区 | 0.12～0.12 |
| | 4 | 候诊一区 | 0.11～0.12 |
| | 5 | 高活室 | 0.12～0.12 |
| | 6 | 放射性废物储存间 | 0.12～0.13 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 7 | 高活室内间 | 0.12～0.13 |
| | 8 | 跑步 C 室、甲功 X 室 | 0.11～0.12 |
| | 9 | 候诊二区 | 0.11～0.12 |
| | 10 | 男卫生间 | 0.12～0.12 |
| | 11 | 女卫生间 | 0.11～0.12 |
| | 12 | 患者出口区 | 0.12～0.12 |

注：检测结果含宇宙射线响应值；[1]: 辐射安全手册，2011.11。

**表 8-2　核医学科场所 β 表面污染水平**

| 编号 | 检测位置描述 | | 检测结果 Bq/cm$^2$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 检查室（SPECT/CT） | 检查床 | <MDL |
| | | 扫描架 | <MDL |
| | | 设备表面 | <MDL |
| | | 配电柜 | <MDL |
| | | 灭火装置 | <MDL |
| | | 小推车 | <MDL |
| | | 北墙西侧小桌 | <MDL |
| | | 北墙东侧小桌 | <MDL |
| | | 闸箱 | <MDL |
| | | 铅屏风 | <MDL |
| | | 西墙药品传递窗 | <MDL |
| | | 北墙西侧控制室门 | <MDL |
| | | 北墙东侧控制室门 | <MDL |
| | | 北墙西侧观察窗 | <MDL |
| | | 北侧东侧观察窗 | <MDL |
| | | 南墙西侧病人门 | <MDL |
| | | 南墙东侧病人门 | <MDL |
| | | 墙面 | <MDL |
| | | 地面 | <MDL |
| | | 运动负荷检查用踏车仪 | <MDL |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 心电图仪 | <MDL |
| | | 准直器架 | <MDL |
| | | 普通垃圾桶 | <MDL |
| 2 | 患者入口区 | 墙面 | <MDL |
| | | 地面 | <MDL |
| | | 铅屏风 | <MDL |
| | | 门 1（平开） | <MDL |
| | | 门 2（推拉） | <MDL |
| 3 | 候诊一区 | 墙面 | <MDL |
| | | 地面 | <MDL |
| | | 椅子 | <MDL |
| | | 柜子 | <MDL |
| 4 | 高活室 | 水池 | <MDL |
| | | 外门 | <MDL |
| | | 内门 | <MDL |
| | | 铅垃圾桶 | <MDL |
| | | 普通垃圾桶 | <MDL |
| | | 墙面 | <MDL |
| | | 地面 | <MDL |
| | | 注射车 | <MDL |
| | | 治疗车 | <MDL |
| | | 通风橱 | <MDL |
| 5 | 放射性废物储存间 | 铅垃圾桶 | <MDL |

由表 8-1 和表 8-2 中检测结果可知，核医学科及周围的辐射剂量率和表面围绕水平为北京市的正常本底范围之内，未发现有异常高值。

# 表 9　项目工程分析与源项

**9.1 X 射线诊断装置和密封校验源**

本项目改造后核医学科配套使用 1 台 PET/CT 装置和 2 台 SPECT（其中 1 台带有 CT），其中射线装置属于 III 类射线装置，及拟配套密封源开展 PET 装置的定期校验，属于 V 类放射源，这 III 类射线装置和 V 类放射源对环境影响很小，本评价报告对III类射线装置和刻度操作流程、环境影响进行简要分析。

**9.2 核医学科诊疗场所**

**9.2.1 核医学扫描诊断装置**

核医学是采用核技术来诊断、治疗和研究疾病的一门新兴学科。它是核技术、电子技术、计算机技术、化学、物理和生物学等现代科学技术与医学相结合的产物。核医学可分为两类，即临床核医学和基础核医学。本项目新建核医学科中涉及的内容为临床核医学中的放射性同位素显像检查。

PET 作为一种先进的核医学影像手段，对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势，被称为“生化显像”或“分子成像”，利用核素示踪原理，在分子水平上，通过动态、定量的监测人体内部的生化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 又称之为“生化显像”或“分子显像”。

PET 正电子药物显像技术的应用实现了医学影像领域的功能显像和定量分析，而且具有灵敏度高，核素半衰期短，成像速度快等特点，为生物、基础研究、疾病的诊断、治疗预后的判断和保健提供了超前或提前的信息，对推动生命科学、现代医学和其他学科的发展具有重要的意义。

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（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光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，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 是 PET 和 CT 技术的结合，CT 是一种临床广泛应用而又仍在迅速发展的 X 线成像技术，在显示解剖结构、形态和密度等方面具有优势。将两种检查设备整合到一起，即形成现在的 PET/CT 技术。二者的结合起到优势互补、相互配合、互为对照的作用。PET 通过与 CT 结合，提高病灶定位的准确性。还有另一方面的价值，即可以大大缩短 PET 的检查时间，从而提高仪器和正电子药物的

使用效率。

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，其中 $^{18}$F-脱氧葡萄糖（FDG）是目前应用最为广泛的正电子药物。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。

图 9-1 为 GE 同类型 PET/CT 机设备外观：

图 9-1　PET/CT 机设备外观

SPECT 技术是把标记有发射单光子核素(如 Tc-99m）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在人体全身脏器的分布情况，以研究它们在人体内的代谢过程，该技术已成为生命科学研究的一个有力工具。

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，典型的 SPECT/CT 扫描装置如下图 9-2 所示

图 9-2　SPECT/CT 机设备外观

**9.2.2 核医学门诊治疗**

本项目核医学门诊涉及的放射性核素治疗为： I-131 甲亢治疗核素。主要利用放射性核素参与人体代谢自动在特定组织内聚集，对其周围病变细胞造成杀伤。核素 I-131 治疗是利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞紧密结合。

甲状腺具有高度选择性摄取 I-131 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。I-131 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢病人甲状腺内的有效半衰期约 3～5 天。I-131 衰变时主要发射 β 粒子，且射程短，仅约 2～3mm，β 粒子对周围正常组织一般无影响。因此，大剂量 I-131 进入功能亢进的甲状腺组织，这些组织在粒子集中且较长时间的作用下将遭受部分抑制或破坏取得类似部分切除甲状腺的效果。

**9.3 工作流程**

**9.3.1 放射性同位素显像工作流程**

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

工作流程按下列流程：患者预约登记→计划订药（有资质的单位提供）→

高活室接药→放射性药物准备（核对、测量）→患者给药→用药后候诊区候诊→摆位→图像采集→图像处理→读片、发报告。

订货：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，用核素向药品公司（原子高科股份有限公司）订购标记的放射性药物（试剂 Tc-99m 厂家送来时已根据当天使用情况分装好）。

质检：药物运输至核医学科的高活室门口，质检人员核对放射性药物名称、规格和数量，检查包装和外观质量，在高活室门口的摄像头监控下，由核医学科负责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后暂存于高活室内。

分装：本场所显像核素只有 F-18 需要分装，在通风橱内进行分装。

注射：在注射室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器，给患者注射标记放射性药物，然后将废注射器装入铅屏蔽盒，放回高活室，当放射性固体废物处理，其中外单位送的注射器第二天由放射性药品供货单位收回。

检查：病人在给药后病人候诊区等候（如 F-18 候诊时间约 40min~90 min），待药物有一定程度的代谢后，进行 PET/CT 检查时间 20min~60min，平均不超过 20min）；Tc-99m 骨扫描候诊时间 3~4h、心脏 1.5h，甲状腺 20min~30min，肾显像不用候诊。

受检者在扫描检查后，留观片刻，如显像符合要求即离开核医学科。

**9.3.2门诊治疗**

放射性药物经由静脉注射或口服方式进入受检者体内，药物分布到特定器官并释放 β 射线，从而抑制或破坏病变组织，达到治疗目的。治疗工作流程如下:向有相应资质厂家订购 I-131 口服液→患者（在注射区）施予药物→之后在留观室观察（一般 15min），确认用药正常后离开放射工作场所。

预约患者：提前制定核素治疗工作计划，通知患者。

订货：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，用核素向药品公司订购标记的放射性药物。

接收药物：外购药物由药品公司负责把药品送至地下一层核医学科患者出口西侧，沿通道，经患者出口运至高活室门口。

质检：药物运输至核医学科的高活室门口，质检人员核对放射性药物名称和活度，检查包装和外观质量，在高活室门口的摄像头监控下，由核医学科负

责药物注射工作人员与送药人员办理“点对点”交接手续，然后暂存于高活室内。

分装： I-131 药物不分装，由供药公司已按照人份分装。

口服：在注射窗口防护下，给患者口服 I-131 药物。

留观：患者治疗后，在留观室留观一般不超过15 分钟，无异常情况即可离开。

**9.3.3**甲状腺摄碘功能测定

（1）医生开申请单；

（2）受检者到核医学登记台预约，医生询问病史，告知注意事项；

（3）确定检查日期后，订药：131-碘胶囊（统一规格，剂量约9uCi），送药时间为检查当日；

（4）检查当日，24小时甲状腺吸碘率测定步骤如下：

①测本底计数和标准源（131-碘胶囊）计数；

②受检者口服0.333MBq（9μCi）后，随后离开核医学科，2小时后、4小时后、6小时后和24小时（第2日）后返回核医学科，分别进行甲状腺摄碘功能测定（检查时间60s）；

③测完后打印报告，上级医生审核签字后发报告。

**9.3.4 PET刻度源质控流程**

PET/CT 配备 2 枚 Ge-68 放射源，活度分别为 5.5E+7Bq（桶源）和 3.5E+6Bq（膜体源），其中 3.5E+6Bq（膜体源）用于 PET 和 CT 的对准定位，由厂家工程师操作，活度为 5.5E+7Bq 的 Ge-68 密封源（桶源），由物理师每周一次质控使用，质控时物理师把密封源从源室按要求取出放到 PET 检查床指定位置后回到控制室按规定程序进行扫描，扫描结果都通过后结束质控，把密封源取下运回源室。

**9.4 放射性核素使用量**

（1）诊断核素

PET 检查使用 F-18 药物的用量不大于 370MBq/人（一般不大于 222MBq/人），每个检查日最多实施 PET 检查 20 人次，每年工作 250 天。SPECT 显像检查 Tc-99m 药物的用量最大约 925MBq/人，每个检查日最多实施 SPECT 检

查 20 人次，每年工作 250 天。用于甲状腺功能检查的 I-131 使用量 10 名病人/天，用量按 0.333MBq/人，每年工作 100 天。

（2）治疗核素

本项目门诊治疗使用的核素为 I-131，在核医学科接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就离开。用于治疗甲亢的 I-131 使用量为 10 名病人/天，每年工作 100 天，不大于 370MBq/病人。

**9.5 放射性核素特性**

本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 9-1。

**表 9-1　本项目使用的显像放射性核素主要参数**

| 序号 | 核素名称 | 毒性 | 半衰期 | 衰变类型 | 主要能量/平均能量（keV） |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | F-18 | 低毒 | 109.8min | $\beta^+$、EC | $\beta^+$635、γ511 |
| 2 | Tc-99m | 低毒 | 6.02h | IT | γ141 |
| 3 | I-131 | 中毒 | 8.03d | $\beta^-$、γ | $\beta^-$606、γ364/360 |

**9.6 使用放射性核素污染途径分析**

**9.6.1 正常工况的污染途径**

（1）贯穿辐射。在进行药物交接、质检、分装、注射（服用）、观察病人和摆位等操作时，操作人员及注射区、候诊区和扫描机房周围等停留的公众可能受到核素释放出的β射线、γ射线的影响。因此，核素诊疗项目的污染因素主要是产生γ 射线和β 射线。

（2）使用放射性物质过程中，会产生一定量的放射性废水和放射性固体废物。放射性废水主要来自于卫生间冲厕废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、棉棒、一次性个人防护用品和垫布等物品。项目产生含放射性废物收集于废物间铅桶内暂存。

（3）本场所使用的 F-18、Tc-99m 等放射性药物都是向专业公司购买。在通风橱内只对 F-18 等正电子核素进行分装。F-18 等放射性药物为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

**9.6.2 非正常工况的污染途径**

操作放射性药物时发生容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生

少量放射性废气，污染清除将产生少量的放射性固体废物。

放射性表面污染：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。此外，给药患者呕吐或者排泄，也可能导致局部环境的放射性污染。

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。核医学科场所在高活室暂存的放射性同位素，采用双人双锁进行管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盗和丢失事件的发生。放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

# 表 10　辐射安全与防护

**10.1 项目安全设施**

**10.1.1 项目竣工环保验收**

项目竣工后，应对辐射防护设施进行竣工环保验收，其中包括辐射屏蔽、安全防护设施和辐射防护用品，这些项目依照设计标准验收合格后，核医学科场所方可正式投入运行。如场所布局发生较大变化，需重新履行环保审批手续。

**10.1.2 核医学科改造方案**

利用核医学科进行局部改造，拟改造后核医学科布局图见附图 4 所示，布局方案如下：

（1）核医学科东南侧和西北侧作为普通区域，用做给药前问诊区、候诊区、登记处、办公室等。

（2）将受检者入口设在南侧，受检者出口设在西侧，由西侧楼梯到一层后离开 1 号楼。核医学科患者出入口设置单向门禁系统。

（3）将高活室、注射窗口、运动负荷室等设在西侧，注射室朝东拟设 2 个注射窗口。

（4）将留观室、PET 检查室、SPCET 检查室及控制室设在核医学科的北部；注射后候诊室、储源室、患者卫生间设在核医学科的中部。

（5）继续使用 1 号楼（门诊住院楼）西侧绿化区地下一个放射性废水槽式衰变池，容积 200$m^3$（2×100$m^3$），用来收集核医学科产生的放射性废水。

（7）配套建设两套放射性通风处理设施，其中通风橱和控制区内场所分别设置专用排风管道，排风管道由核医学科西侧通风井至楼顶，风口高于楼顶并安装活性炭过滤装置，其中通风橱排风管道设有双过滤装置（通风橱和排放口分别设置，风速≥0.5m/s），排放口高度约 67m。控制区内 PET 检查室，SPECT 检查室，注射后候诊室，注射后卫生间，患者通道，高活室，注射室，废物间，运动负荷室、储源室等场所放射性废气体统一后，经排风管道由楼顶排出，风机位于楼顶。

核医学科场所建成后，控制区包括 PET 检查室，SPECT 检查室，运动负荷室，储源室，高活室，废物间，注射后候诊室及卫生间，留观室，注射后患者通道等。监督区包括 PET/CT 和 SPECT 操作室和更衣间。核医学科平面布局和

功能分区见附图 8 所示。

### 10.1.3 辐射屏蔽设计

核医学科场所根据辐射防护要求，设计了含混凝土砖、铅防护门、铅玻璃，专用通风橱，放射性废水衰变池和固体废物间等。此外，还配备有防辐射注射窗、铅制废物桶，药品盛装铅盒等防护器具等，以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品，地下一层层高为 5.4m（隔断层高为 3.4m），地下二层层高为 4.5m。实体屏蔽方案见表 10-1 所示，核医学科辐射安全防护设施见表 10-2。

表 10-1　核医学科主要场所的屏蔽设计

| 序号 | 场所名称 | 屏蔽墙体方向 | 屏蔽厚度 | 周围环境 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PET 检查室 | 东墙 | 10cm 重晶石混凝土+24cm 轻体砖 | MR 设备机房 |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土（砼） | 走廊和候诊室 |
| | | 西墙 | 24cm 混凝土（砼） | SPECT 检查室 2 |
| | | 北墙 | 10cm 重晶石混凝土+24cm 轻体砖 | 资讯室和控制室 |
| | | 防护门 | 8mmPb | 控制室、患者走廊 |
| | | 观察窗 | 8mmPb 当量铅玻璃 | 控制室 |
| | | 顶棚 | 10cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 超声间 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 停车位 |
| 2 | 2 间 SPECT 检查室 | 东墙 | 4mmPb/24cm 混凝土（砼） | 2 间机房为东西紧邻设置，北侧为控制室，南侧为患者走廊， 2 室东侧为 PET 检查室，1 室西侧为留观室（/前面为 1 室厚度，后面为 2 室的厚度） |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土（砼） | |
| | | 西墙 | 8mmPb/4mmPb | |
| | | 北墙 | 4mmPb | |
| | | 防护门 | 3mmPb | 控制室、患者走廊 |
| | | 观察窗 | 3mmPb 当量铅玻璃 | 控制室 |
| | | 顶棚 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 输液室 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 停车位 |
| 3 | 注射后 PET 候诊室 | 东墙 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | MR 操作间 |
| | | 南墙 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | MR 预留区 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 西墙 | 24cm 混凝土砖 | 储源室、走廊 |
| | | 北墙 | 24cm（砼）/24cm 混凝土砖 | PET 检查室、MR 设备机房 |
| | | 防护门 | 8mmPb | 走廊 |
| | | 顶棚 | 10cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 超声 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 往生室家属区、车道 |
| 4 | 注射后 ECT 候诊室 | 东墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 西墙 | 24cm 混凝土砖 | 高活室 |
| | | 北墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 防护门 | 3mmPb | 走廊 |
| | | 顶棚 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 急诊输液区 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 往生室 |
| 5 | 高活室 | 东墙 | 24cm 混凝土砖 | 注射窗口 |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土砖 | 运动负荷室、更衣室 |
| | | 西墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 北墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 门 | 8mmPb | 走廊 |
| | | 注射窗 | 20/40mmPb 当量铅玻璃 | 其中 F-18 注射窗口为 40mmPb 当量铅玻璃 |
| | | 通风橱 | 50mmPb/10mmPb 当量铅玻璃 | 两个通风橱，其中 1 个为 50mmPb |
| | | 顶棚 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 走廊 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 走廊 |
| 6 | 校准源室 | 东、北墙 | 24cm 混凝土砖 | 候诊室、走廊 |
| | | 西、南墙 | 24cm 混凝土砖 | 清洁间、患者卫生间 |
| | | 门 | 6mmPb | 走廊 |
| | | 顶棚 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 超声 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 往生室洽谈间 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 7 | 废物间 | 东墙 | 24cm 混凝土砖 | ECT 注射后候诊室 |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土砖 | 高活室 |
| | | 西墙 | 24cm 混凝土砖 | 高活室 |
| | | 北墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 防护门 | 3mmPb | 走廊 |
| | | 顶棚 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 停车场 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 走廊 |
| 8 | 运动负荷室 | 东墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土砖 | 工作人员走廊 |
| | | 西墙 | 24cm 混凝土砖 | 更衣室 |
| | | 北墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 防护门 | 3mmPb | 走廊 |
| | | 顶棚 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 走廊 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 往生室冰柜间 |
| 9 | 甲功室（功能测定室） | 东墙 | 24cm 混凝土砖 | MR 预留区 |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土砖 | 废水间 |
| | | 西墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 北墙 | 24cm 混凝土砖 | 患者卫生间 |
| | | 防护门 | 1mmPb | 走廊 |
| | | 顶棚 | 25cm 砼（砼） | 超声 |
| | | 地板 | 45cm 混凝土 | 走廊 |
| 10 | 留观室 | 东墙 | 24cm 混凝土砖 | SPECT 检查室 1 |
| | | 南墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 西墙 | 24cm 混凝土砖 | 走廊 |
| | | 北墙 | 24cm 混凝土砖 | 控制室 |
| | | 防护门 | 6mmPb | 走廊 |
| | | 顶棚 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 输液区 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 地板 | 45cm 混凝土（砼） | 停车位 |

备注：砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm³，重晶石混凝土密度不低于 3.45g/cm³，混凝土砖密度不低于 2.0g/cm³，轻体砖密度不低于 0.8g/cm³，各功能室墙面、地面均为光滑饰面。

表 10-2　核医学科诊疗辐射安全防护设施表

| 序号 | 项目 | 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 | √ | 地面标注控制区和监督区，地面设置引导文字和标线。 |
| 2* | | 电离辐射警告标志 | √ | 出入口、检查室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志 |
| 3* | | 独立的通风设施 | √ | 高活室内设带屏蔽设计的通风橱，配有负压通风橱。场所也设有通风系统。 |
| 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 | √ | 配备两个带铅防护的注射窗口 |
| 6 | | 易去污的工作台面 | √ | 采用不锈钢台面 |
| 7* | | 病人专用卫生间 | √ | 专用卫生间及排水管线 |
| 8* | | 放射性核素暂存场所或设施 | √ | 同位素在高活室、贮源室暂存，设闭路监控。 |
| 9* | B 监测设备 | 表面污染监测仪 | √ | 1 台表面污染监测仪 |
| 10* | | 便携式辐射水平监测仪 | √ | 3 台辐射剂量巡测仪 |
| 11* | | 个人剂量计 | √ | 所有工作人员配备 TLD 个人剂量计 |
| 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 | √ | 200m³ 槽式衰变池（2 格） |
| 14* | | 放射性固体废物暂存场所或设施 | √ | 设废物间，贮存放射性废物 |
| 15* | D 防护 | 个人防护用品 | √ | 铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套等 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 16* | 器材 | 放射性表面去污用品和防污染材料 | √ | 洗涤灵、酒精和棉球 |

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

**10.1.4 辐射防护措施**

（1）实行控制区和监督区分区管理。在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口外、检查室门外上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要在出、入口长久停留。机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯连锁装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

（2）放射性表面污染控制措施：注射区、高活室、检查室、储源室、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊地面铺装硬质无缝 PVC 地板革，墙面装铝塑面板或釉面砖，便于去污。通风橱和工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。工作人员进入辐射工作区，穿工作服，涉及放射性药物的操作佩戴乳胶手套。核医学科拟配备表面污染仪，工作人员相关操作后应使用仪器及时监测个人防护用品外表面、操作用品和操作场所的表面污染。

（3）外照射防护：2 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗和 1 个可移动铅屏蔽注射台，可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，至少配备 5 个铅废物桶（其中 1 个为 15mmPb，另外为 5mmPb）、2 个钨合金注射防护套和 4 套铅防护用品。核医学科控制区边界、核素操作、受检人员候诊和扫描场所外围墙体采用实体屏蔽措施，顶棚和底板为混凝土浇筑，患者进、出通道门安装铅制防护门。检查机房安装铅制防护门（具有防夹功能），观察窗安装铅玻璃。保证核医学科控制区边界外的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。

（4）内照射的防护：高活室配备具有防护功能 50mmPb/10mmPb 当量的通风橱，并带有活性炭过滤器，设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。在通风橱内分装放射性药物。通风橱设置专用排风管道，排风口引至 1 号楼楼顶。通风橱为负压设备，风量满足要求（半开情况下，风速大于 0.5m/s）。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物做为放射性固废处置。

（5）妥善收集固体放射性废物。注射窗旁设 1 个含 15mm 铅的废物桶，废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入该铅制废

物桶，每周星期一早上转移至核医学科放射性废物间。核医学科废物间设置 4 个 5mm 铅的废物桶（容积 20L），2 个用来轮流贮存 A 类废物，2 个用量轮流贮存 B 类废物。放射性固废依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》固体废物相关要求进行解控处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。在患者给药候诊室拟配备普通废物桶。

（6）放射性废水收集处置设施：核医学科高活室内洗手池废水，清洁间废水以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水，缓冲间应急淋浴废水，通过专用管道一并进入下一层设置的放射性废水衰变池。放射性废水排放管道路线在管道层、管道井和地下土层，没人员活动区，管道外表面无需铅皮进行包裹防护。衰变池采用槽式设计，衰变池总容积不低于 200m$^3$（100m$^3$×2 个），能够满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求 I-131 门诊废水至少暂存 80 天的解控要求（衰变池达到高液位并自动切换后计时）。核医学科解控排放的废水，排入医院污水处理站，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”，清晰记录放射性废水的暂存、检测、解控、排放等信息。

（7）储源室将采取安保措施，安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等。安装火灾报警器，配备灭火器材，设有应急通道，有放射性同位素应急包装容器，以及必要的警示标志和警戒线。

（8）在核医学科患者通道入口处、留观室、给药后候诊区等处均拟设置视频监控系统，便于观察和管理给药患者的活动。在控制室和机房、留观室、待检患者候诊区等处安装对讲装置。

（9）按需要量制备或订购同位素，到货同位素，核医学科专门人员负责点对点接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。在核医学科内登记交接后贮存在高活室内，注射后的注射器立即放回屏蔽包装内，防止被盗和污染，由放射性药品供货公司取回。

（10）全部辐射工作人员通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗，所有人员开展个人剂量监测。

（11）核医学科场所配置 1 台表面污染监测仪和 3 台便携式剂量率仪，用于表面污染和剂量率水平的检测。

（12）候诊室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断，其中 SPECT 候诊室设

2 个 4mm 铅当量铅屏风， PET 候诊室设 2 个 8mm 铅当量的铅屏风，减少受检者候诊期间的相互照射。

（13）部分患者因身体不便等原因需要家属陪护检查的，将告知其近距离接触可能受到少量辐射照射的实际。在患者候诊室内设铅屏风，以减少陪护家属的受照剂量。

**10.1.5 放射性废水暂存和排放**

本项目利用已配备的 1 个放射性废水池，位于 1 号楼西侧（槽式，总容积为 200m$^3$，100m$^3$/池×2 池），衰变池的上方距地面至少 1m 土层以上，衰变池结构及控制管理如下：

（1）**衰变池结构**

- 采用 C30 抗渗混凝土建造，四周池壁厚不小于 200mm 砼（四周都是地下土层），槽与槽之间隔板厚 200mm，底板厚 300mm，顶板厚 300mm。采取防渗措施。
- 总容积约为 200m$^3$ （100m$^3$/槽×2 槽）。

（3）**衰变池控制和管理**

- 智能控制系统、人性化操作管理、设定工作参数和状态提醒机制。
- 所有运行状态自行监控，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行。
- 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”各衰变池循环运作。
- 内置设备泵体采用切割式潜水泵，可将固体杂质粉碎成颗粒排除，阀门采用电/手动双控制球阀，为后续设备维护检修提供保障。
- 放射性区域废水流入衰变区域，衰变池进水管设电动阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先开启 1 池进水管电动阀，关闭 2 池进水管电动阀，待 1 池水位达到设计液位后，关闭 1 池进水管电动阀，打开 2 池进水管电动阀，使排水进入 2 池。按照相同的操作方式，第 1 池已过 10 个半衰变期，检测达标后开动潜水泵排放。待第 2 池水位达到设计液位后，重复向 1 池进水（此时为排空状态）完成进水一个循环。

池壁和池底采取防渗措施。施工单位要进行严格的渗漏检测，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

本项目核医学科产生的放射性废水排放情况如下：

地下一层核医学科诊疗控制区产生的废水包括给药受检人员专用卫生间产

生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水和更衣间应急冲洗水。这些放射性废水经独立的排水管道排入集水坑内，然后由自动水泵排到衰变池，衰变池的废水排出前，经检测合格满足排放要求后将经医院污水管网，排至市政污水处理厂，废水衰变池收集排放系统示意图见图 10-1。

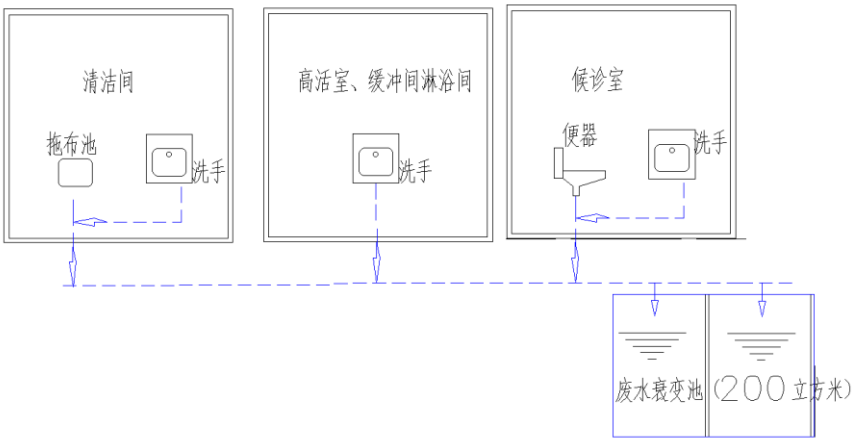



图 10-1　废水衰变池收集排放系统示意图

地下一层核医学科控制区的废水排放图见图 10-2。

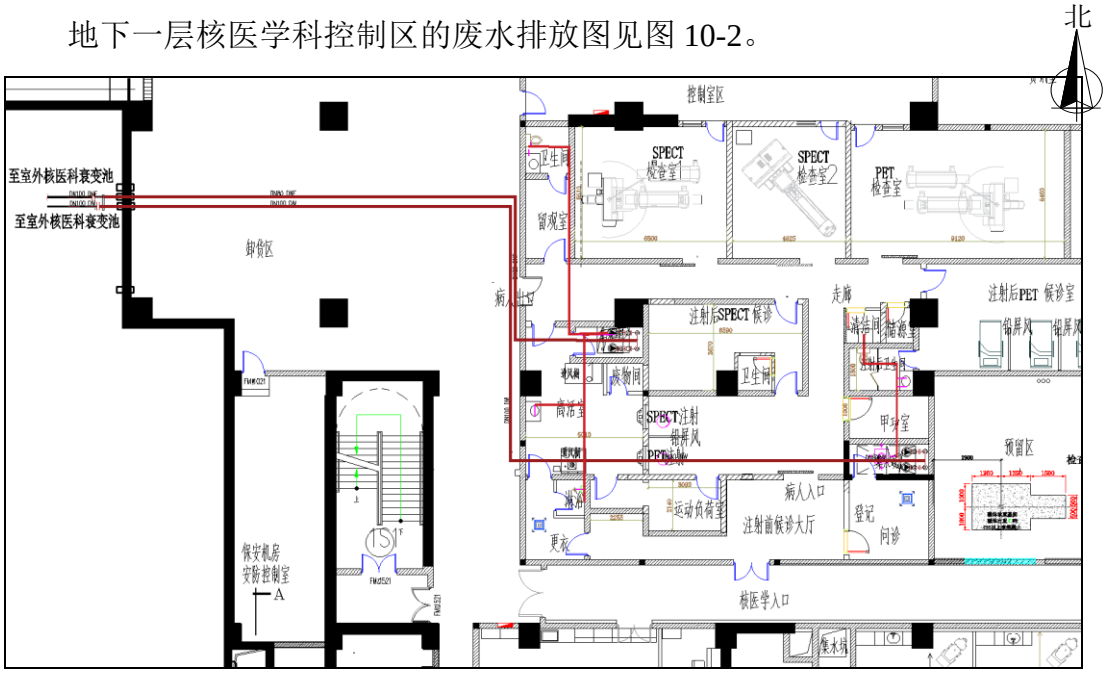



图 10-2　地下一层放射性废水排放图

### 10.1.6 核医学科核医学排风系统

核医学科控制区排风共有为 2 个独立排风系统，核医学诊疗场所通风橱为一套排风系统，核医学诊疗控制区场所为一套排风系统。各排风机出口处设置活性炭过滤装置。通过专用竖井放射性废气管道穿出地下室，放射性排风管道沿 1 号楼里面竖井至楼顶。放射性管道除了在末端安装活性炭过滤箱（设置取

样口，便于检测过滤器有效性）。采用后端风机提供管道负压。

核医学科控制区的排风图见图 10-3。

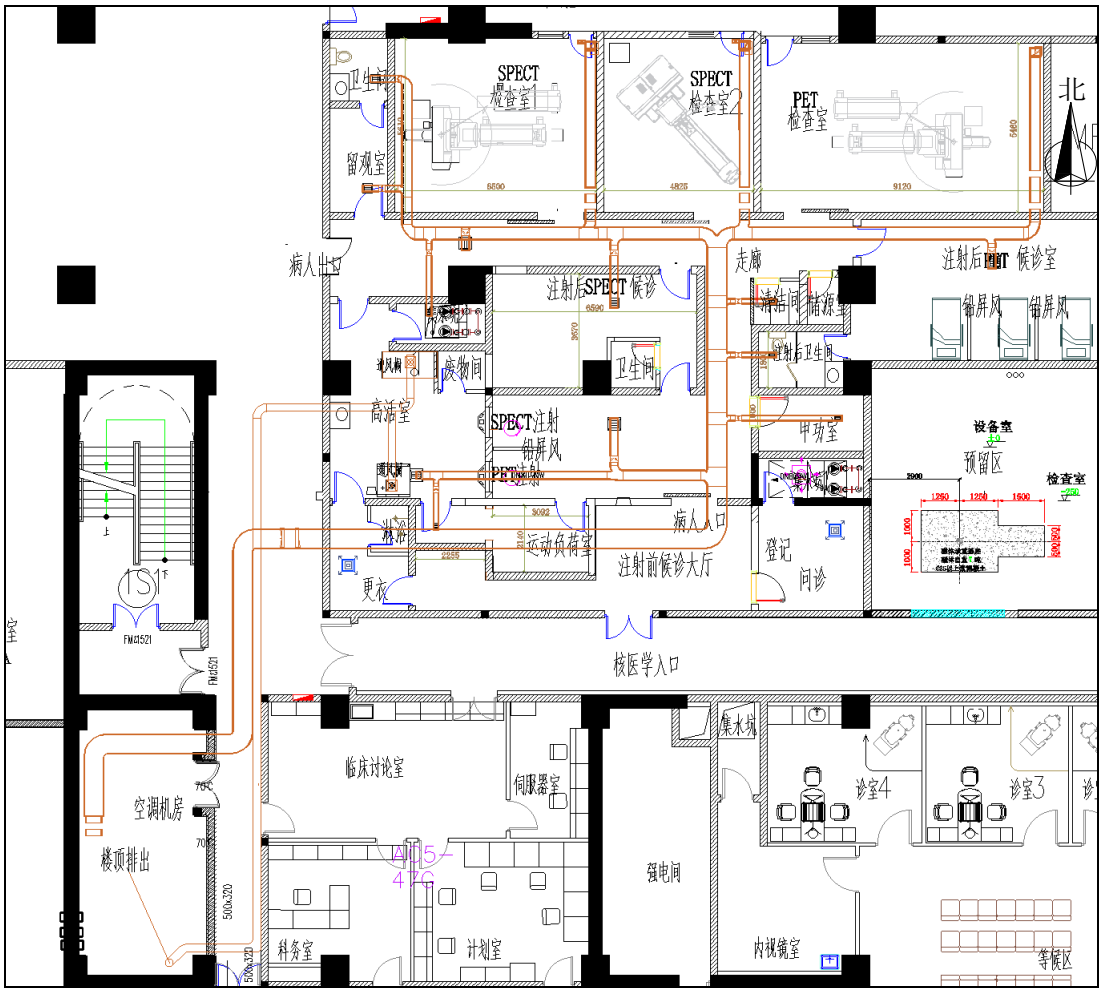



图 10-3　地下一层核医学科排风图

## 10.2 选址与布局合理性

### 10.2.1 本项目核医学科选址与合理性分析

本项目周围 50m 区域都是医院内部，改造后核医学科场所边界维持不变。设在 1 号楼地下一层中间，东侧为核磁共振检查区，南侧为放疗科，西侧为卸货区通道、之外为 UD 药局等。每个区域均相对独立，有专门的人流规划，互不交叉。核医学科出口设置在核医学科的西侧，在西侧楼梯供受检者由此通往地面，以减少其和其它人员的交叉，满足《核医学放射防护要求》中“出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域”的具体要求。

项目选址充分考虑了周围场所的安全，不邻接产科、儿科、食堂等部门，尽可能做到了集中设置，出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域，选址

兼顾了辐射屏蔽、周围科室、场所布局、安全管理等因素，总体认为该项目核医学科选址合理。

**10.2.2 场所平面布局与分区**

核医学科区域使用核素 F-18、Tc-99m 等核素开展核素显像检查和 I-131 核素门诊治疗，核医学科诊疗布局与分区见附图 8。按照使用功能区划设计为三个分区：

（1）接诊区：包括注射前候诊区，患者及其陪护人员由南侧人员入口处进出该区域。

（2）核素诊断诊断工作区（控制区），包括高活室、运动负荷室、分装室、储源室、PET 检查室、2 间 SPECT 检查室、PET 候诊室、ECT 候诊室、废物间、功能测定室、注射后患者通道、留观室等。该区出入通道安装单向门禁系统。

（3）辐射工作人员工作区（监督区），包括控制廊、卫生通过间等。

场所布局考虑了放射性工作场所与非放射性工作场所分开，不同放射性操作或污染水平的工作场所分开，工作人员区域与病人区域分开，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

核素诊疗场所按照尽可能减少对周围辐射影响，以及满足临床工作便捷性的原则进行布局设计。从功能分区来看，监督区和控制区划分明确，且相对隔离，满足了核医学门诊诊疗的辐射安全管理的要求。

监督区和控制区拟设有多道门禁隔离，且在注射后候诊区内还设有铅屏风隔断，加强病人的管理，防止病人到处走动，可有效减少对周围公众和职业人员受到不必要的照射。

高活室配套有通风橱，废气有组织在楼顶排放。核医学科区域配套使用 1 套槽式废水衰变池，门诊患者的排泄物进入衰变池暂存后排放，可有效减少放射性废液对环境的影响。控制区配套建设放射性废物间，所有放射性废物暂存后，达到解控水平后办理清洁解控，可有效减少放射性固体废物对环境的影响。

**10.2.3 人流、物流等设计合理性分析**

核医学科诊疗区域设置受检者检查区入口和出口，均设有门禁系统。只有本科室工作人员有授权，人流、物流示意图见附图 8。

（1）患者显像/治疗检查路线

显像检查路线：患者在候诊区进行登记→在注射前候诊区候诊→由患者走廊从南侧入口进入检查区→在注射窗口接受药物注射→在注射后候诊区休息→按检查要求排尽小便→进行扫描检查→部分患者留观室短暂留观→检查完毕，由核医学科诊疗西侧出口离开核医学科。

门诊治疗路线：患者在候诊区进行登记→在注射前候诊区候诊→由患者走廊从南侧入口进入检查区→在注射窗口接受给药→部分患者留观室短暂留观→由核医学科诊疗西侧出口离开核医学科。

（2）工作人员工作流程

➢ 高活室工作人员：

工作人员从南侧进入卫生通过间→更换鞋和工作服→引导受检者接受药物注射，在指定区域候诊，交待注意事项，或进行药物接收、质检、分装和注射操作→工作结束后在卫生通过间更换工作服、工作鞋，由卫生通过间离开。

➢ 控制廊操作人员：

工作人员由北侧的门进入，完成工作后从北侧离开。

（3）放射性物品流转过程

外购放射性药物：由供货公司通过核医学科西侧停车卸货区由西侧进入核医学科→由核医学科患者出口走廊进入并送至高活室→在核医学科高活室内药品管理员与送货人员办理验收交接手续→记录药品规格、批次、数量以及收货时间→在高活室通风橱内进行药物分装和注射操作→废弃的放射性污染材料暂存在废物间专用废物桶内→待满足清洁解控环境管理要求后，转移至医院医疗废物间集中进行处理。剩余的放射性药物连同包装容器由供货方在下次送药时收回。

（4）放射性废物转移路线

注射窗旁设置 1 个 15mmPb 的废物桶，存放废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，每周一早晨转移至废物间。废物间设置 4 个铅的废物桶（4 个 5mmPb），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置至少一个月和 10 个半衰期后，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，从控制区出口运出，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括废物分类、所含核素名称，重量，暂存起止时间，表面污染和

辐射剂量自测结果，废物处置日期，处置操作人员，废物去向，部门审核人员等内容。

**（5）出入口控制**

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

**2）医护人员出入口控制：**在医务人员进入卫生通过间的入口、高活室北侧防护门都拟设置门禁系统，防止患者和其他无关人员误入高活室等工作人员操作区域。

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

## 10.3 法规符合情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，现对北京清华长庚医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-3 和表 10-4。

### 10.3.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-3 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-3　执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

| 序号 | 应具备条件 | 落实情况 | 符合情况 |
|---|---|---|---|
| 1 | 使用放射性同位素、射线装置的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。 | 成立了由医技部部长为主席的辐射防护和安全管理委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确，本项目都是已有科室改建项目，相关部门负责人不变。 | 符合 |
| 2 | 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。 | 医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。<br>北京清华长庚医院拟为本项目至少增配 8 名辐射工作人员，在通过 | 近期符合 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 辐射安全与防护考核合格后持证上岗。 | |
| 3 | 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贮存库或设备。 | 储源室拟安装视频监控和红外报警系统和公共安全管理部门要求的防盗门，落实放射性同位素安全保卫措施。 | 近期符合 |
| 4 | 放射性同位素与射线装置，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。 | 在核医学科场所控制区入口处，机房门口、患者候诊区门口等位置拟设置放射性警告标识和中文警示说明。机房拟安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。 | 近期符合 |
| 5 | 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。 | 医院核医学科已配备 3 台便携式辐射剂量仪、1 台表面污染监测仪，能够满足现在工作的需要。 | 符合 |
| 6 | 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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。 | 拟完善规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员考核计划、监测方案等。 | 近期符合 |
| 7 | 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。 | 高活室内配备通风橱，设置专用排风管道，排风引至 1 号楼楼顶部排放。核医学科场所高活室内产生的废水，以及给药后患者专用卫生间产生的废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池，排放前委托有资质的检测机构。妥善收集固体放射性废物。废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入专用铅制储存箱，依照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》作为医疗废物处理。 | 近期符合 |
| 8 | 有完善的辐射事故应急措施。 | 在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。 | 近期符合 |

**10.3.2《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况**

《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，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10-4 所示。

表 10-4 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

| 序号 | 安全和防护管理办法要求 | 落实情况 | 是否符合要求 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 第五条<br>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联锁、报警装置或者工作信号。 | 机房拟设置醒目的电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明。机房安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。储源室出入口拟设工作人员专用门禁、防盗门、入侵报警、视频监控等安全防范设施、技术防范系统等。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统等。 | 近期符合 |
| 2 | 第九条<br>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。 | 医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每半年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。每天对高活室、注射区、候诊区的表面污染进行自行监测，并做好记录。 | 近期符合 |
| 3 | 第十二条<br>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。 | 医院在每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。 | 近期符合 |
| 4 | 第十七条<br>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。 | 医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。<br>北京清华长庚医院拟为本项目至少增配8名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。 | 近期符合 |
| 5 | 第二十三条<br>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。 | 将为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。 | 近期符合 |
| 6 | 第二十四条<br>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 | 拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。 | 近期符合 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。 | | |

以上分析可知，该单位从事本项目辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

# 表 11　环境影响分析

## 11.1 建设或安装过程的环境影响

对于本项目而言，将会在楼内进行简单的室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

本项目工程建设施工和设备安装过程不产生放射性污染，本次评价主要关注设备投入运行后的环境影响。

## 11.2 核医学科科运行（使用）后对环境影响

### 11.2.1 辐射环境影响预测

**1 核医学科诊疗场所的使用规划**

医院根据核医学科目前诊疗使用的核素现状，给出了本项目核医学科使用规划，表 11-1 给出了拟使用的放射性核素种类、用途以及最大工作量等信息。

表 11-1　核医学科的使用规划

| 序号 | 核素种类 | 类别 | 最大工作量 | | | 用途（年总人次） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 人次/天 | 天数/年 | 用量/年 | |
| 1 | F-18 | A | 20 | 250 | 1.39E+12 | PET 诊断（5000） |
| 2 | Tc-99m | A | 20 | 250 | 1.16E+13 | SPECT 诊断（5000） |
| 3 | I-131 | B | 10 | 100 | 1.33E+08 | 甲功检查（1000） |
| 4 | I-131 (甲亢) | B | 10 | 100 | 1.48E+11 | 门诊治疗（1000） |

根据使用规划，核医学科每天使用 SPECT 开展影像诊断最多 20 人次，每天使用 PET/CT 开展影像诊断最多 20 人次，甲功检查最多 10 人，每天开展核素治疗最大 10 人次。诊断使用的放射性核素中，半衰期都小于 1d（A 类）。

**2 剂量估算源强**

（1）骨扫描最大用量为 $9.25\times10^{8}$Bq（25mCi），心肌、甲状旁腺显像最大用量为 $7.40\times10^{8}$Bq (20mCi)，甲状腺、肾动态、肝脾、肺灌注、下肢静脉及颌下腺等各种脏器扫描用量相对较小，最大用量为 $1.85\sim3.7\times10^{8}$Bq（5~10mCi）。保守按照最大注射 25mCi 的 99mTc 药物估算其辐射影响。注射 0.925GBq（25mCi）Tc-99m 药物病人，其注射后 0、1、3h 后 1m 处的辐射剂量率分别为 11.3μSv/h、7.9μSv/h、4.4μSv/h（Handbook of Health Physics and Radiological Health.3$^{rd}$）。核

素 Tc-99m 源的 $K_\gamma$ 常数为 0.023μSv·m$^2$/（h·MBq），距 925MBqTc-99m 裸源 1m 处的剂量率为 21.3μSv /h

（2） PET/CT 一般用量不超过 0.222GBq(6mCi）/人次，本项目保守以 F-18 使用量 370MBq（10mCi）/人次估算其辐射影响。根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的 $K_\gamma$ 常数为 0.143μSv·m$^2$/(h·MBq)，给患者注射 10mCi 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 34μSv/h（考虑患者自吸收因子 0.36）；注射时裸源 1m 处剂量率 52.9μSv/h。

（3）I-131 治疗针对甲亢患者，给药量为 0.296 GBq(8mCi）/人次～0.37GBq(10mCi）/人次。服用 10mCi $Na^{131}I$ 治疗甲亢的病人，1m 处的剂量率约为 22μSv/h。

（4） F-18 正电子显像药物，需要在高活室再次分装，一般每次运输最大量不超过 100mCi。工作量饱和时一天最多 3 次供药，本项目保守假设每次最大分装量为 150mCi 估算，操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 793.5μSv/h，储存在通风橱内有 42mmPb 的铅罐和 50mmPb 通风橱屏蔽（92mmPb 的衰减因子为 2.87E-6），因此在储存状态对环境的影响可忽略。

（5） PET 候诊室最多 3 名受检者同时候诊，SPECT/CT 候诊室最多 3 名受检者同时候诊。留观室最多 2 名受检者停留。考虑到候诊床或者座椅间隔布置，在计算楼上附加剂量率时，考虑叠加效果。

（6）PET 使用密封校验源开展设备校验，使用的 Ge-68 最大活度为 55MBq，Ge-68 的衰变子体为 Ga-68。根据 AAPM Task Group 108 报告和辐射安全手册，核素 Ga-68 的 $K_\gamma$ 常数为 0.134μSv·m$^2$/（h·MBq），距离质控源 1m 处的剂量率为 7.37μSv/h。

（7）注射窗口废物桶铅当量不低于 15mm 铅当量（相对 F-18 的衰减因子为 1.25E-1），保守每次注射器中残留 0.1mCi，则距废物桶 30cm 处（约 0.5m）的附加剂量率为 0.26μSv/h，假设上午有 10 个患者，考虑到时间的衰减，剂量率约 1.76μSv/h；废物间废物桶铅当量不低于 5mm 铅当量，放射性废物周一上班时转移至废物间，废物的放射性活度大大降低，废物桶 30cm 处的剂量率一般低于 0.5μSv/h，能够满足距废物桶 30cm 处 2.5μSv/h 的要求。

（8）参照《核医学辐射安全与防护要求》（HJ1188-2021）要求：放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

（9）根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、80min）后的活度衰减因子为 0.68、0.60，每人候诊或检查期间（60min、20min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.94。

**3 关注点的选取**

AAPM108 号报告，给出了计算关注点的原则，即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处，屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处，楼下关注点在楼板上方 1.7m 处。

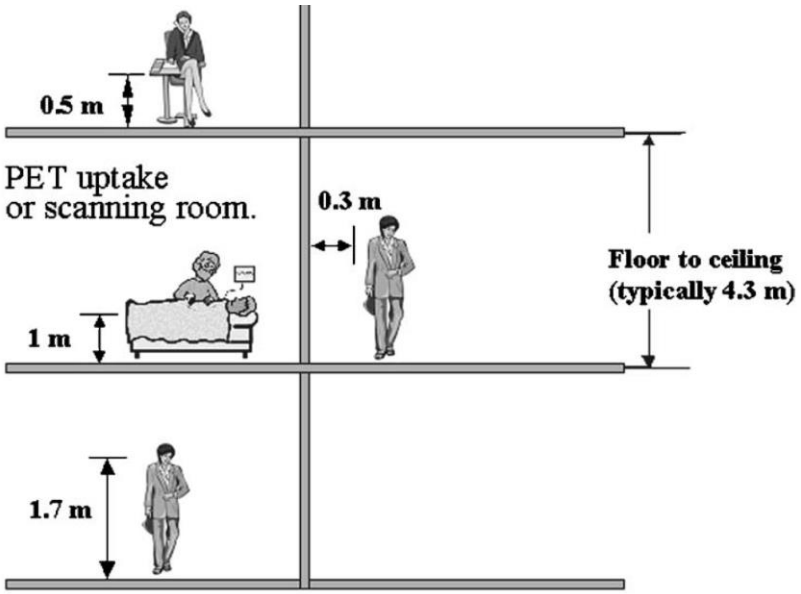



图11-1　核医学科周围关注点位置示意图

**4. 估算方法**

考虑到 SPECT（SPECT/CT）扫描只使用 Tc-99m 核素；PET 扫描只使用 F-18，故以这两种核素为例，分析预测核素显像检查过程工作区周围贯穿辐射水平，以及工作人员和周围公众的受照剂量。

剂量估算中，将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的注射器近似作为点源，依照剂量率和距离成平方反比衰减的关系，同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用，估算注射室、检查室、候诊室等有代表性场所周围的辐射剂量率和对职业人员、公众的附加照射剂量，以及职业人员在患者摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

**辐射剂量率估算公式**

$$H_\gamma = H_0 \times r^{-2} \times 10^{-d/TVL} \qquad （公式 11-1）$$

式中：

$H_\gamma$—关注点的 γ 剂量率 μSv/h；

$H_0$—距靶 1m 处的 γ 剂量率 μSv/h；

$r$—关注点距源中心的距离，m；

$d$—机房的屏蔽厚度，cm；

*TVL*—γ 射线 1/10 值层厚度，cm，对 F-18 来讲，铅中 *TVL* 为 16.6mm，混凝土中 *TVL* 为 176mm，重晶石混凝土 *TVL* 为 100mm（由辐射安全手册图 6.4 数据类比推得）。对于 Tc-99m 来讲，铅中 *TVL* 为 1mm，混凝土中 *TVL* 为 69.9mm（由辐射安全手册表 6.7 数据类比推得），重晶石混凝土 *TVL* 保守取 30mm（由辐射安全手册图 6.4 数据保守类比推得）。对于 I-131 来说，铅中 *TVL* 为 9.5mm，混凝土中 *TVL* 为 110mm（由辐射安全手册表 6.7 数据类比推得）。其中 F-18 的估算考虑衰减因子的影响。

**年有效剂量**

附加年有效剂量计算公式：$E=H\times t\times T$ （11-2）

式中：$E$--年有效剂量，μSv；

$H$--计算点附加剂量率，μSv/h；

$T$ 为人员的居留因子；

$t$为年曝光时间，h/a

**11.2.2 诊疗场所周围不同位置的附加剂量率水平**

（1）场所周围不同位置的附加剂量水平

基于上述源项，依照公式（11-1）和公式（11-2），估算高活室、PET 检查室、SPECT 检查室、候诊室、留观室等场所周围（含楼上）不同位置的最大附加剂量率。估算结果见表 11-2 所示，估算点位示意图见图 11-2 所示。

**表 11-2 核医学科诊疗场所周围不同位置的剂量率**

| 位置（估算点位见图 11-2） | | 距离（m） | 屏蔽材料与厚度 | 衰减因子 | 附加剂量率（μSv/h） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PET 检查室（1 名 F-18 患者） | 东墙 MR 设备机房 a1 | 3.8 | 10cm 重晶石混凝土+24cm 轻体砖 | 3.47E-02 | 5.53E-02 | 公众 |
| | 南墙外候诊室 a2 | 2.9 | 24cm 混凝土（砼） | 6.93E-02 | 1.90E-01 | 控制区 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 西墙外 SPECT 检查室 2a3 | 6.3 | 24cm 混凝土（砼） | 6.93E-02 | 4.02E-02 | 控制区 |
| | 北墙资讯室 a4 | 3.7 | 10cm 重晶石混凝土+24cm 轻体砖 | 3.47E-02 | 5.83E-02 | 公众 |
| | 控制室门 a5 | 7.1 | 8mmPb | 3.30E-01 | 1.51E-01 | 工作人员 |
| | 观察窗外 a6 | 5.9 | 8mmPb 当量铅玻璃 | 3.30E-01 | 2.18E-01 | 工作人员 |
| | 机房门外 a6 | 4.8 | 8mmPb | 3.51E-01 | 3.51E-01 | 控制区 |
| | 楼上设备层 a7 | 2.9 | 10cm 重晶石混凝土 | 1.00E-01 | 2.74E-01 | 无人区 |
| | 楼上急诊超声间 a8 | 4.9 | 10cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 9.49E-03 | 9.10E-03 | 公众 |
| | 楼下停车场 a9 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 3.65E-07 | 5.82E-07 | 公众 |
| SPECT 检查室 1（1 名 Tc-99m 患者） | 东墙检查室 2b1 | 5.2 | 4mmPb | 2.68E-01 | 7.82E-02 | 控制区 |
| | 南墙走廊 b2 | 3.0 | 24cm 混凝土 | 3.69E-04 | 3.24E-04 | 控制区 |
| | 西墙留观室 b3 | 2.0 | 8mmPb | 1.00E-08 | 1.98E-08 | 控制区 |
| | 北墙控制室 b4 | 4.0 | 4mmPb | 1.00E-04 | 4.94E-05 | 工作人员 |
| | 控制室门 b5 | 5.1 | 3mmPb | 1.00E-03 | 3.04E-04 | 工作人员 |
| | 观察窗 b6 | 5.1 | 3mmPb 当量铅玻璃 | 1.00E-03 | 3.04E-04 | 工作人员 |
| | 机房门 b7 | 4.8 | 3mmPb | 1.00E-03 | 3.43E-04 | 控制区 |
| | 楼上设备层 b8 | 2.9 | 6cm 重晶石混凝土 | 1.00E-02 | 9.39E-03 | 无人区 |
| | 楼上急诊输液室 b9 | 4.9 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 2.66E-05 | 8.75E-06 | 公众 |
| | 楼下停车场 b10 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 3.65E-07 | 2.00E-07 | 公众 |
| SPECT 检查室 2（1 名 | 东墙 PET 检查室 c1 | 3.6 | 24cm 混凝土（砼） | 3.69E-04 | 2.25E-04 | 控制区 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tc-99m 患者） | 南墙走廊 c2 | 4.3 | 24cm 混凝土（砼） | 3.69E-04 | 1.57E-04 | 控制区 |
| | 西墙检查室 1c3 | 2.3 | 4mmPb | 1.00E-04 | 1.49E-04 | 控制区 |
| | 北墙控制室 c4 | 2.4 | 4mmPb | 1.00E-04 | 1.37E-04 | 工作人员 |
| | 控制室门 c5 | 3.7 | 3mmPb | 1.00E-03 | 5.77E-04 | 工作人员 |
| | 观察窗 c6 | 2.4 | 3mmPb 当量铅玻璃 | 1.00E-03 | 1.37E-03 | 工作人员 |
| | 机房门 c7 | 4.9 | 3mmPb | 1.00E-03 | 3.29E-04 | 控制区 |
| | 楼上急诊输液室 c8 | 4.9 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 2.66E-05 | 8.75E-06 | 公众 |
| | 楼下停车场 c9 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 3.65E-07 | 2.00E-07 | 公众 |
| PET 注射后候诊室（1 名 10mCi F-18 患者） | 东墙 MR 操作间 d1 | 1.7 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | 4.17E-03 | 4.89E-02 | 公众 |
| | 南墙 MR 预留区 d2 | 1.5 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | 4.17E-03 | 6.28E-02 | 公众 |
| | 北墙 MR 设备机房 d3 | 4.2 | 24cm 混凝土砖 | 6.93E-02 | 1.33E-01 | 公众 |
| | 防护门 d4 | 4.1 | 8mmPb | 3.51E-01 | 7.07E-01 | 控制区 |
| | 楼上超声 d5 | 4.9 | 10cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 9.49E-03 | 1.34E-02 | 公众 |
| | 楼下往生室家属区、车道 d6 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 2.77E-03 | 6.51E-03 | 公众 |
| ECT 注射后候诊室（3 名 25mCi Tc-99m 患者） | 东墙走廊 e1 | 4.6 | 24cm 混凝土砖 | 1.21E-03 | 1.93E-03 | 控制区 |
| | 南墙走廊 e2 | 2.3 | 24cm 混凝土砖 | 1.21E-03 | 7.73E-03 | 控制区 |
| | 北墙走廊 e3 | 2.4 | 24cm 混凝土砖 | 1.21E-03 | 7.10E-03 | 控制区 |
| | 北侧防护门 e4 | 4.4 | 3mm 铅 | 1.93E-02 | 3.39E-02 | 控制区 |
| | 南侧防护门 e5 | 4.1 | 3mm 铅 | 1.00E-03 | 2.02E-03 | 控制区 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 楼上急诊输液室 e6 | 4.9 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 2.66E-05 | 3.76E-05 | 公众 |
| | 楼下往生室 e7 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 3.65E-07 | 8.57E-07 | 公众 |
| 高活室（10mCi F-18、25mCi Tc-99m） | 患者入口 f1 | 6.0 | 6mmPb | 4.35E-01 | 6.39E-01 | 公众 |
| | 楼上走廊 f2 | 4.9 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 2.38E-02 | 5.25E-02 | 公众 |
| | 楼下走廊 f3 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 2.77E-03 | 1.02E-02 | 公众 |
| 留观室（1 名 F-18 和 1 名 Tc-99m 患者） | 东墙检查室 g1 | 1.5 | 24cm 混凝土砖 | 6.93E-02 | 6.26E-01 | 控制区 |
| | 西墙走廊 g2 | 1.4 | 24cm 混凝土砖 | 6.93E-02 | 7.19E-01 | 控制区 |
| | 防护门 g3 | 2.8 | 6mmPb | 4.35E-01 | 1.13E+00 | 控制区 |
| | 楼上急诊输液室 g4 | 4.9 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 2.38E-02 | 2.02E-02 | 公众 |
| | 楼下停车场 g5 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 2.77E-03 | 3.90E-03 | 公众 |
| 储源室（1 枚 55MBq Ge 刻度源） | 西墙清洁间 h1 | 1.3 | 24cm 混凝土砖 | 6.93E-02 | 3.02E-01 | 控制区 |
| | 门 h2 | 1.5 | 6mmPb | 4.35E-01 | 1.43E+00 | 控制区 |
| | 楼上超声 h3 | 4.9 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 2.38E-02 | 7.32E-03 | 公众 |
| | 楼下往生室洽谈间 h4 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 2.77E-03 | 1.42E-03 | 公众 |
| 运动负荷室（1 名 25mCi Tc-99m 患者） | 东墙走廊 i1 | 2.1 | 24cm 混凝土砖 | 1.21E-03 | 3.09E-03 | 公众 |
| | 南墙工作人员走廊 i2 | 1.3 | 24cm 混凝土砖 | 1.21E-03 | 8.07E-03 | / |
| | 工作人员防护门 i3 | 3.9 | 3mmPb | 1.00E-03 | 7.43E-04 | 控制区 |
| | 患者防护门 i4 | 2.3 | 3mmPb | 1.00E-03 | 2.14E-03 | 控制区 |
| | 楼上走廊 i5 | 4.9 | 6cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土（砼） | 2.66E-05 | 1.25E-05 | 公众 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 楼下往生室冰柜间 i6 | 3.8 | 45cm 混凝土（砼） | 3.65E-07 | 2.86E-07 | 公众 |

注：砼（混凝土）密度不低于 2.35g/cm³，混凝土砖密度不低于 2.0g/cm³，重晶石混凝土密度不低于 3.45g/cm³，铅板的密度为 11.4g/cm³。储源室周围剂量以 5.5E+7BqGe-68 桶源活度进行估算，并不考虑铅桶屏蔽下估算所得。上表估算的剂量率为初始的活度的剂量。

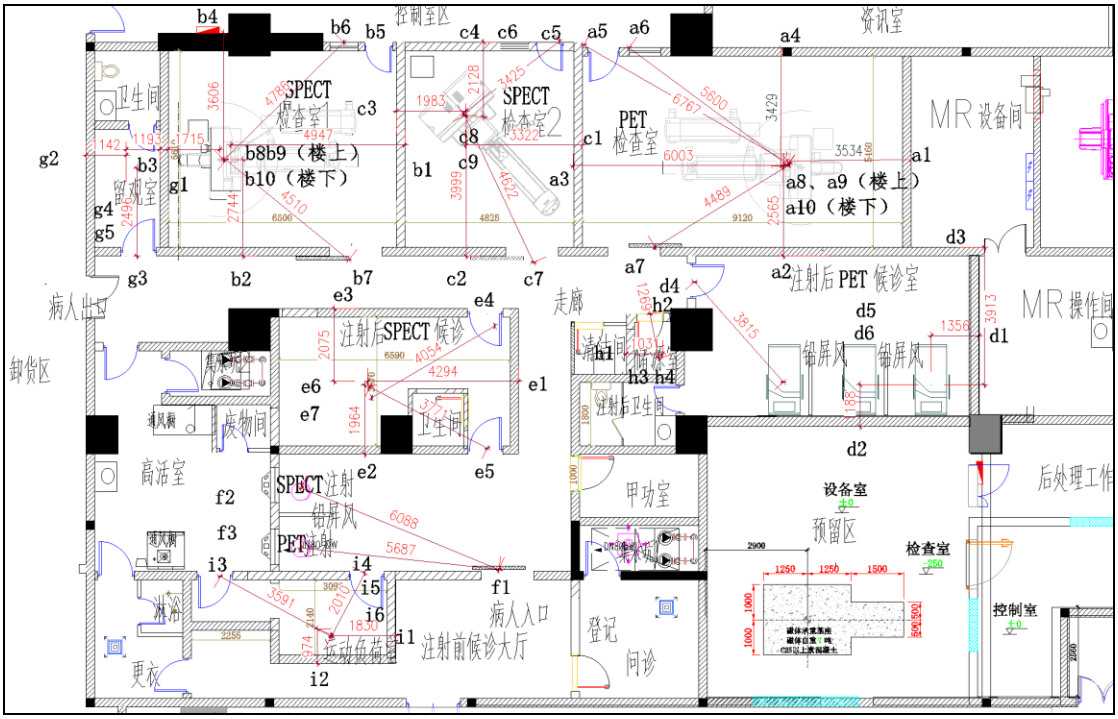



图 11-2　估算点位示意图

（2）周围不同位置的附加剂量叠加情况

上表中 SPECT 注射后候诊室已保守按 3 名患者进行估算，主要以 PET 注射后候诊室同时存在 3 名注射后患者情况下的进行最大附加剂量率见表 11-3，核医学科 PET 相关场所估算点位置见图 11-3。

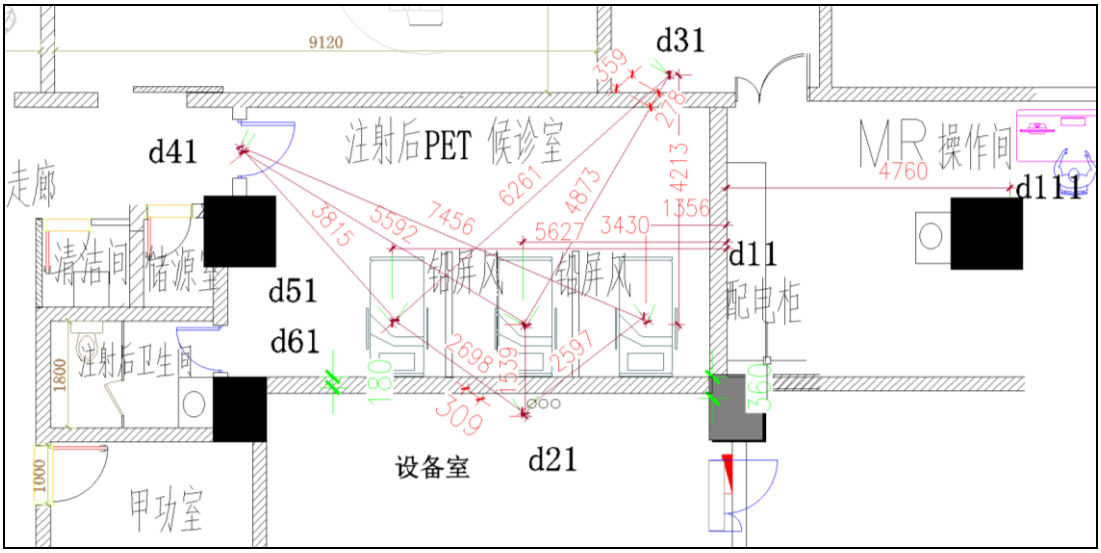



图 11-3　PET 候诊室估算点位置图（考虑叠加影响）

**表 11-3　主要位置剂量率叠加情况**

| 位置 | 距离（m） | 有效屏蔽材料与厚度 | 衰减因子 | 附加剂量率（μSv/h） | 累加剂量率（μSv/h） |
|---|---|---|---|---|---|
| PET 注射后候诊室东墙 MR 操作间 d11（3 名 10mCi F-18 患者） | 1.7 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | 4.17E-03 | 4.89E-02 | 5.27E-02 |
| | 3.7 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖+8mmPb | 1.38E-03 | 3.40E-03 | |
| | 5.9 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖+16mmPb | 4.54E-04 | 4.41E-04 | |
| PET 注射后候诊室东墙 MR 操作间操作位 d111（3 名 10mCi F-18 患者） | 6.1 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | 4.17E-03 | 3.80E-03 | 4.63E-03 |
| | 8.2 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖+8mmPb | 1.38E-03 | 6.93E-04 | |
| | 10.4 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖+16mmPb | 4.17E-03 | 6.28E-02 | |
| PET 注射后候诊室南墙 MR 预留区 d21（3 名 10mCi F-18 患者） | 1.5 | 18cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | 2.14E-04 | 1.07E-03 | 6.42E-02 |
| | 2.6 | 30.9cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖 | 7.06E-05 | 3.28E-04 | |
| | 2.7 | 30.9cm 重晶石混凝土+12cm 混凝土砖+8mmPb | 4.17E-03 | 6.28E-02 | |
| PET 注射后候诊室北墙 MR 设备 | 4.2 | 24cm 混凝土砖 | 6.93E-02 | 1.33E-01 | 2.02E-01 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 机房（3 名 10mCi F-18 患者） | 4.9 | 27.8 混凝土砖 | 4.50E-02 | 6.35E-02 | |
| | 6.3 | 35.9cm 混凝土砖+8mmPb | 6.02E-03 | 5.13E-03 | |
| PET 注射后候诊室防护门 d41（3 名 10mCi F-18 患者） | 4.1 | 8mmPb | 3.30E-01 | 6.64E-01 | 8.30E-01 |
| | 5.9 | 16mmPb | 1.09E-01 | 1.06E-01 | |
| | 7.8 | 16mmPb | 1.09E-01 | 6.05E-02 | |
| PET 注射后候诊室楼上 d51（3 名 10mCi F-18 患者） | 4.9 | 10cm 重晶石混凝土+18cm 混凝土 | 9.49E-03 | 4.02E-02 | 4.02E-02 |
| PET 注射后候诊室楼下 d61（3 名 10mCi F-18 患者） | 3.8 | 45cm 混凝土 | 2.77E-03 | 1.95E-02 | 1.95E-02 |

备注：未考虑注射后患者时间衰减的影响，楼上楼下都没考虑斜射的影响，每个患者保守都按 10mCi 量估算。

由表 11-2 和表 11-3 可见，本项目运行后，核医学科诊疗场所的控制区边界外（四周）的附加剂量率水平最大为 6.39E-01μSv/h（患者入口处），楼上、楼下的附加剂量率分别不大于 4.02E-02μSv/h、1.95E-02μSv/h，检查室周围的附加剂量率低于 2.18E-01μSv/h（PET 观察窗处），均满足 2.5μSv/h 的剂量率控制要求。

（3）PET/CT、SPECT/CT 中 CT 的影响定性分析

本项目两间检查室墙体、顶棚、地板、观察窗和防护门采取的辐射屏蔽措施均大于 3mm 铅当量，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）给出的 2.5mm 铅当量防护要求，机房面积和单边长度也分别满足 30m$^2$ 和 4.5m 的要求，且本项目 CT 设备运行时工作条件远低于放射科诊断 CT，可以预计，PET/CT、SPECT/CT 设备的 CT 装置运行时，机房周围剂量率水平将保持在正常本底水平，对环境几乎没有辐射影响。

**11.2.3 周围公众受照剂量估算**

核医学科实行每日一班制，全年工作 250d。根据表 11-1 所列最大工作量进行剂量估算。假设：

1) 每年 SPECT 检查最大人数为 5000 人次，扫描时间平均约为 20min/人次，总共扫描时间为 1667h（每间机房内的停留时间约为 833h），ECT 候诊室内人员的停留时间保守按 2000h。扫描后每人留观 10min，则留观室内受检人员留观时间约 833h。

2) 每年 PET/CT 检查最大人数为 5000 人次。PET/CT 的扫描时间平均按 20min/人次，则 PET/CT 机房内患者停留时间约为 1667h， PET 候诊室停留时间保守按 2000h，每人留观 10min，留观室内的年留观时间为 833h。

3) PET/CT 扫描患者采用预置针方式注射，每人次的药物注射时间为 30s/人。SPECT 患者采用直接静脉注射的方式注射，注射时间按 60s/人计，口服按 30s 人计。注射室全年注射 SPECT 药物总时间为 83.3h，口服 I-131 时间为 8.3h。注射 PET 药物总时间为 41.7h。

4) 高活室通风橱内每天进行 PET 药物分装时间 2min/人次，全年累计分装时间为 166.7h。

5）甲亢治疗一般观察 15min/人，则年总观察时间为 250h。

表 11-4 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，检查对公众的辐射照射剂量最大不超过 6.67E+01μSv/a（楼上超声科，居留因子取 1），除了楼上外 PET 注射后候诊的北墙 MR 设备机房为 2.10E+01μSv/a，均满足本项目设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

核医学科场所分区管理，病人给药、候诊和检查区域属于控制区，通常只有受检病人停留，不按公众区域考虑，患者及其陪同人员，仅在本院机房外围有一定的驻留，他们不是机房的主要防护对象（年居留因子 T 很小，T＜1/40）。

**表 11-4 核医学诊疗相关场所主要位置的年附加剂量估算**

| 位置 | | 附加剂量率（μSv/h） | 居留因子 | 全居留时间 h/a） | 年附加剂量（μSv/a） |
|---|---|---|---|---|---|
| PET 检查室（1 名 F-18 患者） | 东墙 MR 设备机房 a1 | 5.53E-02 | 1/16 | 1666.7 | 5.41E+00 |
| | 北墙资讯室 a4 | 5.83E-02 | 1/16 | 1666.7 | 5.71E+00 |
| | 楼上急诊超声间 a8 | 9.10E-03 | 1 | 1666.7 | 1.43E+01 |
| | 楼下停车场 a9 | 5.82E-07 | 1/16 | 1666.7 | 5.70E-05 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SPECT 检查室 1（1 名 Tc-99m 患者） | 楼上急诊输液室 b9 | 8.75E-06 | 1 | 833.3 | 7.29E-03 |
| | 楼下停车场 b10 | 2.00E-07 | 1/16 | 833.3 | 1.04E-05 |
| SPECT 检查室 2（1 名 Tc-99m 患者） | 楼上急诊输液室 c8 | 8.75E-06 | 1 | 833.3 | 7.29E-03 |
| | 楼下停车场 c9 | 2.00E-07 | 1/16 | 833.3 | 8.65E-06 |
| PET 注射后候诊室（3 名 10mCi F-18 患者） | 东墙 MR 操作间 d11 | 5.27E-02 | 1/16 | 2000 | 5.47E+00 |
| | 东墙 MR 操作间操作位 d111 | 4.63E-03 | 1 | 2000 | 7.69E+00 |
| | 南墙 MR 预留区 d21 | 6.42E-02 | 1/16 | 2000 | 6.66E+00 |
| | 北墙 MR 设备机房 d31 | 2.02E-01 | 1/16 | 2000 | 2.10E+01 |
| | 楼上超声 d51 | 4.02E-02 | 1 | 2000 | 6.67E+01 |
| | 楼下往生室家属区、车道 d61 | 1.95E-02 | 1/16 | 2000 | 2.44E+00 |
| ECT 注射后候诊室（3 名 25mCi Tc-99m 患者） | 楼上急诊输液室 e6 | 3.76E-05 | 0.25 | 2000 | 1.88E-02 |
| | 楼下往生室 e7 | 8.57E-07 | 1/16 | 2000 | 1.07E-04 |
| 高活室（10mCi F-18、25mCi Tc-99m） | 患者入口 f1 | 6.39E-01 | 1/16 | 166.7 | 6.66E+00 |
| | 楼上走廊 f2 | 5.25E-02 | 1/16 | 166.7 | 5.47E-01 |
| | 楼下走廊 f3 | 1.02E-02 | 1/16 | 166.7 | 1.06E-01 |
| 留观室（1 名 F-18 和 1 名 Tc-99m 患者） | 楼上急诊输液室 g4 | 2.02E-02 | 1 | 833 | 1.68E+01 |
| | 楼下停车场 g5 | 3.90E-03 | 1/16 | 833 | 2.03E-01 |
| 储源室（1 枚 55MBq Ge 刻度源） | 楼上超声 h3 | 7.32E-03 | 1/16 | 2000 | 9.15E-01 |
| | 楼下往生室洽谈间 h4 | 1.42E-03 | 1 | 2000 | 2.84E+00 |
| 运动负荷室（1 名 25mCi Tc-99m 患者） | 东墙走廊 i1 | 3.09E-03 | 1/6 | 2000 | 9.89E-01 |
| | 楼上走廊 i5 | 1.25E-05 | 0 | 2000 | 1.56E-03 |
| | 楼下往生室冰柜间 i6 | 2.86E-07 | 0 | 2000 | 3.58E-05 |

备注：其中 F-18 年附加剂量考虑用药后检查和候诊期间药物活度的衰减，由公式 $D(t)=D1\times T\times t\times R_{tI}$ 算出，其中 $t$ 为时间，$R_{tI}$ 为每人检查期间平均活度相对检查初始的活度因子（60min 平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83），其中注射室、留观室周围未考虑 $R_{tI}$ 的影响。

### 11.2.4 工作人员显像环节年受照剂量

（1）工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

该场所只有 F-18 核素需要分装，参照《核医学辐射安全与防护要求》（HJ1188-2021）要求：放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。分装操作时间全年保守按 166.7h 估算，则工作人员所受的年附加剂量为 416.8μSv。

（2）工作人员为药物转运环节工作人员的受照剂量

本项目中正电子核素采用注射器转运防护箱（25mmPb）运输，1m 处剂量率低于 2.5μSv/h，运输过程中距工作人员的局里按 50cm 估算（剂量率不大于 10μSv/h 估算）。每次药物转运平均时间以 10s 估算，则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 5μSv/h×10s/人×5000 人×1/3600s/h=69.4μSv。

（3）工作人员为患者进行药物注射环节的受照剂量

据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radionuclide And Radiation Protection Data Handbook 2002]给出：距活度为 1MBq 的 F-18 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $1.81\times10^{-3}$mSv/h，注射 370MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 670μSv/h。注射时采用了具有 50mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护，剂量率可以降低两个量级（在约 340MBq 的注射量情况下，北京肿瘤医院工作人员腹部位的实测值为 6.6μSv/h），本项目衰减后值取 10μSv/h。注射操作时间短，每人次的注射时间为 30s，年总操作时间约 41.7h，则工作人员所受的年附加剂量为 417μSv。

手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5mlTc-99m 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $2.6\times10^{-4}$mSv/h。所以，注射 925MBq （25mCi）的 Tc-99m，距 30cm 处人的深部当量剂量率为 240μSv/h。注射时采用具有防护功能的铅玻璃窗屏蔽（20mm 铅当量的铅玻璃），若注射车完全屏蔽时衰减因子小于 7.4E-17，操作时注射窗口可能不能完全屏蔽人体的所有部位，剂量率按降低两个量级 2.4μSv/h 估算，年总操作时间约 83.3h，则工作人员所受的年附加剂量为 199.9μSv。

尽量减少手部直接接触，注射可采用“三通”装置或使用带有屏蔽套的注射器等措施。

（4）工作人员指导病人摆位环节的年受照剂量

考虑用药后候诊期间药物活度的衰减和患者的自吸收，注射 370MBq 的 F-18 患者到 PET/CT 检查时（经过了 60min 衰变），距患者 100cm 处摆位环节时人的深部当量剂量率为 23.1μSv/h（34μSv/h×0.68，在北京肿瘤医院工作人员摆位的实

测值为 13.5μSv/h，患者的注射量大约 300MBq），全年进行检查人数 5000 人次，PET/CT 扫描和摆位工作由 2 人完成，PET/CT 摆位时间 30s/人，则每人分配累计摆位时间为 41.7h。则摆位工作人员所受到的年附加剂量 13.5μSv/h×41.7h=562.9μSv。

注射 925MBq（25mCi）的 Tc-99m 药物的病人，1m 处的剂量率约为 3.7μSv/h（国际放射防护委员会，第 52 号出版物，p14，1987）。假设摆位人员距离病人距离 100cm，保守按全年进行 SPECT 检查的最大人数（5000 人次）进行剂量估算。假设每个病人的平均摆位时间 30s，则年总操作时间为 41.7h，摆位时工作人员穿 0.5mmPb 当量的铅衣（衰减因子为 $3.16\times10^{-1}$），则总剂量为：3.7μSv/h×41.7h×0.316＝177.9μSv

（5）控制室内工作人员的年受照剂量

由表 11-2 可知，PET/CT 控制室内的工作人员的年附加剂量约为 363.3μSv（2.18E-01μSv/h×1666.7h），实际上控制室操作位经过斜射有效衰减后可以忽略不计。

SPECT 操作位的附加剂量为 1.37E-03μSv/h，因此 SPECT 隔室操作的工作人员附加剂量可忽略。

（6）质控时工作人员的年受照剂量

根据《北京市核医学大型设备稳定性检测指南》（试行版）和《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测规范》WS 523-2019 中的相关规定，医院需自行或委托有能力机构进行定期质控检测，故需对进行质控检测的工作人员进行附加剂量估算：

1）SPECT

本次假设工作人员每年应稳定检测共需操作含 Tc-99m 药物活度为 740MBq（包括均匀性、平面灵敏度等各项指标所需），操作距离为 30cm，操作时间为 1h/a，由 1MBq Tc-99m 药液时对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 0.26μSv/h，则 740MBq 对应 30cm 处剂量率为 192.4μSv/h，工作人员一般穿 0.50mmPb 当量铅围裙操作，对应透射系数 0.31，即操作位附加剂量率约为 21.5μSv/h（50cm 处），则工作人员附加剂量为 21.5μSv/a。

2）PET

①使用密封源

工作人员至少每周使用 1 次密封源进行均匀度等质控检测，该环节需将源从储源室取出放于 PET 扫描床上，并在控制室进行操作，完成后需将密封源送回储源室。Ge-68 质控源产生光子平均能量仅约 9.2keV，但其子体 Ga-68 将发生正电子衰变产生湮灭辐射并发射 511keV 光子，故该环节主要考虑 Ga-68 的影响，GBZ 120-2020 表 H.1 中给出其周围剂量当量率常数为 0.134μSv·$m^2$·$h^{-1}$·$MBq^{-1}$，保守按初始活度 55MBq 考虑，操作距离取 50cm，操作位剂量率为 29.5μSv/h，每次操作时间约 2min，总操作时间为 1.67h/a，则工作人员附加剂量约为 49.3μSv/a。

②稳定性

本次假设工作人员每年应稳定检测共需操作含 F-18 药物活度为 37MBq（包括 SUV、灵敏度、空间分辨力等各项指标所需），操作距离为 50cm，操作时间为 10min/a，37MBq F-18 药液距 50cm 处人的深部当量剂量率为 21.16μSv/h，则工作人员附加剂量约为 3.5μSv/a。

（7）核医学科显像环节工作人员受照剂量总结

根据以上估算，核医学科显像环节工作人员的附加有效剂量如表11-5。

**表 11-5　核医学科显像环节工作人员各环节附加有效剂量（μSv/a）**

| 环节 | 分装 | 运转 | 注射 | 摆位 | 控制室 | 质控 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PET | 416.8 | 69.4 | 417 | 562.9 | 363.3 | 74.3 |
| SPECT | / | / | 199.9 | 177.9 | / | |
| **备注** | PET、SPECT 由不同护士完成 | | | PET、SPECT 由不同技师完成 | | 物理师完成 |

本项目显像环节每名护士、技师和物理师年受照附加剂量分别不大于 1.10mSv、1.10mSv、74.3μSv，由于本项目核医学科改建项目，不存在辐射工作的累加情况，且护士和技师的工作环节也不存在剂量累加的情况。

### 11.2.5 门诊治疗辐射影响分析

核医学科核素治疗场所还使用 I-131 开展门诊治疗，在接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就离开。除给药期间病人辐射对周围环境有短暂影响外，通常不会产生排泄物等废水和固体废物，影响分析如下。

（1）I-131 **的辐射影响**

使用 I-131 治疗甲亢的病人最多 1000 名/年，不大于 370MBq/病人，I-131 的操作方式为口服，假设从病人口服到离开，工作人员接触病人的时间为 2mim/

病人，一年的接触时间为 33.3h[2min×1000（人/年）/60（min/h）]，I-131γ 辐射能量为 0.36MeV，$K_\gamma$ 值为 0.0595μSv·m$^2$/h·MBq，距离患者（施用量 370MBq）1m 处的剂量率约为 22.0μSv/h，则 I-131 核素对工作人员增加的附加剂量约为 733μSv。

**11.2.6 甲功检查致工作人员年受照剂量**

甲功检查每粒活度为 0.333MBq（0.9μCi），则距 0.333MBq（0.9μCi）I-131 胶囊 100cm 处人的剂量率约为 1.98×10$^{-2}$μSv/h，则 I-131 胶囊对工作人员增加的附加剂量可忽略。

**11.2.7 核医学科诊疗工作人员受照剂量总结**

根据以上估算，本项目核医学科诊疗工作人员和公众年受照总剂量分别不大于1.87mSv和66.7μSv，低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a和100μSv要求。

**11.2.8 放射性废物产生及排放情况**

（1）放射性废气

核医学科通风橱拟安装独立的排风净化系统，核素操作区排风在末端安装活性炭过滤箱（设置取样口，便于检测过滤器有效性）过滤器净化后，由高于1号楼楼楼顶排放。核医学科诊断区域主要所涉及的同位素操作主要都是一些很简单的湿法操作，除I-131以外的标记药物物理性质稳定，该场所只做I-131甲状腺功能检查和门诊治疗，在正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少，不会造成工作环境的空气污染，即使出现放射性物质泼洒情况时，废气经过排风系统排放至楼顶处，经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的剂量贡献很小。

（2）放射性液体废物

衰变池收集的主要的放射性核素来源于核医学门诊受检患者的排泄物，门诊显像检查使用的 F-18 核素用于 PET 检查的正电子核素，以及 Tc-99m 用于 SPECT 检查用核素（都是 A 类核素）；甲状腺功能测定病人 I-131 服药量仅 5μCi，且基本不在核医学科候诊。核医学科门诊治疗还使用 I-131 核素开展门诊治疗的，患者接受治疗后通常随即离开，正常情况下可不考虑这部分核素对放射性废水的影响。但核医学科产生的放射性废水仍按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）B 类核素管理。放射性废液产生量预计如下：

核医学科诊疗设置受检患者专用卫生间。核医学门诊卫生间按坐便器大档水

位 4L、小档水位 2.8L，5s 洗手、水嘴流量 0.1L/s 设计患者用水量，患者一次入厕用水量不超过 4.5L，本项目保守地按照所有受检者每人次如厕产生放射性废水的总量为 6L 考虑；另外洗手池和拖布池产生的废水也将排入衰变池，预计产生量为 100L/d。根据表 11-1，核医学科诊疗年检查人数不超过 12000 人，年产生废水约 6L/人×12000 人+100L/d×250d= 97$m^3$。

衰变池的总容积为 200$m^3$（100$m^3$/池×2 池），每池充满约需 12 个月，满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 B 类放射性废水暂存衰变满 10 个半衰期（按本项目最长半衰期核素为 I-131（甲功检查），十个半衰期为 80 天）的要求。排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 I-131 核素的放射性活度浓度、总活度和总 α、总 β 符合排放限值要求的，排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

（3）放射性固体废物

核医学科诊疗按需申请放射性药物，如有剩余的放射性药物，连同包装容器暂存于废物间自行衰变。废物间内拟配置 4 个铅质废物桶，将废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等固体放射性废物，暂存于该废物桶内，标注日期于每周一早晨转移至废物间内的废物桶内。放射性废物暂存至少一个月（10 个半衰期以上），经监测确认达到清洁解控水平要求后，作为医疗废物处置。

本场所保守按全年开展核素诊疗 12000 人次，平均每人次产生含放射性固体废物 0.01kg，则项目满负荷运行年产生量约 120kg。此外，每年更换通风橱活性炭过滤器，预计额外产生 20kg 固体废物，拆下的废弃滤材将妥善收集，密封包装暂存于污物间，按照放射性固体废物进行暂存，存放超过至少一个月后，经监测确认达到清洁解控水平要求后作为医疗废物处置。

依据《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》，本项目使用核素为 A 类和 B 类，放射性固体废物在废物间内暂存衰变时间超过 30 天且超过 10 倍最长半衰期后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α、β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/$cm^2$ 和 0.8Bq/$cm^2$，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分

类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

**11.3 本项目异常事件分析与防范措施**

**11.3.2核医学科诊疗和治疗异常事件分析与防范建议**

核医学科诊疗和治疗在运行过程中可能发生以下异常事件：

（1） 放射性药物保管不善，发生遗失或被盗。放射性物品失控可能造成环境放射性污染。

（2） 由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；放射性物质从患者吐出导致放射性污染。放射性物质污染工作场所、衣物、手和皮肤，增加外照射危险程度，还有可能被食入或吸入体内形成内照射。

（3） 错误给药。包括放射性活度不正确，导致给药剂量错误；弄错患者，导致不必要的照射；授乳期妇女受到不必要的照射。

（4） 放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

为避免上述异常事件发生，应采取以下风险防范措施：

（1） 储源室和高活室设置闭路监视和放侵入系统，依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）落实相关要求，贮源场所通过公安部门验收后投入使用。此外，放射性药品由专业公司送达医院后，核医学科技师与送药人员在摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失恶化被盗。

（2） 制定相关的操作规程，并对操作放射性药物的人员进行严格培训，通过内部考核后，上岗工作。上述措施可以有效避免因操作失误，导致工作场所发生局部放射性污染的事件发生。

在控制区入口处设置有缓冲间，工作人员进出控制区需更换工作服和工作鞋，该措施可有效避免放射性污染的扩散。此外，将制定放射性局部污染的处置措施，一旦发生放射性药品遗撒、患者呕吐等意外情况，依照程序处置，规范操作，防止放射性污染扩散导致周围环境污染。

（3） 病人注射或者给药前，要认真核对患者的姓名、性别、给药量，防止

因错误给药导致他人受到不必要的照射，或者因给药活度不准确影响诊疗效果。

（4）核医学科高活室，配置放射性废物桶，收集放射性废物，并在放射性废物贮存室暂存，暂存超过10 倍最长半衰期且不少于30 天后，达到解控水平后办理清洁解控，该措施可有效避免放射性废物对环境造成污染和影响。候诊场所配备有专用厕所，病人的排泄物进入衰变池暂存，达标后排放，该措施可有效防止放射性废水对环境造成污染和影响。

放射性场所场设置有排风系统，废气有组织在楼顶排放排口设置有过滤器，可有效减少放射性的排放和对环境的影响。

## 11.4 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表11-6。

表11-6　项目环保验收内容建议表

| 验收内容 | 验收要求 |
|---|---|
| 剂量限值 | 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。 |
| 剂量当量率 | 控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。 |
| 电离辐射标志和中文警示 | 在核医学场所出入口、高活室、扫描机房、病人候诊室门外设置放射性警告标识和中文警示说明。 |
| 布局和屏蔽设计 | 辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。高活室和控制区通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。 |
| 辐射安全设施 | 核医学科工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入；注射区、高活室、扫描室、储源室、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。病房采用实体屏蔽措施，安装视频监控系统和固定剂量探头等装置；储源室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、视频监控系统和防盗窃报警装置，满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。在候诊区内设铅屏风。 |
| 监测仪器 | 配备检测仪器：核医学科已配 3 台辐射剂量仪、1 台表面污染监测仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。 |
| “三废”处置设施 | 核医学科配置满足需要的放射性废物存贮设施，配备防辐射废物桶 6 个；建设有满足环境管理要求的放射性废水衰变池，且有运行管理记录；高活室安装通风橱，操作口风速大于 0.5m/s；通风橱配套建设独立排风系统，排放口设置在所在建筑顶部高处，排风速率满足辐射安全需要。 |

| | |
|---|---|
| 规章制度 | 已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。 |
| 人员培训 | 辐射工作人员通过辐射安全与防护考核。 |
| 应急预案 | 辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。 |

# 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**

**12.1.1 辐射安全管理小组**

医院已经设置了辐射安全与环境保护管理委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-4 所示。辐射安全管理小组的职责：

辐射安全管理委员会的职责：

1. 在医院辐射安全管理委员会主席、委员的领导下，负责本医院辐射安全防护的管理工作。

2. 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本医院相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

3. 制定、修订本医院辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

4. 制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在管理委员会主席的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6. 建立射线装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的射线装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

7. 对医院从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

**12.1.2 辐射工作人员**

本项目实施后核医学科拟增加 8 人（拟增医师 4 人、技师 2 人、物理师 1 人），将参加辐射安全与防护考核合格后方可上岗。单位将定期组织辐射工作人员每 5 年一次的重新考核，考核合格后方可继续从事辐射工作，同时按照国家相关规定进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康

监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

**12.2 辐射安全管理规章制度**

北京清华长庚医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、辐射工作岗位职责、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射事故应急制度等。

本项目实施后，北京清华长庚医院核技术利用的种类和范围将新增使用PET/CT。医院将结合新项目的开展，在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善相关制度，如操作规程、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

**12.3 辐射监测**

**12.3.1 个人剂量监测**

北京清华长庚医院根据制订了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，并建立相应的个人剂量监测档案。

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托中国医学科学院放射医学研究所承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，确定好送检剂量计的时间为每年 2、5、8、11 月的前三个工作日，医院严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

本项目投入使用后，所涉及辐射工作人员将继续进行个人剂量监测。

**12.3.2 工作场所和辐射环境监测**

（1）委托监测

医院每年委托有 CMA 资质的单位对医院已有的放射性同位素工作场所和所有射线装置机房防护和机器性能检测 1 次。

（2）本项目自行监测方案

本项目已配备 3 台辐射剂量仪和 1 台表面污染监测仪，能够满足医院辐射

防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。本项目实施后，核医学科工作人员使用已配备的辐射剂量仪、表面污染监测仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

（1）监测项目：γ 剂量率水平，表面污染水平

（2） 检测设备：X-γ 辐射剂量率仪，表面污染监测仪

（3）检测频次：剂量率水平每年不少于 1 次，表面污染每天工作后检测 1 次。

（4）工作场所 γ 剂量率水平监测：点位 PET 检查室、SPECT 检查室四周和楼上，注射后候诊室周围、及控制区边界外 30cm 处的剂量率水平。监测数据记录存档，监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-1　核医学科辐射剂量率监测情况表

| 编号 | 场所名称 | 监测点位置 | 剂量率（μSv/h） |
|---|---|---|---|
| 1~2 | 核医学科诊疗场所 | 控制区出入口处 | |
| 3~4 | 高活室 | 南侧缓冲间内、北侧防护门外 | |
| 5~6 | 运动负荷室 | 东侧、南侧走廊 | |
| 7~9 | PET 注射后等候室 | 东侧 MR 操作间，北侧、南侧设备间 | |
| 10~18 | PET 检查室 | 四周及楼上楼下 | |
| 19~23 | SPECT 检查室 2 | 周围及楼上楼下 | |
| 24~27 | SPECT 检查室 1 | 周围及楼上楼下 | |
| 28 | 留观室 | 西侧楼外 | |

（5） 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后，对高活室台面、地面，通风橱台面，注射窗台面以及相关设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档，表面污染水平监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-2　表面污染水平监测点位设置

| 编号 | 场所名称 | 监测点位置 | 表面污染（$Bq/cm^2$） |
|---|---|---|---|
| 1~5 | 核医学科诊疗高活室 | 通风橱台面、高活室地面、注射窗、运动负荷室 | |
| 6 | 功能测定室 | 地面 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7~9 | ECT 注射后等候室 | 候诊室地面、候诊椅、卫生间 | |
| 10~12 | PET 注射后等候室 | 候诊室地面、候诊椅、卫生间 | |
| 13~14 | SPECT 检查室 1 | 病人床、地面 | |
| 15~16 | SPECT 检查室 2 | 病人床、地面 | |
| 17~18 | PET 检查室 | 病人床、地面 | |
| 19~21 | 留观室 | 候诊室地面、候诊椅、卫生间 | |

**12.4 辐射事故应急管理**

北京清华长庚医院制定了《北京清华长庚医院辐射事故应急制度》，依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在应急预案中进一步明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容，能够满足医院实际辐射工作的需要。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

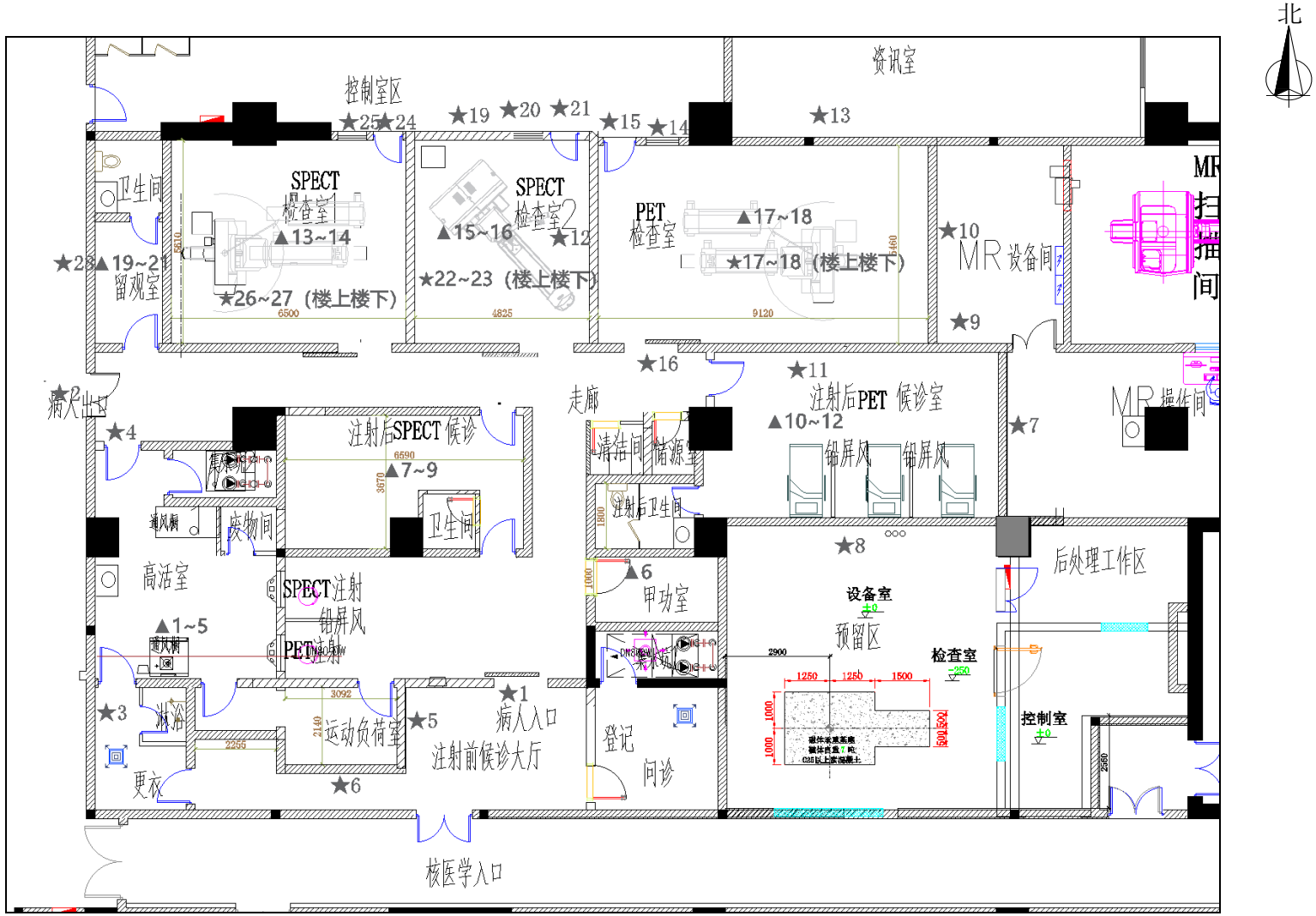



图 12-1　核医学科场所自行检测点位图（标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置）

# 表 13　结论与建议

## 13.1 结论

### 13.1.1 项目概况

北京清华长庚医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证（京环辐证[O0116]），其种类和范围为：使用II类、III类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。

北京清华长庚医院核医学科为医院的优势学科，也是医学诊疗的重要组成部分，考虑到核医学科常规诊疗和核医学未来的发展趋势，医院拟在 1 号楼地下一层核医学科改造项目，使用 PET/CT、SPECT/CT、SPECT 各 1 台，使用 Tc-99m 核素药物开展 SPECT 诊断，使用 F-18 核素药物开展 PET 诊断，使用 I-131 开展核医学门诊治疗和甲状腺摄碘功能测定，该场所仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

### 13.1.2 正当性分析

医院拟改造的核医学科项目，2018 年履行环评手续并取得了原北京市环境保护局同意建设的批复（京环审〔2018〕1 号）。医院根据 SPECT 核医学的临床推广和最新核医学科相关标准要求，对核医学科布局进行了调整，项目属于重大变更，故医院拟对核医学科场所重新履行环境影响评价手续。本项目属于医疗常规核技术利用项目，具有良好的社会效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合实践正当性原则，同时医院具备了技术、人员和经费等条件。本项目建成后，可以形成比较完善的核医学诊疗，不仅可以满足患者日益增长的就诊需求，同时也为医院核医学技术的深入研究和提高提供了支持，有利于核医学科在临床应用方面积累更丰富的经验，促进核医学技术的发展，从而进一步提高医疗水平，可以产生一定的社会效益和经济效益。故上述辐射工作场所的使用符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

### 13.1.3 选址与布局合理性分析

北京清华长庚医院核医学科位于 1 号楼地下一层，本项目周围 50m 区域都是医院内部，项目场址环境辐射本底未见异常，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众

影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

项目选址充分考虑了周围场所的安全，不邻接产科、儿科、食堂等部门，尽可能做到了集中设置，核医学科患者出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域，总体认为该项目核医学科选址合理。

**13.1.4 辐射安全与防护能力分析**

医院在设置辐射工作场所时已充分考虑了设备性能和运行特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，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。

核医学科工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入；注射区、高活室、检查室、储源室、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。储源室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、视频监控系统和防盗窃报警装置，满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。

**13.1.5 辐射环境影响评价**

（1）根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目正常运行后，预计工作人员和公众的年有效剂量均低于相应剂量约束值（5mSv、0.1mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。通过对辐射屏蔽措施分析可知，控制区外周围剂量当量率不超过2.5μSv/h。

（2）本项目涉及的III类射线装置，可以预计其运行后对医护人员以及周围公众的影响是十分轻微的。

（3）PET 的刻度源属于 V 类放射源，可以预计其运行后对医护人员以及周围公众的影响是十分轻微的。

（4）放射性“三废”排放。预计核医学科相关工作场所运行后，放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求；工作场所运行每年产生放射性固体废物约 140kg（包含通风橱过滤器等）。放射性沾染物品收集暂存衰变，符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置（过滤装置废滤材符合清洁解控要求后作为危险废物处置）。将产生极少量的放射性废气从核医学科楼顶排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于到处空气浓度限值。

（5）辐射安全防护管理：医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责全院的辐射安全管理和监督工作。医院将根据本次所申请项目种类制定健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等，以满足辐射安全管理的要求。

**13.1.6 结论**

综上所述，北京清华长庚医院核医学科改造项目，相应的辐射安全防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

**13.2 承诺**

为了保护环境，保障人员健康，北京清华长庚医院承诺：

（1）妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；

（2）严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。

（3）严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进行监测，并将监测记录保存留档；

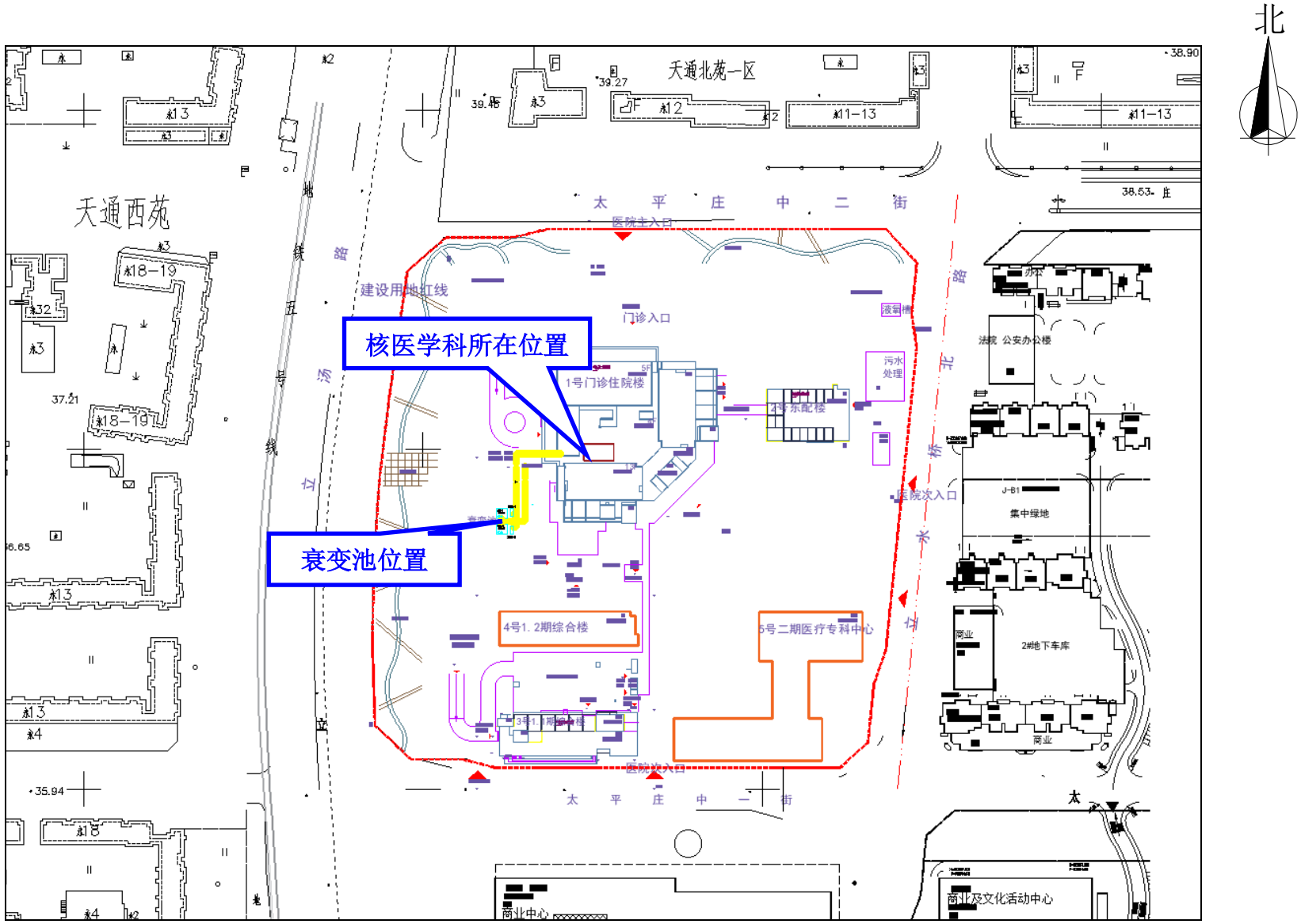
（4）项目竣工后按照生态环境主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并接受生态环境主管部门的监督检查。

（5）在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院进行调查并报生态环境主管部门备案。

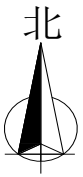
## 表 14　审 批

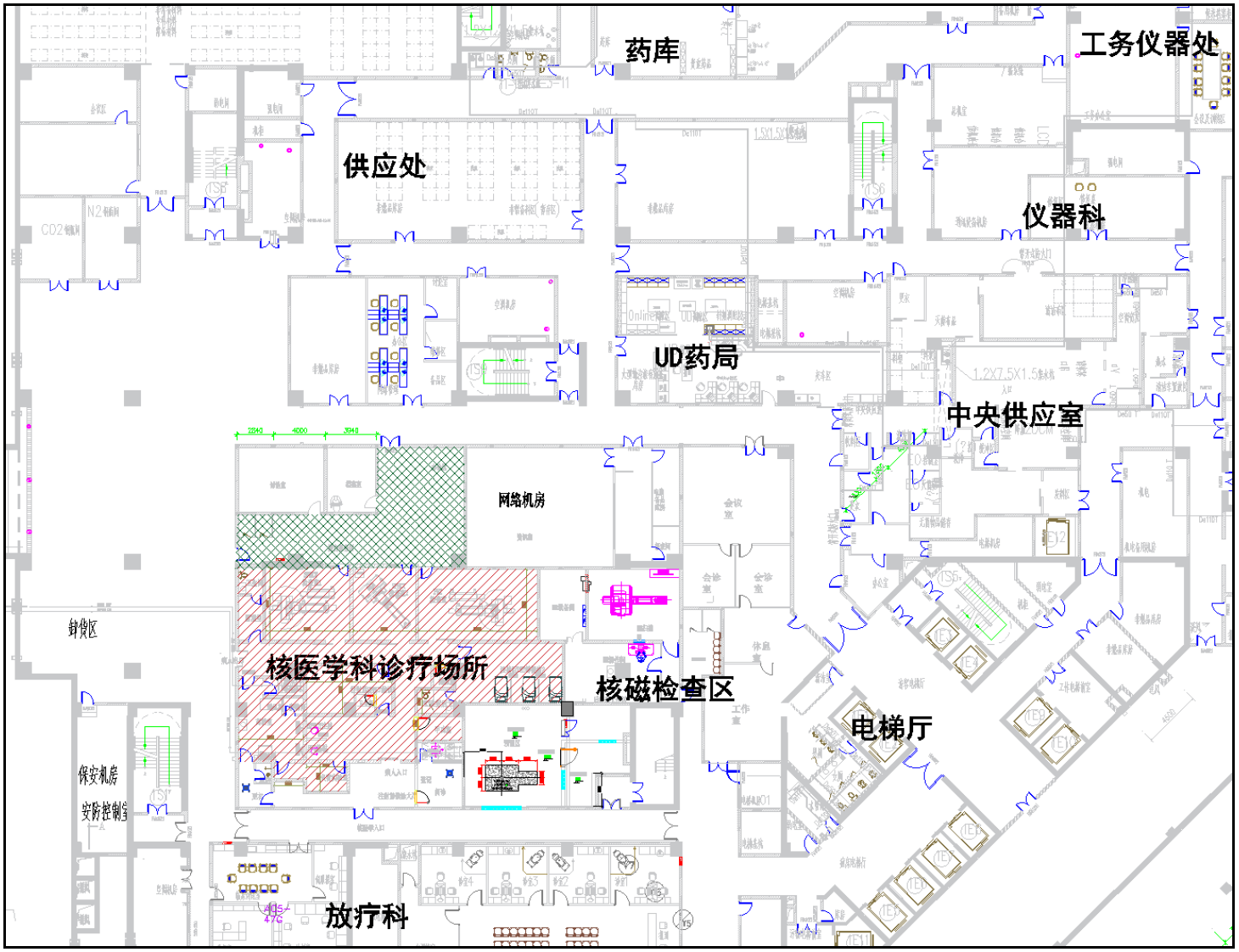
| |
|---|
| **下一级环保部门预审意见：**<br><br><br><br><br><br>公　章<br><br>经办人　　　　　　　　　　　　　　　　年　月　日 |
| **审批意见：**<br><br><br><br><br><br>公　章<br><br>经办人　　　　　　　　　　　　　　　　年　月　日 |

附图 1　北京清华长庚医院地理位置图

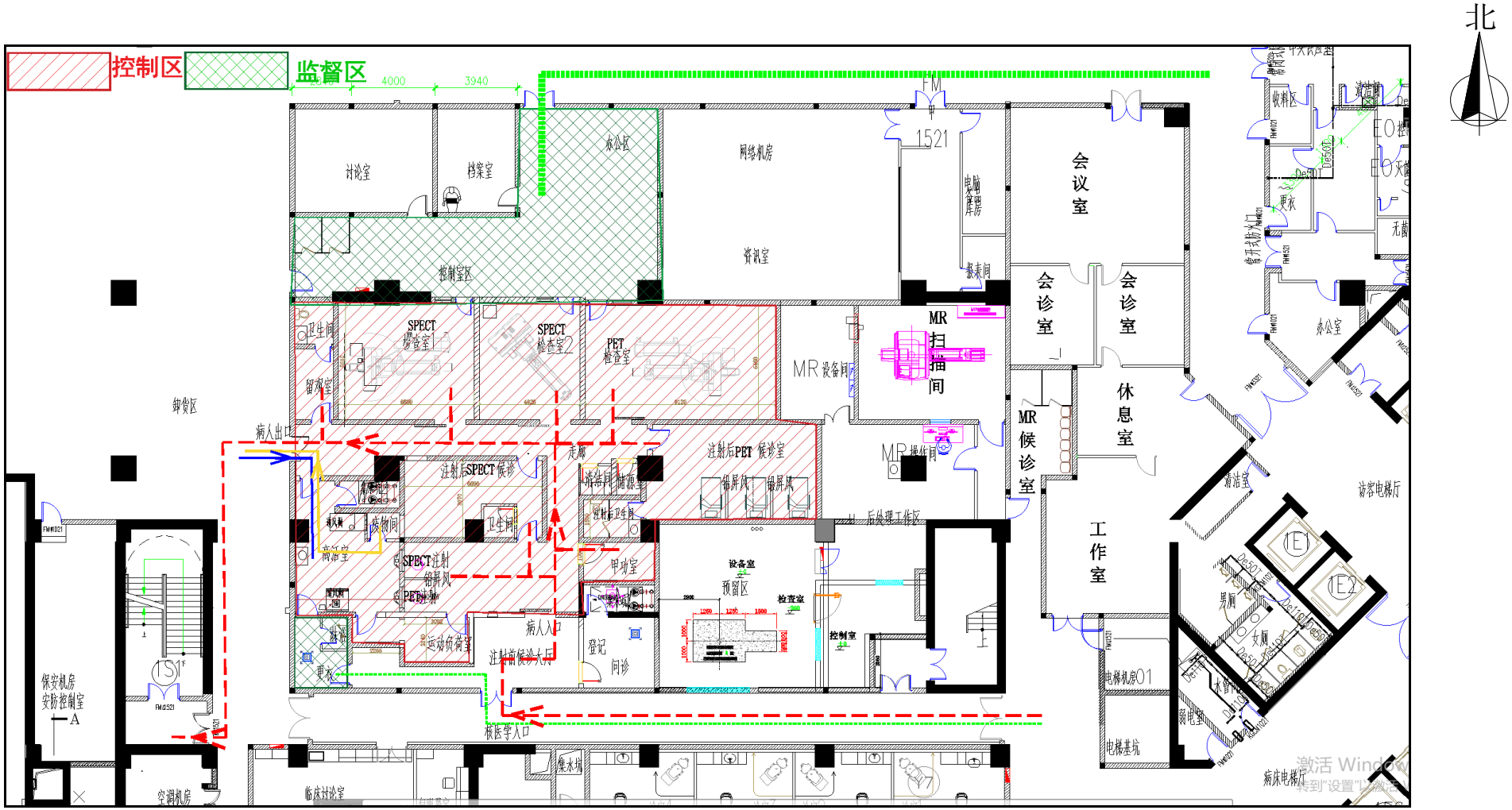



附图 2　北京清华长庚医院平面布局图

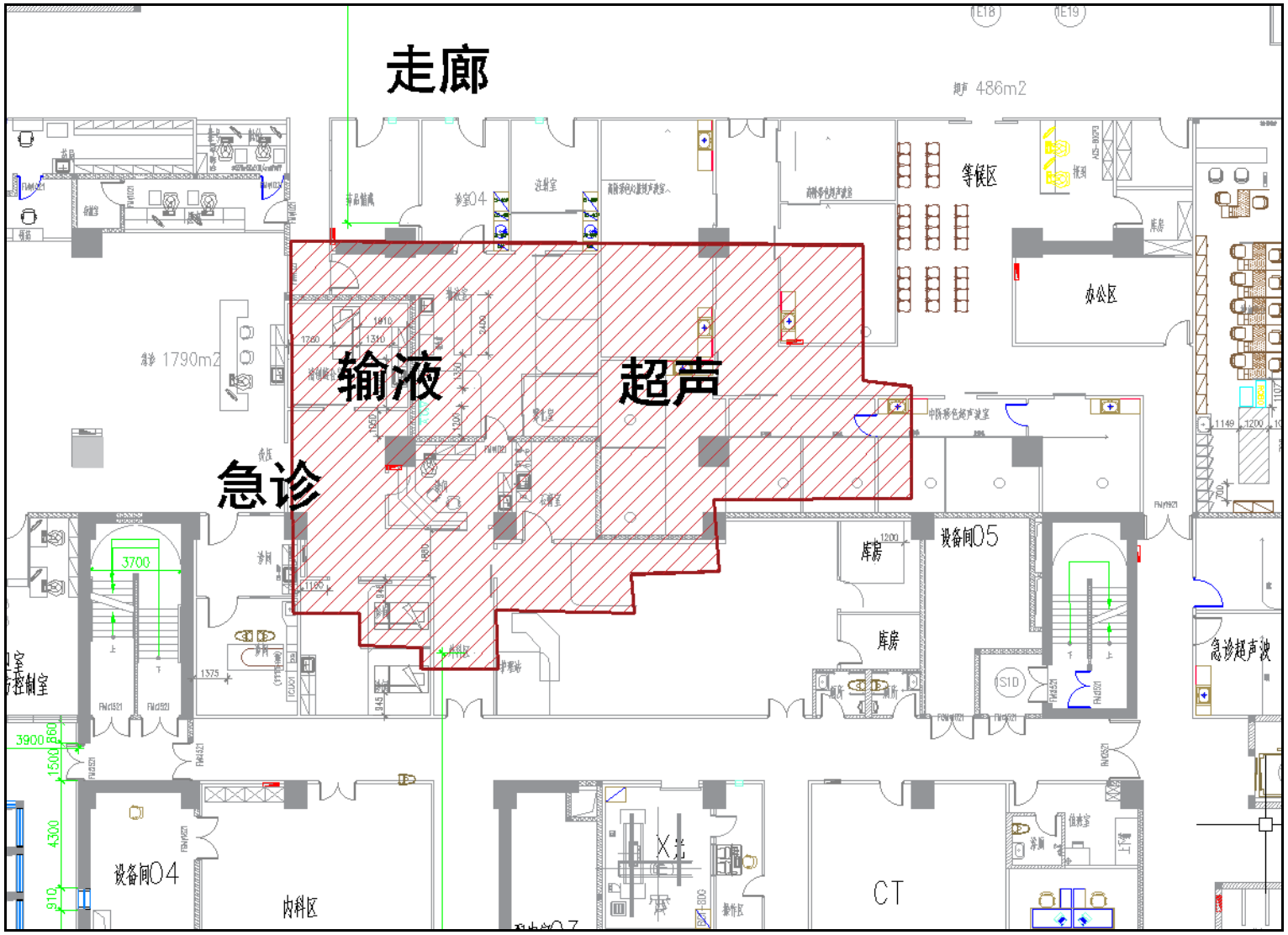


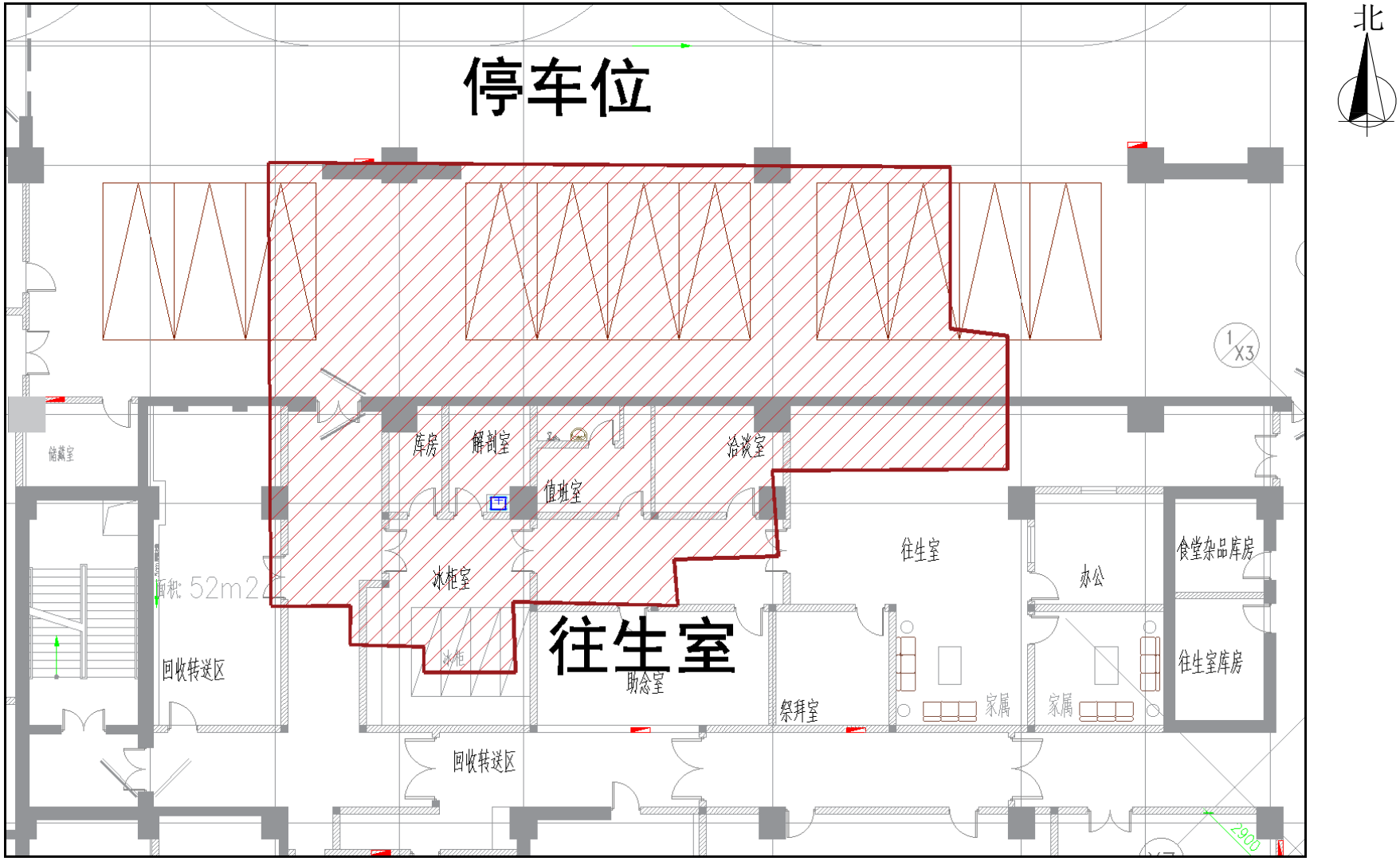

附图 3　北京清华长庚医院 1 号楼地下一层平面图



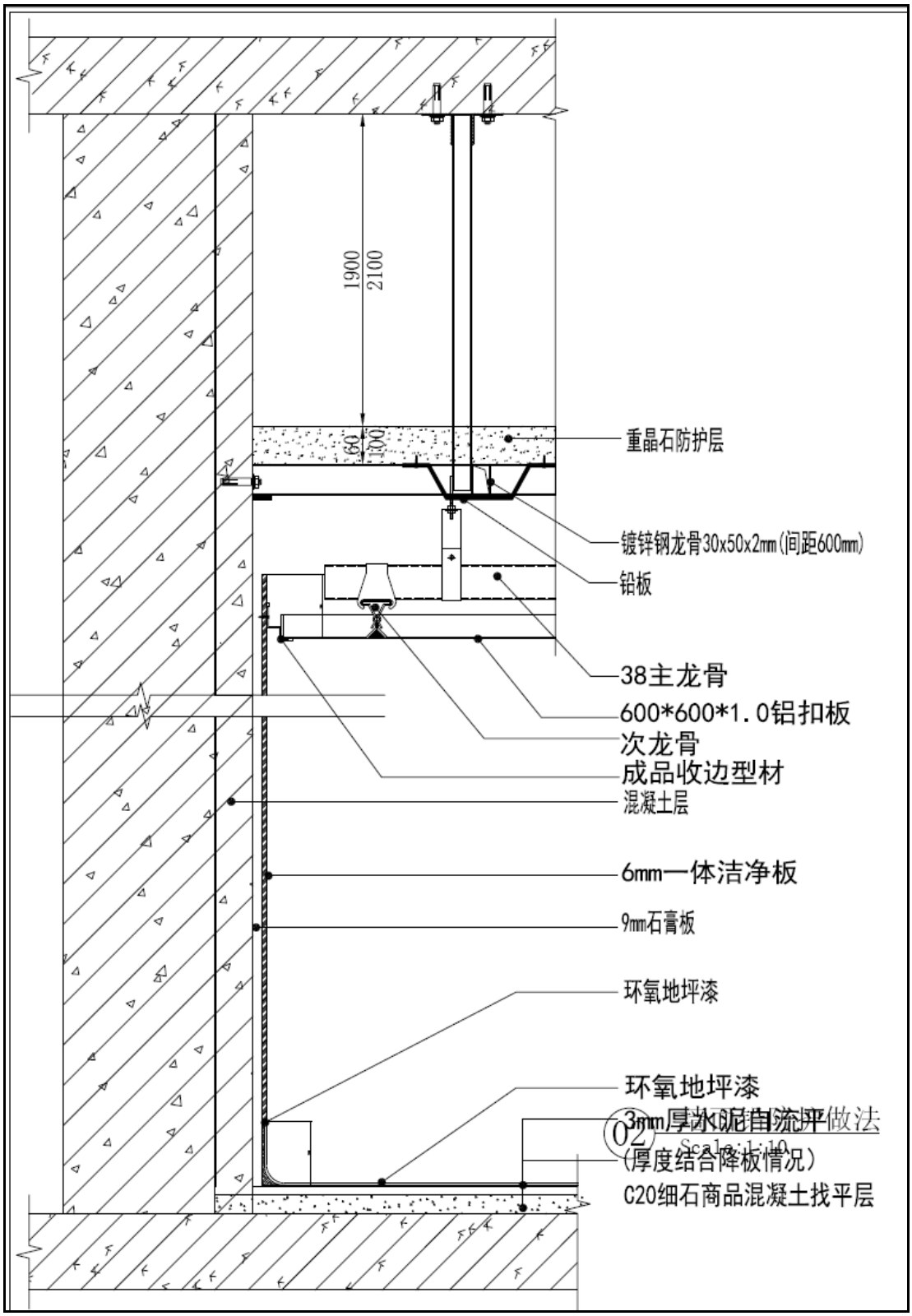

附图 4　地下一层核医学平面布局及周围关系图



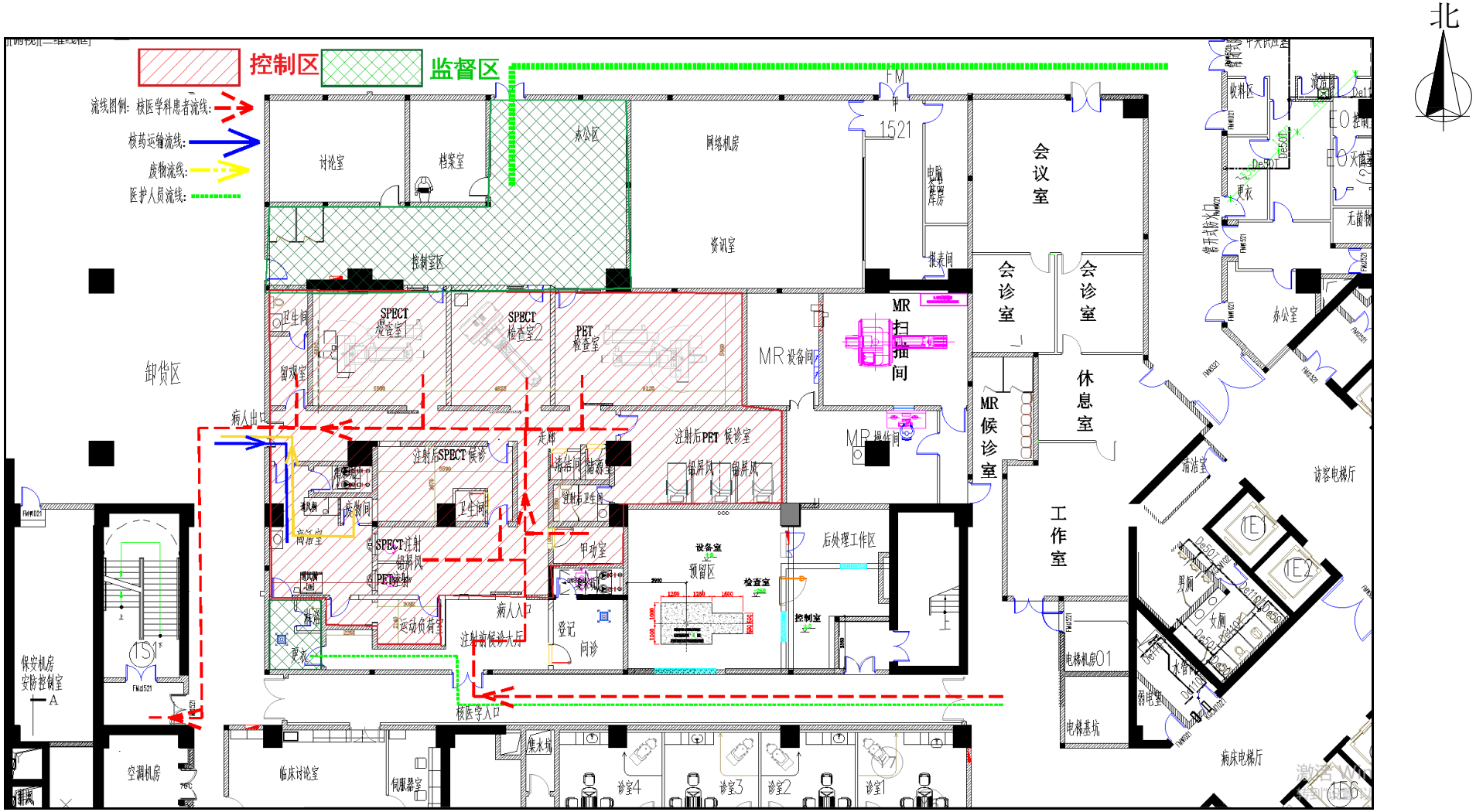

附图 5　地上一层平面布局图（核医学科楼上）




附图 6　地下一层平面布局图（核医学科楼下）




附图 7　　核医学科楼层剖面图




附图 8　　核医学科分区及路由图

附件 1　辐射安全许可证

# 辐射安全许可证

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

**单位名称**：北京清华长庚医院

**地　　址**：北京市昌平区立汤路 168 号

**法定代表人**：姜胜耀

**种类和范围**：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所

**证书编号**：京环辐证[00116]

**有效期至**：2024 年 10 月 1 日

发证机关：北京市生态环境局

发证日期：2021 年 5 月 7 日

**中华人民共和国环境保护部制**