

核技术利用建设项目

新院区新建核医学科辐射工作场所项目

环境影响报告表

首都医科大学附属北京儿童医院

2026 年 09 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

新院区新建核医学科辐射工作场所项目

环境影响报告表

建设单位：首都医科大学附属北京儿童医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市西城区南礼士路 56 号

邮政编码：100045

联系人：孙天智

电子邮箱：beitou_bch_project@163.com

联系电话：15201232168

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	18
表 3	非密封放射性物质	19
表 4	射线装置	20
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	21
表 6	评价依据	22
表 7	保护目标与评价标准	27
表 8	环境质量和辐射现状	38
表 9	项目工程分析与源项	41
表 10	辐射安全与防护	52
表 11	环境影响分析	79
表 12	辐射安全管理	112
表 13	结论与建议	117
表 14	审 批	120

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新院区新建核医学科辐射工作场所项目			
建设单位		首都医科大学附属北京儿童医院			
法人代表		倪鑫	联系人	孙天智	联系电话 15201232168
注册地址		北京市西城区南礼士路 56 号			
项目建设地点		北京市北京经济技术开发区亦庄新城 0203 街区 X100A1 地块 拟建临床诊疗中心地下一层南侧核医学科			
立项审批部门		无		批准文号	无
建设项目总投资（万元）		8088	项目环保投资（万元）	1213	投资比例（环保投资/总投资） 15%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ） 1200
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☐ II类 ☒ III类		
	其他				
	1.1 单位概况 首都医科大学附属北京儿童医院（简称“北京儿童医院”或“医院”）是集医疗、科研、教学、保健于一体的三级甲等综合性儿科医院，前身是我国现代儿科学奠基人诸福棠院士于 1942 年创办的北平私立儿童医院。现有院区位于北京市西城区南礼士路 56 号，医院总占地面积 7 万平方米，建筑面积 12 万平方米，编制病床 970 张，年均门诊量约 300 万人次，住院病人 8 万余人次，手术逾 3.4 万例。 医院技术力量雄厚。拥有国家级重点学科儿科学，国家儿童肿瘤监测中心、				

国家呼吸系统疾病临床医学研究中心等 12 个国家级平台，10 个国家临床重点专科，7 个北京市重点实验室，4 个北京市级研究平台以及 16 个市级医疗中心。医院设有疑难病例会诊中心和远程会诊中心，儿科疑难重症疾病的诊断治疗水平居国内领先地位。

医院为积极推进国家儿童医学中心（北京）的建设，积极落实国家与北京市各项发展规划，促进北京市儿童医疗卫生事业持续健康发展，实现核心区非首都功能疏解，北京市南部地区可持续优质发展，改善北京儿童医院诊疗与科研环境，为北京市乃至全国的疑难杂症与危急重症患儿提供优质可靠的医疗服务，医院拟建设新院区，设置床位 1200 张。

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

北京儿童医院本部已取得了辐射安全许可证（京环辐证[B0058]，有效期至 2028 年 10 月 11 日），许可的种类和范围是：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，北京儿童医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 北京儿童医院已许可的射线装置情况

序号	装置名称	类别	装置数量 (台)	活动种类
1	牙科 X 射线机	Ⅲ	2	使用
2	牙科 X 射线机 CBCT	Ⅲ	1	使用
3	放射诊断用普通 X 射线机（床旁）	Ⅲ	14	使用
4	X 射线摄影装置（数字胃肠机）	Ⅲ	2	使用
5	医用 X 射线骨密度仪	Ⅲ	1	使用
6	数字减影血管造影装置	Ⅱ	2	使用
7	放射诊断用普通 X 射线机（固定）	Ⅲ	6	使用
8	X 射线摄影装置（泌尿造影机）	Ⅲ	1	使用
9	医用 X 射线 CT 机	Ⅲ	2	使用
合计		Ⅱ类：2 台；Ⅲ类：29 台		

1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京儿童医院近五年以来一共有 2 个辐射环评报告表项目，建设项目依照法规要求履行了环保手续，具体落实情况见表 1-2。

表 1-2 建设项目竣工验收落实情况

序号	项目名称	环评批复文号	竣工验收情况
1	新增使用II类射线装置项目	京环审[2022]74号	2023 年 9 月完成自行验收
2	新院区新增使用医用电子直线加速器项目	京环审[2026]70号	正在建设

目前，医院辐射安全许可证上现有的射线装置均满足相关要求，正常运行中。

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，促进射线装置的安全使用，北京儿童医院专门成立了辐射安全与防护管理委员会，由院长担任组长，常务副院长担任副组长，心脏内科、心脏外科、影像中心、神经外科及功能神经外科、口腔科、急诊外科及普外科、消化科、麻醉科、医务处、采购中心、物管中心、保卫处、运营保障处等各部门的相关人员担任组员，并指定医务处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 1-3。

表 1-3 北京儿童医院辐射安全与防护管理委员会名单

职位	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
组长	倪鑫	男	行政	院长	院办	兼职
副组长	赵成松	女	行政	常务副院长	院办	兼职
成员	贾晨光	男	行政	副院长	院办	兼职
成员	肖燕燕	女	心脏内科	副主任	心脏内科	兼职
成员	李志强	男	心脏外科	主任	心脏外科	兼职
成员	彭芸	女	影像医学	主任	影像中心	兼职
成员	段晓岷	女	影像技术	副主任	影像中心	兼职
成员	梁树立	男	神经外科及功能神经外科	主任	神经外科及功能神经外科	兼职
成员	于国霞	女	口腔	副主任	口腔科	兼职
成员	黄柳明	男	普外科	主任	急诊中心、急诊外科、普外科（移植）	兼职
成员	吴捷	女	消化科	主任	消化科	兼职

成员	张钰	女	护理	手术室护士长	麻醉科	兼职
成员	王芳	女	麻醉科	副主任	麻醉科	兼职
成员	田超	男	行政	副处长	医务处	兼职
成员	杜亚楠	男	行政	研究员	医务处	兼职
成员	涂途	女	行政	主任	采购中心	兼职
成员	徐恒	男	行政	副主任	物管中心	兼职
成员	赵国	男	行政	助理工程师	物管中心	兼职
成员	翟敬刚	男	行政	处长	保卫处	兼职
成员	聂纪锋	男	行政	副处长	运营保障处	兼职
成员	王晓瑜	男	院办	副主任	院办	兼职
成员	王桂香	女	医务处	副主任	医务处	专职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

北京儿童医院依照《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》，结合医院情况和实践，已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，包括《辐射安全与放射防护安全保卫制度》《设备台账管理制度》《设备检修保养及报废制度》《环境监测及工作人员管理制度》《从业人员安全培训制度》《辐射安全与放射防护工作操作规程》《辐射安全与放射防护应急预案》《辐射事件报告制度》等，并按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员考核情况

北京儿童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约 114 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

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

北京儿童医院所有从事辐射工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，每季度监测一次，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，并于每季度前将上一季度全体辐射工作人员的个人剂量监测

数据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

目前，个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院 2025 年度个人剂量监测结果表明，辐射工作人员年剂量最大值 0.373mSv，均不高于 1mSv，所有人员都低于医院规定的管理目标值。

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，结果由本人和科室负责人签字后存档；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

(1) 委托第三方检测：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，医院每年委托有资质单位对射线装置工作场所进行 1 次工作场所环境辐射水平监测，监测数据记录存档。

医院每年委托有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。

医院最近一次于 2025 年 9 月委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司对医院现有辐射工作场所进行了场所监测，监测项目为 X、 γ 辐射剂量率。据检测结果，DR 摄影相关设备机房外的周围剂量当量率为 0.12 μ Sv/h~16 μ Sv/h（小于 25 μ Sv/h），其他射线装置机房外的周围剂量当量率为 0.11~1.8 μ Sv/h（小于 2.5 μ Sv/h），满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中限值要求。

(2) 工作场所自行监测：医院定期开展工作场所环境辐射水平自行监测。

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 1-4。

表 1-4 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
----	------	----	------	------	----

1	X、Y辐射空气比释动能率仪	JB4000型	2022-11-10	正常	1
2	环境辐射 X- γ 剂量率仪	AT112	2018-03-01	正常	1
3	X 线检测仪	TNT12000D	2010-01-01	正常	1

本项目运行后，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

北京儿童医院依据《中华人民共和国生态环境法典》《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。

医院已获得许可使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。医院已针对上述许可使用中可能发生大剂量照射等事故/事件，制定了每年一次的演练计划。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，保障辐射工作人员及患者的生命安全，其中2025年度于2025年8月5日，在急救楼3层进行了医院2025年年度的辐射安全事故应急演练。本次演练由医务处、放射科、保卫处联合策划，以检查过程中公众误入机房事故为背景开展，演练采取“实景设置、实兵展开、实际操作”的方法进行。参与演练人员较好地履行各自的职责，并根据事前商定的射线装置辐射安全事故应急处置流程有序地完成了既定任务，达到了演练的预期效果。通过此次演练，提高了医务人员对突发性辐射事故的提安全意识、岗位责任感、防范意识和应急处理能力，增强了科室间的协作能力，保障了职工和就诊群众的安全。

1.2.3.7 其他情况

北京儿童医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了2025

年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 项目建设背景

近年来，随着北京医疗卫生事业的迅速发展，人民健康水平持续提高，但医疗卫生服务体系结构性问题依然突出。特别是国家最新人口政策发布以来，新生儿人口数量剧增，儿科医疗存在的问题尤其突出。北京儿童医院作为全国儿科专业“领头羊”，大量的全国的患儿前来就诊，医院面临着超负荷运转，新技术、新方法因基础设施的限制无法开展，手术期难排、床位紧张等诸多困难；同时还给中心城区带来大量人流、交通和环境压力。为积极推进国家儿童医学中心（北京）的建设，积极落实国家与北京市各项发展规划，促进北京市儿童医疗卫生事业持续健康发展，实现核心区非首都功能疏解及改善北京儿童医院诊疗与科研环境，首都医科大学附属北京儿童医院特提出建设新院区工程。

作为国家儿童医学中心的依托主体医院，北京儿童医院在全国儿科疑难危重症诊断治疗、医学科学关键技术突破、高水平医学研究与成果转化等方面始终发挥着示范引领作用。但当前医院存在核心诊疗链条的关键短板——尚未组建核医学科与放疗科，同时儿童肿瘤、心血管等重症精准诊疗资源高度紧缺；更值得关注的是，新院区所在区域尚无医疗机构具备儿童专用核医学诊疗、肿瘤放射治疗及高端介入治疗能力，进而造成患儿跨区就医成本攀升、救治时效大打折扣。在此背景下，同步推进核医学科建设、直线加速器（放疗科核心设备）及 DSA 设备配置，不仅是填补区域儿科高端诊疗缺口的核心抓手，更是国家儿童医学中心践行行业引领使命、促进儿科核技术规范应用与发展的必然选择。

1.3.2 建设工程概况

新院区于 2025 年 3 月 5 日正式开工，预计 2028 年投入使用。

本项目位于北京经济技术开发区亦庄新城 0203 街区 X100A1 地块拟间北京儿童医院新院区内，北京儿童医院新院区总用地面积约 153340.1m²，规划总建筑面积 295800m²，其中地上建筑面积 205800m²，地下建筑面积 90000m²。新院区主要建设临床诊疗中心、科创中心、感染性疾病中心及配套用房等。新

院区建成后，设置床位 1200 张。

2025 年 7 月 22 日医院取得了北京经济技术开发区行政审批局《关于北京市首都医科大学附属北京儿童医院新院区建设工程环境影响报告书的批复》（经环保审字 [2025]0097 号），2025 年 10 月 31 日取得北京市规划和自然资源委员会开发区分局《建设工程规划许可证》（2025 规自（开）建字 0069 号）等审批文件。

1.3.3 本项目环境影响评价内容

北京儿童医院新院区的建设已于 2025 年 7 月 22 日取得了北京经济技术开发区行政审批局同意建设的批复（经环保审字 [2025]0097 号）。

新院区新建的辐射工作场所均位于临床诊疗中心，涉及的核技术利用建设内容主要包括五部分：1.核医学科：设有 SPECT、PET 显像场所和门诊治疗场所，位于临床诊疗中心地下一层南侧；2.放射科（影像中心）：设有 CT 扫描、DR 诊断等场所，位于临床诊疗中心地下一层中部；3.放疗中心：使用 2 台加速器、1 台模拟 CT、1 台模拟 MR，位于临床诊疗中心地下一层东南侧；4.手术中心：使用 3 台 DSA 及 1 台滑轨 CT，位于临床诊疗中心地上四层；5.内镜中心：使用 1 台 ERCP，位于临床诊疗中心地上四层。

为了使环评报告的内容清晰明了，避免交叉凌乱，本项目对核医学科及放疗中心、DSA、ERCP 项目分别编制环境影响报告表进行报批。由于上述建设内容均为编制“环境影响报告表”类别的建设项目，所以不存在建设项目拆分问题。地下一层还涉及放射科 CT、DR 以及放疗中心 1 台 CT 模拟定位机等其它使用的Ⅲ类射线装置拟在确定设备具体厂家和型号后单独进行备案。

本项目只涉及核医学科相关区域，位于临床诊疗中心地下一层南侧。

医院拟在地下一层南侧新建核医学科诊疗场所（包括显像区和治疗区域），配套使用 1 台 PET/MR、1 台 PET/CT 和 2 台 SPECT/CT 机，使用 F-18、Ga-68 核素药物开展 PET 诊断，使用 Tc-99m、I-123 核素药物开展 SPECT 诊断，使用 I-131 开展甲功测定；同时使用 I-131 核素药物开展核医学门诊治疗，使用 Lu-177 核素用于 12 岁及以上的神经内分泌肿瘤的治疗患者留观治疗。

本项目涉及的Ⅲ类射线装置（2 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/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，根

据相关环保法律法规要求, III类射线装置和 V 类放射源对环境影响很小, 本项目也进行简要的分析。

1.3.4 本项目核素使用量

核医学科启用后将开展一系列核医学诊疗项目, 不同场所用量情况如下。

1) F-18 不大于 370MBq/人, 每个检查日 PET 检查 30 人次, 每年最多工作 250 天; Ga-68 不大于 185MBq/人, 每日最多检查 5 人次, 每年最多工作 50 天;

2) Tc-99m 不大于 925MBq/人, 每个检查日最多检查 40 人次, 每年最多工作 250 天; I-123 不大于 370MBq/人, 每日最多 SPECT 检查 5 人次, 每年最多工作 50 天;

3) I-131 甲状腺摄碘功能测定, 每人每次一粒, 每粒胶囊约 0.333MBq(9 μ Ci), 每日最多实施 10 人次, 本次环评每年最多工作 100 天;

4) 用于甲亢的 I-131 使用量最多为 5 名病人/天, 每年工作 100 天, 每周集中 2 天给药, 每人口服胶囊活度不大于 370MBq;

5) Lu-177 用于神经内分泌肿瘤患者的门诊留观治疗, 使用量最多为 2 人次/天, 每周一统一安排 2 次, 全年最多安排 100 批次, 按照全年治疗 200 人, 最大 7.4GBq/人, Lu-177 留观时间约 6h。

拟建后核医学科各种核素和射线装置计划使用情况如表 1-5 所示。

表 1-5 核医学科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	待定	140kV/440mA	III 类	SPECT/CT室1
2	SPECT/CT	1	待定	140kV/440mA	III 类	SPECT/CT室2
3	PET/CT	1	待定	140kV/833mA	III 类	PET/CT室
二 拟使用的刻度源情况						
序号	刻度源使用情况					备注
1	拟计划配 2 枚 Ge-68V 类源：1 枚 5.5E+7Bq（桶源），1 枚 3.5E+6Bq（模体源）					PET/CT
2	拟计划配 1 枚 Ge-68V 类源（活度不大于 9.25E+7Bq）					PET/MR
三 核医学科拟使用的核素情况						
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）	年最大用量（Bq）	用途
F-18	3.70E+08	30	250	1.11E+10	2.78E+12	PET 诊断
Ga-68	1.85E+08	5	50	9.25E+08	4.63E+10	

Tc-99m	9.25E+08	40	250	3.70E+10	9.25E+12	SPECT 诊断
I-123	3.70E+08	5	50	1.85E+09	9.25E+10	
I-131	3.33E+05	10	100	3.33E+06	3.33E+08	甲功检查
I-131	3.70E+08	5	100	1.85E+09	1.85E+11	甲亢治疗
Lu-177	7.40E+09	2	100	1.48E+10	1.48E+12	核素治疗

1.3.5 核素使用量及场所分级

《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）相关规定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：放射性药品生产中分装、标记等活动视为“简单操作”；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”。

核素的毒性组别修正因子和状态与操作方式修正因子根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关规定给出。

1）本项目使用 F-18 为“很简单操作”，使用 Ga-68 正电子核素为“简单操作”。

2）参照〔2016〕430 号中 I-131 的操作方式，将 I-123 的相关活动也视为“简单操作”。

2）本项目治疗除使用 I-131 外，还使用 Lu-177 放射性药物。参照 I-131，将 Lu-77 核素的治疗也视为“简单操作”。

3）毒性组别修正因子和状态与操作方式修正因子根据 GB18871-2002 相关规定给出。

核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-6 所示，都小于非密封放射性物质工作场所的上限（乙级上限 $4 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。

表 1-6 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	1.11E+10	0.01	很简单操作（液体，10）	1.11E+07	乙级 （日等效最大操作量为 $1.58 \times 10^9 \text{Bq}$ ， 保守假设全部在一天内使用）
		2.22E+10	0.01	贮存（液体，100）	2.22E+06	
	Ga-68	9.25E+08	0.01	简单操作（液体，1）	9.25E+06	
		1.85E+09	0.01	贮存（液体，100）	1.85E+05	

	Tc-99m	3.70E+10	0.01	很简单操作（液体，10）	3.70E+07	
	I-123	1.85E+09	0.01	简单操作（液体，1）	1.85E+07	
	I-131	3.33E+06	0.1	简单操作（胶囊，10）	3.33E+04	
	I-131（甲亢）	1.85E+09	0.1	简单操作（胶囊，10）	1.85E+07	
	Lu-177	1.48E+10	0.1	简单操作（液体，1）	1.48E+09	

备注：F-18日等效最大操作量考虑衰减量的影响，当PET检查患者饱和时，厂家为每天两次送药，送药量按最大使用量的2倍。Ga-68日等效最大操作量考虑衰减量的影响，送药量按最大使用量的2倍。

1.3.6 核医学科建设规划

1）整体部署：新院区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）并办理相关验收手续后，投入使用。

2）设备配置：核医学科配备2台SPECT/CT、1台PET/CT、1台PET/MR，其中PET/CT、PET/MR需要取得大型医用设备配置许可证后方可购买配备。

3）辐射工作人员配备

参照《放射诊疗管理规定》、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》、《国家卫生健康委关于发布“十四五”大型医用设备配置规划的通知》（国卫财务发[2023]18号）和《乙类大型医用设备配置标准指引》的要求，北京儿童医院制定了核医学科的辐射工作人员配置计划，详见表1-7所示。

表 1-7 核医学工作人员要求及配置计划

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	1台PET/MR	单台PET/MR设备至少技师不少于3名，化学师、物理人员不少于2名，其中高级职称的物理人员不少于1名，医师不少于5名（可以与PET医师共用）。	医师5名、技师3名、化学师1名、物理师1名（其中2名医师、1名物理师与PET/CT共用）	
3	2台SPECT/CT（含门诊治疗）	/	医师4名、技师4名、护士1名	

本项目建设后拟按照新增 22 名辐射工作人员来配备，其中医师 9 名，技师 9 名，护士 2 名，化学师 1 名，物理师 1 名，能满足核医学科人员的要求。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：

①9 名医师负责 PET 和 SPECT 检查对象的筛选和确认，PET 和 SPECT 诊断报告编写、核素治疗计划制定、运动负荷试验等。

②9 名技师负责 PET 和 SPECT 设备操作、受检者摆位、放射性废物管理、表面污染监测等操作。

③2 名护士负责放射性药物交接、药物分装，患者药物施用等。

④1 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。

⑤1 名化学师负责 PET 和 SPECT 等药物的分析、质控与药理分析等。

4) 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后核医学科拟新增 1 台便携式辐射巡测仪和 2 台表面污染仪、1 套固定式剂量报警仪，能够满足本项目常规的监测需求。

1.3.7 放射源购置和退役

PET/CT 和 PET/MR 使用的 Ge-68 放射源，将委托具有放射源销售资质的专业公司代为购买，医院不直接向厂家购买放射源。

放射源运输由放射源销售公司直接委托具有放射源运输资质的公司承担。放射源运输至医院并书面交接后，医院开始承担放射源安全责任。

医院将及时办理放射源转让备案手续，并承担辐射安全和防护责任。退役的 V 类放射源不在医院暂存，将及时送交北京市城市放射性废物库。

1.3.8 目的和任务的由来

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等相关规定，本项目属于使用乙级非密封放射性物质工作场所项目，应当进行环境影响评价，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 年生态环境部令第 9 号)最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款

规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受北京儿童医院的委托，评价机构环评人员在现场踏勘、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价重点是核医学科场所运行过程中产生的 X、 γ 射线，放射性“三废”以及射线装置在使用过程中，对操作人员、周围公众和环境的影响。

1.3.9 项目建设正当性和必要性

核医学诊断、治疗具有安全、简便、无创伤、灵敏度高等特点，用于多种疾病的诊断、随访、预后评价与治疗，成为多种疾病常规的规范化诊断与治疗方法，是临床医学的重要而又先进的技术手段，对于保障人体健康，诊断和治疗疾病有着十分重要的作用。核医学科在综合医院中独立设置，是医院主要医技科室之一，能够为临床诊疗工作提供科学、可靠的新手段。核医学科是核医学重要组成部分，是儿科临床的重要诊治手段，在儿科临床诊治和科研领域均发挥着越来越大的作用。由于儿童特殊的生长发育过程，其疾病表现与生理生化改变与成人差别很大，需要更为精细、严格地管理，因此儿童专科医院建立核医学科，是儿童医疗技术的进步，也是临床工作的迫切需要。

儿童专科医院建立核医学科可以提供更加专业的医疗服务。儿科核医学具有自身特点，要求工作人员经过专业知识培训，熟练掌握规范化操作流程，掌握儿科核医学诊疗项目的适应症与禁忌症。核医学科医师要同临床医师沟通，分析个体患者的临床指征，判断医疗照射正当性，选择适合的核医学诊断方法。儿科核医学检查前准备到检查结束（即检查前、检查期间的配合）常常比成人检查需要更多的时间和耐心，需要患儿、父母的共同参与和密切配合。儿科核医学医师、技师、护士、导医等各个环节医务人员应熟悉儿科不同年龄阶段患者行为特点、疾病特点，掌握同儿童及其父母交流的技巧，让患儿顺利完成核医学检查。

北京儿童医院目前没有开展核医学诊疗项目，有明确临床指征的患者需要做核医学显像检查时，只能转至其他综合性医院就诊，给患者及家长造成不便和时间延误。目前北京地区专门面向儿童开展核医学检查的科室资源有限，难以充分覆盖全市乃至周边地区的儿童就医需求。北京儿童医院作为儿科医疗领

域的核心机构，新院区核医学科的建立将进一步充实区域儿科核医学资源，分流现有就诊压力，让更多儿童患者就近获得专业的核医学诊疗服务，缓解“就医难”问题。

北京儿童医院为一家专业的儿童专科医院，本项目的建设将使医院有能力帮助更多的儿童患者及时进行诊断和发现疾病，摆脱疾病困扰。医院在放射诊断和放射治疗过程中，对非密封放射性物质和射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对非密封放射性物质和射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.3.10 本项目产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》核医学诊断及加速器项目建设属于“鼓励类”中“六、核能，4.核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”；PET/CT、PET/MR 和 SPECT/CT 等属于“鼓励类”中“十三、医药，4.高端医疗器械创新发展：高性能医学影像设备”。因此，本项目属于政策鼓励类产业，符合国家和北京市产业政策。

本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》中禁止和限制项目。因此，本项目的建设符合国家及地方产业政策要求。

1.3.11 项目选址与周围环境

北京儿童医院新院区位于北京市北京经济技术开发区亦庄新城 0203 街区 X100A1，拟建院区东侧为四合路，南侧为新凤河路，西侧为三海子东路，北侧为仁凤路。临床诊疗中心位于医院中部。

本项目 50m 评价范围内无居民区、学校、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感目标，无环境制约因素，故本项目的选址是合理的。

1.3.12 本项目辐射场所的布局

本项目核医学科位于临床诊疗中心地下一层南侧，东侧为矫形支具与假肢

制作室等，南侧为核医学科办公区、天井、放疗中心等，西侧为窗井、设备用房、公共电梯厅、换热站等，北侧为舒适化中心、影像中心等，楼上为输液中心、EICU，楼下为后勤库、档案库等。核医学科东侧和南侧作为普通区域，用作给药前问诊区、候诊区、登记处、办公室、诊室等。将患者入口设在东侧，患者出口设在西南侧（门诊显像患者出入口，门诊治疗患者出入口分别设独立的出入口），由西南侧 ADT63 核医学科专用电梯到一层后离开临床诊疗中心，核医学科患者出入口拟设置单向门禁系统。沿着门诊显像患者走廊设置高活室、注射窗口、运动负荷室/抢救室、注射后候诊室、SPECT/CT 室、PET/MR 室、PET/CT 室、留观复苏室、门诊显像患者出口；沿门诊治疗患者走廊设置高活室（与门诊显像共用）、垃圾暂存、被服回收、固废衰变、留观病房、门诊治疗患者出口等。核医学科平面布局图见图 1-2 所示。

本工作场所选址为相对独立区域，项目选址充分考虑了周围场所的安全，远离儿科病房等特殊人群及人员密集区域。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。从功能分区来看，患者候诊、工作人员办公、放射性操作等区域划分明确，且相对隔离，满足了核医学科分区管理的要求，尽可能避免公众和医护人员受到不必要的辐射照射。综上所述，核医学科工作场所布局考虑了相对独立、避免交叉，便于使用和分区管理等因素，布局设计基本合理。

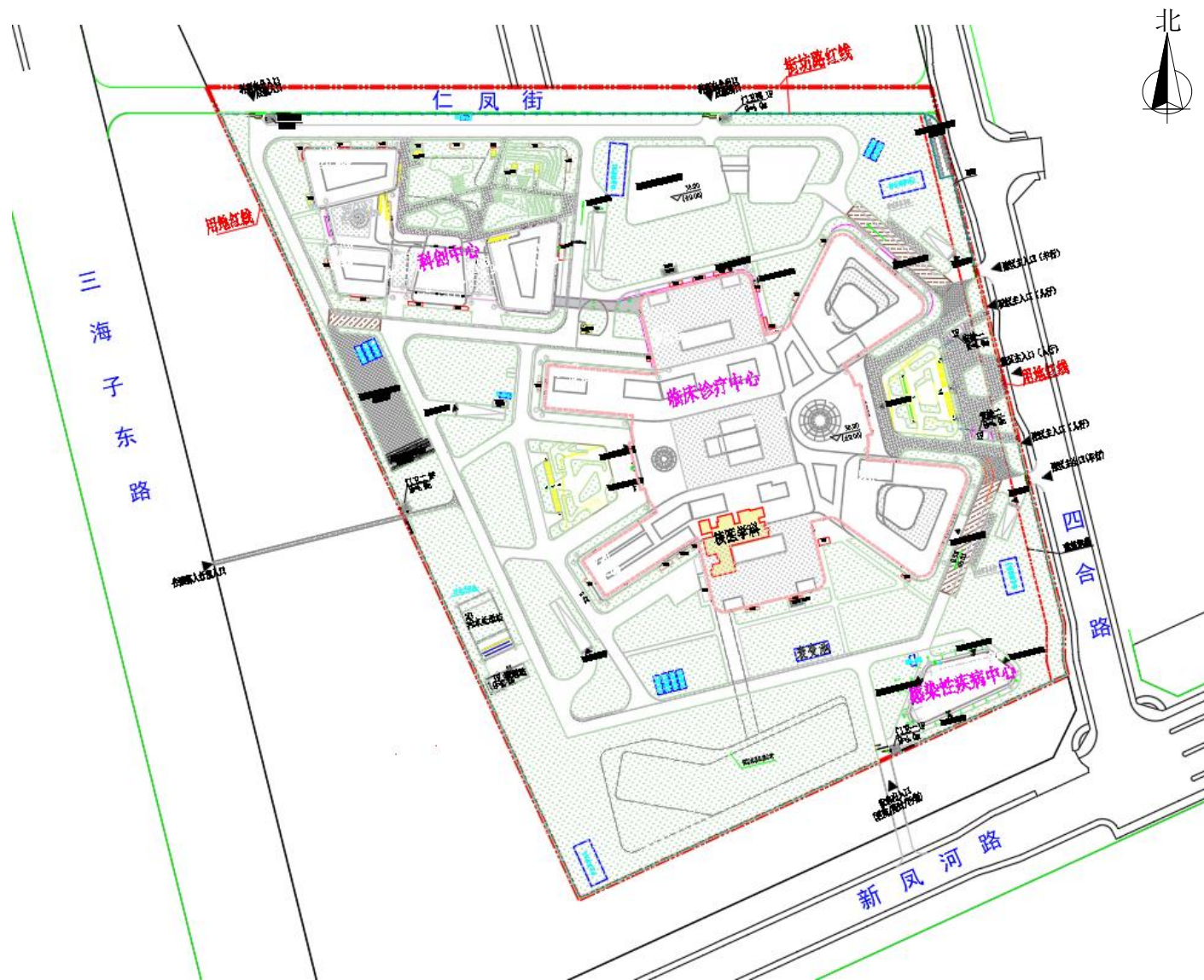


图 1-1 本项目位置及周围环境

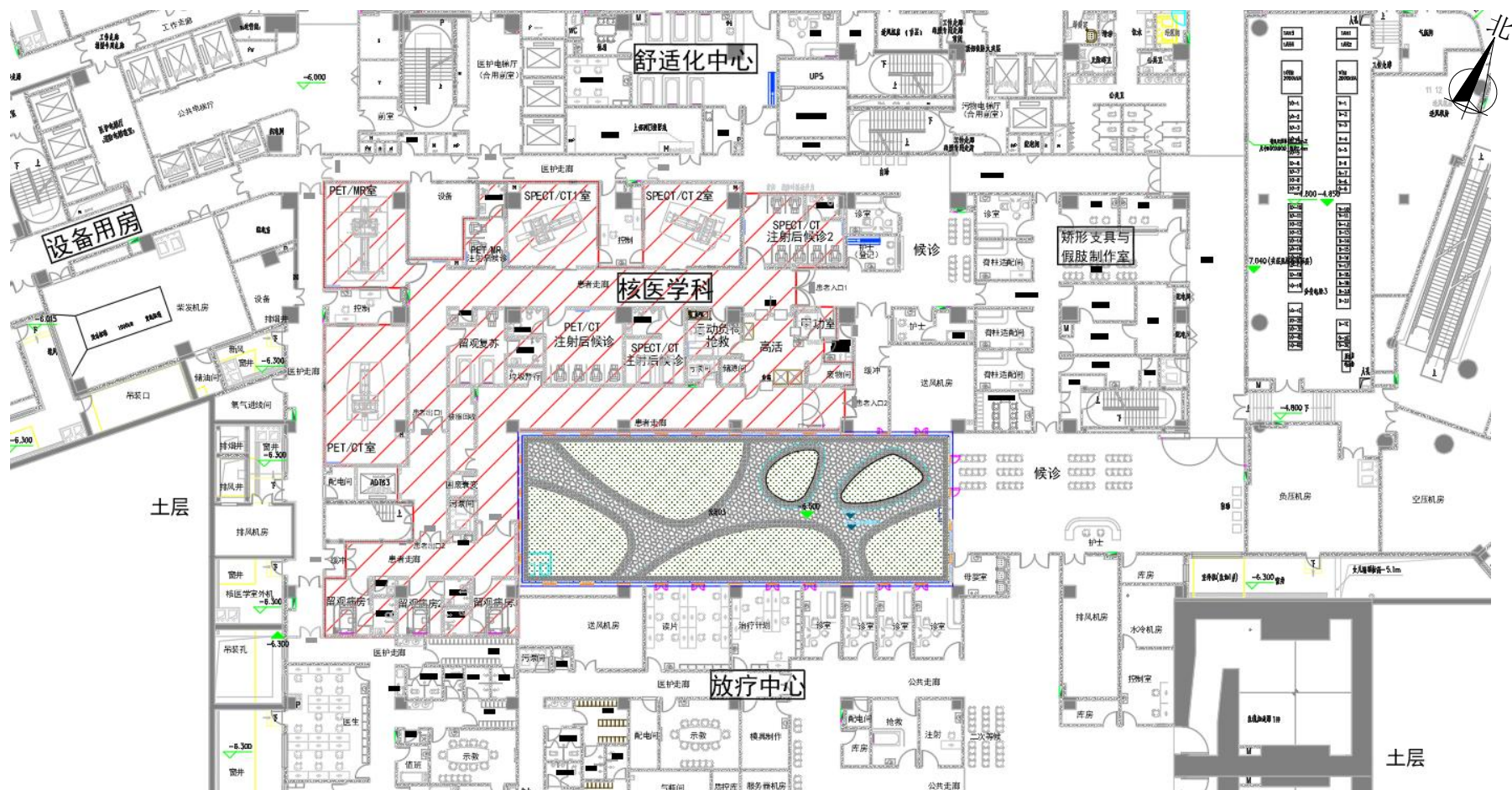


图 1-2 临床诊疗中心地下一层（局部）平面布局图

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
1	Ge-68	5.5E+7Bq×1	V	使用	桶源, 质控校准	PET/CT室	临床诊疗中心地下一层 南侧核医学科储源间	
2	Ge-68	3.5E+6Bq×1	V	使用	模体源、PET和 CT的对准定位	PET/CT室	临床诊疗中心地下一层 南侧核医学科储源间	
3	Ge-68	9.25E+7Bq×1	V	使用	质控校准	PET/MR室	临床诊疗中心地下一层 南侧核医学科储源间	
/	以下无内 容							

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/低毒	使用	1.11E+10	1.11E+07	2.78E+12	诊断	很简单操作	临床诊疗中心地下一层南侧核医学科	临床诊疗中心地下一层南侧核医学科高活室
2	Ga-68	液态/低毒	使用	9.25E+08	9.25E+06	4.63E+10	诊断	简单操作		
3	Tc-99m	液态/低毒	使用	3.70E+10	3.70E+07	9.25E+12	诊断	很简单操作		
4	I-123	液态/低毒	使用	1.85E+09	1.85E+07	9.25E+10	诊断	简单操作		
5	I-131	固态/中毒	使用	3.33E+06	3.33E+04	3.33E+08	诊断	简单操作		
6	I-131	固态/中毒	使用	1.85E+09	1.85E+07	1.85E+11	治疗	简单操作		
7	Lu-177	液态/低毒	使用	1.48E+10	1.48E+09	1.48E+12	治疗	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》（GB18871-2002）和生态环境行业标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

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
/	以下无内容									

(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	1	待定	140	440	医疗诊断	临床诊疗中心地下一层南侧核医学科SPECT/CT室1	/
2	SPECT/CT	III	1	待定	140	440	医疗诊断	临床诊疗中心地下一层南侧核医学科SPECT/CT室2	/
3	PET/CT	III	1	待定	140	833	医疗诊断	临床诊疗中心地下一层南侧核医学科PET/CT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	
/	以下无内容												

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 Ga-68 I-123 Lu-177	/	/	约128m ³	按表7-3值控制	140m ³ 衰变池分类暂存	依照HJ1188-2021和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，设槽式衰变池(罐)，放射性废水暂存至少68d后，经监测合格后排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
核医学科放射性固废	固态	Tc-99m F-18 Ga-68 I-123 (A类)	/	/	约410kg	<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（其中I-131核素产生废物至少暂存180天、Lu-177核素产生废物至少暂存68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。
		Lu-177 I-131 (B类)	/	/				
核医学科放射性废气	气态	Tc-99m F-18 Ga-68 I-123 I-131 Lu-177			<3.7×10 ⁸ Bq	/	净化过滤后排放	经手套箱自带的高效过滤器和管道活性炭过滤器过滤后，在建筑顶部排放。
核医学科气体过滤装置废滤材	固态				21kg（每年更换一次）	<10 ⁴ Bq/kg	放射性废物库内储存。	暂存至少180d，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》要求后解控为普通废物。

表6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，中华人民共和国主席令第七十号，2026年8月15日起施行。 (2) 《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。 (3) 《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。 (4) 《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。 (5) 《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。 (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施。 (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第18号令，2011年4月18日公布，2011年5月1日起实施。 (8) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，原环境保护部、原国家卫生计生委公告第66号，2017年12月5日。 (9) 《关于发布放射源分类办法》的公告，原国家环保总局公告，2005年第62号，2005年12月23日。 (10) 《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。 (11) 原北京市环境保护局办公室《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24号，2018年1月25日。 (12) 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告〔十五届〕第61号，2021年9月24日修订版公布并实施。 (13) 《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。 (14) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020年2月。 (15) 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。 (16) 《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。 (17) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告2021年第9号，2021年3月11日。 (18) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20号。 (19) 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。 (20) 《国家卫生健康委关于发布“十四五”大型医用设备配置规划的通知》国卫财务发〔2023〕18号，2023年6月21日。 (21) 北京市卫生健康委员会《关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》，北京市卫健委，2019年8月。 (22) 《产业结构调整指导目录（2024年）》，国家发展和改革委员会2023年第7号令，2024年2月1日起施行。 (23) 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022年版）》，北京市人民政府办公厅，京政发办〔2022〕5号，2022年2月14日起施行。 (24) 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。 (25) 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），自2025年1月1日起实施。
--	--

	(26) 《放射诊疗管理规定》，中华人民共和国卫生部令第 46 号，2006 年 3 月 1 日起实施。
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》（HJ 10.1-2016），中华人民共和国环境保护部，2016 年 04 月 01 日实施。 (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，2003 年 04 月 01 日实施。 (3) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023），中华人民共和国生态环境部，2024 年 02 月 01 日实施。 (4) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010），中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会，2011 年 09 月 01 日实施。 (5) 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013），北京市环境保护局、北京市质量技术监督局，2014 年 01 月 01 日实施。 (6) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局，2006 年 01 月 01 日实施。 (7) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），中华人民共和国生态环境部，2021 年 11 月 01 日实施。 (8) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），中华人民共和国国家卫生健康委员会，2021 年 05 月 01 日实施。 (9) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），中华人民共和国国家卫生健康委员会，2020 年 10 月 01 日实施。 (10) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002），中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，2003 年 04 月 01 日实施。 (11) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019），中华人民共和国国家卫生健康委员会，2020 年 04 月 01 日实施。

	(12) 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012)，中华人民共和国公安部，2012 年 09 月 01 日实施。 (13) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)，中华人民共和国国家卫生健康委员会，2020 年 04 月 01 日实施。 (14) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)，中华人民共和国生态环境部，2021 年 05 月 01 日实施。 (15) 《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)，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会，2009 年 04 月 01 日实施。 (16) 《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)，中华人民共和国国家卫生健康委员会，2019 年 07 月 01 日实施。 (17) 《正电子发射断层成像 (PET) 设备质量控制检测标准》(WS817-2023)，中华人民共和国国家卫生健康委员会，2024 年 03 月 01 日实施。
其他	(1) 《中国环境天然放射性水平》，原国家环境保护局监督管理司，1995 年 8 月。 (2) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33 (1), January 2006。 (3) Radionuclide and Radiation Protection Data handbook 2002 , Radiation Protection Dosimetry Vol. 98 No 1, 2002。 (4) Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd, Bernard Shleien et al.1998.。 (5) Radionuclide Information Booklet , Canadian Nuclear Safety Commission, September 2024。 (6) 《^{177}Lu-Dotatate 治疗的放射防护评估》(中国辐射卫生 2021 年 12 月第 30 卷第 6 期)。 (7) 《辐射安全手册》(潘自强主编)，科学出版社，2011 年。

	(8) 北京儿童医院提供的与本项目相关的申请和技术资料。
--	------------------------------

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为北京儿童医院新院区新建核医学科，开展核素显像和门诊核素治疗，为乙级非密封放射性物质工作场所，包含新增使用 1 台 PET/CT、1 台 PET/MR、2 台 SPECT/CT 等。

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，确定本项目辐射环境影响评价范围为：核医学场所控制区实体屏蔽边界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。

本项目评价范围示意图见图 7-1 所示，本项目相关场所控制区周围 50m 范围内，无学校、居民楼等敏感目标，周围 50m 区域都是医院内部。主要为临床治疗中心内相关诊疗场所和院内区域等。

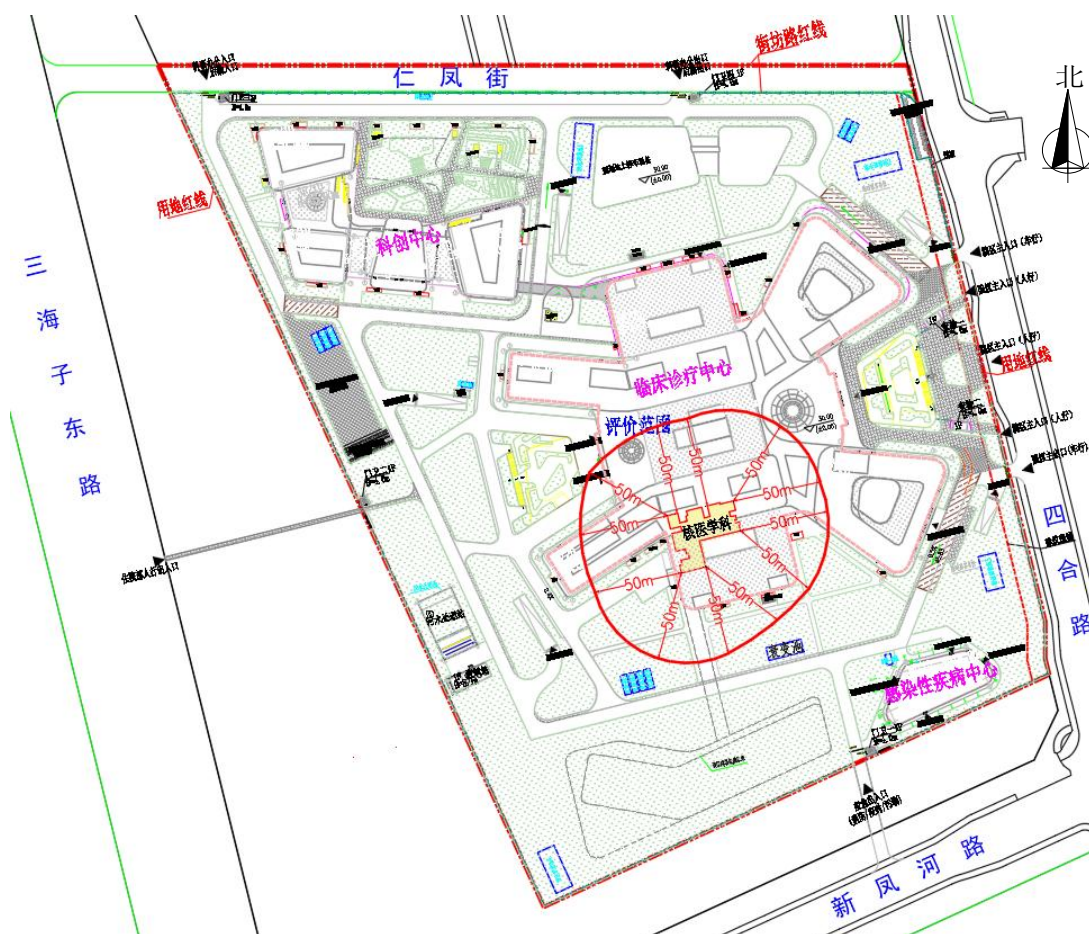


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

- (1) 新核医学科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临床诊疗中心地下一层南侧，东侧为矫形支具与假肢制作室等，南侧为核医学科办公区、天井、放疗中心等，西侧为窗井、设备用房、公共电梯厅、换热站等，北侧为舒适化中心、影像中心等，楼上为输液中心、EICU，楼下为后勤库、档案库等。上述场所的具体位置见图 7-2~图 7-4，都充分考虑周围场所的安全。本工作场所选址为相对独立区域，远离儿科病房等特殊人群及人员密集区域。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	距离(m)	常居留数量(人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
核医学科	本项目工作人员	紧邻	22	/	护士站（预登记室）、控制室、高活室、办公区等
	工作人员和患者	4~9	2~5	东侧	核医学候诊、走廊、护士站、送风机房等
	其他工作人员和患者	9~25	10~15	东侧	矫形支具与假肢制作室
	其他工作人员	25~50	3~5	东侧	分变电所、负压机房、车库等
	/	紧邻	/	南侧	天井
	放疗中心工作人员和患者	11~39	30~40	南侧	放疗中心
	/	39~50	/		土层
	其他工作人员和患者	2~50	20~30	西侧	设备用房、公共电梯厅、换热站等
	其他工作人员和患者	2~10	15~20	北侧	舒适化中心
	其他工作人员和患者	10~50	40~50	北侧	影像中心
	其他工作人员和患者	紧邻	10~20	楼上	输液中心、EICU

	其他工作人员	紧邻	5	楼下	后勤库、档案库、排风机房、柴油发电库、物管中心办公室等
--	--------	----	---	----	-----------------------------

本项目的评价范围内的保护目标主要是医护人员、就诊患者和其它公众。本项目相关场所周围 50m 范围内，无商超等人员密集区域，也无居民楼、学校等敏感目标。

本项目核医学科给药患者长时间停留或者药物贮存的房间（如 PET 或 SPECT 机房、给药后候诊室和高活室等）的上下相邻关系见图 7-3 和图 7-4 所示。

由于 PET 用药物 γ 射线能量高，对周围环境影响较大，故特别关注患者候诊和检查场所楼上和楼下房间的用途。PET/CT 机房、PET/MR 机房以及 PET 给药后候诊区楼上为输液中心，楼下为后勤库、档案库、排风机房等。留观病房常有患者留观，同样需要关注楼上和楼下房间的使用功能。留观病房上方为 EICU，楼下为柴油发电机房及控制室、后勤库等。核医学科顶板进行了加厚处理（两层 250mm 的钢筋混凝土，两层钢筋混凝土间隔 200mm），楼下采用 300mm 钢筋混凝土。综合考虑，本项目核医学科选址是可行的。

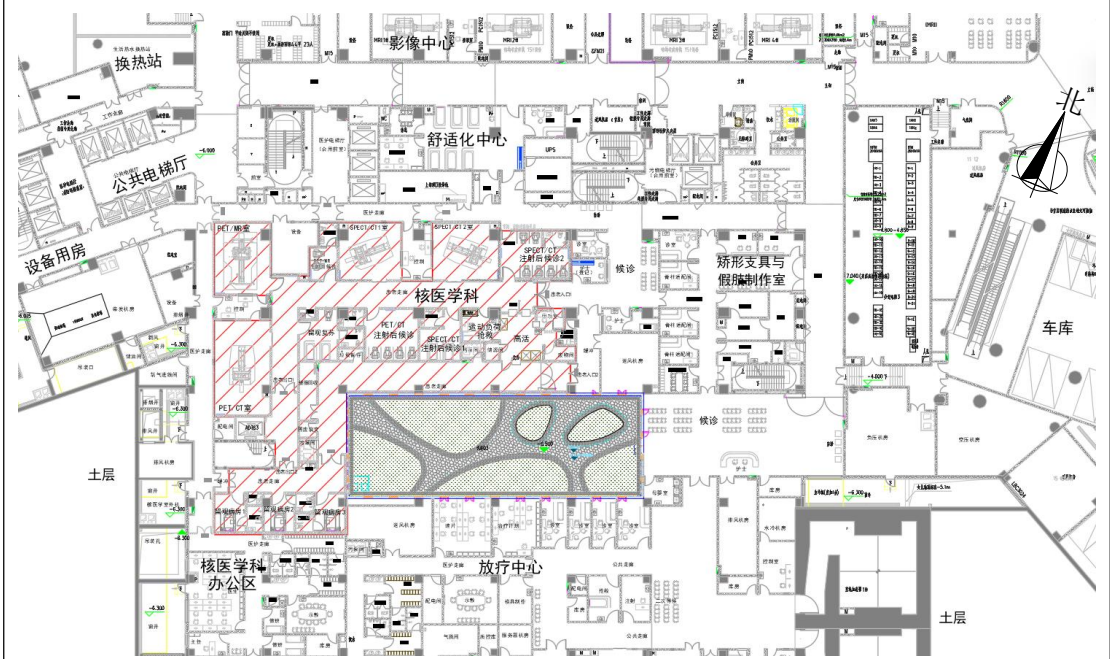


图 7-2 地下一层周围关系图



图 7-3 地上一层周围关系图（核医学楼上）

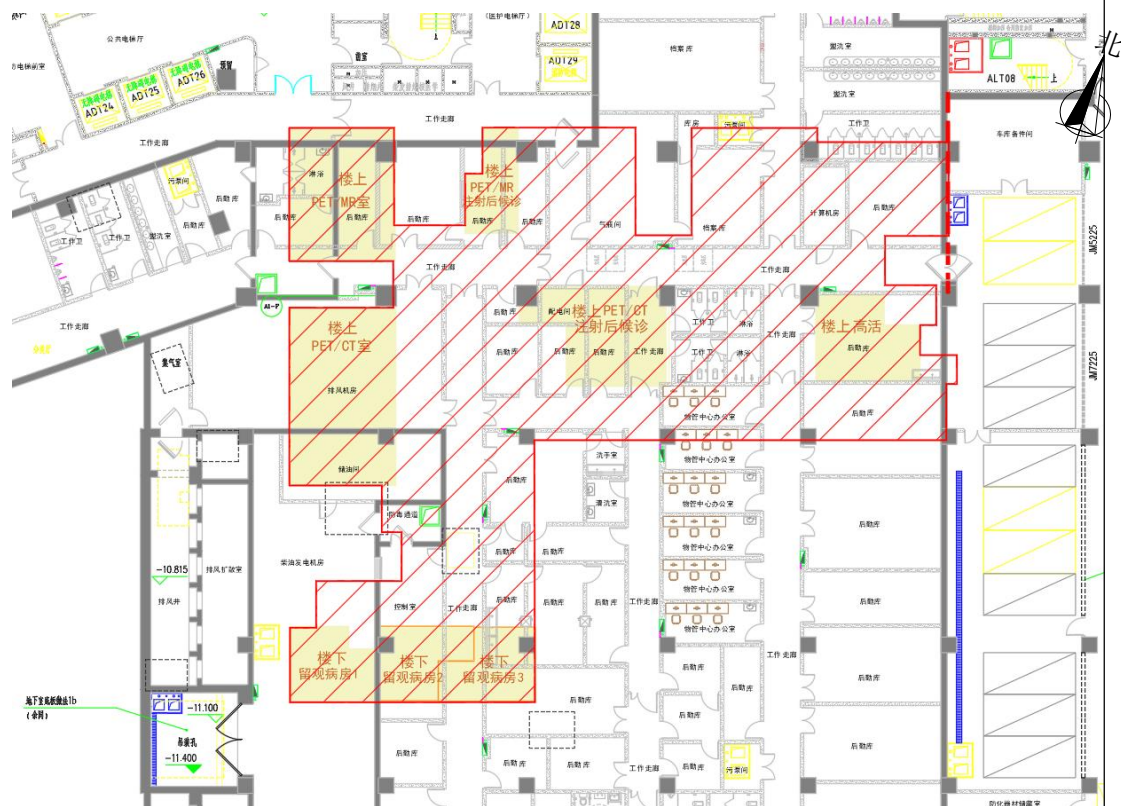


图 7-4 地下二层周围关系图（核医学楼下）

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

7.3.2 剂量约束值

本项目核医学科辐射工作人员取 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。

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 接受 Lu-177 治疗的患者出院体内放射性活度限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定：接受了 I-131 治疗的患者，其体内的放射性活度降至低于 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当率不大于 25μSv/h 方可出院。

在《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 7.3.2 条规定“对接受放射性药物治疗的患者，应对其家庭成员提供辐射防护的书面指导。对接受放射性药物治疗的住院患者，仅当其家庭成员中的成人所受剂量不能超过 5 mSv、其家庭成员中的儿童以及其他公众所受剂量不能超过 1mSv，才能允许患者出院”。

相关标准未对 Lu-177 治疗患者给出出院限值要求，但 Lu-177 患者治疗后临床上要求短期留观，为了便于患者剂量水平的管理，由于用于甲癌治疗的 I-131 与 Lu-177 具有相近的物理半衰期和用药剂量，但对防护最重要的γ射线强度、能量及生物半衰期 I-131 都大于 Lu-177，故 Lu-177 离开院区的标准也按照 25μSv/h 来控制是保守的，距 Lu-177 患者 1m 处的周围剂量当率不大于 25μSv/h 方可出院，按照实测结果和参考文献，Lu-177 患者给药约 6h 就可达到 25μSv/h 要求。

7.3.4 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，参照《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）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），并结合本项目实际情况，核医学治疗区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 μ Sv/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 10 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h。

3) PET/CT、SPECT/CT 在进行给药患者 CT 扫描时，机房外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。

4) 手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

5) 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 2.5 μ Sv/h。

6) 患者使用过的被服应先进行存放衰变，暂存衰变时间不少于一个半衰期，经检测被服表面 γ 剂量率小于 1 μ Sv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm²时，方可进行清洗并再次使用。

7.3.5 核医学科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 7-3。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平（Bq/cm²）

类别		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

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，地面取 1000cm²。

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上述表 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。

7.3.6 核医学科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）、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）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《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）中对于 A 类（半衰期小于 24h）和 B 类（半衰期大于 24h）放射性废水的要求执行。

本项目放射性废水按 B 类的放射性废水管理收集。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（其中 Lu-177 核素产生的废水至少暂存 68 天）后，应委托有资质的检测机构对拟排放废水进行检测。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台账”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

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

7.3.7 核医学科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（半衰期小于 24h）和 B 类（半衰期大于 24h）核素，依据《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）和《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010），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。

参照（HJ1188-2021）和京环办[2018]13 号，核医学科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。

常规放射性固体废物管理要求：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（其中含 I-131 核素废物至少暂存 180 天，含 Lu-177 废物暂存 68 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，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置。

台账管理要求：本项目产生的放射性固体废物的暂存和解控应安排专人负责，并建立《放射性固废暂存、解控管理台账》，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。

其他废物管理要求：活性炭滤材以及手套箱（通风橱）自带的高效过滤器滤材，暂存至少 180d，经监测达标并报生态环境主管部门批准解控后，作为一般医疗废物处理。

7.3.8 核医学科放射性废气排放管理

（1）《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）通风要求：

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) 放射性物质的合成、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。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。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，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

7.4 核医学科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 7-4。

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 $\sim 2 \times 10^7$

7.5 操作放射性同位素通风橱（手套箱）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，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

《核医学科辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 通风要求：放射性物质的合成、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。通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域以及

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。

本项目核医学科辐射工作场所设置的排风系统的排风口拟设 1 处，位于临床诊疗中心楼南侧，高度不低于 47.5m，排风口朝东设置，设在临床诊疗中心楼顶部并高于周围 50m 范围内其他建筑物。

本项目核医学科高活室内安装手套箱，操作口风速均 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。手套箱设置独立的排风系统，配备高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ）和活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ）。过滤器每年更换一次。本项目核医学排风共分为 3 个排风系统，各排风出口处拟还设置活性炭过滤装置。

活性炭过滤器具体要求：过滤效率大于 90%，高效过滤器重量不大于 2kg，每个常用活性炭重量不小于 5kg，更换周期为一年。

7.6 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。 ^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，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。

7.7 射线装置机房屏蔽防护基本要求

7.7.1 CT机房屏蔽防护要求

本项目 SEPCT/CT 及 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 X 射线设备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（不含头颅移动 CT）	2.5	

7.7.2 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（不含头颅移动 CT）	30	4.5

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

委托持有计量认证资质证书的深圳市瑞达检测技术有限公司，于 2026 年 3 月 12 日对对本次拟建的辐射工作场所周围进行了环境 γ 辐射剂量监测。

8.1.1 监测项目

环境 γ 辐射剂量率。

8.1.2 监测对象及点位布设

监测对象：本次监测针对拟建场所周边进行环境辐射现状监测。

监测点位：本次监测对拟建场所在区域及周边进行环境地表 γ 辐射剂量率监测，监测点位布设见图 8-1。

8.1.3 监测仪器及方法

（1）监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8-1。

（2）监测方法

γ 辐射剂量率：采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。测量点距地面 1m，间隔 30s 测读 1 次，每个测量点测量 10 次，取平均值。

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书、有效日期	主要技术性能指标
辐射检测仪	AT1121/2017 1220	DLjl2026-01593/2026年2月5日 DLjl2026-00544/2026年1月16日	测量范围：50nSv/h~10Sv/h； 能量范围：15keV~10MeV； 相对响应之差：< $\pm 25\%$ 。

8.1.4 监测依据

- （1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- （2）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

8.1.5 监测结果

环境 γ 辐射剂量率的监测数据见表 8-2。

表 8-2 拟建临床诊疗中心区域环境 γ 辐射剂量率检测结果

检测点编号	检测点位置	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)
1	拟建临床诊疗中心点位 1	101 $\pm$ 3

2	拟建临床诊疗中心点位 2	100±5
3	拟建临床诊疗中心点位 3	103±3
4	拟建临床诊疗中心点位 4	101±4
5	拟建临床诊疗中心点位 5	103±4
6	拟建临床诊疗中心点位 6	99±4
7	拟建临床诊疗中心点位 7	99±4
8	拟建临床诊疗中心点位 8	103±4
9	拟建临床诊疗中心点位 9	101±5
10	拟建临床诊疗中心点位 10	100±7
11	拟建临床诊疗中心点位 11	101±2
12	拟建临床诊疗中心点位 12	102±3
13	拟建临床诊疗中心点位 13	105±2

注：检测结果包含检测仪器在检测点处的宇宙射线响应值（30nGy/h）；检测时仪器探头中心距离地面为 1m。

8.2 监测结果评价

根据《中国环境天然放射性水平》（1995），北京市天然辐射水平范围为 60~123nGy/h（室外，含宇宙射线）和 69.8~182nGy/h（室内，含宇宙射线）。由表 8-2 中检测结果可知，拟建临床诊疗中心区域的环境 γ 辐射剂量率为 95~107nGy/h，为北京市的天然本底范围之内，未发现异常高值。

1、拟建临床诊疗中心布局图

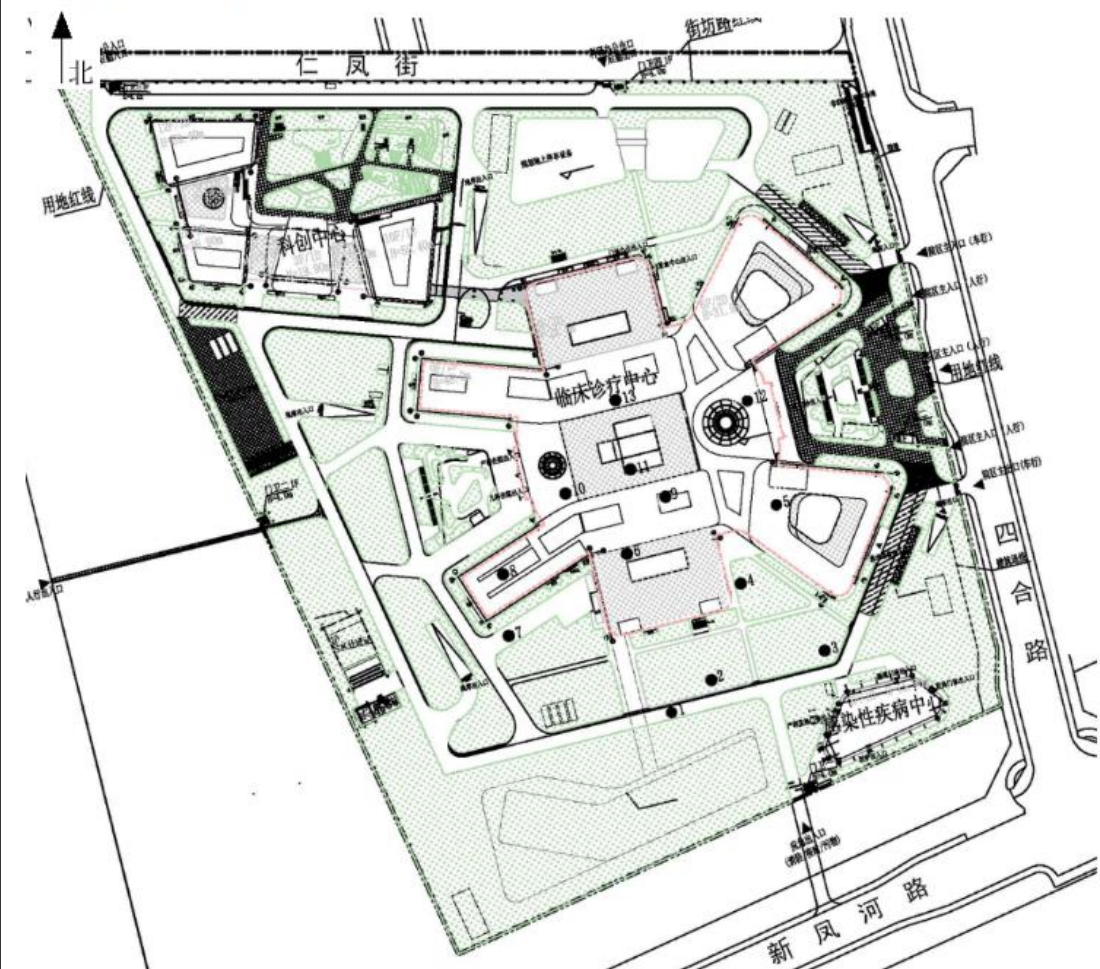


图 8-1 检测布点示意图

表 9 项目工程分析与源项

9.1X 射线诊断装置和密封校验源

本项目配套使用 1 台 PET/CT 装置和 2 台 SPECT/CT，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，一般属于 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

9.2.1 核医学扫描诊断装置

核医学是采用核技术来诊断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。本项目核医学科使用 F-18、Ga-68 核素药物开展 PET（PET/CT 或 PET/MR）诊断，使用 Tc-99m、I-123 核素药物开展 SPECT 诊断，使用 I-131 开展甲功测定，使用 I-131、Lu-177 核素药物开展核医学门诊治疗，设置 3 间留观病房，用于 Lu-177 患者留观。

（1）SPECT 显像

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，CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像，典型的 SPECT/CT 扫描装置如下图 9-1 所示。



图 9-1 SPECT/CT 机设备外观

(2) PET 显像

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，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。

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。

1) PET/CT 显像

PET/CT 是由正电子发射型计算机断层显像仪（PET）和计算机断层 X 射线摄影术（CT）融合而成的最新高端分子影像设备，它同时具备 PET 和 CT 的检查功能，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。

PET/CT 显像诊断观察肿瘤代谢异常明显早于其他影像学手段，其探测灵敏度更高，主要有以下几方面的优势及应用：（1）肿瘤的良恶性鉴别诊断，并为疑难的病灶提供准确的穿刺活检部位；（2）恶性肿瘤的分期和分级；（3）通过采用多种 PET 显像剂来确定肿瘤病灶的多元化代谢特征；（4）为恶性肿瘤的放射治疗（尤其是精准放疗）提供准确的定位；（5）对肿瘤各种治疗的疗效进行评估；（6）早期鉴别肿瘤复发；（7）为不明原因的转移性肿瘤寻找原发病灶；（8）恶性肿瘤的预后判断。

2) PET/MR 显像

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

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

PET/MR 比 PET/CT 的优势在于：

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

更加高效：PET/MR 一次检查可获取完整的解剖、功能、生理信息，完美实现解剖结构与代谢功能信息的实时精准融合。

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

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

PET/MR 在颅脑肿瘤、神经内分泌肿瘤、胰腺癌、前列腺癌、乳腺癌、肝

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

典型的 PET 扫描装置如下图 9-2 和图 9-3 所示：



图 9-2 PET/CT 机设备外观



图 9-3 PET/MR 机设备外观

9.2.2 核医学门诊治疗

本项目核医学涉及的放射性核素治疗为：I-131 甲亢治疗、Lu-177 核素治疗。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 和 Lu-177 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，伴随发射 γ 射线，它通过放射性甲状腺素作用于甲状腺，抑制其分泌功能，减少其代谢率，从而控制甲亢症状。 β 射线穿透力较弱，射程短，仅约 2~3mm，容易被人体组织吸收。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。

Lu-177 核素治疗儿童疾病的核心是“靶向精准放疗”，通过将低能 β 射线核素 Lu-177 与肿瘤特异性靶向载体结合，制成靶向药物输入儿童体内。载体可精准识别并结合儿童肿瘤细胞表面的特定靶点，将 Lu-177 精准送达肿瘤部位。Lu-177 释放的 β 射线射程仅 0.5~2mm，能局部破坏肿瘤细胞 DNA，抑制其增殖并促使凋亡，同时最大程度减少对周围正常器官的辐射损伤；少量 γ 射线可通过显像实时监测核素分布，确保治疗精准可控。该疗法主要用于常规治疗无效的难治性儿童肿瘤，因局部杀伤性强、全身辐射风险低、耐受性好，适配儿童器官未成熟、对辐射敏感的特点。

9.3 甲状腺摄碘功能测定

甲状腺可以吸取碘，通过测定不同时间的颈部甲状腺部位的放射性计数可以计算出甲状腺吸碘的速率和强度，甲状腺吸碘的速率和强度可以反映甲状腺的功能状态，有些情况是甲状腺疾病诊断及治疗不可缺少的检查。

9.2.4 工作流程

（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、分装等）→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。

① 预约患者：门诊预约患者，制定核素诊断工作计划，进行检查前注意事项告知。

② 订购药物：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，向药品公司订购标记的放射性药物。本项目 F-18 按每天 2 次送药（本项目 F-18 一般上午早 7:00 和下午 13:00 两次送药）。

③ 药物接收、查验：药物运输至核医学科的高活室内，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，在摄像头监控下，“点对点”办理交接手续，然后暂存于高活室内。

④ 药物分装：本场所显像核素只有 F-18、Ga-68 需要分装，在手套箱内进行分装。

⑤ 注射或口服给药：工作人员在高活室内，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。

⑥ 患者候诊：患者注射显像药物后，在 PET 或 SPECT 注射后候诊室等候。如 F-18 显像检查候诊约 40min~60min，短半衰期的无需候诊；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。

⑦扫描检查：待药物有一定程度的代谢后，进行 PET 或 SPECT 扫描检查（SPECT 检查时间一般约 10min~25min，平均不超过 20min，PET/CT 检查一般不超过 20min，PET/MR 检查时间 20min~60min，平均不超过 40min）。

⑧留观：部分 PET 显像检查患者在扫描后，通常留观 10min 左右。如显像结果符合诊断要求，即离开核医学科。

（2）门诊治疗

1) I-131门诊治疗

I-131 放射性药物经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有铅罐屏蔽的 I-131 口服胶囊→储存高活室保险柜里→

患者（在门诊治疗给药窗口）施予药物→要求门诊治疗患者服药后，即离开核医学科。I-131 门诊治疗每周集中 2 天给药，在早上 8:00 前完成，与 Lu-177 治疗时间不交叉。

①预约患者：提前制定核素治疗工作计划，通知患者。

②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。

③药物接收：外购药物由药品公司负责把药品送至地下一层核医学科门诊治疗患者出口，沿通道，经患者走廊运至高活室门口。

④药物查验：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。

⑤分装： I-131 药物为厂家已按照人份分装好的胶囊。

⑥给药：在高活室南侧门诊治疗患者给药窗口，患者口服 I-131 口服胶囊。

⑦离开：患者口服 I-131 胶囊后，沿着门诊治疗患者路线离开核医学科。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定，接受 I-131 治疗的患者其体内放射性活度降至低于 400MBq（10.8mCi）之前不得出院。本项目 I-131 甲亢治疗患者单人用药量为不高于 370MBq（10mCi），甲亢患者服药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科。

2) Lu-177 门诊留观治疗

患者需根据预约时间（一般早上 9:00 左右）到达核医学科东侧等候大厅的护士站，在护士站登记信息，根据工作人员指导及语音呼叫系统提示进入相应的门诊治疗区域。

Lu-177 药物的订货、接收药物、质检等环节都与 I-131 核素治疗的流程一致，核素供货厂家运输工作人员将储存核素的专用 10mm 铅罐容器，由核医学科专梯运至地下一层核医学科，沿内部通道运至门诊高活室贮存，药物在高活室手套箱内进行分装。

Lu-177 药物注射过程中工作人员穿戴铅衣，Lu-177 药物通过静脉注射方式给药，通过自动化注射泵法将药物推注入患者体内，其过程是首先在高活

室铅手套箱内手动将西林瓶中的药品抽取到注射器中，而后将注射器放在铅屏蔽套中转移至留观病房，把注射器取出置于有铅屏蔽防护的注射泵上，而后注射泵进行自动给药。

注射 Lu-177 患者在留观病房，留观 6h 左右，满足临床需要且在患者出口处，在线监测患者的剂量水平，1m 处满足 $25\mu\text{Sv/h}$ 后才可出院。Lu-177 患者出院后，工作人员对手术床、地面及有关用品的表面污染水平进行测量，并做好记录，医护人员及时更换床单、被套、枕套，上述物品按照放射性污染物的规定处理。

(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：I-131口服胶囊，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：

a) 测本底计数和标准源（I-131-碘胶囊）计数；

b) 受检者口服 0.333MBq 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）；

c) 测完后打印报告，上级医生审核签字后发报告。

(4) PET 设备质控工作流程

本项目拟用 PET/CT、PET/MR 设备型号待定。不同的设备厂家及型号，设备稳定性质量控制检测使用 F-18 药物制作模体校准源，或者使用设备附件配置的质控校验放射源（V类放射源）。

①使用密封源

本项目 PET/MR 拟配备 1 枚活度为 $9.25\text{E}+7\text{Bq}$ 的 Ge-68 密封源，PET/CT 拟配备活度分别为 $5.5\text{E}+7\text{Bq}$ 和 $3.5\text{E}+6\text{Bq}$ 的 Ge-68 密封源，都是 V 类放射源，由物理师每周或两周一次质控使用，质控时物理师把密封源从源库按要求取出放到 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库。平常不使用时都储存在储源室内，并至少配有 20mmPb 的铅桶屏蔽。

②使用 F-18 药物配置校准源

在每日无源质控的基础上，每周或两周一次进行有源（F-18）质控扫描以检测一些特殊的系统参数，每次用量约 $8.88\text{E}+7\text{Bq}$ 的 F-18，由物理师完成，以下为 F-18 的质控流程。

1) 向质控模体内注自来水或蒸馏水至水面离顶端约 1cm 的距离，质控模体的直径为 50mm、内部长度 520mm（体积约 1 升）；

2) 往模体里注射 F-18 约 $8.88\text{E}+7\text{Bq}$ (2.4mCi) 后，装上盖子并塞紧密封塞子，上下颠倒模体，反复 10~20 次，使同位素与水混合均匀；

3) 然后再向模体内缓慢注水，直至气泡几乎不可见后把模体安装在检查床机架端刻度位置，按质控程序扫描以检测一些特殊的系统参数；

该质控一般每周或两周一次，将质控后的水（每次不大于 1L）直接排到衰变池衰变。

9.2.5 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，每个检查日最多实施 PET 检查 30 人次，每年工作 250 天；Ga-68 用量不大于 185MBq /人，每个检查日最多实施 PET 检查 5 人次，每年工作 50 天。

SPECT 显像检查 Tc-99m 药物的用量最大为 925MBq /人，每个检查日最多实施 SPECT 检查 40 人次，每年工作 250 天；I-123 药物的用量最大为 370MBq /人，每个检查日最多检查 5 人次，每年工作 50 天。用于甲状腺功能检查的 I-131 用量按 0.333MBq /人，最多 10 名病人/天，每年工作 100 天。

（2）治疗核素

①用于治疗甲亢的 I-131，每人口服液活度不大于 370MBq ，最多为 5 名病人/天，每年工作 100 天，每周集中 2 天给药，在核医学科接受 I-131 治疗的病人，在用药后就离开。

②用于治疗的 Lu-177 最大用量不大于 7400MBq ，根据《 ^{177}Lu -Dotatate 治疗的放射防护评估》（中国辐射卫生，2021 年 12 月第 30 卷第 6 期）中关于注射 7400MBq 的 Lu-177 药物后不同时间段内，患者体内活度和 1 m 处辐射剂量率的结论，距给药 7400MBq Lu-177 治疗患者 6h 后 1m 处剂量率为

11.91 μ Sv/h。本项目使用 Lu-177 核素不高于 7400MBq，Lu-177 治疗患者留观 6h 后，就可以满足出院标准要求。设 3 间 Lu-77 留观病房，采用预约方式入院，预计全年治疗病人数量不大于 200 人次（每天最多收治 2 例，每年最多 100 天）。

9.2.6 放射性核素特性

（1）F-18、Ga-68 半衰期分别为 109.6min、68.3min，衰变方式是 EC 和 β^+ ， β^+ 粒子在体内经湮灭辐射产生两个方向相反和能量均为 511keV 的 γ 光子。

（2）Tc-99m 半衰期为 6.02h，衰变方式是 IT，发出能量为 140keV 的 γ 射线；I-123 半衰期为 13.13h，衰变方式是 EC，发出主要能量为 159keV 的 γ 射线；I-131 半衰期为 8.04d，发生 β 衰变时伴随发射 364.5keV 的 γ 射线。

（3）Lu-177 半衰期为 6.65d，主要发射 β 射线，平均能量为 0.149 MeV（最大能量 0.497 MeV），组织内射程 2mm，发生 β 衰变时伴随主要发射 113keV（6.4%）和 208keV（11%）的 γ 射线。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	β^+ 、EC	β^+ 635、 γ 511
2	Ga-68	低毒	68.3min	β^+ 、EC	β^+ 1899、 γ 511
3	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	γ 140
4	I-123	低毒	13.13h	EC	γ /159
5	I-131	中毒	8.03d	β^- 、 γ	β^- 606、 γ 364/360
6	Lu-177	中毒	6.65d	β^- 、 γ	β^- 497、 γ 208

9.2.7 使用放射性核素污染途径分析

（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。患者在接受 Lu-177 核素治疗后，主要通过肾脏代谢排出体外尿排出（在留观 6h 后，Lu-177 从尿中排出量约为给药量的 45%），

唾液、汗液和粪便中的排出量较少，呼出量也较少。

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卫生间冲厕废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水、应急废水。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等。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。在手套箱内主要对F-18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。

(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。

放射性药物和放射源保管不当，发生遗失或被盜，可能造成环境放射性污染或放射事故。核医学科场所在分装室暂存的放射性同位素，采用视频监控和门禁管理，储源间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盜和丢失事件的发生。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 核医学科辐射安全与防护

10.1.1 项目选址与合理性分析

核医学科位于临床诊疗中心地下一层南侧，核医学科控制区周围 50m 区域均是医院内部。核医学科东侧为矫形支具与假肢制作室等，南侧为核医学科办公区、天井、放疗中心等，西侧为窗井、设备用房、公共电梯厅、换热站等，北侧为舒适化中心、影像中心等，楼上为输液中心、EICU，楼下为后勤库、档案库等。

核医学科将患者入口设在东侧，患者出口设在西南侧（门诊显像患者出入口，门诊治疗患者出入口分别为两个独立的出入口），外购核素通过患者专梯进入核医学科，由门诊诊疗患者通道送到高活室，患者出口位于西南侧，由西南侧 ADT63 核医学科专用电梯到一层（电梯只在地下一和首层停留，首层电梯厅门设置门禁）后离开临床诊疗中心，核医学科患者出入口拟设置单向门禁系统。Lu-177 患者留观 6h 左右，满足临床需要且在患者出口处，在线监测患者的剂量水平，1m 处满足 $25\mu\text{Sv/h}$ 后才可出院。使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响很小。

项目选址充分考虑了周围场所的安全，不邻接产科、食堂等部门等及人员密集区，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。总体认为该项目核医学科选址合理。

10.1.2 场所平面布局与分区

10.1.2.1 核医学科场所布局

地下一层核医学科，有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施。设计时考虑了以下因素：

（1）核医学科布置在地下一层，外购核素通过患者专梯由地面一层进入核医学科，由门诊诊疗患者通道送到地下一层高活室内，有效缩短了药物转移距离，也符合相对集中的原则。

（2）门诊显像根据显像流程，合理设计各功能房间的布局，扫描设备的控制区集中布置，高活室设在场所的一端，可防止交叉污染。

（3）门诊显像设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物

路径。患者路径单向设计，从东侧患者入口 1（门诊显像患者入口）进入核医学显像区域，依次完成注射、候诊、检查和留观活动后，从西南侧患者出口 1（门诊显像患者出口）离开，通过患者专梯直通一层地面（电梯只在地下一和首层停留，首层电梯厅门设置门禁）。给药后患者与给药前患者不交叉。医护人员设有专用的通往高活室、控制室和办公区的通道，和给药后患者路径不交叉。医护人员进入控制区的出入口设立了缓冲区，用来更换工作服和工作鞋，防止放射性污染扩散至控制区外。放射性废物都是每周一早晨（患者检查前）转移至废物间，可避开与患者间的影响。

（4）门诊 I-131 甲亢治疗设计了患者单向流动的路径，患者从东侧患者入口 2（门诊治疗患者入口）进入核医学科，在给药窗口接受 I-131 药物治疗，给药结束后，沿门诊治疗患者通道，从西南侧患者出口 2（门诊治疗患者出口）离开，通过患者专梯直通一层地面（电梯只在地下一和首层停留，首层电梯厅门设置门禁）。

（5）Lu-177 留观治疗也设计了患者单向流动的路径，患者从东侧患者入口 2 进入核医学科，根据医护人员的安排进入对应的留观病房，接收给药后，留观 6h 左右，经检测体表剂量率合格后从西南侧患者出口 2 离开。放射性废物每周一早晨转移至废物间，可避开与患者间的影响。I-131 门诊治疗每周集中 2 天给药，在早上 8:00 前完成，与 Lu-177 治疗时间不交叉。

（6）核医学科工作人员办公场所在地下一层设有与门诊显像、治疗区这些场所之间的通道，医护人员可以方便到达核医学科。

从功能分区来看，患者候诊、工作人员办公、放射性操作等区域划分明确，且相对隔离，满足了核医学科分区管理的要求，尽可能避免公众和医护人员受到不必要的辐射照射。

本项目核医学科辐射工作场所相对独立，分区明确。在控制区与普通场所之间采用实体屏蔽或者缓冲区隔离，医护人员通道和患者通道相对独立且没有交叉，有效避免了医护人员受到不必要照射。

在放射性操作场所内部设计了辐射防护门、铅玻璃观察窗，排风设施和放射性废水收集及暂存设施。此外，还配备有手套箱（通风橱）、铅玻璃观察窗、防辐射实体屏蔽、铅罐、铅屏蔽注射窗、废物桶等安全防护设施、器材，以及配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅手套、铅眼镜等工作人员防护用品。

综上所述，核医学科工作场所布局考虑了相对独立、避免交叉，便于使用和分区管理等因素，布局设计基本合理。

10.1.2.2 核医学科分区

根据《电离放射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）的相关要求，并结合医院实际情况及本项目特点，将放射工作场所划分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。核医学科将划分为控制区和监督区进行管理，辐射分区见图 10-1 所示。

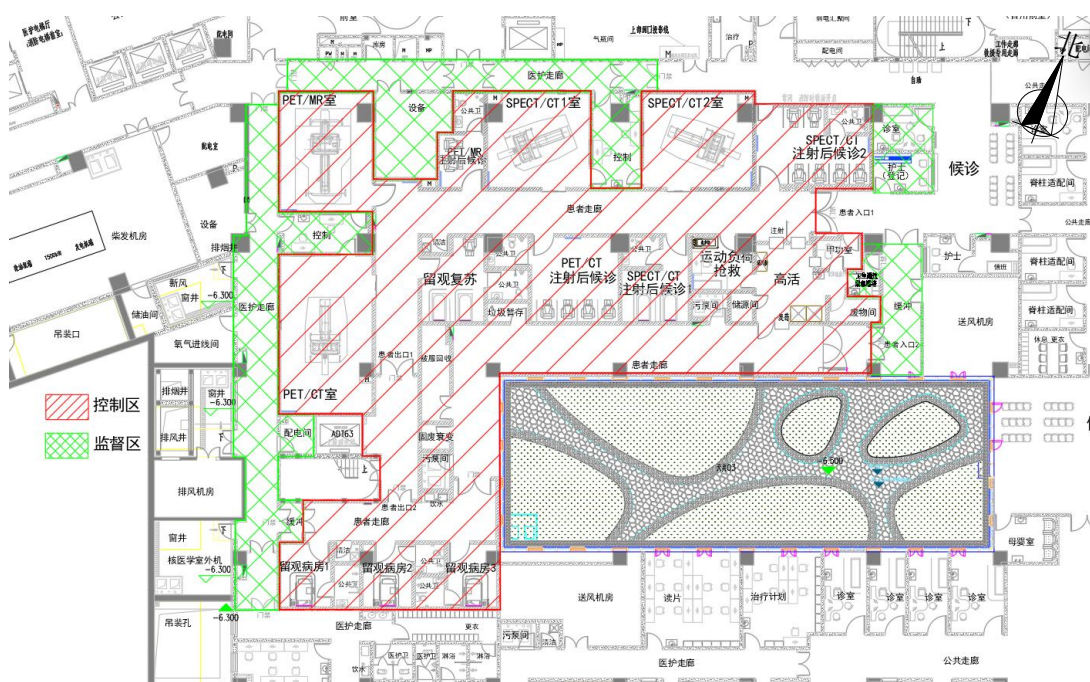


图 10-1 地下一层核医学科布局与分区示意图

核医学科位于地下一层南侧，场所布局与分区见图 10-1。按照使用功能区划分为接诊及办公区、辐射工作场所区域（控制区和监督区）。

1) 接诊区及办公区（非辐射工作场所）：接诊区域位于核医学科的东侧和南侧，包括候诊大厅、登记室、诊室、示教、更衣室、值班室等。

2) 控制区（核医学科工作区）：高活室、储源间、甲功室、废物间、运动负荷/抢救室、4 间注射后候诊室、2 间 SPECT/CT 室、1 间 PET/CT 室、1 间 PET/MR 室、污泵间、垃圾暂存、留观复苏、2 间清洁间、3 间留观病房、被服回收、固废衰变间、患者走廊、衰变池等，该区出入通道拟安装单向门禁系统。

3) 监督区：东侧诊室、护士站（登记）、2 间控制室、设备间、医护走廊、卫生通过间、缓冲区等。

核医学科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，尽可能地避免了人员受辐射影响，平面布局合理。

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，非辐射工作场所、监督区和控制区划分明确，且相对隔离，满足了核医学科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或物理隔离，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。

高活室设有通风橱（手套箱），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，核医学科产生的放射性废水及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水对环境的影响。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。

在放射性操作场所内部设计了辐射防护门、铅玻璃观察窗，排风设施和放射性废水收集及暂存设施。此外，还配备有铅玻璃观察窗、防辐射实体屏蔽、铅屏蔽注射窗、废物桶等安全防护设施、器材，以及配备铅衣、铅围脖等工作人员防护用品。

综上，本项目放射工作场所分区合理，对控制区拟采取一定的放射防护措施，符合《电离放射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）的要求。

10.2 工作流程及路径

核医学科患者出、入口均设有单向门禁系统，医护人员出入口设有医护人员专用门禁，只有本科室工作人员有授权。

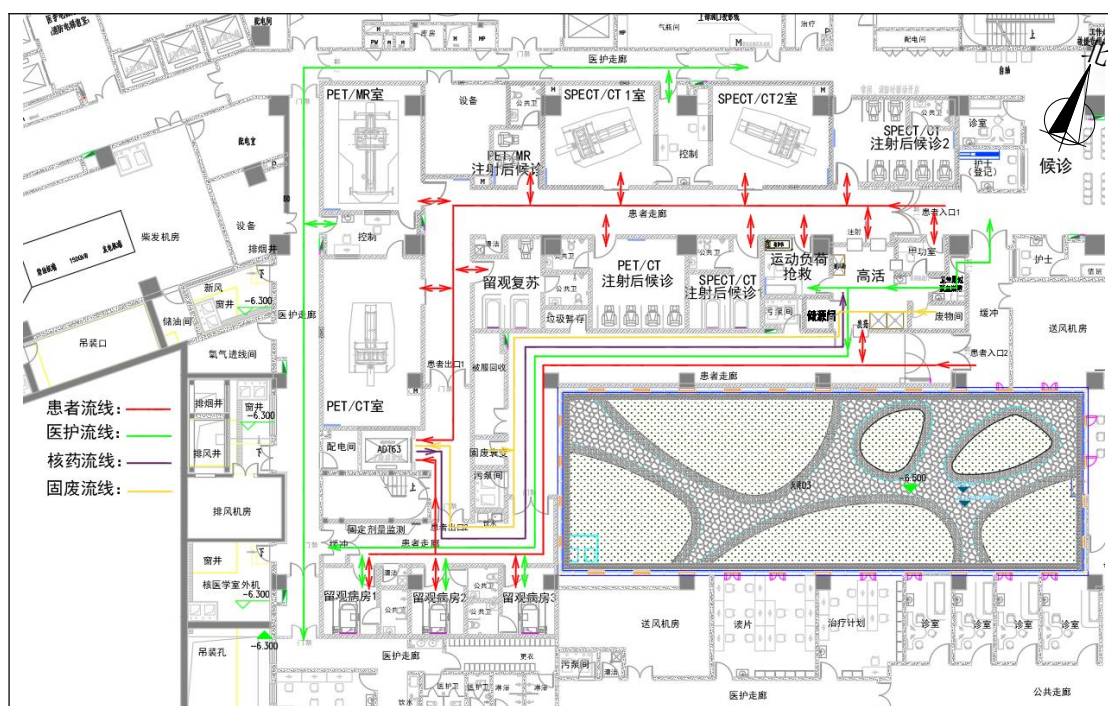


图 10-2 核医学科人流、物流等路由图

(1) 核素SPECT显像诊断流程

患者乘电梯到达地下一层→在登记室进行登记→在接诊前厅候诊→由患者入口 1（设单向门禁）进入检查区→在注射窗口接受药物注射→做运动负荷后或者直接在 SPECT/CT 注射后候诊室 1 或 SPECT/CT 注射后候诊室 2 休息→按医嘱要求排尽小便→进行 SPECT/CT 扫描检查→在留观复苏室留观（如需）→由核医学科南侧患者出口 1 离开核医学科。

(2) 核素PET显像诊断流程

患者乘电梯到达地下一层→在登记室进行登记→在接诊前厅候诊→由患者入口 1（设单向门禁）进入检查区→在注射窗口接受药物注射→分别在 PET/CT 或 PET/MR 注射后候诊室休息→按医嘱要求排尽小便→分别进行 PET/CT 或 PET/MR 扫描检查→检查完毕，在留观复苏室留观片刻（如需）→由核医学科西南侧患者出口 1 离开核医学科。

(3) I-131 治疗流程

患者乘电梯到达地下一层→在登记室进行登记并接受宣教→在接诊前厅候诊→由患者入口 2（设单向门禁）进入检查区→在发药窗口接受给药→由核医学科西南侧患者出口 2 离开核医学科。

(4) Lu-177 留观治疗流程

患者按照预约时间（一般早上 9:00 左右）乘电梯到达地下一层→在登记室进行登记并接受宣教→从核医学科患者入口 2（设单向门禁）进入，根据医护人员的安排进入对应的留观病房→注入 Lu-177→Lu-177 患者在病房内留观 6h 左右后，满足临床需要且经监测合格（1m 处剂量率水平不大于 25 μ Sv/h）→由核医学科西南侧患者出口 2 离开核医学科。

（5）甲状腺摄碘功能测定流程

患者乘电梯到达地下一层→在登记室进行登记并接受宣教→在接诊前厅候诊→进入甲功室→在甲功室接受给药→甲功室测量→离开核医学科。

（6）核医学科人员工作路径

➤ 高活室工作人员：

工作人员通过东侧医护入口进入卫生通过间→在卫生通过间更换工作服和鞋→进入高活室→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、质检和注射操作或进入病房给予病人注射 Lu-177 药物→工作结束后更换衣服和鞋离开。

可见，医护人员从通过间进入高活室，进行药物注射等操作，可有效防止场所交叉污染，并和给药后受检人员流动不交叉，避免了不必要照射。

➤ 设备扫描操作人员：

在医生休息室更换工作服→通过医护走廊进入 SPECT/PET 控制室→进入 SPECT /PET 机房进行患者摆位→返回控制室操作设备→工作结束后通过医护走廊离开核医学场所。

（7）放射性药品转移流转路径

有资质的供货公司通过核医学科患者专梯由地面一层达到地下一层，由核医学科患者出口 1、门诊显像患者走廊送至高活室门口，在高活室内摄像头下进行“点对点”交接，核对放射性药物规格和数量，办理签收手续，然后将放射性药品暂存高活室备用，核医学科场所高活室内将安装监控装置，以满足生态环境和公安部门关于放射性物品存放的要求。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。

可见，放射性药物从核医学科西南侧进入控制区，然后送入高活室，可避免送药环节对普通场所潜在放射性污染，避免对其它受检人员的不必要照射。

(8) 放射性废物转移路径

注射窗及给药窗旁设置铅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。废物间配备 4 个 5mm 铅当量的铅废物桶，轮流暂存 A 类和 B 类放射性废物，固废衰变间设置 2 个 5mm 铅当量的废物桶，轮流暂存留观病房产生的 B 类放射性废物，待 A 类放射性固废放置至少一个月、B 类放射性固废放置至少 10 个半衰期后（其中含 I-131 核素废物至少暂存 180 天，含 Lu-177 废物暂存 68 天），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。

(9) 放射性废水暂存和排放

核医学科设置 1 套槽式衰变池，其中高活室内洗手池废水，清洁间废水，显像患者专用卫生间的冲厕废水以及应急产生的废水等，通过专用管道一并进入门诊显像区污泵间；留观病房内洗手池废水、给药后患者专用卫生间的冲厕废水以及清洁间废水等，通过专用管道一并进入门诊治疗区污泵间（污泵间均内置自动搅匀潜水排污泵），然后靠潜污泵提升，废水通过专用管道一并进入临床诊疗中心南侧设置的放射性废水衰变池，废水暂存 68d 后，经检测达标后排至医院污水处理站处理，最后排至市政污水处理厂。

(10) 放射性废气收集与排放

药物分装和质检在手套箱内进行，这些需要分装的药物中，均为液体且物理性质稳定，在正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少。在出现放射性物质泼洒的异常情况时，废气经活性炭过滤并经排风系统排放至楼顶处，经大气扩散后浓度会更低，对周围公众的剂量贡献很小。医院委托设备厂家定期检查维护手套箱和集气罩的吸附过滤装置，确保过滤效率满足设计要求。

核医学科设置 3 套通风系统，废气经管道组织，由核医学科北侧通风井至临床诊疗中心楼顶，并经活性炭过滤后排放。具体如下：1）高活室手套箱；2）高活室、运动负荷/抢救室、废物间、储源室、甲功室、2 间 SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室、留观复苏、3 间留观病房、被服回收、患者走廊等共

用 1 套；3) 患者卫生间、污泵间、固废衰变间、垃圾暂存、清洁间等控制区域所共用 1 套通风系统。上述 3 套通风系统的排气口设在临床诊疗中心楼顶。

(11) 出入口控制

1) 受检人员出入口控制：在核医学科显像区及门诊诊疗区患者出入口处各安装 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：

在医务人员出入口设有医护人员专用门禁，防止患者和其他无关人员误入高活室和控制室区域。

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。

综上，由图 10-2 可见患者动线为单向路线。患者经单向门禁进入控制区，显像或门诊治疗结束后经单向门禁由专用电梯离开，可见给药前后的患者路线不交叉，给药后患者与工作人员不交叉；外购放射性药物通过专用电梯在非诊疗时间运至核医学科高活室，药物路线与人员路线不交叉；放射性固体废物在非诊疗时间转移至废物间或固废衰变间暂存，由于时间上错开，固废路线与其他人员路线不交叉。

10.3 核医学科辐射安全防护设施

10.3.1 辐射屏蔽设计

核医学科根据辐射防护要求，设计了含混凝土砖、铅防护门、铅玻璃，专用手套箱，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，临床诊疗中心地下一层核医学科层高 6 米，地下二层层高 4.8 米，地上一层层高 5.1 米。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	SPECT/CT 1 室 (有效尺寸:	东墙	240mm 混凝土砖+1mmPb 板	控制室

2	5.32m×5.74m)	南墙	240mm 混凝土砖+1mmPb板	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖 (1200mm 厚钢筋混凝土柱)+1mmPb板	PET/MR 注射后候诊室
		北墙	240mm 混凝土砖+1mmPb板	医护走廊
		患者门 (南侧)	3mmPb	患者走廊
		控制室门 (东侧)	3mmPb	控制室
		观察窗	3mmPb 当量铅玻璃	控制室
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	示教、值班
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库、工作走廊、气瓶间
	SPECT/CT 2 室 (有效尺寸: 5.77m×5.77m)	东墙	240mm 混凝土砖 (1200mm 厚钢筋混凝土柱) 1mmPb 板	SPECT/CT 注射后候诊 1
		南墙	240mm 混凝土砖+1mmPb板	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖+1mmPb板	控制室
		北墙	240mm 混凝土砖+1mmPb板	走廊
		患者门 (南侧)	3mmPb	患者走廊
		控制室门 (西侧)	3mmPb	控制室
		观察窗	3mmPb 当量铅玻璃	控制室
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	前室、等候区、药师办公室
		地板	300mm 钢筋混凝土	档案库、计算机房、工作走廊等
	PET/MR 室 (有效尺寸: 4.65m×7.25m)	东墙	240mm 混凝土砖 (1200mm 厚钢筋混凝土柱)	PET/MR 设备间
		南墙	240mm 混凝土砖	控制室
		西墙	240mm 混凝土砖	医护走廊
		北墙	240mm 混凝土砖	医护走廊
		患者门 (东侧)	8mmPb	患者走廊
		控制室门 (南侧)	8mmPb	控制室
		观察窗	8mmPb 当量铅玻璃	控制室

		顶棚	500mm（局部 550mm） 钢筋混凝土	医护卫、淋浴、更衣、医护走廊
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库、淋浴、工作走廊
4	PET/CT 室 （有效尺寸： 4.80m×9.77m）	东墙	240mm 混凝土砖 （900mm 厚钢筋混凝土柱）+1mmPb 板	患者走廊
		南墙	240mm 混凝土砖+1mmPb 板	配电间、核医学专梯
		西墙	240mm 混凝土砖+1mmPb 板	医护走廊
		北墙	240mm 混凝土砖+1mmPb 板	控制室
		患者门（东侧）	8mmPb	患者走廊
		控制室门（北侧）	8mmPb	控制室
		观察窗	8mmPb 当量铅玻璃	控制室
		顶棚	500mm（局部 550mm） 钢筋混凝土	患者卫、前室、气动泵房、VIP 室
		地板	300mm 钢筋混凝土	排风机房、储油间
5	SPECT/CT 注射后候诊 1	东墙	240mm 混凝土砖	运动负荷/抢救室、污泵间
		南墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖 （1200mm 厚钢筋混凝土柱）	PET/CT 注射后候诊
		北墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		防护门（北侧）	3mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	药库、VIP 治疗
		地板	300mm 钢筋混凝土	工作卫、淋浴
6	SPECT/CT 注射后候诊 2	东墙	240mm 混凝土砖 （1200mm 厚钢筋混凝土柱）	诊室、护士站
		南墙	240mm 混凝土砖	患者走廊、走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	SPECT/CT 2 室
		北墙	240mm 混凝土砖	走廊
		防护门（南侧）	3mmPb	患者走廊
		防护门（北侧，常闭）	3mmPb	走廊

7		顶棚	500mm 钢筋混凝土	等候区
		地板	300mm 钢筋混凝土	计算机房、后勤库、工作卫
	PET/MR 注射后候诊	东墙	240mm 混凝土砖	SPECT/CT 1 室
		南墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	设备间
		北墙	240mm 混凝土砖	医护走廊
		防护门	8mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	值班
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库、工作走廊
	PET/CT 注射后候诊	东墙	240mm 混凝土砖 (1200mm 厚钢筋混凝土柱)	SPECT/CT 注射后候诊 1
		南墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	留观复苏、垃圾暂存
		北墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		防护门	8mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	库房、办公、VIP 输液走廊
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库、配电间、工作走廊
	高活室	东墙	240mm 混凝土砖	甲功室、废物间、卫生通过
		南墙 (发药窗)	240mm 混凝土砖 (8mmPb)	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	运动负荷/抢救室、储源间
		北墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		防护门 (东)	6mmPb	卫生通过
		防护门 (南)	6mmPb	患者走廊
		注射窗 (西)	40mmPb 当量铅玻璃	患者走廊
		注射窗 (东)	20mmPb 当量铅玻璃	患者走廊
		通风橱	40mmPb	高活室
		手套箱	50mmPb/20mmPb	高活室

		顶棚	500mm 钢筋混凝土	库房、缓冲、治疗、洗涤间、抢救
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库
10	储源间	东墙	240mm 混凝土砖	高活室
		南墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	污泵间
		北墙	240mm 混凝土砖	运动负荷/抢救室
		防护门	防盗门	高活室
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	缓冲、配液
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库、工作走廊
11	废物间	东墙	240mm 混凝土砖	缓冲
		南墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	高活
		北墙	240mm 混凝土砖	卫生通过间
		防护门	6mmPb	高活室
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	抢救
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库
12	运动负荷/抢救室	东墙	240mm 混凝土砖 (1200mm 厚钢筋混凝土柱)	高活室
		南墙	240mm 混凝土砖	污泵间、储源间
		西墙	240mm 混凝土砖	SPECT/CT 注射后候诊 1
		北墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		防护门（东侧）	6mmPb	高活室
		防护门（北侧）	3mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	配液、缓冲
		地板	300mm 钢筋混凝土	工作走廊、淋浴
13	甲功室	东墙	240mm 混凝土砖	卫生通过间
		南墙	240mm 混凝土砖	高活室、卫生通过间
		西墙（传递窗）	240mm 混凝土砖	高活室

			(2mmPb)	
		北墙	240mm 混凝土砖	走廊
		防护门（北侧）	3mmPb	走廊
		防护门（南侧）	6mmPb	高活室
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	抢救、治疗
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库
14	留观复苏	东墙	240mm 混凝土砖 (1200mm 厚钢筋混凝土柱)	垃圾暂存、PET/CT 注射后候诊
		南墙	240mm 混凝土砖	被服回收、患者走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	240mm 混凝土砖	清洁间、患者走廊
		防护门	8mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm (局部 550mm) 钢筋混凝土	VIP 输液走廊、患者 卫、污物、清洁等
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库、工作走廊
15	固废衰变间	东墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		南墙	240mm 混凝土砖	污泵间
		西墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		北墙	240mm 混凝土砖	被服回收
		防护门	8mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	VIP 输液走廊、VIP 室
		地板	300mm 钢筋混凝土	工作走廊
16	留观病房 1	东墙	240mm 混凝土砖	留观病房 2、清洁间
		南墙	240mm 混凝土砖	医护走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	医护走廊
		北墙	240mm 混凝土砖	缓冲
		防护门	8mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土+4mm Pb 当量铅防护吊顶	EICU

		地板	300mm 钢筋混凝土	柴油发电机房
17	留观病房 2	东墙	240mm 混凝土砖	留观病房 3
		南墙	240mm 混凝土砖	医护走廊、更衣
		西墙	240mm 混凝土砖/900mm 厚钢筋混凝土柱	留观病房 1、清洁间
		北墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		防护门	8mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	EICU、库房、VIP 室
		地板	300mm 钢筋混凝土	工作走廊、发电机房控制室
18	留观病房 3	东墙	240mm 混凝土砖/900mm 厚钢筋混凝土柱	送风机房
		南墙	240mm 混凝土砖	更衣
		西墙	240mm 混凝土砖	留观病房 2
		北墙	240mm 混凝土砖	患者走廊
		防护门	8mmPb	患者走廊
		顶棚	500mm 钢筋混凝土	EICU、VIP 室
		地板	300mm 钢筋混凝土	后勤库、工作走廊

备注：混凝土砖密度不低于 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ ，钢筋混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅密度不低于 $11.4\text{g}/\text{cm}^3$ 。

表 10-2 核医学科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	√	场所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、显像室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志
3*		独立的通风设施	√	高活室设带屏蔽设计的手套箱，配有负压手套箱。场所也设有通风系统。
4*		治疗病房病人之间防护	√	留观病房为单人病房
5*		给药操作人员屏蔽	√	配备给药铅防护窗口

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、储源间暂存，设闭路监控。
9*	B 监测 设备	表面污染监测仪	√	2 台表面污染监测仪
10*		便携式辐射水平监测仪	√	1 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	√	设置 1 套槽式衰变池，衰变池体积均为 120m ³ （60m ³ ×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 器材	个人防护用品	√	铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套等
16*		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/。

10.3.2 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、工作人员出入口分别分别拟安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口、检查室、废物间门外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。核医学科患者出入口和核医学科内留观病房出入口设有门禁系统，只有科里相关工作人员有授权权限。2 间 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯联锁装置，机房防护门全部关闭，警示灯自动亮起。

（2）放射性表面污染控制措施：高活室、注射区、扫描室、储源间、废物间、候诊室及卫生间、留观病房和控制区走廊地面用无缝隙、防渗，且容易清洗和去污的材料覆盖（如地胶等），墙面 1.5m 高度张贴防渗的墙面（如铝塑面板或釉面砖）等，便于去污。手套箱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。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：核医学科拟配备 2 个具有防护功能的铅玻璃窗的注射窗（40mmPb/20mmPb 当量）和 1 个 5mmPb 的可移动铅屏蔽注射车（运动负荷室注射时使用），注射窗口间配备 1 个 6mmPb 屏风。从核医学科高活室运输至留观病房时，Lu-177 注射器储存在 10mmPb 注射器防护套中，可有效减少注射过程中工作人员受照剂量。至少配备 19 个铅废物桶（其中 1 个为 20mmPb，另外为 5mmPb）、1 个 25mmPb 铅屏蔽盒、1 个 42mmPb 储源铅罐、2 个钨合金注射防护套和 2 套 0.5mmPb 铅防护用品（每套包括铅衣、铅帽子、铅围脖等）、3 个自动注射泵铅屏蔽盒（3mmPb）。核医学科控制区边界、核素操作、受检人员候诊和扫描场所、留观病房外围墙体采用实体屏蔽措施，顶面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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 内照射的防护：高活室新配备具有防护功能的通风橱 1 个（40mmPb），2 个具有防护功能的手套箱（50mmPb、20mmPb），通风橱（手套箱）带有活性炭过滤器，通风橱正面配有铅玻璃、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，排风口引至临床诊疗中心楼顶。通风橱为负压设备，风量满足要求（风速大于 0.5m/s ），过滤效率大于 90%，且通风橱排风进主管道前设有止逆阀，可以防止气体逆流，风机位于楼顶。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。此外，在高活室、留观复苏室、显像机房、储源间、废物间、留观病房等其它场所均设置排风口，排风同样由专用排风管道引至建筑物顶部，经活性炭过滤后排放。

(5) 妥善收集固体放射性废物。注射窗旁设置 2 个废物桶（20mm 铅当量和 5mm 铅当量各 1 个），存放注射器、包装物、棉棒、一次性用品等放射性废物，给药窗口设置 1 个 5mm 铅当量废物桶用来收集门诊治疗给药产生的放

射性废物。每周一早晨转移至废物间并标注日期。核医学科废物间设置 4 个 5mm 铅的废物桶，2 个用来轮流贮存 A 类废物，2 个用来轮流贮存 B 类废物，甲功室、运动负荷/抢救室、留观复苏室各配 1 个 5mm 铅的废物桶，4 间注射后候诊室各配 1 个 5mm 铅的废物桶（共 4 个）。3 间留观病房各配 1 个 5mm 铅的废物桶（共 3 个），固废衰变间设置 2 个 5mm 铅的废物桶，用于门诊治疗留观期间产生的固体废物。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。

（6）放射性废水收集处置设施：核医学科设置 1 套槽式衰变池，其中高活室内洗手池，清洁间，显像患者专用卫生间以及应急产生的废水等，通过专用管道一并进入门诊显像区污泵间；留观病房内洗手池废水、给药后患者专用卫生间的冲厕废水以及清洁间废水等，通过专用管道一并进入门诊留观治疗区污泵间。污泵间均内置自动搅匀潜水排污泵，然后靠潜污泵提升，溢流的废水流入临床诊疗中心南侧设置的放射性废水衰变池。放射性废水重力排水管道设置在混凝土降板内，立管设置在污泵间内。衰变池拟采用槽式设计，容积不低于 140m^3 ($35\text{m}^3 \times 4$)。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）储源间将采取安保措施，安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等，落实放射源和放射性药品的三级安全防范措施，安装火灾报警器，配备灭火器材，以及必要的警示标志，活度高的放射源平常储存在铅桶内。

（8）在核医学科患者通道入口处、留观复苏室、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、留观复苏室、给药后候诊区等处安装对讲装置。淋浴水采用刷卡控制器进行控制，磁卡由核医学科主任和护士长保管，刷卡才能出水。

（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在高活室点对点接收同位素，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（如果需要过夜储存时转到储源室保险柜储存），注

射后的注射器立即放回屏蔽包装内，防止被盗和污染。

（10）全部辐射工作人员须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）核医学科拟配置 2 台表面污染监测仪和 1 台便携式巡测仪，用于表面污染和剂量率水平的检测。工作人员进入辐射控制区，穿工作服，涉及放射性的操作佩戴乳胶手套，工作结束后，离开控制区前进行体表和相关场所的表面污染监测。

（12）留观病房区域设置 1 台固定式剂量报警仪，在患者出口 2 墙上设置剂量率探头，在线监测患者的剂量水平。

（13）定期开展工作场所和环境辐射监测。每月自行对辐射工作场所卫生通过间、工作人员操作位、走廊等工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的区域进行常规的 X/γ 剂量率监测。每天工作结束后，对高活室台面、地面，手套箱台面，留观病房等区域进行表面污染监测，监测数据记录存档β表面污染监测。每年委托有能力的检测单位对辐射场所的剂量率水平和表面污染水平监测。

（14）注射后候诊室受检者座椅之间设铅屏风或者铅隔断，其中 SPECT/CT 注射后候诊室 1 患者间设 1 个 2mm 铅当量铅屏风（长×高尺寸约 1.0m×1.2m）、SPECT/CT 注射后候诊室 2 患者间设 6 个 2mm 铅当量铅屏风（长×高尺寸约 1.0m×1.0m），PET/MR 注射后候诊室患者之间配 1 个 6mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸约 1.2m×1.2m），PET/CT 注射后候诊室患者之间配 4 个 6mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸约 1.2m×1.2m），留观复苏室设 1 个 6mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸约 1.2m×1.2m），两个注射口间 1 个 6mm 铅当量的铅屏风（长×高尺寸约 1.2m×1.2m），减少受检者候诊和注射期间的相互照射。

（15）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。

（16）在核医学科地面设置受检者导流标志，依次为登记，注射，候检，检查，留观，出口等。

（17）外单位送药时间一般安排在上 7:00，科室病患较少的时间，可以

减少与送药人员的交汇。核医学科设立专门人员负责在高活室内摄像头下“点对点”接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

(18) F-18 每 15min~20min 注射 1 个患者，Tc-99m 按预约时间来一起注射，可通过对讲系统错开给药时间，可以避免同时给药对工作人员的互相辐射影响。门诊 I-131 治疗工作在早上 8:00 前完成，每周安排 2 天集中给药，Lu-177 留观治疗，与门诊 I-131 治疗时间不交叉。

10.3.3 本项目配备的监测仪器和防护用品

本项目核医学科拟配备的防护设施见表 10-3。

表 10-3 核医学科配备的防护设施表

名称	数量 (个)	规格	使用场所
通风橱	1	40mmPb	高活室
手套箱	2	50mmPb/20mmPb	高活室
注射器防护套	2	1 个 20mmPb 钨合金、1 个 10mmPb 钨合金	高活室
储源铅罐	1	42mmpb	高活室
铅屏蔽盒	1	25mmPb	高活室
储源保险柜	1	型号待定	储源室
铅废物桶	4	5mmPb	废物间
	2	5mmPb	固废暂存
	1	20mmPb	高活室
	2	5mmPb	
	4	5mmPb	4 间注射后候诊室各 1 个
	3	5mmPb	3 间留观病房各 1 个
	3	5mmPb	甲功室、运动负荷/抢救室、留观复苏室各 1 个
铅衣、铅围脖	2	0.5mmPb	SPECT 机房和高活室
移动铅屏风	4	6mmPb	PET/CT 注射后候诊
	1	6mmPb	PET/MR 注射后候诊
	1	2mmPb	SPECT/CT 注射后候诊 1

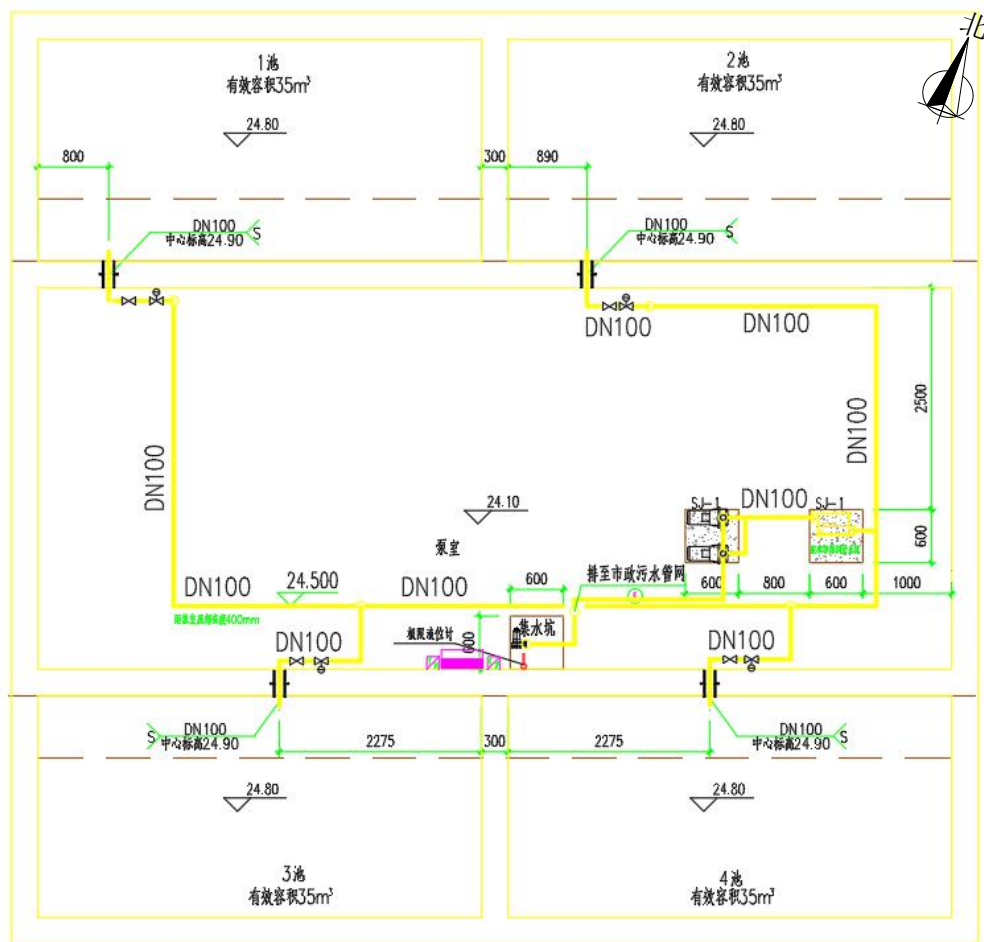


图 10-3 衰变池平面剖面图

(2) 衰变池控制和管理

- 设计液位指示装置，自动进、排水阀门。智能控制系统、人性化操作管理、通过 PLC 和触摸屏设定工作参数和状态提醒机制。
- 衰变池独立工作，为防止“液位控制装置失灵导致衰变池盛满后不能自动切换”情况发生，在衰变池之间设溢流孔。溢流孔设置在“液位上限”上方 20cm 处。如果衰变池液位控制系统故障，电动阀不能自动切换，废液可以自行溢流到另外一个衰变池内（后续轮流使用的衰变池），避免放射性废水倒灌至核医学科场所，发生放射性污染。
- 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”方式，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。照相同的操作方式。使排水依次进入 3 和 4 池。待第 4 池开始进水时，第 1 池已过 10 个半衰变期（且不低于 68 天），检测达标后开动潜水泵排放。待第 4 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、高活室产生的废水、清洁废水以及应急淋浴废水等。

这些放射性废水经独立的排水管道排入衰变池，衰变池的废水排出前，至少经 68 天衰变并检测合格后将经医院污水管网，排至市政污水处理厂，衰变池收集排放系统示意图见图 10-4，本项目放射性废水路由图见图 10-5。

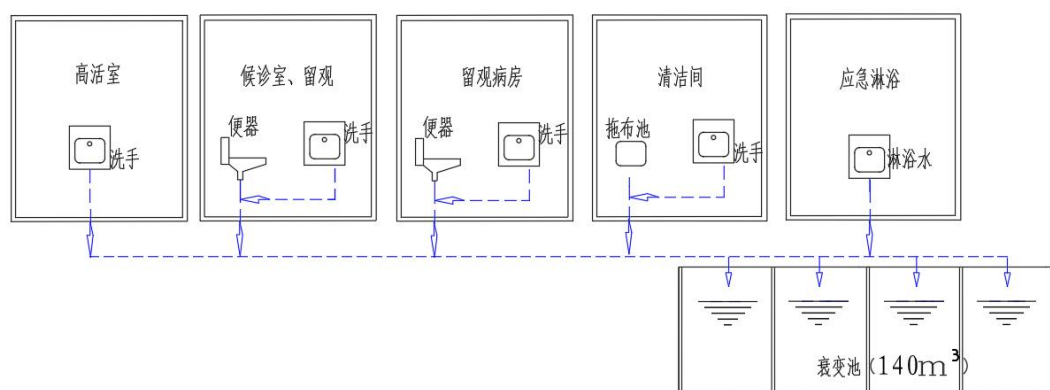


图 10-4 衰变池收集排放系统示意图

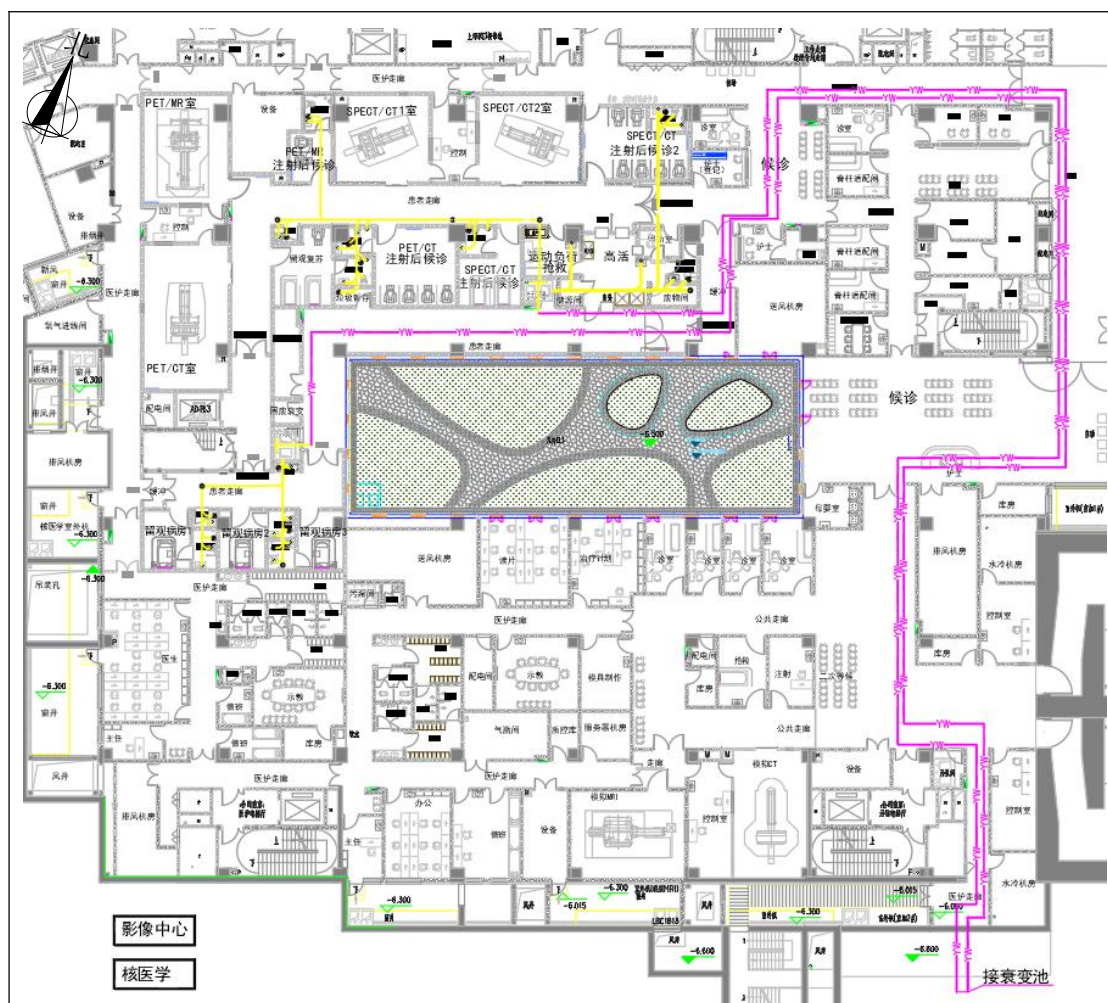


图 10-5 核医学科（地下一层）放射性废水排放图

10.5 核医学科排风系统

核医学科控制区拟配套建设 3 套放射性通风处理设施，其中高活室通风橱（手套箱）设有 1 套专用排风管道，控制区场所设有 2 套专用排风管道，排风管道由核医学科北侧通风井至楼顶，风口高于楼顶，排放口高度约 47.5m。位于楼顶南侧，为建筑物的最高处。放射性管道除了在排风口前安装活性炭过滤器，手套箱还自带有高效过滤设施。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 10-6，排风口楼顶位置图见图 10-7。

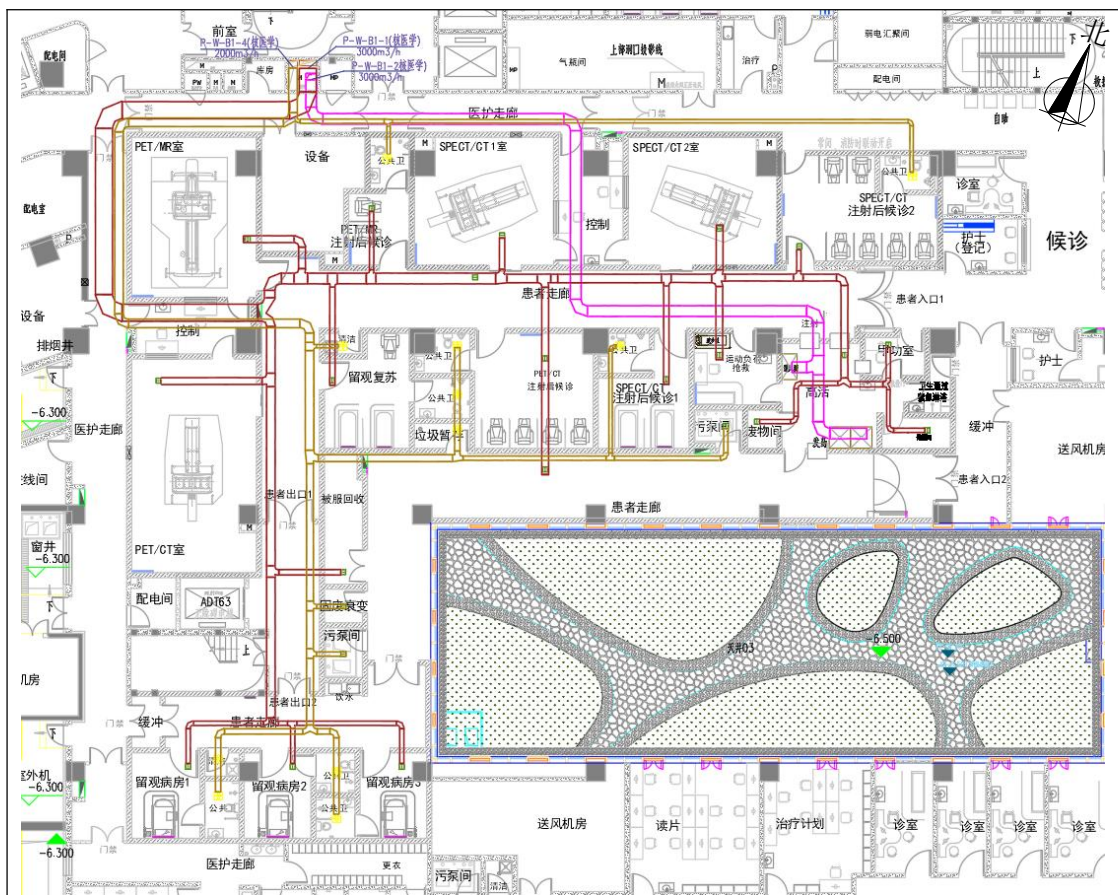


图 10-6 地下一层核医学科排风图

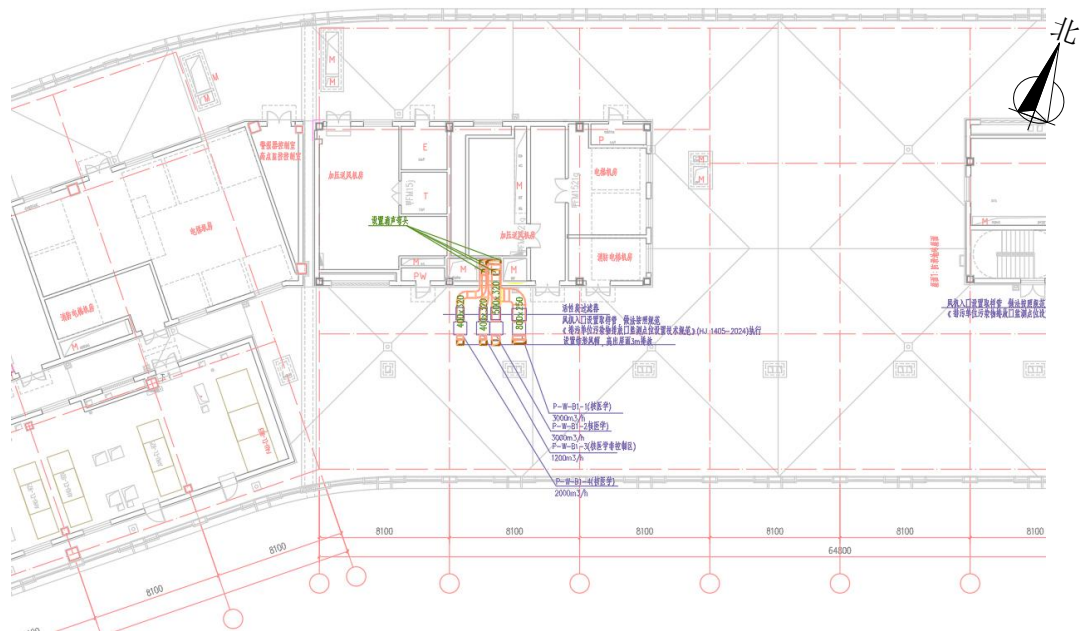


图 10-7 核医学科排风口楼顶位置图

10.6 “三废”的治理

核医学科产生放射性“三废”。放射性废气经通风系统的活性炭过滤后，

在临床诊疗中心楼顶部排放。放射性废水汇入放射性废水衰变池，暂存后解控处置。放射性固体废物分类贮存于废物间内，定期进行解控处置。

核医学科废旧校验源，送交北京市城市放射性废物库。

10.7 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，现对北京儿童医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

10.7.1 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 10-4 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-4 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。	成立了由院长为负责人的辐射安全与防护委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的，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，本项目为新建科室项目，启用后委员会增加增项部门负责人。	落实后符合
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。 北京儿童医院拟为本项目配置至少配备 22 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。	落实后符合
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。	储源间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。	落实后符合
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。	拟制定相应的操作规程，在核医学科场所控制区入口处，机房门口、留观病房门口等位置拟设置放射性警告标识和中文警示说明。显像机房拟安装有门-灯连锁安全装置及工作警示灯。患者入口和出口均设有门禁系统。拟安装监控对讲等安全防护设施。	落实后符合

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。	辐射工作人员配备个人剂量计，医院拟为本项目核医学科配备 1 台辐射剂量巡测仪、2 台表面污染监测仪、1 套固定式剂量报警仪，能够满足现在工作的需要。	落实后符合
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。	拟完善和制定规章制度、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、人员培训计划、监测方案等。	落实后符合
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。	高活室内配备手套箱，设置专用排风管道，排风引至本建筑物顶部排放。核医学科门控制区产生的废水（包括给药受检人员专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的废水）、清洁废水以及应急淋浴废水等，这些放射性废水经独立的排水管道排入衰变池，衰变池的废水排出前，至少经 68 天衰变并检测合格后将经医院污水管网，排至市政污水处理厂。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 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》作为医疗废物处理。	落实后符合
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。	落实后符合

10.7.2 《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 10-5 所示。

表 10-5 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 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	核医学科显像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。显像机房安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。储源室出	落实后符合

	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。	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。患者入口和出口均设有门禁系统等。	
2	第九条 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。	落实后符合
3	第十二条 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。	落实后符合
4	第十七条 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。 医院拟为本项目配置至少22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。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。	落实后符合
5	第二十三条 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）。	落实后符合
6	第二十四条 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。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

本次评价项目涉及屏蔽体的浇筑、建筑装饰、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘，本项目简要说明。

1、声环境影响分析

该项目施工期的噪声主要来源于机房屏蔽体浇筑、相关设施安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，且在地面下施工，对周围环境影响小。因此，合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业，对周围的影响不大。

2、大气环境影响分析

施工期，扬尘来自材料搬运、装卸等施工活动，由于扬尘源多且分散，属于无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。本项目施工量较少，施工范围较小，对环境影响较小，土建工程结束后即可恢复。

3、水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水管道和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理。

4、固体废物影响分析施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于公司内部垃圾收集箱内。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗撒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.2 核医学科运行（使用）后对环境影响

11.2.1 辐射环境影响预测

1 核医学科诊断和门诊治疗区的使用规划

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 核医学科诊断和门诊治疗区的使用规划

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	30	250	2.78E+12	PET 诊断（7500）
2	Ga-68	A	5	50	4.63E+10	PET 诊断（250）
3	Tc-99m	A	40	250	9.25E+12	SPECT 诊断（10000）
4	I-123	A	5	50	9.25E+10	SPECT 诊断（250）
5	I-131	B	10	100	3.33E+08	甲功检查（1000）
6	I-131 (甲亢)	B	5	100	1.85E+11	门诊治疗（500）
7	Lu-177	B	2	100	1.48E+12	门诊治疗（200）

根据使用规划，核医学科每天使用 SPECT 开展影像诊断最多 45 人次（含 I-123 的 5 人），每天使用 PET/CT 开展影像诊断最多 35 人次（含 Ga-68 的 5 人），甲功检查最多 10 人，每天开展核素门诊治疗最大 7 人次。

2 剂量估算源强

（1）骨扫描最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），心肌、甲状旁腺显像最大用量为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ （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，用量为 $1.85 \sim 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （5~10mCi）。保守按照最大注射 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物估算其辐射影响。注射 0.925GBq （25mCi） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物病人，其注射后 0、1、3h 后 1m 处的辐射剂量率分别为 $11.3 \mu\text{Sv/h}$ 、 $7.9 \mu\text{Sv/h}$ 、 $4.4 \mu\text{Sv/h}$ （引用 Handbook of Health Physics and Radiological Health.3rd）。核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 源的 $K\gamma$ 常数为 $0.0303 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，距 925MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 裸源 1m 处的剂量率为 $28.0 \mu\text{Sv/h}$ 。

（2）PET 扫描中 F-18 用量最大为 370MBq /人次，其中 Ga-68 核素基本每个检查日最多实施 PET 检查 5 人次，每周工作 1 天，候诊时间短且半衰期相对 F-18 更短，对环境的影响小于 F-18。本项目保守以 F-18 使用量 370MBq /人次

估算其辐射影响。根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的有效剂量当量剂量率常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，给患者注射 370MBq 的 F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 $33.9\mu\text{Sv/h}$ （考虑患者自吸收因子 0.36）；注射时裸源 1m 处剂量率 $52.9\mu\text{Sv/h}$ 。

（3）参照 GBZ120 标准，核素 I-131 的 K_{γ} 常数为 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，I-131 治疗针对甲亢患者，给药量最大为 370MBq（10mCi）/人次，服用 10mCi Na^{131}I 治疗甲亢的病人，1m 处的剂量率约为 $22\mu\text{Sv/h}$ 。

（4）F-18 需要在高活室再次分装，每次转运防护罐盛装最大量一般不超过 7.4GBq（200mCi），工作量饱和时一天最多 2 次供药，本项目保守假设每次最大分装量为 7.4GBq，操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 $1058\mu\text{Sv/h}$ ，储存在手套箱内有 42mmPb 的铅罐和 50mmPb 手套箱屏蔽（92mmPb 的衰减因子为 $2.87\text{E-}6$ ），屏蔽后剂量率为 $1.21\text{E-}2\mu\text{Sv/h}$ （0.5m）。考虑到抽取药液时，短时存在屏蔽盖打开的情况，分装操作在正面 50mmPb 当量的手套箱进行，手套箱外表面 30cm 处（人员操作位，约 0.8m）的周围剂量当量率约为 $1.61\mu\text{Sv/h}$ ，但铅罐储存时基本都是盖屏蔽，因此在储存状态对环境的影响可忽略。实际分装过程中每次最多只有 10mCi 在铅罐外（其他都储存在铅罐里），操作位也经过 50mmPb 手套箱屏蔽（衰减因子为 $9.73\text{E-}4$ ），屏蔽后剂量率为 $8.04\text{E-}2\mu\text{Sv/h}$ （0.8m），则放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率能保证小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（5）PET/CT 注射后候诊室最多 4 名受检者同时候诊，PET/MR 注射后候诊室最多 2 名受检者同时候诊，留观室最多 3 名受检者停留。考虑到候诊床或者座椅间隔布置，在计算周围附加剂量率时，考虑叠加影响。

（6）PET 使用密封校验源开展设备校验，拟使用的 3 枚 Ge-68 活度分别为 92.5MBq、55MBq 和 3.5MBq，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_{γ} 常数为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，距离质控源 1m 处的剂量率为 $20.3\mu\text{Sv/h}$ ，在储源室存储时有 2cm 铅屏蔽桶屏蔽，经过屏蔽后 1m 处剂量率约为 $1.27\mu\text{Sv/h}$ 。

（7）PET 注射窗口废物桶铅当量不低于 20mm 铅当量（相对 F-18 的衰减因子为 $6.24\text{E-}2$ ），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 $0.13\mu\text{Sv/h}$, 假设上午有 15 个患者, 考虑到时间的衰减, 剂量率约 $1.1\mu\text{Sv/h}$; 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 $0.5\mu\text{Sv/h}$, 能够满足距废物桶 30cm 处 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(8) 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。

(9) Lu-177 罐体直径按照 10cm 估算, 预计距 10mm 铅罐 1m 处的剂量率低于 $0.2\mu\text{Sv/h}$ 。可见, 放射性药物在包装容器内储存时, 对周围环境的影响是很轻微的。放射性药品 Lu-177 使用前, 直接从高活室转运到留观病房, 对周围环境影响也较小。

根据《Radionuclide Information Booklet》(Canadian Nuclear Safety Commission) 中数据, 距每 MBq Lu-177 药物 1m 处的有效剂量率常数为 $4.935\text{E-}06\text{mSv/h}$, 则距 7.4GBq Lu-177 药物 1m 处的剂量水平为 $36.5\mu\text{Sv/h}$ 。病人服用药物后, 相当于一个移动放射源, 在留观病房停留观察 6h, 对周围的环境有一定的影响。将 Lu-177 药物容器或服药病人近似作点状源。考虑屏蔽层的衰减和距离衰减, 可以估算出留观病房周围 (含楼上楼下) 的附加剂量率水平。

3 关注点的选取

参考 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。同时也增加楼上、楼下 30cm 处剂量水平。

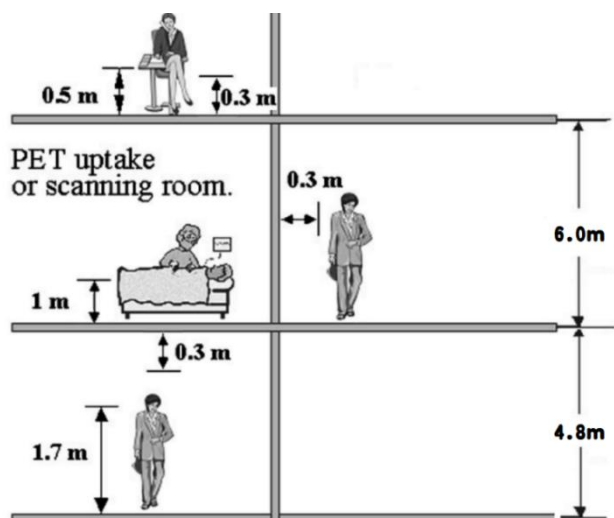


图11-1 核医学科周围关注点位置示意图

4. 估算方法

考虑到 SPECT/CT 扫描使用 Tc-99m 和 I-123 核素；PET 扫描使用 F-18、和 Ga-68，但 I-123 衰变 γ 射线能量与 Tc-99m 相当，用量低；Ga-68 比 F-18 用量低，故以 Tc-99m 和 F-18 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。

门诊治疗使用 Lu-177 和 I-131，但 I-131 用量低且患者给完药即离开，故以 Lu-177 为例，分析预测门诊治疗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、等候室、留观病房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。

(1) 辐射剂量率估算公式

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \times r^{-2} \times 10^{-\left(1 + \frac{d - TVL_1}{TVL_e}\right)} \quad (11-1)$$

式中， $\dot{H}$ 为关注点距离源 r 处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r 为源到关注点处之间的距离，m；

$\dot{H}_0$ 为距源 1m 处剂量率，按表 11-2 取值；

d —机房的屏蔽厚度，mm；

TVL_1 、 TVL_e — γ 射线第一什值层、第二什值层，mm，对于 Lu-177，铅中第一什值层 $TVL_1=2.5\text{mm}$ （第二什值层 $TVL_e=2.77\text{mm}$ ）；混凝土中第一什值层为 179.1mm（第二什值层为 101.1mm）（由 Radionuclide Information Booklet 得出）。对于 F-18，铅中 TVL 为 16.6mm，混凝土中 TVL 为 176mm；对于 Tc-99m，铅中 TVL 为 1mm，混凝土中 TVL 保守取 110mm；对于 I-131 来说，铅中 TVL 为 11mm，混凝土中 TVL 为 170mm，对于 F-18、Tc-99m、I-131， $TVL_1=TVL_e$ 。其中 F-18 的估算考虑衰减因子的影响。

(2) 年有效剂量估算公式

$$E = \dot{H} \times t \times T \quad (11-2)$$

式中， E —年有效剂量， μSv ；

$\dot{H}$ --计算点附加剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

T 为人员的居留因子;

t 为年曝光时间, h/a

11.2.2 核医学科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/CT 室、SPECT/CT 室 1、SPECT/CT 室 2、PET/MR 室、注射后等候室、留观复苏室、留观病房等场所周围 (含楼上楼下) 不同位置的最大附加剂量率。估算结果见表 11-3 所示, 估算点位示意图见图 11-2 所示。

表 11-3 核医学科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 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
SPECT/CT 1 室 (1 名 Tc-99m 患者, $7.9\mu\text{Sv/h}$ @1m)	东墙控制室 a1	4.7	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	4.05E-04	监督区
	南墙患者走廊 a2	3.1	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	9.32E-04	控制区
	西墙 PET/MR 注射后候诊室 a3	2.9	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	1.07E-03	控制区
	北墙医护走廊 a4	3.9	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	5.89E-04	监督区
	患者门 (南侧) a5	3.7	3mmPb	1.00E-03	5.77E-04	控制区
	控制室门 (东侧) a6	5.0	3mmPb	1.00E-03	3.16E-04	监督区
	观察窗外控制室 a7	4.6	3mmPb 当量铅 玻璃	1.00E-03	3.73E-04	监督区
	楼上 50cm 处示教、值班 a8	5.5	500mm 钢筋混凝土	2.85E-05	7.44E-06	公众
	楼下后勤库、工作走廊、气瓶间 (距地面 1.7m 处) a9	4.1	300mm 钢筋混凝土	1.87E-03	8.81E-04	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	2.85E-05	8.01E-06	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	1.87E-03	5.78E-03	/
SPECT/CT 2 室 (1 名 Tc-99m 患者, $7.9\mu\text{Sv/h}$ @1m)	东墙 SPECT/CT 注射后候诊室 1 b1	3.1	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	9.32E-04	控制区
	南墙患者走廊 b2	3.1	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	9.32E-04	控制区

PET/MR 室（1 名 F-18 患者， 23 μ Sv/h @1m）	西墙控制室 b3	4.9	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	3.73E-04	监督 区
	北墙走廊 b4	3.9	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	1.13E-03	5.89E-04	公众
	患者门（南侧） b5	3.9	3mmPb	1.00E-03	5.19E-04	控制 区
	控制室门（西 侧）b6	5.3	3mmPb	1.00E-03	2.81E-04	监督 区
	观察窗外控制室 b7	5.0	3mmPb 当量铅 玻璃	1.00E-03	3.16E-04	监督 区
	楼上 50cm 处前 室、等候区、药 师办公室 b8	5.5	500mm 钢筋混 凝土	2.85E-05	7.44E-06	公众
	楼下档案库、计 算机房、工作走 廊等（距地面 1.7m 处）b9	4.1	300mm 钢筋混 凝土	1.87E-03	8.81E-04	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混 凝土	2.85E-05	8.01E-06	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混 凝土	1.87E-03	5.78E-03	/
	东墙 PET/MR 设 备间 c1	3.5	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	1.14E-01	监督 区
	南墙控制室 c2	5.1	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	5.38E-02	监督 区
	西墙医护走廊 c3	3.3	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	1.28E-01	监督 区
	北墙医护走廊 c4	3.4	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	1.21E-01	监督 区
	患者门（东侧） c5	5.1	8mmPb	3.30E-01	2.92E-01	控制 区
	控制室门（南 侧）c6	5.5	8mmPb	3.30E-01	2.51E-01	监督 区
	观察窗外控制室 c7	5.0	8mmPb 当量铅 玻璃	3.30E-01	3.03E-01	监督 区
	楼上 50cm 处医 护卫、淋浴、更 衣、医护走廊 c8	5.5	500mm（局部 550mm）钢筋 混凝土	1.44E-03	1.10E-03	公众
	楼下后勤库、淋 浴、工作走廊 （距地面 1.7m 处）c9	4.1	300mm 钢筋混 凝土	1.97E-02	2.70E-02	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm（局部 550mm）钢筋 混凝土	1.44E-03	1.18E-03	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混 凝土	1.97E-02	1.77E-01	/
PET/CT 室（1	东墙患者走廊 d1	3.5	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	5.29E-02	9.94E-02	控制 区

名 F-18 患者， 23 μ Sv/h (@1m)	南墙配电间、核 医学专梯 d2	4.8	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	5.29E-02	5.29E-02	公众
	西墙医护走廊 d3	3.3	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	5.29E-02	1.12E-01	监督 区
	北墙控制室 d4	6.2	240mm 混凝土 砖+1mmPb 板	5.29E-02	3.17E-02	监督 区
	患者门（东侧） d5	5.4	8mmPb	3.30E-01	2.60E-01	控制 区
	控制室门（北 侧）d6	6.3	8mmPb	3.30E-01	1.91E-01	监督 区
	观察窗外控制室 d7	6.3	8mmPb 当量铅 玻璃	3.30E-01	1.91E-01	监督 区
	楼上 50cm 处患 者卫、前室、气 动泵房、VIP 室 d8	5.5	500mm（局部 550mm）钢筋 混凝土	1.44E-03	1.10E-03	公众
	楼下排风机房、 储油间（距地面 1.7m 处）d9	4.1	300mm 钢筋混 凝土	1.97E-02	2.70E-02	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm（局部 550mm）钢筋 混凝土	1.44E-03	1.18E-03	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混 凝土	1.97E-02	1.77E-01	/
SPECT/CT 注射 后候诊 1（2 名 注射 925MBqTc- 99m 患者， 22.6 μ Sv/h (@1m)	东墙运动负荷/抢 救室、污泵间 e1	2.7	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	3.52E-02	控制 区
	南墙患者走廊 e2	2.1	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	5.81E-02	控制 区
	西墙 PET/CT 注 射后候诊 e3	2.6	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	3.79E-02	控制 区
	北墙患者走廊 e4	4.3	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	1.39E-02	控制 区
	防护门 e5	4.4	3mmPb	1.00E-03	1.17E-03	控制 区
	楼上 50cm 处药 库、VIP 治疗 e6	5.5	500mm 钢筋混 凝土	2.85E-05	2.13E-05	公众
	楼下工作卫、淋 浴（距地面 1.7m 处）e7	4.1	300mm 钢筋混 凝土	1.87E-03	2.52E-03	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混 凝土	2.85E-05	2.29E-05	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混 凝土	1.87E-03	1.65E-02	/
SPECT/CT 注射 后候诊 2（6 名 注射 925MBqTc-	东墙诊室、护士 站 f1	3.5	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	6.28E-02	监督 区
	南墙走廊 f2	3.1	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	8.00E-02	公众

99m 患者， 67.8 μ Sv/h (@1m)	南墙患者走廊 f3	3.4	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	6.65E-02	控制 区
	西墙 SPECT/CT 2 室 f4	4.8	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	3.34E-02	控制 区
	北墙走廊 f5	3.1	240mm 混凝土 砖	1.13E-02	8.00E-02	公众
	防护门（南侧） f6	4.9	3mmPb	1.00E-03	2.82E-03	控制 区
	防护门（北侧， 常闭）f7	4.6	3mmPb	1.00E-03	3.20E-03	公众
	楼上 50cm 处等 候区 f8	5.5	500mm 钢筋混 凝土	2.85E-05	6.38E-05	公众
	楼下计算机房、 后勤库、工作卫 （距地面 1.7m 处）f9	4.1	300mm 钢筋混 凝土	1.87E-03	7.56E-03	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混 凝土	2.85E-05	6.87E-05	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混 凝土	1.87E-03	4.96E-02	/
PET/MR 注射后 候诊（1 名注射 370MBq F-18 患 者，33.9 μ Sv/h @1m，叠加估算 见表 11-3）	东墙 SPECT/CT 1 室 g1	2.3	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	3.90E-01	控制 区
	南墙患者走廊 g2	1.9	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	5.71E-01	控制 区
	西墙设备间 g3	1.6	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	8.05E-01	监督 区
	北墙医护走廊 g4	3.8	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	1.43E-01	监督 区
	防护门 g6	2.4	8mmPb（斜 射）	2.79E-01	1.64E+00	控制 区
	楼上 50cm 处值 班 g7	5.5	500mm 钢筋混 凝土	1.44E-03	1.62E-03	公众
	楼下后勤库、走 廊（距地面 1.7m 处）g8	4.1	300mm 钢筋混 凝土	1.97E-02	3.98E-02	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混 凝土	1.44E-03	1.74E-03	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混 凝土	1.97E-02	2.61E-01	/
PET/CT 注射后 候诊（1 名注射 370MBq F-18 患 者，33.9 μ Sv/h @1m，叠加估算 见表 11-3）	东墙 SPECT/CT 注射后候诊 1 h1	1.1	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	1.70E+00	控制 区
	南墙患者走廊 h2	1.5	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	9.16E-01	控制 区
	西墙留观复苏、 垃圾暂存 h3	1.5	240mm 混凝土 砖+6mmPb	2.65E-02	3.99E-01	控制 区
	北墙患者走廊 h4	5.0	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	8.25E-02	控制 区

	防护门 h5	4.9	8mmPb	3.30E-01	4.65E-01	控制区
	楼上 50cm 处库房、办公、VIP 输液走廊 h6	5.5	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	1.62E-03	公众
	楼下后勤库、配电间、工作走廊（距地面 1.7m 处）h7	4.1	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	3.98E-02	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	1.74E-03	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	2.61E-01	/
高活室（注射 370MBq F-18 或 925MBq Tc-99m，口服 370MBqI-131，患者入口 1 以 F-18 和 Tc-99m 估算，患者入口 2 以 I-131 估算，其余点位均为 F-18 估算）	患者入口 1z1（F-18、Tc-99m）	2.2	6mmPb	1.00E-06	5.79E-06	公众
		3.3	12mmPb	1.89E-01	9.19E-01	
	患者入口 2z2（I-131）	5.8	6mmPb	2.85E-01	1.86E-01	监督区
	东墙卫生通间 j1（F-18）	5.6	240mm 混凝土砖+6mmPb	2.65E-02	4.46E-02	监督区
	楼上 50cm 处库房、缓冲、治疗、洗涤间、抢救 j2	5.5	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	2.52E-03	公众
	楼下后勤库（距地面 1.7m 处）j3	4.1	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	6.21E-02	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	2.72E-03	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	4.08E-01	/
储源间（3 枚 Ge 刻度源，1m 剂量率 1.27μSv/h）	东墙高活室 k1	1.2	240mm 混凝土砖	6.08E-02	5.36E-02	控制区
	南墙患者走廊 k2	1.2	240mm 混凝土砖	6.08E-02	5.36E-02	控制区
	西墙污泵间 k3	1.2	240mm 混凝土砖	6.08E-02	5.36E-02	控制区
	北墙运动负荷/抢救室 k4	1.6	240mm 混凝土砖	6.08E-02	3.02E-02	控制区
	防护门 k5	1.4	/	1.00E+00	6.48E-01	控制区
	楼上 50cm 处缓冲、配液 k6	5.5	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	6.06E-05	公众
	楼下后勤库、工作走廊（距地面 1.7m 处）k7	4.1	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	1.49E-03	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	6.52E-05	/

	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	9.80E-03	/
运动负荷室（1 名 925MBq Tc-99m 患者，11.3μSv/h@1m）	东墙高活室 11	2.9	240mm 混凝土砖	1.13E-02	1.52E-02	控制区
	南墙污泵间、储源间 12	2.2	240mm 混凝土砖	1.13E-02	2.65E-02	控制区
	西墙 SPECT/CT 注射后候诊 1 13	2.0	240mm 混凝土砖	1.13E-02	3.20E-02	控制区
	北侧患者走廊 14	2.2	240mm 混凝土砖	1.13E-02	2.65E-02	控制区
	防护门（北侧）15	2.3	3mmPb	1.00E-03	2.14E-03	控制区
	楼上 50cm 处配液、缓冲 16	5.5	500mm 钢筋混凝土	2.85E-05	1.06E-05	公众
	楼下工作走廊、淋浴（距地面 1.7m 处）17	4.1	300mm 钢筋混凝土	1.87E-03	1.26E-03	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	2.85E-05	1.15E-05	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	1.87E-03	8.27E-03	/
留观复苏室（2 名 F-18 和 1 名 Tc-99m 患者，40.8μSv/h @1m）	东墙垃圾暂存、PET/CT 注射后候诊 m1	1.7	240mm 混凝土砖	6.08E-02	8.59E-01	控制区
	南墙被服回收、患者走廊 m2	1.6	240mm 混凝土砖	6.08E-02	9.69E-01	控制区
	西墙患者走廊 m3	1.6	240mm 混凝土砖	6.08E-02	9.69E-01	控制区
	北侧清洁间、患者走廊 m4	3.5	240mm 混凝土砖	6.08E-02	2.03E-01	控制区
	防护门 m5	2.9	8mmPb	3.30E-01	1.60E+00	控制区
	楼上 50cm 处 VIP 输液走廊、患者卫、污物、清洁等 m6	5.5	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	1.95E-03	公众
	楼下后勤库、工作走廊（距地面 1.7m 处）m7	4.1	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	4.79E-02	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	2.10E-03	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	3.15E-01	/
留观病房 1（1 名 7.4GBq Lu-177 患者，36.5μSv/h @1m）	东墙留观病房 2、清洁间 2 n1	4.1	240mm 混凝土砖	4.52E-02	9.81E-02	控制区
	南墙医护走廊 n2	1.7	240mm 混凝土砖	4.52E-02	5.70E-01	工作人员

		西墙医护走廊 n3	2.0	240mm 混凝土砖	4.52E-02	4.12E-01	工作人员
		北墙缓冲 n4	3.3	240mm 混凝土砖	4.52E-02	1.51E-01	监督区
		防护门 n5	3.4	8mmPb	1.03E-03	1.35E-05	控制区
		楼上 50cm 处 EICUn6	5.5	500mm 钢筋混凝土	6.70E-05	8.08E-05	公众
		楼下柴油发电机房（距地面 1.7m 处） n7	4.1	300mm 钢筋混凝土	6.37E-03	1.38E-02	公众
		楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	5.35E-05	6.95E-05	/
		楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	6.37E-03	9.08E-02	/
	留观病房 2（1 名 7.4GBq Lu-177 患者，36.5 μ Sv/h @1m）	东墙留观病房 3 p1	2.0	240mm 混凝土砖	4.52E-02	4.12E-01	控制区
		南墙医护走廊、更衣 p2	1.7	240mm 混凝土砖	4.52E-02	5.70E-01	工作人员
		西墙留观病房 1、清洁间 p3	2.1	240mm 混凝土砖	4.52E-02	3.74E-01	控制区
		北墙患者走廊 p4	3.2	240mm 混凝土砖	4.52E-02	1.43E-01	控制区
		防护门 p5	3.4	8mmPb	1.03E-03	3.68E-03	控制区
		楼上 50cm 处 EICU、库房、VIP 室 p6	5.5	500mm 钢筋混凝土	6.70E-05	8.08E-05	公众
		楼下工作走廊、发电机房控制室（距地面 1.7m 处） p6	4.1	300mm 钢筋混凝土	6.37E-03	1.38E-02	公众
		楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋混凝土	6.70E-05	8.70E-05	/
		楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋混凝土	6.37E-03	9.08E-02	/
	留观病房 3（1 名 7.4GBq Lu-177 患者，36.5 μ Sv/h @1m）	东墙送风机房 q1	2.0	240mm 混凝土砖	4.52E-02	4.12E-01	公众
		南墙更衣 q2	1.7	240mm 混凝土砖	4.52E-02	5.70E-01	工作人员
		西墙留观病房 2q3	4.3	240mm 混凝土砖	4.52E-02	8.92E-02	控制区
		北墙患者走廊 q4	3.3	240mm 混凝土砖	4.52E-02	1.51E-01	控制区
		防护门 q5	3.4	8mmPb	1.03E-03	3.26E-03	控制区

	楼上 50cm 处 EICU、VIP 室 q6	5.5	500mm 钢筋 混凝土	6.70E-05	8.08E-05	公众
	楼下后勤库、 工作走廊（距 地面 1.7m 处）q7	4.1	300mm 钢筋 混凝土	6.37E-03	1.38E-02	公众
	楼上 30cm 处	5.3	500mm 钢筋 混凝土	6.70E-05	8.70E-05	/
	楼下 30cm 处	1.6	300mm 钢筋 混凝土	6.37E-03	9.08E-02	/

注：钢筋混凝土密度不低于 2.35g/cm³，混凝土砖密度不低于 2.1g/cm³，铅板的密度为 11.4g/cm³。240mm 混凝土砖折合 214mm 钢筋混凝土。上表估算的剂量率为初始的活度的剂量，距离为外表面外 30cm 处。

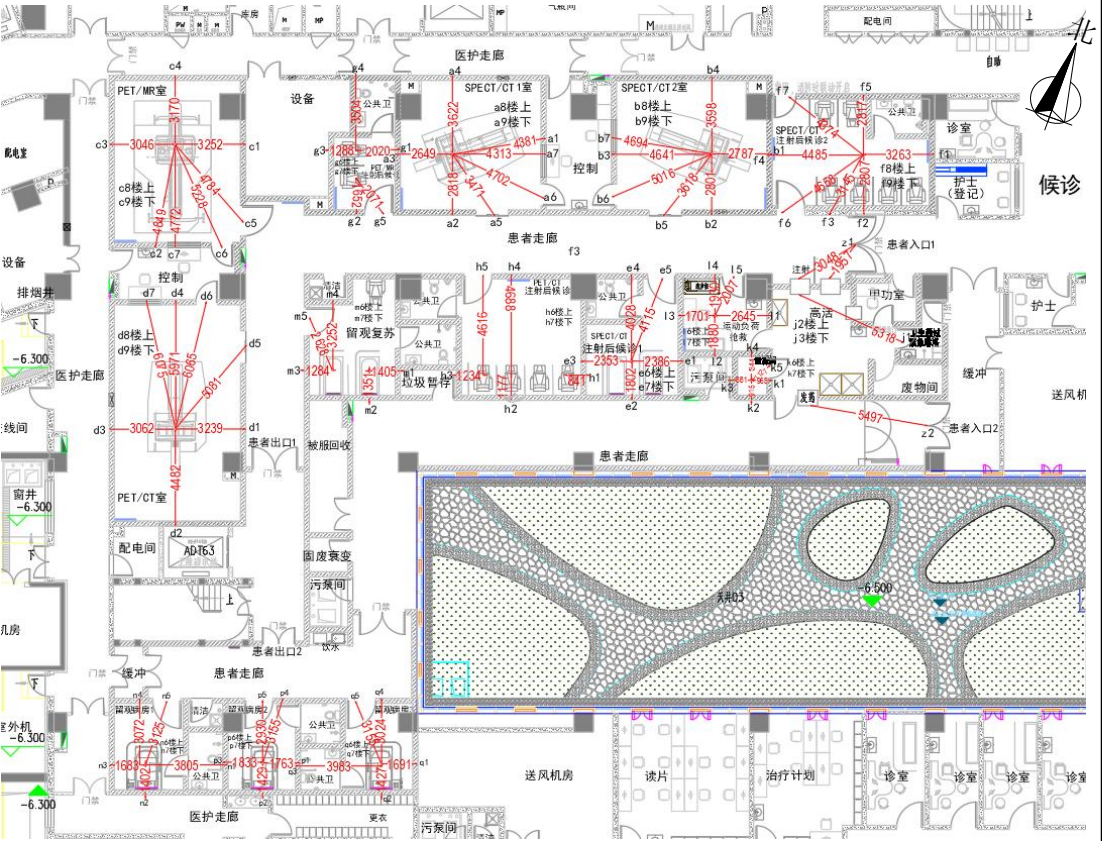


图 11-2 估算点位示意图

(2) 周围不同位置的附加剂量叠加情况

上表中 PET/MR 及 PET/CT 注射后候诊室已按 1 名患者进行估算，由于 F-18 能量较高，如果叠加只以某个固定点位直接进行 4 名或 2 名患者叠加情况估算是偏保守的，所以 F-18 的叠加影响进行单独估算。PET/CT 注射后候诊室同时存在 4 名注射后患者、PET/MR 注射后候诊室同时存在 2 名注射后患者情况

下的进行最大附加剂量率见表 11-4，PET/CT 注射后候诊室及 PET/MR 注射后候诊室相关位置估算点位置见图 11-3。

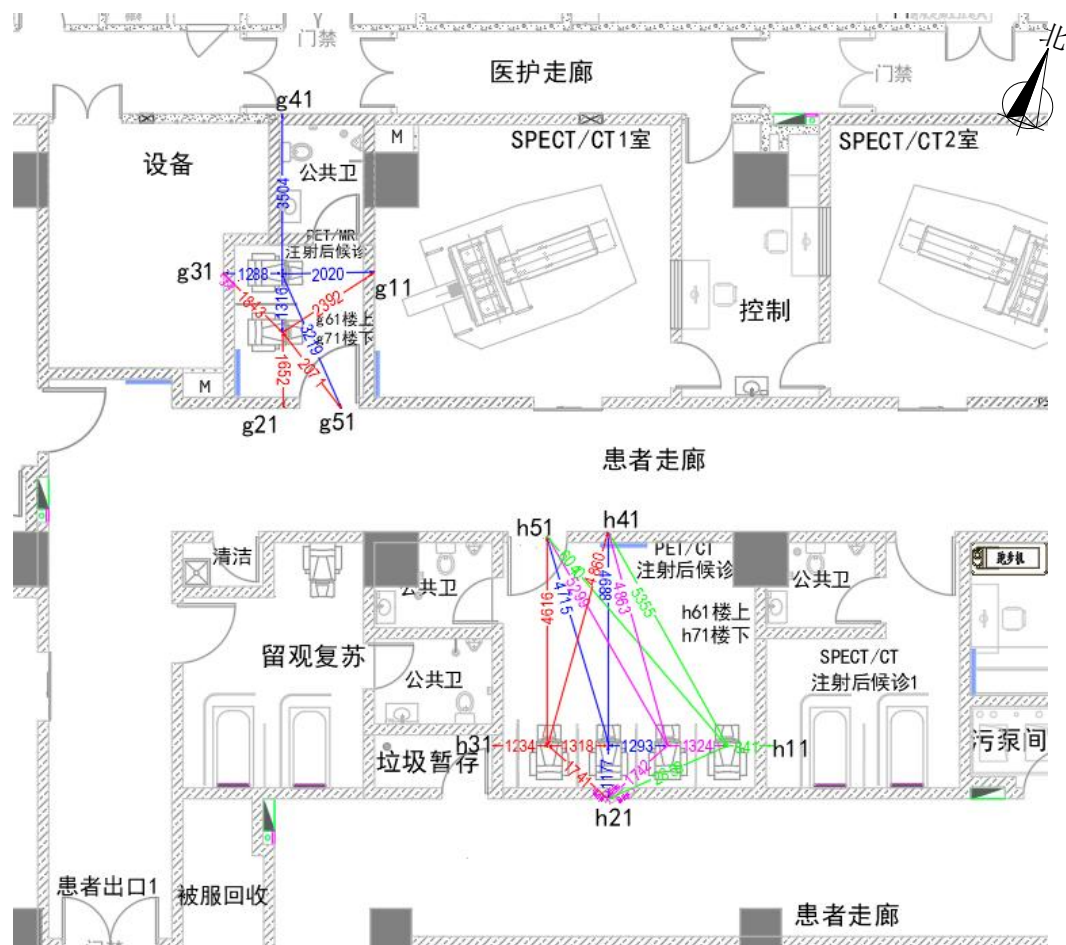


图 11-4 PET/CT 及 PET/MR 注射后候诊室估算点位置图（考虑叠加影响）

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 ($\mu\text{Sv/h}$)	累加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET/MR 注射后候诊 (2 名注射 370MBq F-18 患者, 33.9*2 $\mu\text{Sv/h}$ @1m)	东墙 SPECT/CT 1 室 g11	2.7	240mm 混凝土砖	6.08E-02	2.83E-01	6.73E-01
		2.3	240mm 混凝土砖	6.08E-02	3.90E-01	
	南墙患者走廊 g21	1.9	240mm 混凝土砖	6.08E-02	5.71E-01	6.59E-01
		3.2	240mm 混凝土砖+6mmPb	2.65E-02	8.76E-02	
	西墙设备间 g31	2.1	354mm 混凝土砖	1.60E-02	1.23E-01	9.29E-01
		1.6	240mm 混凝土砖	6.08E-02	8.05E-01	

	北墙医护通道 g41	5.1	240mm 混凝土砖+6mmPb	2.65E-02	3.45E-02	1.77E-01
		3.8	240mm 混凝土砖	6.08E-02	1.43E-01	
	防护门 g51	2.4	11.3mmPb	2.09E-01	1.23E+00	1.56E+00
		3.5	9.2mmPb+6mmPb	1.21E-01	3.36E-01	
	楼上 50cm 处值班 g61	5.5	500mm 钢筋混凝土	1.44E-03	3.23E-03	3.23E-03
	楼下后勤库、工作走廊（距地面 1.7m 处） g71	4.1	300mm 钢筋混凝土	1.97E-02	7.96E-02	7.96E-02
	东墙 SPECT/CT 注射后候诊 2 h11	1.1	240mm 混凝土砖	6.08E-02	1.70E+00	1.89E+00
		2.4	240mm 混凝土砖+6mmPb	2.65E-02	1.56E-01	
		3.7	240mm 混凝土砖+12mmPb	1.15E-02	2.85E-02	
		5.0	240mm 混凝土砖+18mmPb	2.18E-03	2.96E-03	
	南墙患者走廊 h21	3.1	589mm 混凝土砖+12mmPb	1.94E-04	6.85E-04	1.01E+00
		2.0	385mm 混凝土砖+6mmPb	4.83E-03	4.09E-02	
		1.5	240mm 混凝土砖	6.08E-02	9.16E-01	
		2.0	363mm 混凝土砖+6mmPb	6.28E-03	5.32E-02	
	西墙留观复苏、垃圾暂存 h31	5.4	240mm 混凝土砖+24mmPb	2.18E-03	2.53E-03	4.61E-01
		4.1	240mm 混凝土砖+18mmPb	5.01E-03	1.01E-02	
		2.8	240mm 混凝土砖+12mmPb	1.15E-02	4.98E-02	
		1.5	240mm 混凝土砖+6mmPb	2.65E-02	3.99E-01	
	北墙患者走廊 h41	5.6	240mm 混凝土砖	6.08E-02	6.58E-02	3.07E-01
		5.1	240mm 混凝土砖	6.08E-02	7.93E-02	

		5.0	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	8.25E-02	
		5.1	240mm 混凝土 砖	6.08E-02	7.93E-02	
	防护门 h51	6.3	8mmPb	3.30E-01	2.82E-01	7.47E-01
		5.6	8mmPb	3.30E-01	3.56E-01	
		5.0	8mmPb	3.30E-01	4.47E-01	
		4.9	8mmPb	3.30E-01	4.65E-01	
	楼上 50cm 处库房、办 公、VIP 输 液走廊 h61	5.5	500mm 钢筋混 凝土	1.44E-03	6.47E-03	6.47E-03
	楼下后勤 库、配电 间、工作走 廊（距地面 1.7m 处） h7	4.1	300mm 钢筋混 凝土	1.97E-02	1.59E-01	1.59E-01

备注：这里未考虑注射后患者时间先后衰减的影响，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（33.9 μ Sv/h@1m）。

由表 11-3 和表 11-4 可见，本项目运行后，核医学科控制区边界外（四周）的附加剂量率水平最大为 9.29E-01 μ Sv/h（PET/MR 注射后候诊西墙设备间），楼上、楼下的附加剂量率分别不大于 6.47E-03 μ Sv/h（PET/CT 注射后候诊楼上）、4.08E-01 μ Sv/h（高活室楼下），留观病房周围的附加剂量率低于 5.70E-01 μ Sv/h。PET/CT 机房周围的附加剂量率低于 2.60E-01 μ Sv/h（患者防护门外），PET/MR 机房周围的附加剂量率低于 2.92E-01 μ Sv/h（患者防护门外），SPECT/CT 机房周围的附加剂量率低于 5.78E-03 μ Sv/h（楼下），均满足 2.5 μ Sv/h 的剂量率控制要求。

（3）PET/CT、SPECT/CT 中 CT 的剂量叠加分析

本项目 SPECT/CT、PET/CT 机房墙体、观察窗和防护门等六面采取的辐射屏蔽措施均不低于 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 30m² 和 4.5m 的要求。

参照普通 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 0.052 μ Gy/mAs（垂直）和 0.051 μ Gy/mAs（水平），CT 扫描通常不超过 300mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h，故以此为例评价 CT 运行时叠加辐射影

响。

根据本项目 SPECT/CT 和 PET/CT 机房的屏蔽设计，机房周围铅当量不小于 3mmPb，透射系数小于 $1.28\text{E-}4$ ，按照关注点的最近距离不低于 2.9m 估算，CT 运行所致周围的附加剂量率不大于 $0.85\mu\text{Sv/h}$ （SPECT/CT1 室操作位不大 $0.34\mu\text{Sv/h}$ 、SPECT/CT2 室操作位不大 $0.29\mu\text{Sv/h}$ 、PET/CT 操作位不大于 $6.10\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$ ）。

患者检查时机房周围最大附加剂量率为 $2.60\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，即使叠加上 CT 运行所致剂量率 $0.85\mu\text{Sv/h}$ ，也满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，且 SPECT/CT、PET/CT 中 CT 运行时工作条件低于放射科诊断 CT，可以预计，SPECT/CT 和 PET/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，主要是要关注施工过程中防护材料的搭接问题（如门体与门框、铅玻璃与墙面的搭接等），如果能保证施工工艺的情况下，可以忽略 SPECT/CT、PET/CT 中 CT 的影响。

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 10250 人次，扫描时间平均约为 20min/人次，每间机房内患者停留时间约为 1708.4h，候诊室内人员的停留时间保守取 2000h（SPECT 注射后候诊室 1 周围剂量率水平按 6 人累加估算，SPECT 注射后候诊室 2 周围剂量率水平按 2 人累加估算）。

（2）按照 10% 的 SPECT 检查患者做运动负荷试验，每人次约 15min 左右，运动负荷室患者的停留时间为 256.3h；

（3）以每年最多开展 7750 人次 PET 检查，其中每年开展 5167 人次 PET/CT 检查，2583 人次的 PET/MR 进行估算，每次 PET/CT 平均扫描时间为 20min 计，PET/MR 扫描时间为 40min，则每间 PET 机房显像时间为 1722h，候诊室内人员的停留时间保守取 2000h（候诊时周围剂量率水平都按 2 人或 4 人累加估算）。

（4）显像患者每人留观 10min，SPECT 显像患者在留观室内的年留观时间约为 1708h。PET 显像患者在留观室内的年留观时间约为 1292h，保守以

SPECT 显像患者留观时间估算。

(5) SPECT 患者采用直接静脉注射的方式注射，注射时间按 60s/人计。PET 扫描患者采用预置针方式注射，每人每次的药物注射时间为 30s/人。I-131 口服按 30s 人计。注射室全年注射 SPECT 药物总时间为 170.8h，注射 PET 药物总时间为 64.6h。甲亢治疗口服 I-131 按 30s 人计，则甲亢治疗总口服时间为 4.17h。则注射室总给药时间为 239.6h。

(6) 门诊留观病房按照全年 Lu-177 治疗 200 人（100 天），全年病房患者留观总时间为 1200h。

表 11-5 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，对公众的辐射照射剂量最大不超过 $3.09\text{E}+1\mu\text{Sv/a}$ ，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 11-5 核医学诊疗相关场所主要位置的年附加剂量估算

位置（估算点位见图 11-2）		附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	全居留时 间 (h/a)	年附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)	备注
SPECT/CT 1 室（1 名 Tc-99m 患 者）	楼上 50cm 处示 教、值班 a8	7.44E-06	1/16	1708.4	7.94E-04	公众
	楼下后勤库、工 作走廊、气瓶间 （距地面 1.7m 处）a9	8.81E-04	1/16	1708.4	9.40E-02	公众
SPECT/CT 2 室（1 名 Tc-99m 患 者）	北墙走廊 b4	5.89E-04	1/16	1708.4	6.29E-02	公众
	楼上 50cm 处前 室、等候区、药 师办公室 b8	7.44E-06	1	1708.4	1.27E-02	公众
	楼下档案库、计 算机房、工作走 廊等（距地面 1.7m 处）b9	8.81E-04	1/16	1708.4	9.40E-02	公众
PET/MR 室（1 名 F-18 患 者）	楼上 50cm 处医 护卫、淋浴、更 衣、医护走廊 c8	1.10E-03	1/16	1722	1.18E-01	公众
	楼下后勤库、淋 浴、工作走廊 （距地面 1.7m 处）c9	2.70E-02	1/16	1722	2.91E+00	公众
PET/CT 室 （1 名 F-	南墙配电间、核 医学专梯 d2	5.29E-02	1/16	1722	5.69E+00	公众

18 患者)	楼上 50cm 处患者卫、前室、气动泵房、VIP 室 d8	1.10E-03	1	1722	1.89E+00	公众
	楼下排风机房、储油间（距地面 1.7m 处）d9	2.70E-02	1/16	1722	2.91E+00	公众
SPECT/CT 注射后候诊 1（6 名 Tc-99m 患者）	楼上 50cm 处药库、VIP 治疗 e6	2.13E-05	1/4	2000	1.06E-02	公众
	楼下工作卫、淋浴（距地面 1.7m 处）e7	2.52E-03	1/16	2000	3.15E-01	公众
	南墙走廊 f2	8.00E-02	1/16	2000	1.00E+01	公众
	北墙走廊 f5	8.00E-02	1/16	2000	1.00E+01	公众
	防护门（北侧，常闭）f7	3.20E-03	1/16	2000	4.01E-01	公众
SPECT/CT 注射后候诊 2（2 名 Tc-99m 患者）	楼上 50cm 处等候区 f8	6.38E-05	1/16	2000	7.98E-03	公众
	楼下计算机房、后勤库、工作卫（距地面 1.7m 处）f9	7.56E-03	1/16	2000	9.45E-01	公众
PET/MR 注射后候诊（2 名注射 370MBq F-18 患者）	楼上 50cm 处值班 g61	3.23E-03	1/16	2000	4.04E-01	公众
	楼下后勤库、工作走廊（距地面 1.7m 处）g71	7.96E-02	1/16	2000	9.95E+00	公众
PET/CT 注射后候诊（4 名注射 370MBq F-18）	楼上 50cm 处库房、办公、VIP 输液走廊 h61	6.47E-03	1	2000	1.29E+01	公众
	楼下后勤库、配电间、工作走廊（距地面 1.7m 处）h7	1.59E-01	1/16	2000	1.99E+01	公众
高活室（注射 F-18、Tc-99m 或口服 I-131）	患者入口 1z1	9.19E-01	1/16	239.6	1.38E+01	公众
	楼上 50cm 处库房、缓冲、治疗、洗涤间、抢救 j2	2.52E-03	1/4	239.6	1.51E-01	公众
	楼下后勤库（距地面 1.7m 处）j3	6.21E-02	1/16	239.6	9.30E-01	公众
储源间（3 枚 Ge 刻度源）	楼上 50cm 处缓冲、配液 k6	6.06E-05	1/4	2000	3.03E-02	公众
	楼下后勤库、工作走廊（距地面	1.49E-03	1/16	2000	1.86E-01	公众

	1.7m 处) k7					
运动负荷室 (1 名 925MBqTc-99m 患者)	楼上 50cm 处配液、缓冲 l6	1.06E-05	1/4	256.3	6.82E-04	公众
	楼下工作走廊、淋浴 (距地面 1.7m 处) l7	1.26E-03	1/16	256.3	2.02E-02	公众
留观复苏室 (2 名 F-18 和 1 名 Tc-99m 患者)	楼上 50cm 处抢救 m6	1.95E-03	1/16	1708	2.08E-01	公众
	楼下后勤库 (距地面 1.7m 处) m7	4.79E-02	1/16	1708	5.12E+00	公众
留观病房 1 (1 名 Lu-177 患者)	楼上 50cm 处 EICUn6	8.08E-05	1	1200	9.70E-02	公众
	楼下柴油发电机房 (距地面 1.7m 处) n7	1.38E-02	1/16	1200	1.04E+00	公众
留观病房 2 (1 名 Lu-177 患者)	楼上 50cm 处 EICU、库房、VIP 室 p6	8.08E-05	1	1200	9.70E-02	公众
	楼下工作走廊、发电机房控制室 (距地面 1.7m 处) p6	1.38E-02	1/16	1200	1.04E+00	公众
留观病房 3 (1 名 Lu-177 患者)	东墙送风机房 q1	4.12E-01	1/16	1200	3.09E+01	公众
	楼上 50cm 处 EICU、VIP 室 q6	8.08E-05	1	1200	9.70E-02	公众
	楼下后勤库、工作走廊 (距地面 1.7m 处) q7	1.38E-02	1/16	1200	1.04E+00	公众

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

该场所显像核素中只有 F-18 核素需要分装,放射性药物分装的手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率保守按照 2.5 μ Sv/h。高活室手套箱内每天进行 PET 药物分装时间 2min/人次,全年累计分装时间为 258.3h,则工作人员所受的年附加剂量为 645.8 μ Sv。

(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运输防护铅盒 (25mmPb) 运输 (从手套箱运到注射位), 1m 处剂量率低于 2.5 μ Sv/h, 运输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算 (剂量率不大于 10 μ Sv/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 10 μ Sv/h $\times$ 10s/人 $\times$ 7750 人

$\times 1/3600\text{s/h} \approx 215.3\mu\text{Sv}$ 。

（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 $1.81 \times 10^{-3}\text{mSv/h}$ ，注射 370MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $670\mu\text{Sv/h}$ 。注射时采用了具有 40mm 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 $6.6\mu\text{Sv/h}$ ），本项目衰减后值取 $10\mu\text{Sv/h}$ 。注射操作时间短，每人每次的注射时间为 30s，年总操作时间约 64.6h，则工作人员所受的年附加剂量为 $646\mu\text{Sv}$ 。

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 $2.6 \times 10^{-4}\text{mSv/h}$ 。所以，注射 925MBq（25mCi）的 Tc-99m，距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $240\mu\text{Sv/h}$ 。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），注射窗衰减因子为 $1.0\text{E}-20$ ，5mmPb 注射车衰减因子为 $1.0\text{E}-5$ ，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 $2.4\mu\text{Sv/h}$ 估算，年总操作时间约 170.8h，则工作人员所受的年附加剂量为 $409.9\mu\text{Sv}$ 。

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

PET/MR 摆位：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/MR 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 $23.1\mu\text{Sv/h}$ （ $33.9\mu\text{Sv/h} \times 0.68$ ，在北京肿瘤医院工作人员摆位的实测值为 $13.5\mu\text{Sv/h}$ ，患者的注射量大约 300MBq），距患者 50cm 处摆位环节时人的深部当量剂量率为 $92.4\mu\text{Sv/h}$ 。全年进行检查人数 2583 人次，PET/MR 扫描和摆位工作由 2 人完成，PET/MR 摆位时间相对较长（头部专用线圈、颈胸腰联合阵列线圈码放需要近距离接触）：0.5m 处核磁摆位 30s/人，1m 处摆位 1.5min，则每人分配累计摆位时间：0.5m 处 10.8h，1m 处摆位时间 32.3h，则每位摆位工作人员所受到的年附加剂量

$92.4\mu\text{Sv/h}\times 10.8\text{h}+23.1\mu\text{Sv/h}\times 32.3\text{h}\approx 1744.1\mu\text{Sv}$ 。

PET/CT 摆位：PET/CT 摆位（1m 处）时间 30s/人，扫描和摆位工作由 2 人完成，则每人分配累计摆位时间不大于 21.6h，则每位摆位工作人员所受到的年附加剂量 $23.1\mu\text{Sv/h}\times 21.6\text{h}\approx 499\mu\text{Sv}$ 。

SPECT/CT 摆位：注射 925MBq（25mCi）的 Tc-99m 药物的病人，1m 处的剂量率约为 $11.3\mu\text{Sv/h}$ 。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（10250 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 85.4h，摆位时工作人员穿 0.5mmPb 当量的铅衣（衰减因子为 3.16×10^{-1} ），总剂量为： $11.3\mu\text{Sv/h}\times 85.4\text{h}\times 0.316\approx 305\mu\text{Sv}$ ，则每位摆位工作人员所受到的年附加剂量为 $305\mu\text{Sv}/4\approx 76.2\mu\text{Sv}$ 。

（5）控制室操作工作人员的年受照剂量

控制室内工作人员（技师）本项目的附加剂量主要有两部分：患者显像时对工作人员在控制室操作位操作时的附加剂量和给患者摆位时的附加剂量叠加。SPECT/CT 和 PET/CT 中 CT 机为Ⅲ类射线装置，保守假设全部检查人员做 CT 扫描，SPECT/CT 、PET/CT 全年运行时间分别为 42.7h（30s/人）、43.1h。考虑到周围场所对控制室内工作人员剂量叠加后的年附加剂量见表 11-6。

表 11-6 控制室工作人员受照剂量统计

场所		附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) *	人均操作时 间 (h)	年附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)	合计 ($\mu\text{Sv/a}$)
PET/MR 室	观察窗	3.03E-01	1722	522.3	2266.4
	机房内摆位	/	/	1744.1	
PET/CT 室	观察窗	1.91E-01	1722	329.0	828
	CT 扫描	6.10E-06	43.1	2.63E-04	
	机房内摆位	/	/	499	
SPECT/CT 1 室	观察窗	3.73E-04	1708.4	0.6	91.3
	CT 扫描	0.34	42.7	14.5	
	机房内摆位	/	/	76.2	
SPECT/CT 2	观察窗	3.16E-04	1708.4	0.5	88.9

室	CT 扫描	0.29	42.7	12.2	
	机房内摆位	/	/	76.2	

(6) 质控时工作人员的年受照剂量

根据《正电子发射断层成像 (PET) 设备质量控制检测标准》(WS817-2023) 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台设备每年应稳定检测共需操作含 Tc-99m 药物活度为 555MBq (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 0.26 μ Sv/h, 则 555MBq 对应 30cm 处剂量率为 192.4 μ Sv/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 21.5 μ Sv/h (50cm 处), 则工作人员附加剂量为 21.5 μ Sv/a。2 台 SPECT/CT 每年质控, 工作人员总附加剂量为 43 μ Sv/a。

2) PET

本项目拟用 PET/CT、PET/MR 设备型号待定。不同的设备厂家及型号, 设备稳定性质量控制检测使用 F-18 药物制作模体校准源, 或者使用设备附件配置的质控校验放射源 (V类放射源)。

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, 该环节需将带有铅屏蔽的刻度源从储源室运到机房, 取出源放于 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, GBZ120-2020 表 H.1 中给出其周围剂量当量率常数为 0.134 μ Sv $\cdot$ m² $\cdot$ h⁻¹ $\cdot$ MBq⁻¹, 保守按最大活度 92.5MBq 考虑, 操作距离取 50cm, 操作位剂量率为 49.6 μ Sv/h, 每次操作时间约 2min, 每台总操作时间为 1.67h/a (本项目 2 台共 3.33h/a), 则工作人员附加剂量约为 165 μ Sv/a。

②使用 F-18 质控

保守假设物理师每周质控一回,距离质控源液 1m 处的剂量率为 $12.7\mu\text{Sv/h}$, 每次接触时间 10min (保守按每周一次,本项目 2 台共 16.7h/a), 物理师的年附加剂量约为 $212\mu\text{Sv}$ ($12.7\mu\text{Sv/h}\times 16.7\text{h}$)。

③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),一般都委托厂家和第三方检测机构完成,其中 SUV 指标是每半年一次,灵敏度、空间分辨力每年一次,主要就是把 F-18 药物输入模体,然后模体摆好位置后人员就回到控制室进行隔室操作,保守假设操作时间为 10min/a (本项目 2 台共 0.33h/a),操作距离取 50cm, 37MBq F-18 药液距 50cm 处人的深部当量剂量率为 $21.16\mu\text{Sv/h}$,则工作人员附加剂量约为 $7.0\mu\text{Sv/a}$ 。

则每年 PET 设备质控,工作人员总附加剂量约为 $384\mu\text{Sv/a}$ 。

11.2.5 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 ($0.9\mu\text{Ci}$),则距 0.333MBq ($0.9\mu\text{Ci}$) I-131 胶囊 100cm 处人的剂量率约为 $1.98\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$,则 I-131 胶囊对工作人员增加的附加剂量可忽略。

11.2.6 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 和 Lu-177 开展门诊治疗,I-131 甲亢治疗在接受放射性药物治疗的病人,在留观病房留观 10min 后就可离开。Lu-177 患者需在留观病房留观 6h 后,方可离开。

(1) I-131 的辐射影响

使用 I-131 治疗甲亢的病人最多 500 名/年,不大于 370MBq /病人,I-131 的操作方式为口服(从铅罐里取出胶囊),假设从病人口服到离开,工作人员接触病人的时间为 2min/病人,一年的接触时间为 $16.7\text{h}[2\text{min}\times 500(\text{人/年})/60(\text{min/h})]$,I-131 γ 辐射能量为 0.36MeV , K_{γ} 值为 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$,距离患者(施用量 370MBq) 1m 处的剂量率约为 $22.0\mu\text{Sv/h}$,则 I-131 核素对工作人员增加的附加剂量约为 $367.4\mu\text{Sv}$ 。

(2) Lu-177 门诊留观治疗的辐射影响

1) 工作人员进行 Lu-177 药品抽取到注射器环节时受照剂量

药品抽取是在 50mmPb 的手套箱内完成，放射性药物手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率保守按照 2.5 μ Sv/h。每只抽取按 1min，全年保守按 3.4h 估算，则工作人员所受的年附加剂量为 8.5 μ Sv。

2) 工作人员为药物转运环节工作人员的受照剂量

本项目核素采用 10mmPb 注射器防护套运输（从手套箱运到注射位），1m 处剂量率低于 2.5 μ Sv/h，运输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算（剂量率不大于 10 μ Sv/h 估算）。每次药物转运平均时间保守以 1min 估算，则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 10 μ Sv/h $\times$ 1min/人 $\times$ 200 人 $\times$ 1/60min/h $\approx$ 33.4 μ Sv。

3) 工作人员为患者进行药物注射环节的受照剂量

工作人员将转运到病房的注射器置于注射泵上，注射泵置使用铅进行屏蔽防护，而后注射泵进行自动给药。给药环节 0.5m 处剂量率值取 146 μ Sv/h（1m 处 36.5 μ Sv/h）。注射操作时间短，每人每次的注射时间为 30s，年总操作时间约 1.67h，则工作人员所受的年附加剂量为 243.8 μ Sv。

由此，操作 Lu-177 工作人员最大受照累加剂量约为 258.7 μ Sv。

开展 Lu-177 核素治疗工作期间，可采取预约治疗，患者集中入院和出院，减少工作人员查房及护理工作时间；对于必要的近距离护理，工作人员应穿戴防护服和防护口罩，熟练操作以减少与患者接触时间；另外询问患者或进行指导性护理时可距离患者距离稍远，或可采用视频查房系统进行查房，尽量减少工作人员接触患者时间，减少工作人员的受照剂量。

综上，门诊治疗工作人员的年受照剂量为 626.1 μ Sv（367.4 μ Sv+258.7 μ Sv）。

11.2.7 核医学科各环节工作人员受照剂量总结

根据以上估算，核医学科诊断和门诊治疗区环节工作人员的附加有效剂量如表11-6。

表 11-6 核医学科工作人员各环节附加有效剂量（ μ Sv/a）

环节	PET/ CT	PET/ MR	SPECT/ CT1	SPECT/ CT2	门诊治疗	合计
分装	645.8		/	/	626.1	PET 护士：1507.1 SPECT 护士（含门诊治 疗）：1036
运转	215.3		/	/		
给药	646		409.9			
摆位+ 控制室	828	2266.4	91.3	88.9	/	PET/CT 技师：828 PET/MR 技师：2266.4 SPECT 技师：193.3

质控	384	43	/	物理师：427
----	-----	----	---	---------

本项目 PET 和 SPECT 都由不同的护士和技师操作，由此核医学科诊疗区环节每名护士、技师和物理师年受照附加最大剂量分别约 1.51mSv、2.27mSv、0.43mSv，由于本项目估算按工作人员全职工作量进行估算，可不考虑辐射工作的累加情况。

11.2.8 核医学科受照剂量总结

(1) 工作人员受照剂量

根据以上估算，核医学科诊疗工作人员年附加剂量不大于2.27mSv，低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a要求。

(2) 公众

根据以上估算，和公众年受照总剂量不大于 30.9μSv，低于本项目设定的年剂量约束值 100μSv/a 要求。

11.3放射性废物产生及排放情况

11.3.1 放射性废气

核医学科手套箱和控制区拟安装独立的排风系统，在排风管道出核医学科前安装活性炭过滤器（手套箱还自带有过滤器）净化后，由高于临床诊疗中心楼楼顶排放（总高度约47.5m），排风口朝东设置，高于临床诊疗中心楼顶部并高于周围50m范围内建筑物。

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。

若操作放射性物质发生意外泼洒情况时，短时间进入空气的份额较多，经过滤器吸附处理后高空排放，放射性物质经大气扩散后浓度会进一步降低，故偶发排放对周围公众的辐射剂量贡献很小。

工作期间每个月至少检查一次通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不得超过厂家推荐的使用时间（每年更换一次）。更换下来的过滤器应按放射性固体废物进行收集及处理。

11.3.2 放射性废水

本项目核医学科高活室产生的废水、给药后候诊室患者专用卫生间产生的废水、控制区污洗间废水、应急淋浴水和留观病房废水，将通过专用管道一并汇入位于临床诊疗中心南侧的放射性废水衰变池，废水通过衰变后排放至医院污水处理站进一步处理后，最终进入市政污水管网。

衰变池收集的放射性废水中主要的放射性核素来源于核医学受检患者的排泄物，门诊显像检查使用的核素包括 F-18、Ga-68 用于 PET 检查用核素，以及 Tc-99m、I-123 用于 SPECT 检查用核素，门诊治疗使用 I-131，门诊留观治疗使用 Lu-177 核素。

(1) 核医学科放射性废水产生量：

1) 显像患者废水：核医学科设置受检患者专用卫生间。核医学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，患者一次如厕用水量不超过 4.5L。

①显像患者废水：本项目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，根据表 11-1，核医学科诊疗年显像检查人数不超过 18000 人，年产生废水约 $18000 \text{ 人} \times 6\text{L}/\text{人} = 108\text{m}^3$ 。

②清洁废水：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 50L/d，年工作 250d，年产生废水量为 12.5m^3 ；

③应急淋浴水：另外应急淋浴水保守每年按一次 50L (0.05m^3)。

2) 治疗患者废水：本项目门诊使用 I-131 治疗的患者，注射药物后即离开核医学科，基本上没有如厕人员，且医院在管理上要求 I-131 等治疗患者在注射前进行排便，可以杜绝门诊治疗患者在治疗区间排便，故本项目不考虑 I-131、门诊治疗核素治疗患者对放射性废水贡献。

3) 留观治疗废水

①Lu-177 患者在留观室时间 6h 左右，保守每人排便 2 次，每人次如厕产生放射性废水的总量为 6L 考虑。核医学科留观室年产生含 Lu-177 废水约 $6\text{L}/\text{人} \times 200 \text{ 人次} \times 2 \text{ 次} = 2.4\text{m}^3$ 。

②清洁废水：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 50L/d，年工作 100d，年产生废水量为 5m^3 ；

综上，核医学科废水量总计约为 128m^3 ，核医学科放射性废水均排入放射

性废水衰变池（槽式，总容积约为 140m^3 ， $35\text{m}^3 \times 4$ 池），每池充满至排放可贮存衰变约 297 天，衰变池从充满至排放可满足贮存衰变 68 天（按照其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天）。

核医学科的放射性废水含有 A 类和 B 类核素，参照 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》相关规定，衰变池的废水暂存时间需超过 10 倍最长半衰期（按照其中含 Lu-177 的放射性废水至少暂存 68 天）后，排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 Lu-177 核素的放射性活度和总 α 、总 β 符合排放限值要求的，排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台账”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。

（2）废水产生排放情况预测

据《 ^{177}Lu -Dotatate 治疗的放射防护评估》（中国辐射卫生 2021 年 12 月第 30 卷第 6 期）的结论，Lu-177 在给药后 6h 患者大约给药活度的 46% 排出。每周最多接收 4 位 Lu-177 患者，每周 Lu-177 的排放总量约为 $1.36\text{E}+10\text{Bq}$ （ $4 \text{人} \times 46\% \times 7.4\text{GBq/人} = 13.6\text{GBq}$ ），每一个池充满大约需 99 天，充满时总活度不大于 $1.90\text{E}+11\text{Bq}$ ，经 297 天衰变后的活度约为 $1.36\text{E}-02\text{Bq}$ ，即满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 8.6.2 条规定，单次排入普通下水道的废水中 Lu-177 活度不超过 1ALI_{min} （ $9\text{E}+6\text{Bq}$ ）的要求，能够满足要求。

（3）衰变池辐射防护与安全管理

特别关注池壁和池底的防渗处理。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。

放射性核素废水在污水收集、暂存设施存留时释放的 γ 射线可能对周围环境产生影响。在放射性废水衰变池附近拟放置辐射警告标识和设置围挡，提醒公众避免长时间停留受到辐射照射。进行排污管道维修施工和衰变池清淤施工时应采取辐射防护措施，以减少操作人员可能受到辐射照射。医院后勤管理处负责衰变池日常运行管理，每周派人巡视一次。医院将委托有资质单位对放射性废水进行检测，按照环境管理要求进行排放。根据国家放射性废物排放管理要求，排放衰变池废水须满足解控要求，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 放射性固体废物

核医学科按需申请和制备放射性药物，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。高活室内注射窗旁设2个废物桶，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。给药窗口设置1个铅当量废物桶用来收集门诊治疗给药产生的放射性废物。均标注日期于每周一早晨转移至废物间内的废物桶内。

核医学科废物间设置4个5mm铅的废物桶，2个用来轮流贮存A类废物，2个用来轮流贮存B类废物，甲功室、运动负荷/抢救室、留观复苏室各配1个5mm铅的废物桶，4间注射后候诊室各配1个5mm铅的废物桶（共4个）。3间留观病房各配1个5mm 铅的废物桶（共3个），固废衰变间设置2个5mm铅的废物桶，用于门诊治疗留观期间产生的固体废物。

（1）一般放射性固体废物

1) 核医学科全年开展核素诊疗（含显像、甲功检查、门诊治疗）人数 19500 人次，平均每人次产生含放射性固体废物 0.02kg（含患者注射器每只 4g），则项目满负荷运行年产生量约 390kg。

2) 核医学科开展 Lu-177 留观治疗患者共计 200 人次，平均每人次产生放射性固体废物（药瓶、药杯、水杯、吸水纸等）0.1kg，则项目满负荷运行年产生量约 20kg。

参照 HJ1188 和《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 类废物分开储存，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（B 类核素 I-131 存放超过 180 天、Lu-177 存放超过 68 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，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08Bq/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。

（2）过滤器废物

核医学科每年更换手套箱和楼顶活性炭过滤器，预计额外产生21kg固体废物（每个活性炭过滤器不大于2kg，每个高效过滤器不小于5kg），拆下的废弃滤材将妥善收集，密封包装暂存于废物间，按照放射性固体废物进行暂存，放射性固废放置至少10个半衰期（含I-131核素的放射性固废暂存超过180天），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，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 α 、 β 表面污染水平分别小于0.08Bq/cm²和0.8Bq/cm²，可对废物解控作为医疗废物处置。

依据 HJ1188 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，本场所使用核素为 B 类废物，固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天（I-131 存放超过 180 天、Lu-177 存放超过 68 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，辐射剂量率监测为所处环境本底水平且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm²，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。

（3）服药患者使用过的各类物品，如被褥和病号服等，会有不同程度的放射性污染，属于低放废物。按产生日期分类收集于放射性废物库衰变。被褥和病号服按照 2kg/人次估计，则年产生量约 400kg。被褥和病号服在放射性被服间暂存衰变时间不少于一个半衰期，经检测被服表面 γ 剂量率小于 1 μ Sv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm²时，方可进行清洗并再次使用。

11.4 本项目异常事件分析与防范措施

本项目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) 放射性同位素和射线装置在使用过程中，由于人员误入控制区内或设备故障或辐射工作人员操作不当等原因，导致人员受到超剂量照射。

(4) 放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

(5) 服药患者体内核素活度未降至出院水平以下，即离开隔离病房，对公众造成不必要照射。

为避免上述异常事件发生，应采取以下风险防范措施：

(1) 储源室设置闭路监视和防侵入系统，安装防盗门，依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）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和被盗。

(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。

在高活室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，规范操作及时采取擦拭方法去污，并用表面污染监测仪检测，直至表面污染水平满足 GB18871-2002要求，防止放射性污染扩散导致周围环境污染。

(3) 核医学科高活室和留观病房，均配置放射性废物桶，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（其中I-131核素产生的放射性废物暂存超过180天、Lu-177核素产生的放射性废物暂存超过68天），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。候诊场所病人的排泄物采用收集衰变，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。

(4) 留观患者给药后，在病房留观，经检测距患者1m处剂量水平低于

25 μ Sv/h方可出院。

11.5 项目环保验收内容建议

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》（HJ1326-2023）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织召开验收会议开展验收工作。

建议本项目竣工环境保护验收的内容见表11-7。

表11-7 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 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	在核医学场所出入口、高活室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；高活室、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。留观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；高活室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、视频监控系统和防盗报警装置，满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。
监测仪器	配备检测仪器：配备 1 台辐射剂量巡测仪、2 台表面污染监测仪、1 套固定式剂量报警仪，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 19 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；高活室安装手套箱，操作口风速大于 0.5m/s；通风柜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	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。

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防护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 1-5 所示。本项目为在已许可项目迁建，相关负责人将继续担任辐射安全与防护委员会成员，负责相关科室的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

1. 在医院辐射安全与防护委员会主席的领导下，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，在辐射安全与防护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. 建立装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的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配备辐射工作人员 22 人，新增人员将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并及时参加每五年一次的重新考核，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

北京儿童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、辐射工作人员培训考核制度、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、辐射事故应急制度等。

本项目实施后，北京儿童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

北京儿童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，监测频度为每 3 个月检测一次，并按照《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。辐射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况进行文字记录。

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，本项目投入使用后，所涉及新增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

医院每年委托有资质的单位对医院已有的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

医院针对本项目启用后，自行监测采用安装固定式在线监测仪表和便携式监测仪表相结合的方式，其固定式在线监测设备探头安装位置见图 10.2，核医

学科拟配备 1 台辐射剂量巡测仪、2 台表面污染监测仪、1 套固定式剂量报警仪，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。新增项目实施后，核医学科工作人员使用拟配备的辐射剂量巡测仪和表面污染监测仪，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 辐射辐射剂量巡测仪，表面污染监测仪

(3) 检测频次：剂量率水平每年不少于 1 次（有代表性点位不少于 1 次/月），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：点位包括显像机房四周和楼上楼下，留观病房四周和楼上楼下、注射后等候室周围、及控制区边界外 30cm 处等位置的剂量率水平，衰变池上方的剂量率水平。监测数据记录存档，本项目相关场所监测点位计划见表 12-1，自行检测点位布置见图 12-1 和图 12-2 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	检测频次
z1~z4	患者出入口	患者出入口门外	1 次/年
j1~j3	高活室	出入口、楼上楼下	1 次/年
a1~a9	SPECT/CT1 室	周围及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
b1~b9	SPECT/CT2 室	周围及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
c1~c9	PET/MR 室	周围及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
d1~d9	PET/CT 室	周围及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
e1~e7	SPECT 注射后候诊室 1	周围及楼上楼下	1 次/年
f1~f9	SPECT 注射后候诊室 2	周围及楼上楼下	1 次/年
g1~g7	PET/MR 注射后候诊室	周围及楼上楼下	1 次/年
h1~h7	PET/CT 注射后候诊室	周围及楼上楼下	1 次/年
i1~i7	甲功室	周围及楼上楼下	1 次/年

k1~k7	储源间	周围及楼上楼下	1 次/年
l1~l7	运动负荷室	周围及楼上楼下	1 次/年
m1~m7	留观复苏室	周围及楼上楼下	1 次/年
n1~n7	留观病房 1	周围及楼上楼下	1 次/年
p1~p7	留观病房 2	周围及楼上楼下	1 次/年
q1~q7	留观病房 3	周围及楼上楼下	1 次/年
r1~r4	衰变池	衰变池上方	1 次/年

(5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后（留观病房是下一批患者治疗前），对高活室台面、地面，手套箱台面，注射窗台面以及相关设备表面等进行表面污染监测（表面污染监测依据《表面污染测定第一部分 β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）），监测数据记录存档。

表 12-2 表面污染水平监测点位设置

编号	场所名称	监测点位置	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1~3	高活室	手套箱台面、高活室地面、注射窗	
4~5	SPECT/CT1 室	病人床、地面	
6~7	SPECT/CT2 室	病人床、地面	
8~9	PET/MR 室	病人床、地面	
10~11	PET/CT 室	病人床、地面	
12~14	SPECT 注射后候诊 1	等候室地面、候诊椅、卫生间	
15~17	SPECT 注射后候诊 2	等候室地面、候诊椅、卫生间	
18~20	PET/MR 注射后候诊	等候室地面、候诊椅、卫生间	
21~23	PET/CT 注射后候诊	等候室地面、候诊椅、卫生间	
24~25	甲功室	地面、台面	
26~27	运动负荷室	地面、台面	
28~30	留观复苏室	等候室地面、候诊椅、卫生间	
31~33	留观病房 1	病人床、地面、卫生间	
34~36	留观病房 2	病人床、地面、卫生间	
37~39	留观病房 3	病人床、地面、卫生间	

40~	其他必要点位	废物桶、包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等
-----	--------	-------------------------------------

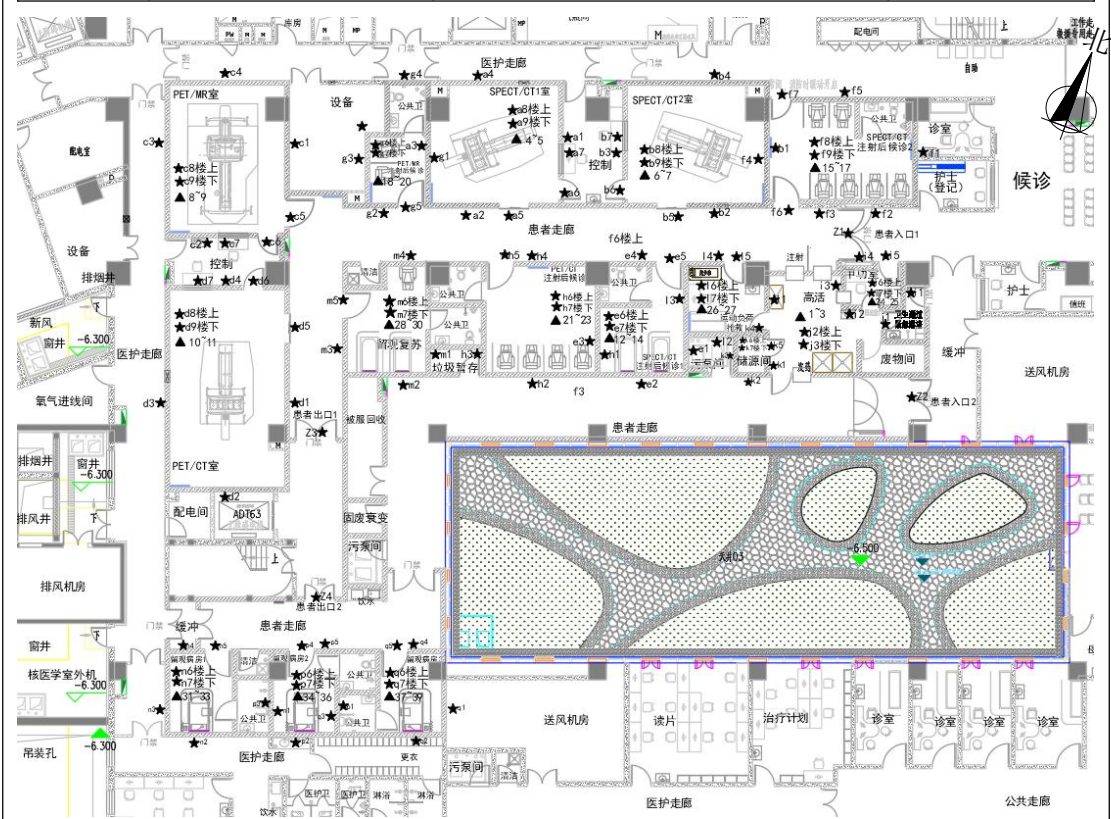


图 12-1 拟建核医学科自行检测点位图

（标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置）

12.4 辐射事故应急管理

北京儿童医院制定了《北京儿童医院辐射事故应急制度》，依据《中华人民共和国生态环境法典》、《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。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

北京儿童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[B0067]），其种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置。

为积极推进国家儿童医学中心（北京）的建设，积极落实国家与北京市各项发展规划，促进北京市儿童医疗卫生事业持续健康发展，实现核心区非首都功能疏解及改善北京儿童医院诊疗与科研环境，首都医科大学附属北京儿童医院特提出建设新院区工程。新院区所在区域尚无医疗机构具备儿童专用核医学诊疗，为更好满足区域儿童患者就诊需求，医院拟在临床诊疗中心地下一层南侧新建核医学科诊疗场所，配套使用 1 台 PET/MR、1 台 PET/CT 和 2 台 SPECT/CT 机，使用 F-18、Ga-68 核素药物开展 PET 诊断，使用 Tc-99m、I-123 核素药物开展 SPECT 诊断，使用 I-131 开展甲功测定；同时使用 I-131 核素药物开展核医学门诊治疗，使用 Lu-177 核素用于 12 岁及以上的神经内分泌肿瘤的治疗患者留观治疗。

13.1.2 正当性分析

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

本项目核医学科位于临床诊疗中心地下一层，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。

13.1.4 辐射安全与防护能力分析

(1) 辐射工作场所功能分区合理性

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，划分控制区、监督区，划分明确，设置合理，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

(2) 辐射屏蔽措施

核医学科显像室、注射后候诊室、高活室、储源间、废物间、运动负荷室，以及核素治疗留观病房等均采取了混凝土、混凝土砖或铅的屏蔽措施，根据机房外各关注点剂量率估算结果均满足本次评价提出的剂量率控制水平，符合辐射防护安全的要求。

(3) 安全防护设施

核医学科门诊诊疗区和留观病房场所门外设置电离辐射警示标识，墙面、地面均为光滑饰面，高活室配有负压和过滤的手套箱，通过设置废物间、病人专用卫生间等妥善收集放射性废物，工作人员配备必要的防护服等个人防护用品及监测设备，满足安全防护需求；核医学科高活室设置了独立排风系统和活性炭过滤装置，设置了1套废水衰变池（容积为140m³）收集贮存核医学科产生的放射性废水。通过与核医学科辐射安全防护设施与运行核查项目比较和分析，本项目配备的安全防护设施能够满足要求。与《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》的规定对照检查，满足要求。

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，本项目运行后，预计工作人员和公众的年受照剂量低于本项目设定的年剂量约束值5mSv/a和100μSv/a要求，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。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

(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 431kg（包含过滤器等）。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。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，北京儿童医院新院区新建核医学科辐射工作场所项目，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，北京儿童医院承诺：

(1) 项目批复许可后，启用前须办理相关辐射安全许可和 PET/CT、PET/MR 等大型设备须取得卫健委同意配置批复。

(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:	
公 章	
年 月 日	经 办 人

审批意见:	
公 章	
年 月 日	经 办 人