

核技术利用建设项目
二期新建放射性同位素实验室项目
环境影响报告表

北京清华长庚医院

2025 年 05 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
二期新建放射性同位素实验室项目
环境影响报告表

建设单位：北京清华长庚医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市昌平区立汤路 168 号

邮政编码：102218

联系人：王成城

电子邮箱：wcca03723@btch.edu.cn

联系电话：13436705989

目 录

表 1 项目基本情况 1

表 2 放射源 17

表 3 非密封放射性物质 18

表 4 射线装置 19

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 20

表 6 评价依据 21

表 7 保护目标与评价标准 24

表 8 环境质量和辐射现状 33

表 9 项目工程分析与源项 36

表 10 辐射安全与防护 49

表 11 环境影响分析..... 72

表 12 辐射安全管理 90

表 14 审 批 98

附图 1 北京清华长庚医院地理位置图 99

附图 2 北京清华长庚医院平面布局图 100

附图 3 医疗楼地下一层放射性同位素实验室平面布局图 101

附图 4 医疗楼地上一层（同位素实验室楼上）平面布局图 102

附图 5 医疗楼地下二层（同位素实验室楼下）平面布局图 103

附件 1 辐射安全许可证 104

附件 2 2024 年度个人剂量检测报告 111

附件 3 废物处置管理台账与废水检测报告 128

附件 4 规划许可证和环评批件 129

附件 5 环境本底检测报告 141

附件 6 公示情况 146

表 1 项目基本情况

建设项目名称		二期新建放射性同位素实验室				
建设单位		北京清华长庚医院				
法人代表		姜胜耀	联系人	王成城	联系电话	13436705989
注册地址		北京市昌平区立汤路 168 号				
项目建设地点		北京市昌平区立汤路 168 号医院二期医疗楼地下一层				
立项审批部门		无		批准文号	无	
建设项目总投资（万元）		500	项目环保投资（万元）	100	投资比例（环保投资/总投资）	20%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ）	350
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 北京清华长庚医院（简称“医院”）是由清华大学与北京市共建共管的大型综合性公立医院，建设和运营过程中得到了台塑企业和台湾长庚纪念医院的无私捐助和援建。医院坐落于北京市昌平区天通苑地区，总规划床位 1500 床。于 2014 年 11 月 28 日开业，一期开设 1000 张床位。2015 年 11 月正式为医保患者服务；2017 年 6 月，实现异地医保直接结算；医院二期规划新增 500 张床位。 北京清华长庚医院借鉴并在地化台湾长庚纪念医院管理模式，构建现代医					

院管理体制和运营模式，实行党委领导下的院长负责制，专业化医疗团队与职业化行政团队分工协同治理，提高医院管理的效率和效益。

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

医院已经形成了涵盖内科部、外科部、妇儿部、专科部、急重症部、医技部、全科与健康医学部的 7 大医疗部和 60 余个临床医技专科，初步建成临床布局合理、专科设置完善、优秀人才汇聚、医院治理良善、医疗品质一流，在业界和社会享有美誉的综合性精品医院；形成了肝胆胰中心、器官移植中心、心血管中心、消化中心、神经中心、骨科与运动医学中心和眼科中心等卓越临床中心，涌现出感染疾病中心、急重症中心、肿瘤中心、耳鼻咽喉头颈外科、妇产科、泌尿外科、康复医学科、内分泌与代谢科、皮肤科、放射诊断科、血管外科等重点专科。医院开展国内外领先的医疗技术百余项，创下多项世界记录，以先进技术和优质服务成功救治了大批来自海内外的复杂危重病患，并在全国三级公立医院绩效考核中连续获得 A+。2018 年 12 月，医院获批为首批国家临床教学培训示范中心。2022 年 9 月获批为国家卫健委首批外科基础技能提升培训基地。

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

北京清华长庚医院为已取得《辐射安全许可证》单位。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状

北京清华长庚医院已取得了辐射安全许可证（京环辐证[O0116]，有效期至 2029 年 9 月 28 日，许可的种类和范围是：使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，见附件 1，北京清华长庚医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 北京清华长庚医院已许可使用的射线装置情况

序号	名称	类别（类）	数量（台）
1	计算机断层扫描仪（CT）	III	5
2	牙科 X 射线 CT	III	1
3	SPECT/CT	III	1
4	移动式 C 型臂 X 射线机	III	5
5	移动式 G 型臂 X 射线机	III	1
6	牙根尖 X 射线机	III	1
7	移动 X 射线机	III	5
8	数字乳房摄影 X 射线机	III	1
9	碎石机	III	1
10	医疗电子直线加速器	II	1
11	遥感摄影	III	1
12	血管造影机（DSA）	II	4
13	骨密度检测仪	III	1
14	牙科全景 X 光机	III	1
15	数字常规检查射线 X 光机	III	4
16	数字胸部 X 射线机	III	1
17	移动式 G 型臂 X 射线机	III	1
18	PET/CT	III	1
19	移动 DR	III	1

北京清华长庚医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1-2。

表 1-2 北京清华长庚医院已许可非密封放射性同位素使用情况

工作场所名称	等级（类别）	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类
核医学科	乙级	I-131	3.70E+08	3.70E+11	使用；
		Tc-99m	1.85E+07	3.70E+12	使用；
		I-131	3.33E+04	3.33E+08	使用；

钇 90 介入 治疗场所		F-18	7.40E+06	1.48E+12	使用;
		Y-90	5.06E+08	7.20E+11	使用;
	乙级	Y-90	5.0E+08	6.00E+11	使用;
		Tc-99m	5.55E+04	8.66E+10	使用;

北京清华长庚医院已许可的放射源使用情况见表 1-3。

表 1-3 北京清华长庚医院已许可放射源使用情况

序号	核素	类别	活度（Bq）	（枚数）
1	Ge-68	V	5.5E+07	1
2	Ge-68	V	3.5E+06	1

1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京清华长庚医院近五年以来一共有 7 个辐射环评报告表项目，具体落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目竣工验收落实情况

序号	环评批复文号	项目名称	类别	备注
1	京环审 [2021]29 号	核医学科改造项目	报告表	于 2022 年 12 月办理竣工验收
2	京环审 [2022]89 号	Y-90 微球治疗项目	报告表	于 2023 年 2 月办理竣工验收
3	京环审 [2023]21 号	使用 II 类射线装置项目	报告表	于 2024 年 4 月办理竣工验收
4	京环审 [2024]11 号	二期新增使用医用电子直线加速器	报告表	正在建设中
5	京环审 [2024]107 号	二期新增使用 II 类射线装置	报告表	正在建设中
6	京环审 [2024]127 号	一期放疗科放射治疗项目	报告表	正在建设中
7	京环审 [2024]131 号	二期新建核医学科项目	报告表	正在建设中

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，促进放射性同位素和射线装置的安全

使用，北京清华长庚医院专门成立了辐射安全管理委员会，由党委委员担任主席，医务管理部、核医学科、放射诊断科、总务处、心脏内科、血管外科、神经外科等各部门的相关人员担任组员，并指定医务管理部李娜专职负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表 1-5。

表 1-5 北京清华长庚医院辐射安全管理委员会成员名单

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

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

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

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

1.2.3.3 工作人员考核情况

北京清华长庚医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关工作人员共约 149 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

北京清华长庚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 1 次监测一次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至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中国医学科学院放射医学研究所承担，监测频度为每 3 个月检测一次，一共开展个人剂量监测人员数量 251 人。医院 2024 年度个人剂量监测结果表明，大部分辐射工作人员年剂量都在 0.1mSv 左右，参与个人剂量检测人员年度个人受照剂量超出 1mSv 有 15 人（剂量分别为 2.03 mSv、2.19mSv、1.20mSv、1.69 mSv、1.36mSv、1.65mSv、1.58mSv、1.31mSv、1.79mSv、1.67mSv、1.89mSv、1.35mSv、4.11mSv、2.15 mSv、1.47mSv），其余人员均不高于 1mSv，所有人员都低于医院规定的管理目标值。开展个人

剂量检测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况，2024 年度个人剂量监测报告见附件 2。

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和非密封放射性物质工作场所进行 1 次工作场所环境辐射水平监测和工作场所表面污染水平监测，监测数据记录存档。

2024 年 5 月，医院委托浙江建安检测研究院有限公司对医院全部在用射线装置、机房防护及核医学工作场所、Y-90 治疗场所进行检测，检测结果全部合格，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。

(2) 工作场所自行监测：根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，医院定期开展工作场所环境辐射水平自行监测。核医学科每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台台面、手套箱台面、注射台以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测其工作服、体表的表面污染水平。

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 1-6。

表 1-6 医院现有辐射防护监测仪器清单

序号	仪器名称	型 号	购置日期	仪器状态	数量	备 注
1	个人剂量仪	贝谷/BS2010	2014-07-11	正常	5	放射治疗科
2	多通道辐射剂量监测系统	大建华克/HK-2108	2014-12-20	正常	1	核医科

3	表面沾污仪	Mirion/RDS-80	2014-12-20	正常	1	核医科
4	电离室巡测仪	451p	2023-12-22	正常	1	导管室
5	电离室巡测仪	Fluck/451p	2015-04-15	正常	1	放射科
6	巡测仪	上海贝谷/BS9511	2014-07-11	正常	1	放射治疗科
7	个人剂量仪	RADOS/RAD-60	2014-12-20	正常	3	核医科
8	x/γ 射线报警仪	中康联/SB-I（智能）型	2015-10-09	正常	1	放射治疗科
9	表面污染仪	IA-V2	2022-03-01	正常	1	核医科
10	辐射巡测仪	R-EGD	2022-04-01	正常	3	核医科
11	个人剂量报警仪	RG1000	2022-04-01	正常	3	核医科
12	辐射巡测仪	BG9521	2022-07-10	正常	1	钇 90 介入治疗室
13	表面污染仪	BG9611	2022-07-10	正常	1	钇 90 介入治疗室

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

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

医院已获得许可使用Ⅴ类放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。医院已针对上述许可使用中可能发生的放射性污染以及大剂量照射等事故/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 2024 年度最近一次于 2024 年 5 月 30 日，在门诊楼 B1F 核医学科内进行了医院 2024 年年度的辐射安全事故应急演练。本次演练由医务管理部、保卫处、核医学科联合策划，以核医学科 Y-90 核素药物丢失事故为背景开展演练。演练采取“实景设置、实兵展开、实际操作”的方法进行。根据《辐射事故应急预案》，制定演练计划并有序实施，参与演练人员均较好地履行各自的职责，圆满完成既定任务，达到了演练预期的效果。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

目前，北京清华长庚医院核医学科和钇 90 介入治疗场所 2024 年以来只使用 F-18、Tc-99m、I-131 和 Y-90 四种核素。医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求，对放射性废物进行管理：将放射性固体废物分类收集于专用的废物桶内，在废物衰变间内暂存。含 F-18、Tc-99m 和 Y-90 的放射性废物暂存 30 天，剩余 Y-90 放射性同位素储存 60 天后，使用经检定合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm²，将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，最近的处置管理台账见附件 3。

北京清华长庚医院核医学科现有衰变池为槽式衰变池，总体积为 200m³，设有 2 级池，每级 100m³。衰变池废水按照 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》要求至少衰变 180 天后排放，衰变池的废水在排放前委托有资质单位进行检测，符合要求后排入医院污水处理站，并详细记录“放射性液体废物暂存、处置管理台账。医院于 2024 年 7 月委托第三方有资质单位对核医学科槽式衰变池废水进行了检测，监测结果显示，总 β 为 0.35Bq/L，总 α 和 I-131 浓度都小于探测下限，符合要求，放射性废水委托检测报告见附件 3。

1.2.3.8 其他情况

北京清华长庚医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2024 年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 建设项目背景

近年来，国家全力推进实施健康中国战略，坚持把人民健康放在优先发展战略地位。医用同位素药物产业是支撑“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”的重要领域。《“健康中国 2030”规划纲要》等政策文件对推动医用同位素健康产业发展提出了要求。2021 年 3 月，国防科工局、科技部、生态环境部、国家卫健委等 8 部门联合印发《医用同位素中长期发展规划》（2021-2035 年），这是我国首个针对核技术在医疗卫生应用领域发布的纲领性文件。规划明确了“十四五”时期和今后一段时期内我国医用同位素发展的指导思想、主要原则、发展目标、重点任务及保障措施，提出建立稳定自主的医用同位素供应保障体系，推动医用同位素技术研发和产业发展，为建设健康中国、增进人民福祉贡献力量。

国家鼓励医学科研创新，同位素实验室在基础医学研究、药物研发等方面具有重要作用。通过该实验室可以利用放射性同位素示踪技术，在活体动物上开展细胞代谢、基因表达等研究，为揭示疾病发生、发展的分子机制提供关键数据，加速药物研发进程，满足国家对医学科研创新的需求。

因此医院拟在二期核医学科新建放射性同位素实验室，为研发新型放射性药物提供平台。研究人员可以在实验室中进行药物的合成、标记、活性检测等工作，开发出更具特异性、疗效更好的放射性药物，推动核医学治疗领域的发展。针对放射性同位素实验室科研场所，医院需要取得《放射性药品使用许可证》四类证后才能开展实验。

1.3.2 本项目建设内容

医院二期医疗楼东南侧地下一层规划有核素显像、核素治疗区域，医用电子直线加速器放射治疗区域，核医学科东侧拟规划了放射性同位素实验区域和 Y-90 项目 DSA 相关场所；地下三层为生产正电子核素的回旋加速器相关区域；及二期还涉及放射科 CT、DR 等Ⅲ类射线装置。其中核素显像、核素治疗区域、回旋加速器相关区域，医用电子直线加速器放射治疗区域已取得环评批复（京环审[2024]131 号、京环审[2024]11 号）。

本项目只涉及放射性同位素实验（本项目简称“同位素实验室”或“实验室”），位于二期医疗楼地下一层核医学科诊断区域东侧。同位素实验室拟使

用 1 套最大活度规格为 $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ 的 Mo-99 (Tc-99m) 发生器 (每年最多使用 50 套), 使用 F-18、Ga-68、Lu-177、Tc-99m 核素药物开展科学研究和动物 PET/SPECT-CT 一体机显像。针对同位素实验室科研场所, 医院需要取得《放射性药品使用许可证》四类证后才能开展。

1.3.3 本项目核素使用量

核医学科放射性同位素实验室核素使用情况预计如下:

(1) 使用最大活度规格为 $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ 的 Mo-99 (Tc-99m) 发生器 (每年最多使用 50 个), 每天最多淋洗一次, Mo-99 (Tc-99m) 发生器年最大淋洗量不大于 $7.40\text{E}+12\text{Bq}$ (考虑到发生器自行衰减, 实际淋洗量不大于 $4.90\text{E}+12\text{Bq}$), 淋洗 Tc-99m 核素用于核素诊断区 SPECT 显像和同位素实验室科研实验 (放射性标记药物制备、质控和动物实验、细胞实验等)。

(2) 使用 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机及 F-18、Ga-68、Lu-177、Tc-99m 核素开展科研实验, 每天每种核素最多使用 555MBq , 每天最多使用一种核素, 每年工作 100 天 (涉及动物科研实验部分: 动物显像每年最多 50 天, 动物解剖实验每年最多 50 天)。

(3) F-18、Ga-68 药物由位于地下三层的回旋加速器 (已取得环评批复, 京环审[2024]131) 自行制备、合成、标记后送至淋洗标记室暂存; Tc-99m 核素由淋洗标记室的 Mo-99 (Tc-99m) 发生器淋洗制取, Lu-177 由厂家送至核医学科高活室, 再由内部通道运送至同位素实验室的淋洗标记室暂存。

涉及到使用同位素的场所有淋洗标记室、质控室、动物显像室、解剖实验室、细胞室等。本项目涉及每间实验室核素的使用有先后顺序, 按照流程先标记合成、质控、分装、注射或使用, 然后动物显像/生物分布实验/细胞实验等, 且淋洗标记室操作量大于其它房间, 同位素实验室以操作量最大的淋洗标记室进行统计分析。

拟建放射性同位素实验室各种核素计划使用情况如表 1-7 所示。

表 1-7 放射性同位素实验室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	射线装置类别	使用场所

1	动物 PET/SPECT-CT 一体机	1	待定	不高于 90kV/1mA	III	动物显像室
二 放射性同位素实验室拟使用的核素情况						
核素 种类	日最大使用量 (Bq)	年最大使用天数 (天)	年最大用量 (Bq)	用途	备注	
F-18	5.55E+8	100	5.55E+10	分装(含科 研)	/	
Ga-68	5.55E+8	100	5.55E+10	分装(含科 研)	/	
Mo-99 (Tc- 99m)	2.96E+10	/	1.48E+12	制备	每年最多使用 50 个	
Tc-99m	2.96E+10 (5.55E+8)	250 (100)	7.40E+12 (5.55E+10)	药物制备(含 诊断、科研)	括号内数值都是 科研用量情况	
Lu-177	5.55E+8	100	5.55E+10	药物合成、 标记(含科 研)	/	

1.3.4 场所分级

《关于明确核技术辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430号)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”，利用钼锝发生器淋洗 Tc-99m 时，Mo-99 的操作视为“贮存”；放射性药品生产中分装、标记等活动视为“简单操作”。

依照上述通知精神，对本项目涉及核素的操作方式确定如下：

本项目的同位素实验室，因显像诊断之后还涉及动物解剖等操作，相对复杂，故将全部同位素实验的操作活动视为“简单操作”。

核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-8 所示，都小于非密封放射性物质工作场所的上限（乙级上限 $4 \times 10^9 \text{Bq}$ 、丙级上限 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ ）。

表 1-8 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)	用途	场所等级
放射 性同 位素 实验 室	F-18	5.55E+8	0.01	简单操作 (液体, 1)	5.55E+06	分装(含 科研)	乙级 (日等效最大 操作量为 3.92E+08 Bq, 保守假设 全部在一天内)
	Ga-68	5.55E+8	0.01	简单操作 (液体, 1)	5.55E+06	分装(含 科研)	

	Mo-99	2.96E+10	0.1	贮存（悬浮液，100）	2.96E+07	制备	使用）
	Tc-99m	2.96E+10	0.01	简单操作（液体，1）	2.96E+08	药物制备（含诊断、科研）	
	Lu-177	5.55E+8	0.1	简单操作（液体，1）	5.55E+07	药物合成、标记（含科研）	

备注：同位素实验室实际 1 天只使用 1 种核素进行科研实验，保守按照全部核素在一天内使用来进行日最大等效操作量的估算。

1.3.5 辐射工作人员配备

医院二期核医学科诊疗区域启用后，配备医师 11 名、技师 10 名、物理师 2 名、化学师 2 名、护士 4 名，共计 29 名（如果一期核医学科 Y-90 显像还继续使用 PET/CT 和 SPECT/CT，在 29 名工作人员外还需增加 2 名辐射工作人员（技师和护士各 1 名），共 31 名）。全院核医学科全部辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，并已安排个人剂量计监测。

本项目拟新增 5 名辐射工作人员，2 人负责科研药物的合成、标记、分装、质控等工作，2 人负责动物显像实验及动物实验，1 人负责细胞实验，能够满足同位素实验室的使用需求。

1.3.6 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后拟新增 1 台辐射剂量巡测仪、2 台表面污染监测仪，能够满足同位素实验室常规的监测需求。

1.3.7 项目建设正当性

本项目使用放射性核素药物开展科学研究和动物 PET/SPECT-CT 一体机进行动物模拟研究，可提供生物分布、药代动力学等多方面的丰富信息，准确反映药物在动物体内摄取、结合、代谢、排泄等动态过程。本项目建成后，为快速在动物和人体进行同一试验提供了机会，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。

该项目使用的 F-18、Ga-68、Tc-99m 和 Lu-177 等标记放射性药物，开展核医学影像诊断，是核医学科成熟的、常用的显像手段，其使用过程中获得的利益远大于辐射可能造成的损害，符合实践正当性原则的要求。

综上所述，本项目的建设所带来的利益远高于代价，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

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。受北京清华长庚医院的委托，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。评价重点是放射性同位素实验室场所运行过程中产生的 X、 γ 射线、 β 射线，放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

1.3.9 本项目产业政策符合性

本项目动物 PET/SPECT-CT 一体机属于鼓励类第十三项第 4 条中“高性能医学影像设备”项目。

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。

1.3.10 项目选址与周围环境

二期建设工程位于北京清华长庚医院内南侧预留区域，根据原北京市规划委员会《建设用地规划许可证》（2010 规地字 0065 号），医院总用地面积 94854.504 平方米，其中建设用地面积 82637.214 平方米。四至范围：东至立水桥北路，南至太平庄中一街，西至立汤路，北至太平庄中二街。本项目位于北京清华长庚医院东南侧。医院地理位置图见附图 1，周边关系图见图 1-1 和附图 2。

本项目核医学科放射性同位素实验室相关场所位于二期医疗楼（地下三层，地上十三层）的地下一层东南侧，该区域东侧隔走廊为地下土层，南侧为净化空调机房、化学品库房、全检质控等，西侧为核医学科核素诊断区，北侧隔走廊为排风送风机房、强电室等，楼上为院内路面，楼下为停车库。

放射性同位素实验室东侧区域为动物暂存室、观察室、动物显像室、细胞室及缓冲、解剖室、废物间、储存间、东侧缓冲区，西侧区域为淋洗标记室、质控室、缓冲更衣室、退更、一更及二更等。本项目地下一层放射性同位素实验室平面布局图见图 1-2。

项目选址充分考虑了周围场所的安全，不邻接产科、儿科、食堂等部门等及人员密集区，尽可能做到了集中设置，总体认为该项目选址合理。

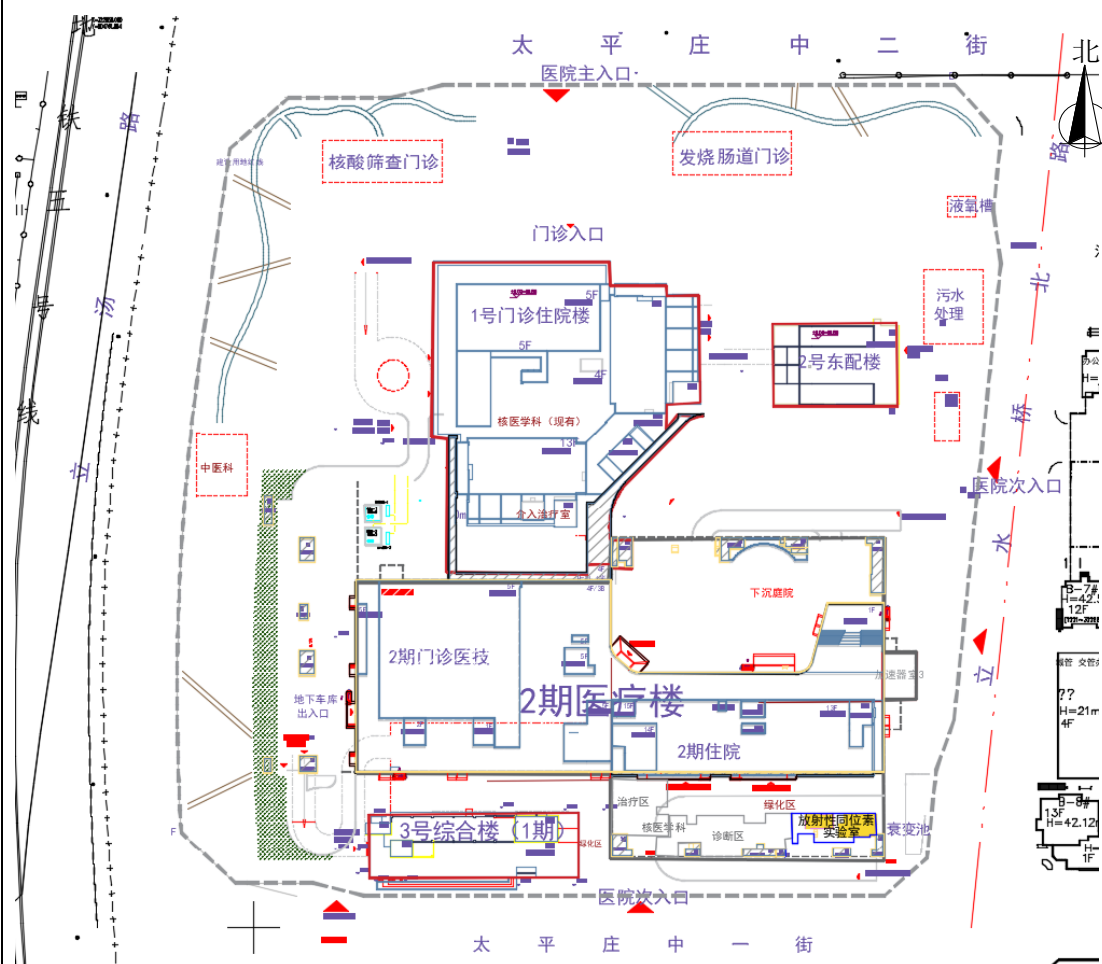


图1-1 本项目位置及周围环境

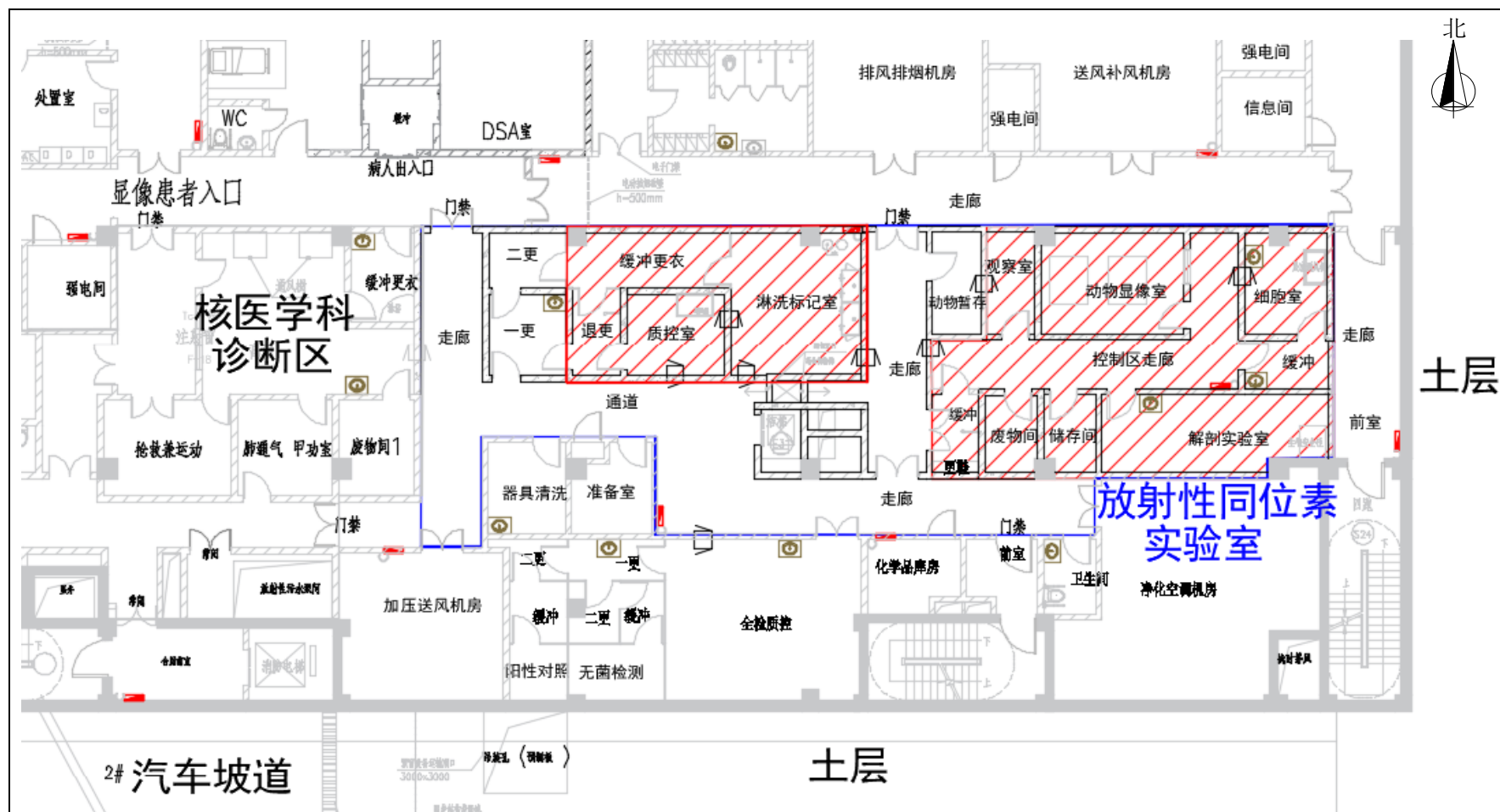


图1-2 本项目地下一层放射性同位素实验室平面布局图

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	F-18	液体	使用	5.55E+08	5.55E+06	5.55E+10	科研	简单操作	放射性同位素实验室	放射性同位素实验室淋洗标记室
2	Ga-68	液体	使用	5.55E+08	5.55E+06	5.55E+10	科研	简单操作		
3	Mo-99 (Tc-99m)	液态	使用	2.96E+10	2.96E+07	1.48E+12	制备	/		
4	Tc-99m	液体	使用	2.96E+10	2.96E+08	7.40E+12	科研	简单操作		
5	Lu-177	液体	使用	5.55E+08	5.55E+07	5.55E+10	科研	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
无										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/SPECT-CT	III类	1	待定	90	1	动物显像	动物显像室	

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
无													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
同位素实验室放射性废水	液态	Tc-99m、F-18、Ga-68、Lu-177、	/	/	3.1m ³	总β<10 Bq/L	114.7m ³ 衰变池暂存	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，排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
放射性固体废物（废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、吸水垫、被污染的一次性用品等）	固态	F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177			约50kg	<10 ⁴ Bq/kg	在放射性废物库内储存	分类收集，A类（F-18、Tc-99m、Ga-68）暂存30d，B类（Lu-177）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。
废发生器	/	钼锝发生器	/	/	50个	/	/	达到使用寿命后厂方下次送新的发生器时回收。
动物尸体	固态	F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177	/	/	30kg	<10 ⁴ Bq/kg	冰柜内	暂存68d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，符合要求后将尸体送医院动物室按照普通动物尸体处理。
放射性废气	气态	微量F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177	/	/	少量，可忽略	/	净化过滤后排放	经通风橱自带的活性炭过滤器过滤后，在建筑楼顶排入大气环境。
气体过滤装置废滤材	固态	微量F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177	/	/	12kg（每年更换一次）	<10 ⁴ Bq/kg	放射性废物库内储存	暂存至少68d，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) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起实施。 (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日修订并实施。 (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起实施。 (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 682 号修订，2017 年 6 月 21 日公布，2017 年 10 月 1 日起实施。 (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订版公布并实施。 (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部令 第 16 号，2020 年 11 月 30 日公布，2021 年 1 月 1 日起实施。 (7) 《〈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，北京市生态环境局通告（2022）4 号，2022 年 4 月 1 日起实施。 (8) 《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。 (9) 《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。 (10) 《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。 (11) 《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。 (12) 《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。 (13) 《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。 (14) 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。 (15) 《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。 (16) 《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。 (17) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号。 (18) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年 2 月； (19) 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。 (20) 《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。 (21) 《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。 (22) 《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。 (23) 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。 (24) 《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。 (25) 《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。 (26) 《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。
--	---

技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016） (2) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） (4) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010） (5) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021） (6) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020） (7) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002） (8) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005） (9) 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013） (10) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012） (11) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） (12) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019） (13) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） (14) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） (15) 《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） (16) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012） (17) 《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）
其他	(1) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys.33 (1), January 2006 (2) Radionuclide and Radiation Protection Data handbook 2002, Vol.98 No 1, 2002 (3) Exposure rate constants and lead shielding values for over 1,100 radionuclides, Health Phys. 102(3): 271-291; 2012 (4) 原国家环境保护局监督管理司, 《中国环境天然放射性水平》, 1995 年 8 月。 (5) 《辐射安全手册》, 科学出版社, 2011 年。 (6) 北京清华长庚医院提供的与本项目相关的申请和技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为二期新建放射性同位素实验室，为乙级非密封放射性物质工作场所，新增 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机。

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：放射性同位素实验室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 区域除了东侧和南侧部分为院外马路区域外，其它都是医院内部。主要为医院医疗楼内相关诊疗场所和院内区域等。

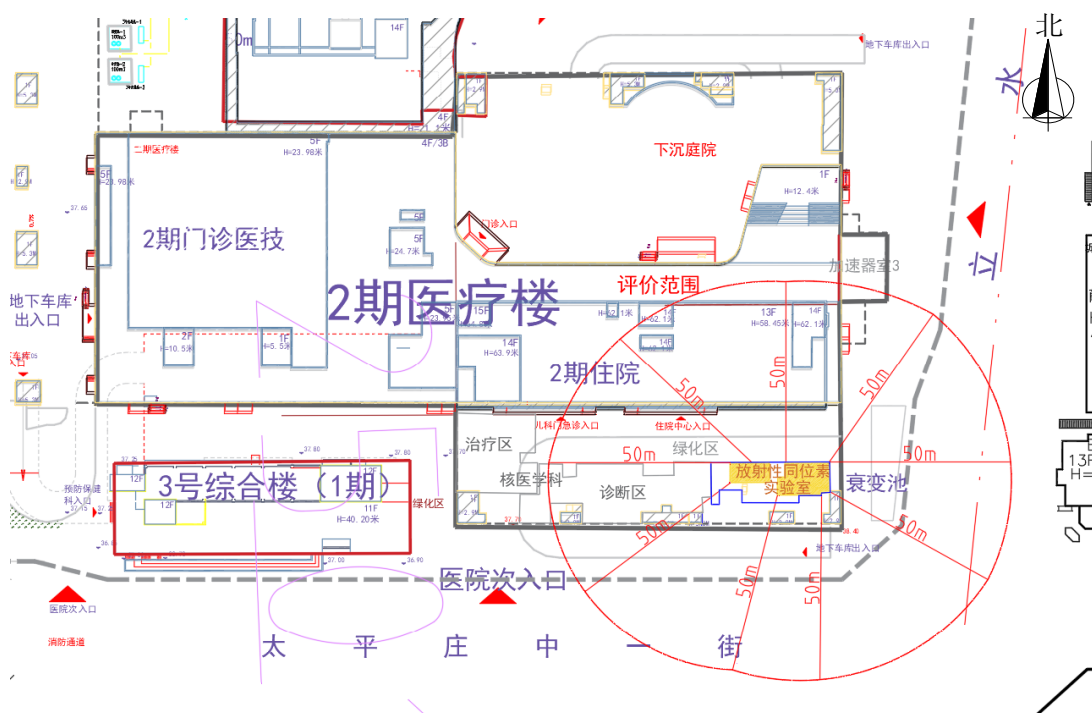


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

- (1) 新建核医学科放射性同位素实验室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、表面污染、放射性“三废”等。

7.2 保护目标

本项目核医学科放射性同位素实验室相关场所位于二期医疗楼地下一层东南侧，该区域东侧隔走廊为地下土层，南侧为净化空调机房、化学品库房、全检质控等，西侧为核医学科核素诊断区，北侧隔走廊为排风送风机房、强电室等，楼上为院内路面，楼下为停车库。上述场所的具体位置见图 7-2~图 7-4 所示，都充分考虑周围场所的安全，本项目不邻接产科、儿科、食堂等部门，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，满足 HJ1188-2021 和 GBZ120—2020 的选址要求。场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7-1 所示。

表 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离(m)	数量(人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
放射性同位素实验室	其他工作人员	0~3	1~2	东侧	走廊
	/	4~50	/	东侧	地下土层
	公众	0~11	流动人员	东侧(地面)	院内路面和绿化区
	公众	12~50	流动人员		院外马路
	其他工作人员	0~6	2	南侧	净化空调机房、化学品库房、全检质控等
	/	7~50	/	南侧	地下土层
	公众	0~18	流动人员	南侧(地面)	院内路面和绿化区
	公众	19~50	流动人员		院外马路
	核医学科工作人员	0~50	20	西侧	核医学科诊疗区、办公区
	其他工作人员	0~3	1~2	北侧	走廊
	其他工作人员	4~25	20		排风机房、病案、办公室等
	患者或其他工作人员	26~50	约 100		放疗科
	介入治疗室工作人员	0~10	6	西北侧	介入治疗室及相关场所(预留)
	停车场管理员	紧邻	2	楼下	停车库
	其他工作人员、	紧邻	流动人员	楼上	院内路面

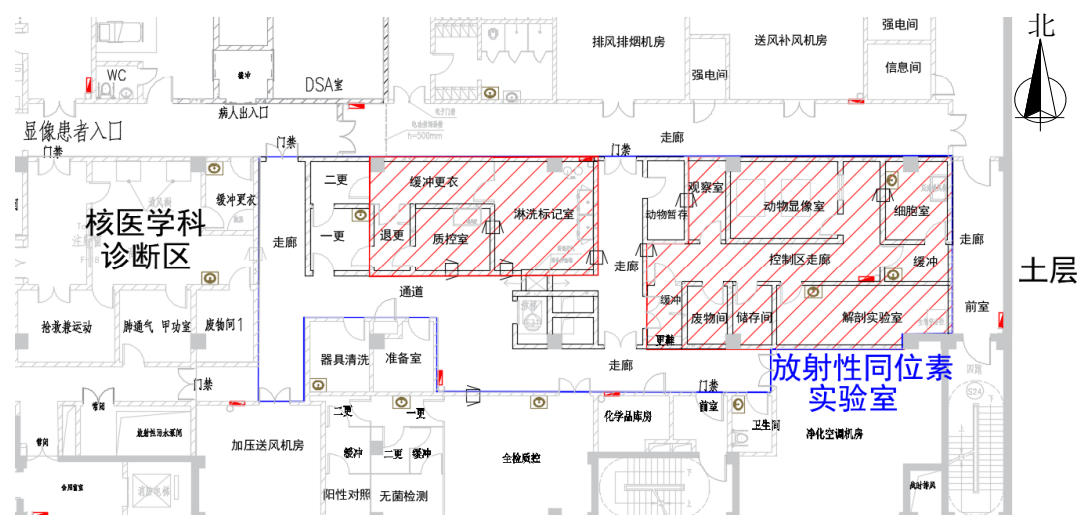
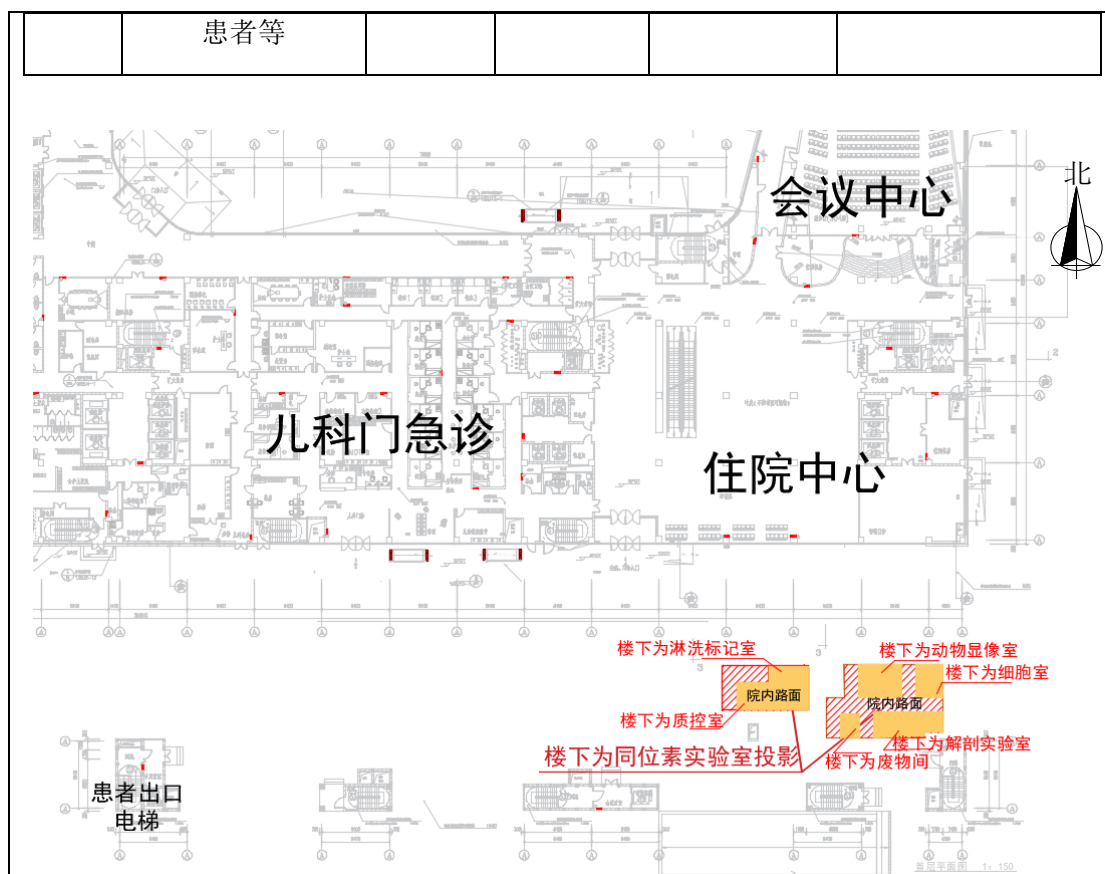




图 7-4 本项目地下二层周围关系图

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

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

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB18871-2002）

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

7.3.2 剂量约束值

职业照射，本项目放射性同位素实验室辐射工作人员取 5mSv/a 作为剂量约束值（核医学科工作人员仍维持 5mSv/a 的管理目标值）；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 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）动物显像室外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

（4）通风橱外表面 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。

7.3.4 放射性废水排放控制要求

（1）水污染物排放标准

根据《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013）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。

根据 HJ1188-2021 和京环办[2018]13 号文要求，对于槽式衰变池（罐）暂存方式，A 类（半衰期小于 24h）放射性废水注满后，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；B 类（半衰期大于 24h）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（其中含 I-131 的放射性废水至少暂存 180 天）后，应委托有资质（CMA 或 CNAS）的检测机构对拟排放废水中 I-131 核素的放射性活度浓度进行检测，活度浓度与单次排放总活度值均应满足 GB18871-2002 附录 A 表 A1 的规定。科室将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日

期等信息。

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。

医院规定含放射性废水必须经衰变池暂存，废水的总 α 、总 β 监测结果还需满足分别小于 1Bq/L、10Bq/L、I-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L，监测结果经审管部门认可并办理相关手续后方可排入下水管道。

7.3.5 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。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。

（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。

7.3.6 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，因此可以将放射性废物分类收集暂存，待衰变至符

合清洁解控水平时，再按医疗废物要求进行处理。

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，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台”，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。

实验动物尸体管理要求：本项目产生的所有实验动物尸体均应冷冻暂存。实验动物尸体或组织应按照所含核素种类分类收集，动物尸体或组织装入密封袋、标注所含核素种类和产生日期后，送至对应的废物间的专用冰柜内冷冻暂存；参考放射性固体废物的暂存时间要求，动物尸体暂存时间按 68 天管理，解控后的动物尸体废物按普通动物尸体的规定妥善处理。

台账管理要求：本项目产生的放射性固体废物、实验动物尸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》《实验动物尸体暂存、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：活性炭滤材以及通风橱自带的高效过滤器滤材，暂存至少 68d，经监测达标并办理解控后，作为普通废物处理。

7.4 放射性工作场所分级

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级见表 7-3。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
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 工作场所放射性表面污染控制水平

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-4。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平（Bq/cm²）

类别		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒组	其他	
工作台、设备、墙壁、 地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-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，地板取 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 7-4 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。

7.6 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（手套箱）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。

二期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，位于医疗楼东侧，高度约 59.8m，排风口朝东设置，设在医疗楼顶部并高于周围 50m 范围内建筑物。

本项目放射性同位素实验室的淋洗标记室内拟配 2 个热室（手套箱），质控室、细胞室各拟设 1 个普通通风橱，操作口风速均 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。放射性同位素实验室共配 2 套排风系统，手套箱（通风橱）分别设置独立的排风系统，配备高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ），各手套箱（通风橱）废气由单独管道引出后合并为 1 个排风管道由医疗楼顶部的排风系统排出，在排风口前端设置活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ），过滤器每年更换一次；同位素实验室控制区设置一套排风系统，各排风机出口处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%，每个常用活性炭重量不小于 2kg（高效过滤器不大于 2 kg），更换周期为一年。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

评价单位委托有资质单位于 2025 年 4 月 7 日对本次新增的辐射工作场所周围进行了 γ 辐射空气吸收剂量率本底监测，检测报告见附件 5。

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 辐射空气吸收剂量率监测，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。监测时每点测量 10 次，每次间隔 10 秒钟，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
环境剂量率仪	GH-102A/20170404	DLjl2025-03238、 2025-3-13~ 2026-3-12	测量范围：0.01 μ Gy/h~100 μ Gy/h； 能量范围：30keV~8MeV； 相对响应之差：< $\pm$ 15%。

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

拟建场所的 γ 剂量率的监测数据见表 8-2。

表 8-2 拟建放射性同位素实验室区域环境 γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位置	地面介质	检测结果（ μ Gy/h）	
			平均值	标准差
1	拟建放射性同位素实验室区域中央	混凝土	0.11	0.01

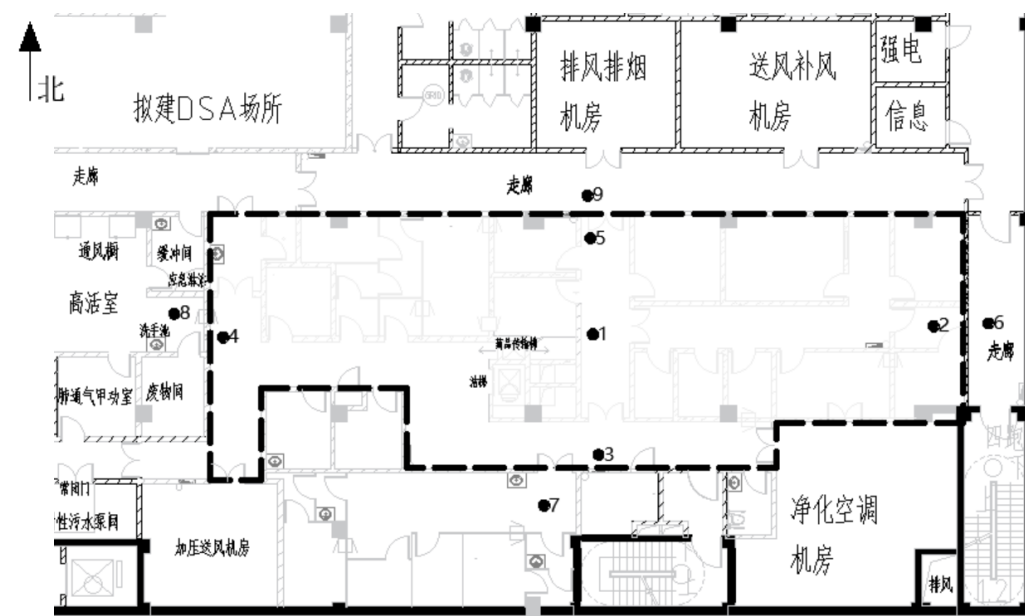
2	拟建放射性同位素实验室区域内东侧	混凝土	0.10	0.01
3	拟建放射性同位素实验室区域内南侧	混凝土	0.11	0.01
4	拟建放射性同位素实验室区域内西侧	混凝土	0.10	0.01
5	拟建放射性同位素实验室区域内北侧	混凝土	0.10	0.01
6	拟建放射性同位素实验室区域外东侧	混凝土	0.10	0.01
7	拟建放射性同位素实验室区域外南侧	混凝土	0.10	0.01
8	拟建放射性同位素实验室区域外西侧	混凝土	0.11	0.01
9	拟建放射性同位素实验室区域外北侧	混凝土	0.10	0.01
10	拟建放射性同位素实验室区域楼上	混凝土	0.09	0.01
11	拟建放射性同位素实验室区域楼下	混凝土	0.11	0.01

注：1.检测结果包含仪器在检测点处的宇宙射线响应值（0.03 μ Gy/h）。

2.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）。因此，本项目拟建场所环境 γ 辐射剂量率水平属于正常本底水平。



注：虚线方框为拟建放射性同位素实验室范围。



图 8-1 本项目拟建场所检测点位图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 同位素实验室

同位素实验室主要用于放射性标记药物制备、放射性质控实验、动物显像诊断实验和细胞实验等，拟使用 1 个最大活度规格为 $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ 的 Mo-99 (Tc-99m) 发生器（每年使用 50 个）和 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机及 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 核素开展科研实验。

9.1.1 动物 PET/SPECT-CT 机

本项目配套使用 1 台动物 PET/SEPCT-CT，属于 III 类射线装置，III 类射线装置对环境影响很小，本评价报告对 III 类射线装置操作流程、环境影响进行简要分析。

动物 PET/SPECT-CT 一体机是将 PET、SPECT 和 CT 三种成像技术整合在一起的设备。

(1) SPECT 成像：动物先摄入含有半衰期适当的放射性同位素药物，药物到达成像断层位置后，因放射性衰变从断层处发出 γ 光子。位于外层的 γ 照相机探头的灵敏点探测沿投影线进来的 γ 光子，通过闪烁体将高能 γ 射线转化为光信号，再经光电倍增管转化为电信号并放大，得到该投影线上的放射性之和。从不同角度进行观测，获取多个投影数据，通过计算机重建出断层图像，显示动物组织器官的功能、代谢等信息。

(2) PET 成像：利用放射性同位素示踪原理和正电子符合探测技术。给动物注射含有正电子核素标记的药物，药物在体内参与代谢过程，正电子核素衰变产生正电子，正电子与体内的电子发生湮灭辐射，产生一对方向相反的 γ 光子。PET 探测器通过探测这些 γ 光子对，经计算机处理重建出体内放射性药物分布的三维图像，从而显示动物组织器官的功能改变、细胞代谢、分子结合与信息传递等生物学特征和生化代谢过程。

(3) CT 成像：利用组织对 X 射线吸收率的差异，通过 X 射线对动物进行断层扫描，探测器测量 X 射线穿过动物身体后的衰减程度，获取大量的投影数据，计算机根据这些数据重建出动物体内的解剖结构图像，清晰显示其组织结构和解剖学形态改变。

在动物 PET/SPECT-CT 一体机中，PET、SPECT 和 CT 三种成像技术相互

配合，PET 和 SPECT 提供功能和代谢信息，CT 提供精确的解剖结构信息，通过计算机软件进行图像融合和分析，使研究人员能从多个角度全面了解动物体内的生理和病理状况。



图 9-1 动物 PET/SPECT-CT 机设备外观

9.1.2 Mo-99 (Tc-99m) 发生器

(1) 发生器原理

Tc-99m ($T_{1/2}=6.02\text{h}$) 是目前核医学临床诊断使用最为广泛的放射性核素，Tc-99m 主要由其母体核 Mo-99 ($T_{1/2}=65.9\text{h}$) 衰变得得到，通常由 Mo-99 (Tc-99m) 发生器获得。临床上常用的 Mo-99 (Tc-99m) 发生器有裂变型发生器和凝胶型发生器，相对而言，裂变型色谱 Mo-99 (Tc-99m) 发生器具有柱体积小、Tc-99m 淋洗峰窄、Tc-99m 洗脱效率高、Tc-99m 比活度高等优势，在临床上的使用更为广泛。

其工作原理为钼酸锆柱内的 Mo-99 不断衰变产生子体核 Tc-99m，Tc-99m 被钼酸锆柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，Tc-99m 核素便以 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ （高锝酸根）的形式被淋洗出来。钼锝发生器为成熟产品，具有良好的辐射屏蔽，淋洗时先打开发生器顶部的铅屏蔽盖，在发生器的一端插上生理盐水瓶作淋洗液，另一端插上真空瓶，由于负压作用，即可定量淋洗出 Tc-99m 溶液。在出口处用有防护的安剖瓶接收淋洗液，淋洗完毕后转入合成模块，合成完毕的药物进行分装。钼锝发生器内部结构及实物示意图见图 9-2。

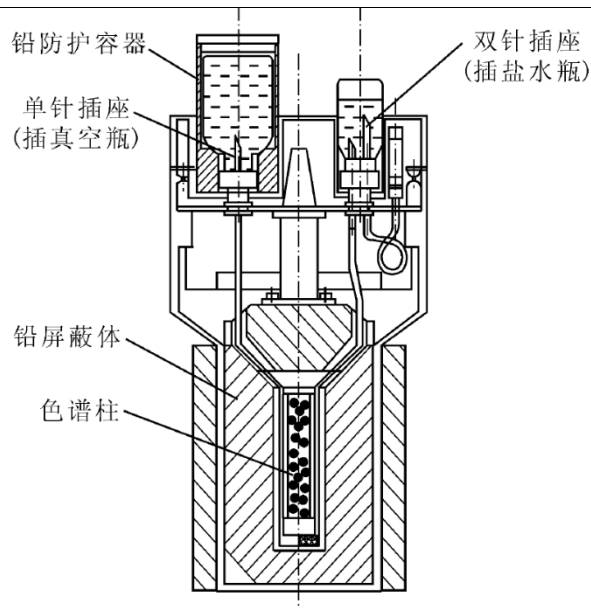


图 9-2 Mo-99 (Tc-99m)发生器内部构造图

由于较长半衰期的母核 Mo-99 不断衰变产生较短半衰期的子体核 Tc-99 (子体和母体达到暂时平衡的时间约为 23h)，因而钼锝发生器可以反复淋洗制得 Tc-99m 核素。实际使用时可按 24h 为周期进行淋洗，Tc-99m 从发生器内淋洗出来后，部分高锝酸钠溶液稀释分装后直接使用，部分高锝酸钠用于标记其他锝标药物。

(2) 规格

本项目 Mo-99 (Tc-99m) 发生器单枚规格为 $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ ，本项目计划每年订购 50 次，每次订购 1 个。

Tc-99m 的淋洗、合成也是位于淋洗标记室的专用模块箱内，模块箱采用 20mm 的铅进行防护，观察窗位于模块箱正面，其屏蔽防护等效于 20mm 的铅当量。

发生器经过热室衰减后的剂量率水平如下表所示：

表 9-1 发生器热室周围所致 γ 剂量水平

核素名称	初始活度 (Bq)	铅当量厚度 (cm)	模块箱表面剂量率($\mu\text{Sv/h}$) (距源 80cm 处)
Tc-99m	$2.96\text{E}+10$	2cm	$1.40\text{E}-17$
Mo-99	$2.96\text{E}+10$ ，根据发生器规格书， 发生器 1m 处剂量率为 $8.88\mu\text{Sv/h}$	2cm	1.94

备注：Mo 的 TVL (23.4mmPb) 取自 Exposure Rate Constants and Lead Shielding Values for Over 1,100 Radionuclides.

(3) 操作频次

通常整个淋洗过程约需 2min, 药品在合成模块合成、分装操作时间 20min, 每周最多操作 5 次。淋洗、标记均在热室内进行, 热室采用机械通风, 风速大于 0.5m/s, 经两级过滤系统 (高效过滤器+多层高效活性炭过滤器) 处理后, 从楼顶排气口外排。

Mo-99 (Tc-99m) 发生器从供应商定期采购, 供应商发货至医院放射性同位素实验室, 运输过程中货物被锁于密封铅筒内, 到公司后 Mo-99 (Tc-99m) 发生器存放在淋洗标记室铅热室内, 由于 Mo-99 (Tc-99m) 发生器使用寿命较短, 每隔 24h 淋洗得到高锝 [^{99m}Tc] 酸钠溶液活度最大, 约为上一次淋洗的 70~80%, 使用过 Mo-99 (Tc-99m) 发生器色谱柱暂存在 (放射性) 废物库内, 达到使用寿命后厂方下次送新的发生器时回收。

(4) 全自动合成模块

Tc-99m 与 Lu-177 药物合成使用同 1 套全自动合成模块, 均在热室内使用。制备 Tc-99m 或 Lu-177 药物时工作人员需将合成模块的连接管接到 Tc-99m 或 Lu-177 瓶内底部, 工作人员接触时间最多 1min。药物的合成为全自动模式。

9.1.3 淋洗标记室

本项目 F-18、Ga-68 放射性核素药物只涉及分装, Tc-99m 核素由 Mo-99 (Tc-99m) 发生器制备, Lu-177 放射性核素则是通过预约的方式向有资质的厂家购买, 运至淋洗标记室手套箱内, Lu-177 和 Mo-99 (Tc-99m) 发生器共用北侧手套箱。将放射性核素的液体加入反应体系, 通过亲核取代和配位等化学反应 5~20min 得到目标化合物。反应完成后在防护热室内通过分离柱进行色谱分离, 经过 20~40min, 得到纯化的放射性药物, 测量最终所得放射性药物的活度和溶液体积。所有操作如来药储存, 制备, 分装, 标记, 纯化等均在防护手套箱中进行, 北侧手套箱六面防护为 20mm 铅当量, 南侧手套箱六面防护为 50mm 铅当量, 操作者距离源项约 30~60cm。通过传递窗、内部走廊送至质控室或小动物实验区进行下一步分析评价实验。

该房间主要功能及测试项目还包括: 性状检查、放射性活度 (浓度) 测定、半衰期测定、pH 值测定、制备核纯度测定、放射化学纯度测定样品等。

（1）性状检查

在铅防护手套箱中，用镊子将样品从铅罐中取出，透过铅玻璃肉眼观察，操作时间约 10 秒钟。

（2）半衰期测定

取本品 0.1mL（不大于 $3.70\text{E}+06\text{Bq}$ ），放入活度计离子井中，依据活度计标准操作规程对活度计进行确认和活度测定。每隔 10 分钟读取活度计值，共读取 3 次数值，并记录下准确时间和活度值。把时间和活度值输入到半衰期曲线表格中，求出斜率 k ，根据 $T_{1/2} = -0.693/k$ ，计算出半衰期。

（3）样品制备

放射化学纯度测定样品制备：在铅防护热室中，用注射器抽取少量样品，根据放射性浓度进行适当的稀释后，用毛细管吸取约适量样品（20000 计数/分钟），铅罐转移至质控室后点于层析纸或薄层板上，晾干、置展开缸中展开。在质控室进行的放射性操作，操作方式属于简单操作，操作时间不超过 10min。

核纯度测定及液相色谱法测定放射化学纯度测定样品制备：在铅防护手套箱中，用微量取样器吸取少量样品，置西林瓶中，加塞密封后用铅罐转移至质控室进行放射性核纯度测定，放射性标记化合物操作时间约为 2min。

（4）标记研究

在热室中，放射性同位素与药物前体反应，自动合成后或直接经纯化、过滤即为放射性标记化合物溶液。由于不同放射性药物的标记工艺条件和参数不同，本项目涉及的放射性药物处于研发和收集数据阶段，放射性同位素标记反应的关键工艺参数研究，是标记实验室的主要工作。本项目涉及的同位素主要是金属元素，标记反应为螯合反应。

单次实验使用放射性同位素的活度为 $3.70\text{E}+07 \sim 1.85\text{E}+10\text{Bq}$ （1~500mCi）。本项目处于工艺条件摸索阶段，一般采用手动标记操作，每次操作量不超过 $3.70\text{E}+07\text{Bq}$ ，足够产生微量的放射性信号，用于结果判定即可。

（5）自动合成

在标记实验阶段使用全自动合成仪进行标记实验，采集关键工艺参数。全自动合成仪置于热室内，实验由计算机远程控制，在合成阶段工作人员无需操

作，并远离设备，大大降低了操作人员的辐射剂量。操作人员穿工作服，佩戴一次性手套和口罩防护。

自动化标记、合成同位素药物，涉及的放射性操作过程如下：

①在热室内，使用长柄镊子从运输容器中取出装有放射性同位素的容器，测定放射性活度。

②用长柄镊子将装有同位素的西林瓶与全自动合成仪连接。

③在计算机上设定反应条件，全自动完成标记反应。

④中间体或终产品被自动合成仪收集并传送到样品瓶中，通过操作手孔在分装热室内对样品进行分装、加塞和轧铝盖。

⑤在热室内将样品装于辐射防护容器中，通过热室底部的机械装置将防护铅罐转移出热室，送质控室、动物显像室或细胞实验室。

制备、分装和标定各类核素的过程中，使用的淋洗真空接收瓶、标记液制剂瓶、注射器等均为一次性使用，无容器的清洗操作，制备过程无生产废水产生。事故情况下发生洒漏，采取干法去污，首先使用吸水纸擦拭，然后用酒精棉球再反复擦拭直至检测数据合格，擦拭用的吸水纸、酒精棉球等作为放射性固废处理。在淋洗标记室配备了防护厚度为 5mm 铅防护废物桶，防护废物桶内套有废物收集袋，将在下次实验前清场时转移出热室，放入放射性废物间放射性废物桶。

热室标记实验后的放射性性废液（约 2ml）统一收集瓶内，放置于铅废物桶暂存 68 天后，检测表面辐射剂量率达标后，作为医疗废物处置。

（6）制备后的药品活度测定

在热室中，用注射器抽取少量制备后的药品（不大于 $7.40\text{E}+05\text{Bq}$ ），放入活度计离子井中，依据活度计标准操作规程对活度计进行确认和活度测定。每隔 10 分钟读取活度计值，共读取 3 次数值，并记录下准确时间和活度值。

（7）pH 值测定

在热室中，用注射器抽取少量制备后的药品（不大于 $3.70\text{E}+05\text{Bq}$ ），取一滴于 pH 试纸上，透过手套箱的铅玻璃，观察颜色并与标准比色板进行比对。放射性废物置标记室内的废物桶中。

标记好的核素通过传递窗、内部走廊送至质控室或动物显像室进行下一

步分析评价实验。淋洗标记室内药物分装、合成和制备通常由 1 名化学师完成。

9.1.4 质控室（分析实验）

制备后的药品取样 $3.7\sim 7.4\text{E}+06\text{Bq}$ ($100\sim 200\mu\text{Ci}$) 分装在注射器或西林瓶内，置于铅防护盒（铅防护当量 25mm），通过药品传递窗送至质控室，利用放射性薄层色谱仪（TLC）和高纯锗 γ 谱仪对放射性药物进行分析实验。本实验室内配备的分析仪见图 9-3。

（1）放射性核纯度检测

质控室将配备高纯锗 γ 谱仪一台，主要进行放射性核纯度的测定。

操作流程：将制备好的密封放射性样品，置于铅室内探头位置，关闭铅室，进行测定。测定结束后，取出样品，置于铅罐中，实验后放入放射性废物桶中，为密封的放射性物质。操作量为 $7.40\text{E}+05\text{Bq}$ ，放射性标记化合物操作时间约为 2min。

（2）放射化学纯度的测定

TLC 法：将淋洗标记室点样、展开后的层析纸或薄层板用托盘拿到质控室后，用放射性薄层色谱仪（TLC）进行测定。放射性活度不大于 $3.70\text{E}+05\text{Bq}$ ，操作方式为很简单的操作，操作时间不超过 5 min。

进行放射性检测时，一般正面安装有铅玻璃，屏蔽当量为 10mmPb，用于质控人员的防护。检测完成后测定试纸放入铅废物桶暂存 68 天后，检测表面辐射剂量率达标后，作为医疗废物处置。

质控室内放化实验通常由 1 名技师完成。

（3）全检质控室：追溯性检验（非放射性指标），淋洗标记室留样置于西林瓶内（0.5ml）待其完全衰变后，传入阳性对照和无菌室，进行 GC 检测（残留溶剂检测）、无菌内毒素检测，该追溯性检验每月一次。



图 9-3 分析仪的图片

9.1.5 动物显像室

9.1.5.1 项目建设规划

在同位素实验室场所东北侧设置一处动物 PET/SPECT-CT 场所，拟配置 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机成像装置，使用 F-18、Ga-68、Tc-99m 和 Lu-177 核素，利用实验鼠进行放射性药物临床前实验研究，显像室全年运行时间不大于 50d。

9.1.5.2 操作流程

在动物显像室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器，给试验动物注射标记好的放射性药物，注射 F-18、Ga-68、Tc-99m 和 Lu-177 放射性药物的最大活度为 18.5MBq（小鼠 7.4MBq），每天注射动物最多 10 只，试验动物注射后，动物暂存在动物显像室的 5mmPb 当量的铅笼内，待药物有一定程度的代谢后（本项目使用短半衰期核素进行显像，注射药物后 10min~2h 即可显像），进行动物 PET/SPECT-CT 扫描检查。对动物进行 PET/SPECT-CT 扫描分析，主要在于鉴定所研制的放射性药物。本项目使用的动物为大鼠和小鼠，每年使用量较少，不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。实验动物的数量和每只实验动物的药物用量均小于人的 PET/SPECT 检测，对动物进行放射性药物注射也在动物显像室内进行。具体流程如下：

- 1) 制定实验计划：根据实验内容确定使用的放射性同位素种类和数量；
- 2) 核素供应：根据实验情况提前合成放射性药物，并要求将同位素产品分装好后封装在铅转运盒内，通过淋洗标记室东侧传递窗口由实验工作人员运到动物显像室内。

3) 动物麻醉：将实验动物（大鼠或小鼠）进行麻醉。

4) 注射：在检查床上给已经麻醉的实验动物（大鼠或小鼠）注射，小鼠给药活度一般为 7.4MBq，大鼠给药一般为 18.5MBq，然后将废注射器置入铅废物桶内暂存。每天实验动物最多 10 只。

5) 扫描：将实验鼠置入仪器配套的铅自屏蔽测量桶内，将测量桶送入小型多模态动物成像装置内进行扫描，记录实验数据。PET/SPECT 扫描 5~10min，CT 扫描时间 30s 内。

6) 废物处置：扫描过程中，实验鼠偶尔会产生少量的排泄物，将保留在测量桶内。扫描结束后将吸附排泄物垫料收集至放废桶内暂存。实验鼠扫描后直接处死后置入冰柜中暂存。拟配置 120L 冰柜 1 台，每天实验鼠不超过 10 只，实验完处死后的小鼠标明核素种类、时间。每季度实验小鼠不大于 300 只（含解剖实验），冷冻 300 只小鼠，体积不超过 30 立方分米，本项目配置 120L 冰柜可满足要求。暂存动物尸体（使用铅桶暂存于冰柜内），清理实验台面，分类收集放射性废物，对台面、地面进行表面污染监测，记录监测数据。开展实验人员体表污染监测，重点是手部和脚部，确认没有污染后离开控制区。

动物显像实验由 2 名技师负责，1 名技师通过缓冲区进入控制室，负责在控制室内操作仪器；1 名技师通过缓冲区进入控制区走廊，在动物显像室内完成小动物的药物注射、摆位等工作。

9.1.6 解剖实验室

主要开展动物实验工作，包括动物取血、解剖、处死及相关工作，包括常规实验（每年最多 38 天）和生态分布实验（每年最多 12 天）。解剖实验与动物显像实验不同时进行。

（1）常规实验

根据实验情况和需求，注射核素药物的动物取血进行放射性计数和测定药物血清分布；后进行处死解剖，取其有关器官和组织置于样品试管内并称重，然后使用伽玛计数器测量各脏器放射性计数。选取相关组织制作病理切片，需要对脏器进行放射性计数。最后将动物剩余组织以及使用过的组织收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总活度和时间等信息，置于废物间冷冻冰柜铅废物桶暂存。实验过程中使用后的隔尿垫、手套、棉签和注射

器等投入固体放射性废物桶内。

（2）生物分布实验

生物分布实验在解剖实验室进行，平均一个月做 1 次生物分布实验（生物分布实验每天只使用 1 种核素），做一次分布实验根据核素不同需要 3 个时间点（2min，30min 和 60min，每次注射约 4 只），每次不超过 10 只实验鼠。在动物显像室内将放射性药物从尾静脉注小鼠体内，给药量在 $7.40\text{E}+05\sim 3.70\text{E}+06\text{Bq}$ （20~100 μCi ）之间（总量不超过 185MBq），每只注射 1min 左右，其中一组（2~4 只）在给药后直接转到解剖实验室做分布实验，另外最多 8 只实验鼠在动物显像室暂存（生物分布实验时不进行动物显像实验），使用两个 5mm 铅笼（每个存储 4 只）暂存。在给药一定时间（2min，30min 和 60min）后，在解剖实验室将其固定在铅玻璃后的装置内处死实验鼠并进行解剖，每只动物解剖时间约 2~10min。解剖后，取其有关器官和组织置于样品试管内并称重，然后使用伽玛计数器测量各脏器放射性计数。最后将动物剩余组织以及使用过的组织收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总活度和时间等信息，置于废物间冷冻冰柜铅废物桶暂存。实验过程中使用后的隔尿垫、手套、棉签和注射器等投入固体放射性废物桶内。操作流程见图 9-4。



图 9-4 实验室动物分布实验/药物代谢操作流程

动物解剖实验和动物显像室动物药物注射、摆位由同 1 名技师完成。

9.1.7 细胞实验室

细胞实验室用于放射性药物的体外细胞结合试验。

根据实验内容，将分装好的放射性药品置于铅屏蔽盒中，转移到细胞实验室铅防护屏后。操作人员穿工作服，佩戴一次性手套和口罩防护。

（1）细胞摄取实验

选取目标细胞系，用合适的培养基在细胞箱中培养，使细胞处于对数生长期。将培养好的细胞以适当的密度接种到细胞培养板中，每孔加入适量的培养基，放入细胞培养箱中培养，使细胞贴壁。待细胞贴壁后，吸去培养基，加入含有放射性药物的新鲜培养基，设置不同的药物浓度和作用时间组，同时设置

对照组。将细胞培养板放入细胞培养箱中，在特定条件下孵育，让细胞摄取放射性药物。到达设定的作用时间后，吸去含放射性药物的培养基，用预冷的磷酸盐缓冲液（PBS）洗涤细胞多次，以去除未被细胞摄取的放射性药物。加入适量的胰蛋白酶消化细胞，然后加入含血清的培养基终止消化，轻轻吹打细胞，使其形成细胞悬液，将细胞悬液转移至离心管中。以适当的转速离心细胞悬液，弃去上清液至废液瓶中，收集细胞沉淀。用 γ 计数器对试管进行测定。测定结束后，试管用密封袋包装好，贴上核素名称和时间后，置废物间中贮存衰变。

（2）体外受体结合实验

将细胞接种于培养瓶中，在适宜条件下培养至对数生长期。用胰酶消化细胞，制成单细胞悬液，用结合缓冲液洗涤后，调整细胞浓度。在离心管中设置总结合管、非特异性结合管和空白对照管。向各管中加入细胞悬液和不同浓度的放射性配体，非特异性结合管中还需加入过量的非放射性竞争配体。将离心管置于适宜温度下孵育一定时间，使配体与受体充分结合。孵育结束后，迅速将离心管置于冰浴中，加入终止液终止反应。用洗涤缓冲液多次洗涤细胞，离心后弃去上清液至废液瓶中，以去除未结合的放射性配体。将洗涤后的细胞沉淀转移至测量管中，用 γ 计数器测量放射性活度。测定结束后，试管用密封袋包装好，贴上核素名称和时间后，置废物间中贮存衰变。

细胞实验每天每种核素用量不大于 37MBq，一天最多使用一种核素，每年工作最多 100 天。细胞实验由 1 名技师完成。

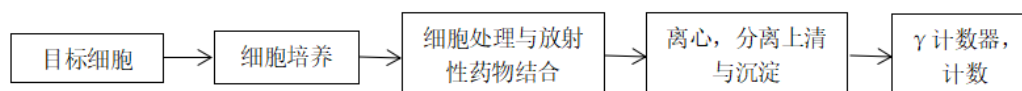


图 9-5 细胞实验操作流程

9.2 放射性核素使用量

（1）淋洗标记室：本项目的放射性同位素进行的标记、分装等操作都在此房间的手套箱中进行，手套箱中一次操作的放射性同位素 F-18、Ga-68、Lu-177 不超过 555MBq，合成手套箱中每天操作的放射性同位素 Tc-99m 不超过 11100MBq（其中大部分淋洗后转运到核素诊断区用于 SPECT 诊断），Lu-177 不超过 555MBq。

(2) 质控室：操作 Tc-99m、Lu-177 两种核素，每天最多操作的活度不超过 $7.40\text{E}+6\text{Bq}$ 。

(3) 动物显像室：操作 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 核素，每天最多一共使用 10 只实验鼠，操作的活度不超过 $1.85\text{E}+8\text{Bq}$ (小鼠不超过 $7.4\text{E}+7\text{Bq}$)；

(4) 解剖实验室：对动物进行解剖，操作 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 核素，每天最多一共使用 10 只实验鼠，操作的活度不超过 $1.85\text{E}+8\text{Bq}$ (小鼠不超过 $7.4\text{E}+7\text{Bq}$)。

(5) 细胞室：操作 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 核素，每种核素不超过 $3.7\text{E}+6\text{Bq}$ 。

9.3 药物转移流程

淋洗标记室内标记、分装好的药物通过传递窗、内部走廊送至质控室、动物显像室或细胞室，从南侧传递窗，然后通过药物走廊送到核素诊断区高活室内，本项目中采用转运防护箱 (25mmPb)，经屏蔽后，防护罐表面剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

9.4 放射性核素特性

本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 9-4。

表 9-4 本项目使用的显像放射性核素主要参数

序号	核素名称	毒性	半衰期	衰变类型	主要能量/平均能量 (keV)
1	F-18	低毒	109.8min	β^+ 、EC	β^+635 、 $\gamma511$
2	Ga-68	低毒	68.3min	β^+ 、EC	β^+1899 、 $\gamma511$
3	Mo-99	中毒	65.94h	β^-	β^-1214 、 $\gamma739$
4	Tc-99m	低毒	6.02h	IT	$\gamma141$
5	Lu-177	中毒	6.71d	β^- 、 γ	β^-497 、 $\gamma208$

9.5 使用放射性核素污染途径分析

9.5.1 正常工况的污染途径

(1) γ 射线辐射：在实验过程中，F-18 等放射性药物会对局部环境产生 γ 射线外照射，因此， γ 射线是实验过程中的主要污染因子。

(2) β 表面污染：本项目所合成的药物 Lu-177 核素为 β 辐射体，本项目的辐射工作人员在实验过程中对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成 β 局部放射性表面污染。

(3) 放射性废水。使用放射性物质过程中，将实验后的药品（放射性废液）收集起来按废物办理清洁解控，可不考虑这部分废液对放射性废水的影响。本项目放射性废水主要来自于实验废水、洗手废水、清洁废水及应急淋浴水。

(4) 放射性固体废物：试验过程中产生注射器和动物接受注射、扫描等实验操作过程中存在脱毛、排便和垫小鼠的吸水纸、实验动物测量桶垫料，以及手套、棉签等，分类收集于放射性废物桶中，暂存衰变。

(4) 实验动物尸体：实验结束后，动物均被处死，尸体装入密封袋，暂存于动物废物间内的配置的冰柜中，存放 68 天后，满足清洁解控要求后将尸体送医院动物房作为医疗废物委托交有资质的公司处理。

(5) 放射性废气：本项目使用的核素具有一定的稳定性，不易挥发。药物合成、分装均在专用手套箱中操作，使用过程中产生的放射性气体十分微量，另外手套箱废气经内部设置的高效过滤器过滤后，再由管道组织引至医疗楼顶部排风口（设活性炭过滤器）排放，涉及到动物实验，注射时间很短，放射性核素挥发不予考虑。

9.5.2 非正常工况的污染途径

(1) 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，也可能导致局部环境的放射性污染。

(2) 放射性药物保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染。同位素实验室淋洗标记室暂存的放射性同位素，采用视频监控和门禁管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盗和丢失事件的发生。

(3) 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 放射性同位素实验室辐射安全与防护

10.1.1 项目选址与合理性分析

本项目核医学科放射性同位素实验室相关场所位于二期医疗楼地下一层东南侧，该区域东侧隔走廊为地下土层，南侧为净化空调机房、化学品库房、全检质控等，西侧为核医学科核素诊断区，北侧隔走廊为排风送风机房、强电室等，楼上为院内路面，楼下为停车库。楼下为回旋制备相关区域，外购核素通过核医学科显像区高活室传递窗，然后通过内部走廊后由传递窗送到标记室。回旋生产放射性药物由地下三层专用核素电梯送至地下一层，由传递窗送到标记室，通过分装热室分装后由东侧传递窗传递到小动物实验区，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、儿科、食堂等部门等及人员密集区，尽可能做到了集中设置，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

放射性同位素实验室区域使用 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机及 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 核素开展科研实验。

放射性同位素实验室东侧区域为动物暂存室、观察室、动物显像室、细胞室及缓冲、解剖室、废物间、储存室、东侧缓冲区，西侧区域为淋洗标记室、质控室、缓冲更衣室、退更、一更及二更等。为便于辐射防护管理和职业照射控制，依据 GB18871-2002 将辐射工作场所分为控制区和监督区进行管理，具体如下：

a) 控制区，包括放质控室、淋洗标记室、缓冲更衣及退更、东侧缓冲区、观察室、动物显像室、细胞室及缓冲、解剖实验室、废物间、储存室、控制区走廊等。

b) 监督区，包括西侧一更、二更、西侧走廊、南侧通道、中部走廊、动物暂存（给药前）等。

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，还配备有热室、铅玻璃观察窗、防辐射实体

屏蔽、废物桶等安全防护设施、器材。

建成后辐射工作场所布局考虑了放射性工作场所与非放射性工作场所分开，不同放射性操作或污染水平的工作场所分开，相对独立，尽可能的避免了人员受辐射影响，平面布局合理，辐射分区见图10-1所示。

核医学科放射性同位素实验室按照尽可能减少对周围辐射影响，以及满足科研工作便捷性的原则进行布局设计。从功能分区来看，监督区和控制区划分明确，且相对隔离，满足了核医学的辐射安全管理的要求。

淋洗标记室配套有手套箱，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，实验室区域控制区产生的放射性废水进入衰变池暂存后排放，可有效减少放射性废液对环境的影响。控制区配套建设放射性废物间，所有放射性废物暂存后，达到解控水平后办理清洁解控，可有效减少放射性固体废物对环境的影响。

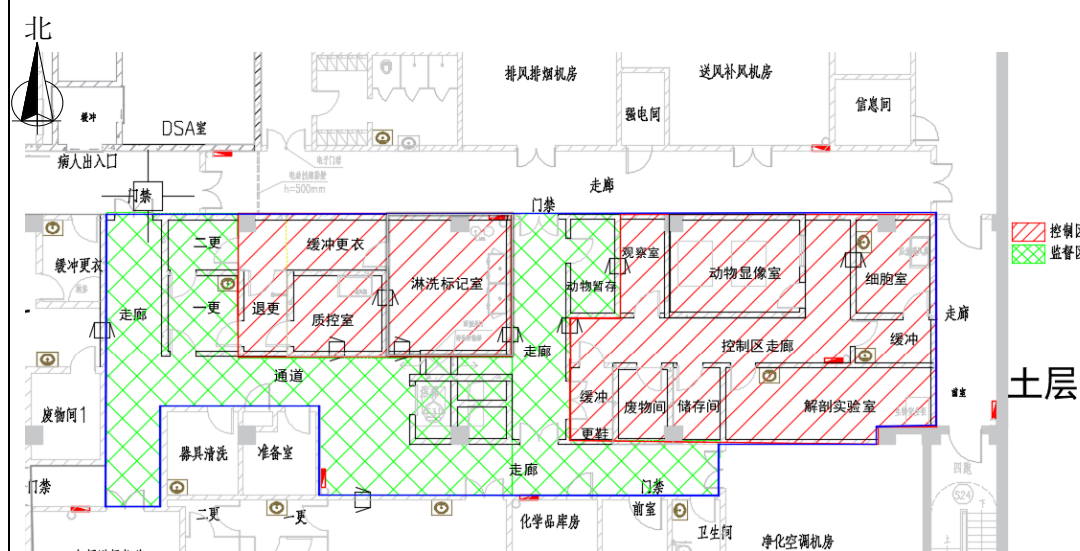


图10-1 放射性同位素实验室平面布局及分区图

10.2 工作流程及路径

（1）工作人员工作路径

➤ 淋洗标记室、质控室工作人员：

工作人员通过门禁系统从西北侧进入实验区→经一更、二更、缓冲更衣后进入淋洗标记室/质控室→在淋洗标记室的热室内分装、标记药物/在质控室传递窗接受药品后开展质控工作→工作结束后，通过缓冲更衣区去污检测（有污染需进行去污），然后离开退更、一更→离开实验室。

➤ 动物显像室和解剖实验室工作人员：

工作人员通过门禁系统从西北侧进入实验区，经南侧通道、中部走廊到缓冲间，在缓冲间更换工作服和拖鞋→从缓冲间进入控制区走廊→经药物传递窗接受药品后通过控制区走廊进入动物显像室开展实验工作/解剖实验室进行解剖测定实验→离开时，在缓冲区去污检测（有污染需进行去污），然后离开缓冲间→离开实验室。

➤ 显像设备操作人员：

工作人员通过门禁系统从西北侧进入实验区，经南侧通道、中部走廊到缓冲间→从缓冲间进入控制区走廊→进入设备操作区域→工作结束后，在缓冲区去污检测（有污染需进行去污），然后离开缓冲间→离开实验室。

➤ 细胞室工作人员：

工作人员通过门禁系统从西北侧进入实验区，经通道到缓冲间，在缓冲间更换工作服和拖鞋→从缓冲间进入控制区走廊→在淋洗标记室传递窗接受药品后通过控制区走廊进入细胞室开展实验工作→离开时，在缓冲区去污检测（有污染需进行去污），然后离开缓冲间→离开实验室。

（2）放射性药品流转路径

自制的PET药物：自行合成的放射性药物在地下三层回旋制备场所分装热室内分装到安瓶内，放射性同位素实验室每份一般不大于15mCi→置入40mmPb转运铅防护罐内（回旋场所配置）→由药品传输梯运到地下一层→经淋洗标记室与走廊之间传递窗转移至转运至淋洗标记室→在淋洗标记室的热室内进行药物分装→废弃的放射性污染材料暂存在动物废物间专用废物桶内→待满足清洁解控环境管理要求后，转移至医院医疗废物间集中进行处理。

外购核素：放射性药物由供药公司从患者出口电梯运至地下一层核医学科→由核医学科治疗区门诊治疗患者出口门进入核医学科治疗区区域→经缓冲间进入高活室，在高活室内，核医学科药品管理员与送货人员办理“点对点”交接验收手续，并记录药品规格、批次、数量以及收货时间→由高活室与走廊之间传递窗转运至放射性同位素实验室区域的淋洗标记室→在淋洗标记室的热室内进行药物合成、分装和测定→废弃的放射性污染材料暂存在动物废物间专用废物桶内→待满足清洁解控环境管理要求后，转移至医院医疗废物间集中

进行处理。

分装好的核药通过传递窗、内部走廊送至质控室或动物显像室、细胞室开展下一步实验。

(3) 放射性废物转移路径

动物显像室、解剖实验室、细胞室设置1个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暂存，实验室废物间设置2个铅的废物桶（5mmPb）。淋洗标记室、质控室各设置2个铅的废物桶（5mmPb），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置68天后，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，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。

(4) 小动物路径

实验需要使用小动物时通过实验室中部出入口转移至动物暂存间→动物显像室显像后，直接将小鼠处死/动物实验室，解剖实验→最后将小鼠收集后贮存在动物废物间冷冻冰柜内暂存→暂存68天并办理自行解控后→动物尸体返回医院动物房委托交有资质单位处置，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。

(5) 放射性废水暂存和排放

同位素实验室控制区、应急淋浴废水等→下地下一层专用集水坑→污泵房→放射性废水衰变池暂存→废水暂存180天后（与核医学科诊断区、地下三层回旋场所控制区共用1个衰变池，含I-131核素），经检测达标后排至医院污水处理站处理→市政污水管网。

(6) 放射性废气收集与排放

本项目使用的核素具有一定的稳定性，不易挥发。药物合成、分装均在专用通风橱中操作，使用过程中产生的放射性气体十分微量，涉及到动物实验，注射时间很短，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的吸附过滤装置，确保过滤效率满

足设计要求。

本项目控制区拟配套建设2套放射性排风管线，其中实验场所手套箱（通风橱）设有1套专用排风管道，控制区场所设有1套专用排风管道，产生的废气由排风管道引至楼顶排放。二期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，位于医疗楼东侧，高度约59.8m，排风口朝东设置，设在医疗楼顶部并高于周围50m范围内建筑物。放射性废气路由图见图10-8。

（7）出入口控制

在放射性同位素实验室所有出入口都拟设置门禁系统，防止患者和其他无关人员误入淋洗标记室等工作人员操作区域。

10.3 辐射屏蔽设计方案

放射性同位素实验室场所根据辐射防护要求，设计了含混凝土砖、铅防护门、铅玻璃，专用手套箱，放射性废水衰变池和固体废物间等。此外，还配备有铅制废物桶，药品盛装铅盒等防护器具等，以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品，地下一层层高为 6.5m，地下二层层高为 4.8m。实体屏蔽方案见表 10-1 所示，同位素实验室场所辐射安全防护设施见表 10-2。

表 10-1 放射性同位素实验室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	淋洗标记室	东墙	240mm 混凝土砖	走廊
		南墙	240mm 混凝土砖	通道
		西墙	240mm 混凝土砖	质控室、缓冲更衣
		北墙	240mm 混凝土砖	走廊
		顶棚	300mm 混凝土	院内路面
		地板	300mm 混凝土+500mm 轻质混凝土	停车场车道
		防护门	3mmPb	缓冲更衣
2	质控室	东墙	240mm 混凝土砖	淋洗标记室
		南墙	240mm 混凝土砖	通道
		西墙	240mm 混凝土砖	退更
		北墙	240mm 混凝土砖	缓冲更衣

		顶棚	300mm 混凝土	院内路面
		地板	300mm 混凝土+500mm 轻质混凝土	停车场车道
		防护门	3mmPb	退更
3	动物显像室	东墙	240mm 混凝土砖	动物显像室操作走廊
		南墙	240mm 混凝土砖	控制区走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	观察室
		北墙	240mm 混凝土砖	走廊
		顶棚	300mm 混凝土	院内路面
		地板	300mm 混凝土+500mm 轻质混凝土	停车场车道
		防护门	3mmPb	动物显像室操作走廊
		观察窗	3mm 铅当量的铅玻璃	动物显像室操作走廊
4	观察室	东墙	240mm 混凝土砖	动物显像室
		南墙	200mm 混凝土砖	控制区走廊
		西墙	200mm 混凝土砖	动物暂存
		北墙	200mm 混凝土砖	走廊
		顶棚	300mm 混凝土	院内路面
		地板	300mm 混凝土+500mm 轻质混凝土	停车场车道
		防护门	普通门	控制区走廊
5	细胞室	东墙	240mm 混凝土砖	走廊
		南墙	240mm 混凝土砖	缓冲
		西墙	240mm 混凝土砖	动物显像室操作走廊
		北墙	240mm 混凝土砖	走廊
		顶棚	300mm 混凝土	院内路面
		地板	300mm 混凝土+500mm 轻质混凝土	停车场车位、车道
		防护门	普通门	缓冲
6	解剖实验室	东墙	200mm 混凝土砖	外部走廊
		南墙	200mm 混凝土砖	空调机房

		西墙	200mm 混凝土砖	储存间
		北墙	200mm 混凝土砖	控制区走廊
		顶棚	300mm 混凝土	院内绿化区
		地板	300mm 混凝土+500mm 轻质混凝土	停车场车位、车道
		防护门	普通门	工作人员通道
7	废物间	东墙	240mm 混凝土砖	储存间
		南墙	240mm 混凝土砖	走廊
		西墙	240mm 混凝土砖	缓冲
		北墙	240mm 混凝土砖	控制区走廊
		顶棚	300mm 混凝土	院内路面
		地板	300mm 混凝土+500mm 轻质混凝土	停车场车位
		防护门	3mmPb	控制区走廊

备注：混凝土密度不低于 2.35t/m³，混凝土砖密度不低于 2.0t/m³，轻质混凝土不考虑其屏蔽效果。

表 10-2 放射性同位素实验室辐射安全防护设施设计要求

序号	项目		是否设置	备注
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	√	拟设有淋洗标记室、质控室、动物显像室、观察室、解剖实验室、细胞室、废物间、缓冲间等场所，并按控制区和监督区管理
2*		场所分区的管控措施及标识	√	拟在地面使用不同颜色区分控制区和监督区
3*		电离辐射警告标志	√	出入口防护门上粘贴电离辐射警示标志
4		通风柜	√	拟设带屏蔽设计的热室（手套箱），配有负压热室
5*		防止放射性液体操作造成污染的措施	√	墙面、地面均为光滑饰面
6*		放射性废水处理系统及标识	√	与核医学科诊断区域、地下三层回旋场所控制区共用一个衰变池，在周围标识放射性废水衰变池说明
7*		放射性物料与成品暂存场所或设施	√	设热室（手套箱），贮存放射性试剂

8*		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
9		安保设施	√	拟在出入口设门禁系统
10*	B 监测设备	便携式辐射监测仪	√	新增 2 台表面污染监测仪和 1 台剂量率仪
11		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
12*	C 防护用品	个人辐射防护用品	√	铅玻璃，配备一次性医用口罩和手套等
13	D 应急物资	去污用品和应急物资	√	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/。

10.4 辐射防护措施

（1）实行控制区和监督区分区管理。为便于辐射防护管理和职业照射控制，依据 GB18871-2002 将辐射工作场所分为控制区和监督区，实际工作中分别以不同颜色划出。在工作人员出入口拟安装门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口、各实验室、废物间等门上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要进入。

（2）放射性表面污染控制措施：淋洗标记室、质控室、动物显像室、观察室、解剖实验室、细胞室、废物间等地面用无缝隙、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。热室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监测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。热室台面和实验操作台面光滑易清洗易去污，操作处设置承接盘、衬垫等，注射后的用品置于专用铅废物桶，动物检查床面铺薄塑料布。

（3）外照射防护：4 个铅屏蔽玻璃（质控、动物注射、解剖、细胞实验时使用），可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，配备 11 个 5mmPb 铅废物桶、1 个转运铅盒（25mmPb）。放射性同位素实验室根据实际用量情况来设置控制区场所外围墙体，采用实体屏蔽措施，顶棚为混凝土浇筑，进、出通道门安装门禁系统。保证控制区边界外的辐射剂量率不大于 2.5μSv/h。

（4）内照射的防护：淋洗标记室拟配备 2 个具有防护功能

20mmPb/50mmPb 当量的手套箱（北侧手套箱六面均为 20mmPb，南侧手套箱六面均为 50mmPb），在质控室、细胞室各配备 1 个普通通风橱，都带有高效过滤器，手套箱正面配有铅玻璃观察窗及操作工作孔。在手套箱内分装、标记放射性药物。手套箱设置专用排风管道，排风口引至楼顶。手套箱的风量满足要求（风速大于 0.5m/s）。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。此外，在淋洗标记室、质控室、动物显像室、观察室、细胞室、解剖实验室、废物间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：动物显像室、解剖实验室、细胞室设置 1 个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，实验室废物间设置 2 个铅的废物桶（5mmPb），淋洗标记室、质控室各设置 2 个铅的废物桶（5mmPb），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置 68 天后，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，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。

（6）放射性废水收集处置：放射性同位素实验室控制区室内产生的放射性废水，包括实验废水、洗手废水、清洁废水、应急废水，通过专用管道一并进入 1 号放射性废水衰变池（与诊断区域、地下三层回旋场所控制区共用一个衰变池）。放射性废水排放管道路线在建筑面层内敷设时有混凝土垫层，或者在管道层、管道井，没人员活动区，放射性废水专用管道外表面拟采用至少 20cm 砼厚度的防护。1 号衰变池采用槽式设计，衰变池总容积不低于 114.7m^3 （ $40\text{m}^3+38.2\text{m}^3+36.5\text{m}^3$ ）。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）按需要量制备或订购同位素，到货同位素，核医学科专门人员负责点对点接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。在核医学科内登记交接后送至放射性同位素实验室的淋洗标记室，贮存在淋洗标记室的手套箱内。放

放射性同位素实验室建立同位素管理台帐和使用登记制度，严防放射性同位素丢失。

（8）本项目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。

（9）放射性同位素实验室拟配备 2 台表面污染监测仪和 1 台便携式辐射剂量巡测仪，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。

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。每天工作结束后，对淋洗标记室台面、地面，手套箱台面、表面等进行表面污染监测，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。

（8）外单位及自产的回旋核素药品送药时间一般安排在上午 7:00，外购核素送药通道进放射性同位素实验室前与核医学科诊断场所路线一致（从患者出口电梯运至地下一层核医学科，由核医学科西侧患者出口门进入核医学科 SPECT 区域、PET 区域，经缓冲间进入高活室），从高活室东侧传递窗送到淋洗标记室，然后暂存在淋洗标记室的手套箱内。自产的回旋核素药品送药时间一般也在上午 7:00，由回旋药品传输梯把药送到地下一层，通过内部走廊，由淋洗标记室东墙传递窗送到淋洗标记室，都为内部通道和药物专用电梯。可达到减少无关人员与送药人员的交汇。核医学科设专门人员负责在诊断区高活室或淋洗标记室内摄像头下“点对点”接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

10.5 放射性同位素实验室拟配备的防护设施

本项目手套箱的同类型样图见图 10-3，实施后放射性同位素实验室科配备的防护设施见表 10-3。



图 10-3 同类型手套箱的样图

表 10-3 同位素实验室拟配备的防护设施表

名称	数量 (个)	规格	使用场所
手套箱（热室）	2	1 个 20mmPb、1 个 50mmPb	淋洗标记室
运输防护铅盒	1	25mmPb	淋洗标记室
铅笼	2	5mmPb	动物显像室
	1	5mmPb	解剖实验室
铅废物桶	3	5mmPb	动物显像室、解剖实验室、细胞实验室各 1 个
	6	5mmPb	淋洗标记室、质控室、废物间各 2 个
冰柜（配有 2 个 5mmPb 废物桶）	1	120L	废物间
铅玻璃	4	10mmPb	质控室、动物显像室、解剖实验室、细胞室

10.6 放射性废水暂存和排放

核医学科设有两个放射性废水池，位于楼外东侧地下（衰变池上方至少还有 1.5m 土层），见图 10-4，1 号衰变池（槽式，3 池总容积约为 114.7m^3 ， $40\text{m}^3+38.2\text{m}^3+36.5\text{m}^3$ ）位于南侧，2 号衰变池（槽式，3 池总容积约为 488.5m^3 ， $162.6\text{m}^3+164.6\text{m}^3+161.3\text{m}^3$ ）位于北侧。本项目与拟与核医学科诊断区、地下三层回旋场所控制区共用 1 号衰变池。

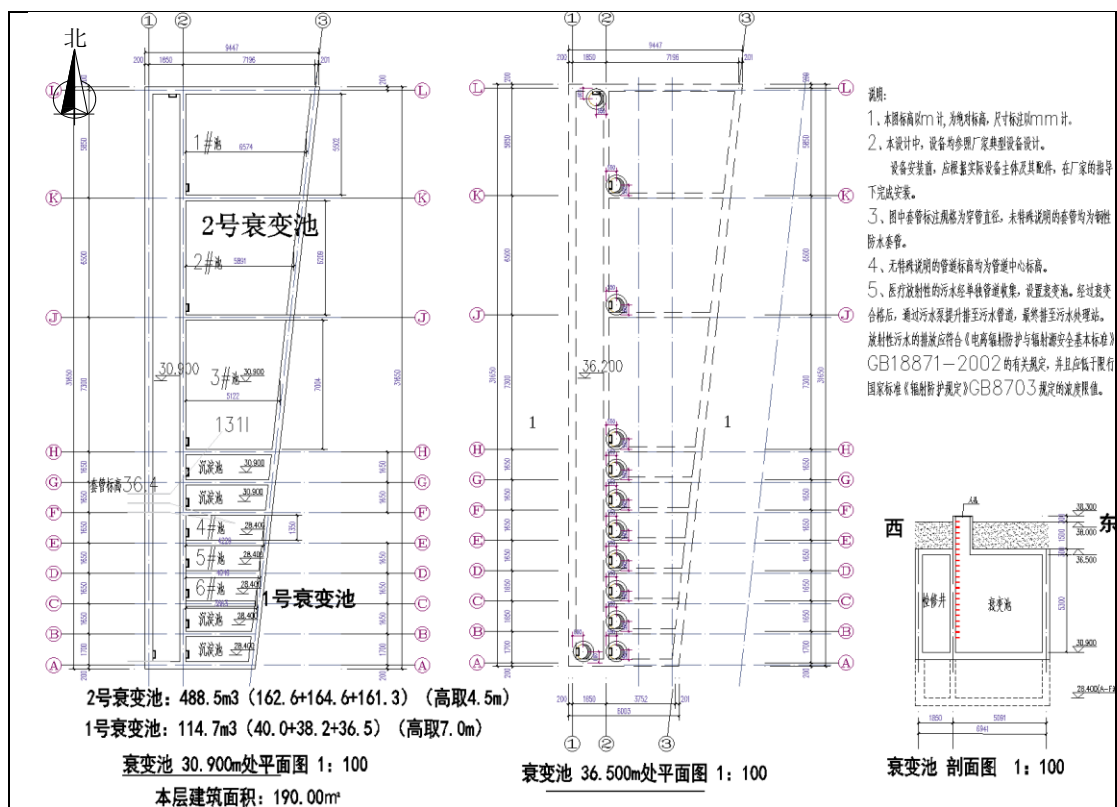


图 10-4 衰变池平剖面图

1 号衰变池结构及控制管理如下:

(1) 1 号衰变池池结构

- 采用 C30 抗渗混凝土建造, 四周池壁厚不小于 300mm 砼, 四周都是地下土层 (衰变池西侧为检修井, 之外为土层), 槽与槽之间隔板厚 200mm, 底板厚 300mm, 顶板厚 300mm。采取防渗措施。
- 总容积约为 114.7m³ (40m³+38.2 m³+36.5m³)。

(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), 避免放射性废液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 2-3 池进水管电动阀，待或 1 池水位达到设计液位后，关闭 1 池进水管电动阀，打开 2 池进水管电动阀，使排水进入 2 池。按照相同的操作方式。使排水依次进入 3 池。待第 3 池开始进水时，第 1 池已过 10 个半衰变期（衰变池的废水至少暂存 180 天的要求），检测达标后开动潜水泵排放。待第 3 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。

本项目放射性同位素实验室控制区产生的废水包括实验废水、洗手废水、清洁废水及应急废水，这些放射性废水与地下一层核医学科诊断区、地下三层回旋场所控制区产生的放射性废水经独立的排水管道一并排入 1 号衰变池，衰变池的废水排出前，至少经 180 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，1 号衰变池收集排放系统示意图见图 10-5。

地下一层放射性同位素实验室的放射性废水排放图见图 10-6。

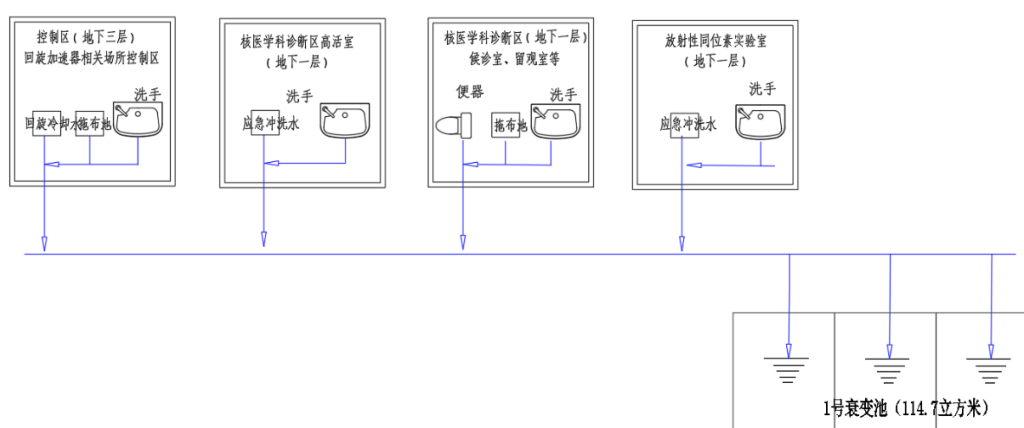


图 10-5 1 号衰变池收集排放系统示意图

10.7 放射性同位素实验室排风系统

本项目放射性同位素实验室淋洗标记室内拟配 2 个热室（手套箱），质控室、细胞室拟各设 1 个普通通风橱。放射性同位素实验室共配 2 套排风系统，同位素实验室的手套箱（通风橱）分别设置独立的排风系统，各手套箱（通风橱）废气由单独管道引出后合并为 1 个排风管道由医疗楼顶部的排风系统排出，控制区场所设 1 套排风系统，排风口位于医疗楼顶部，总高度 59.8m，排风口朝东设置，高于医疗楼顶部并高于周围 50m 范围内建筑物。

核医学科排风简化图见图 10-7，放射性同位素实验室控制区的排风图见图 10-8，排风井内排风管剖面图见图 10-9，楼顶排风口位置图见图 10-10（楼顶 11 个排风口，其中 9 个为回旋加速器场所、核医学科治疗区及诊断区排风口，2 个为本项目放射性同位素实验室排风口）。

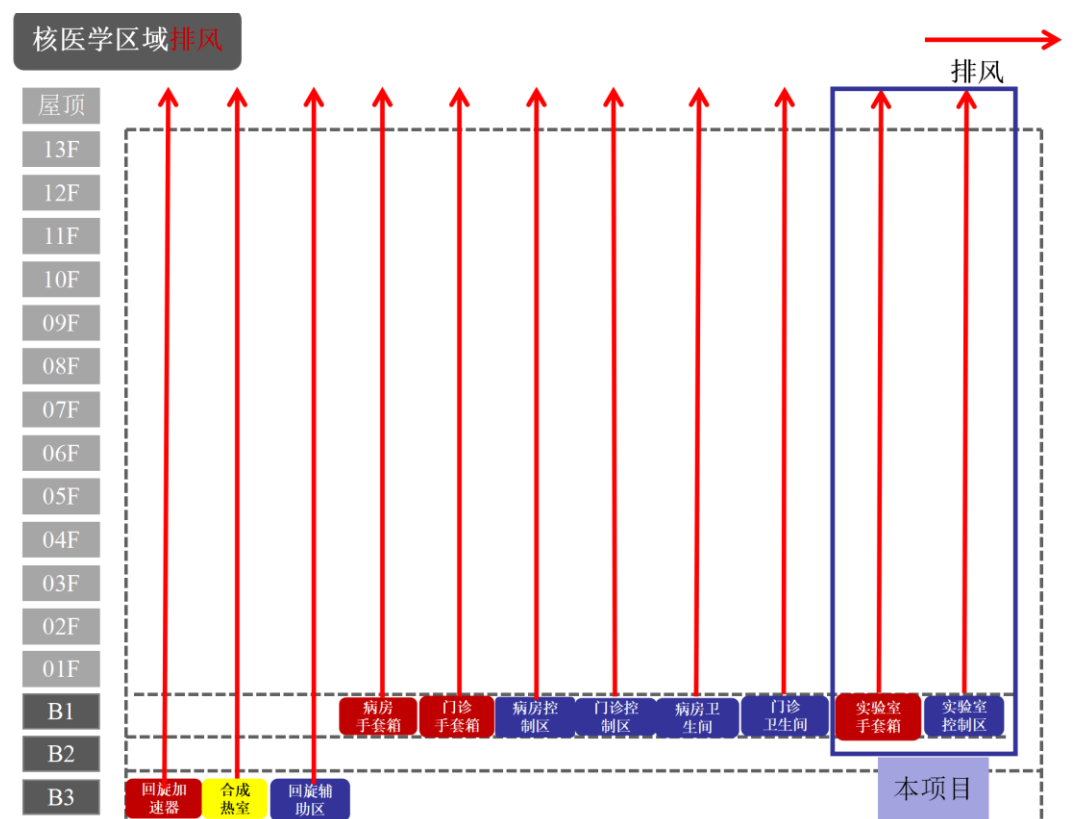


图 10-7 核医学科（含放射性同位素实验室）排风简化图

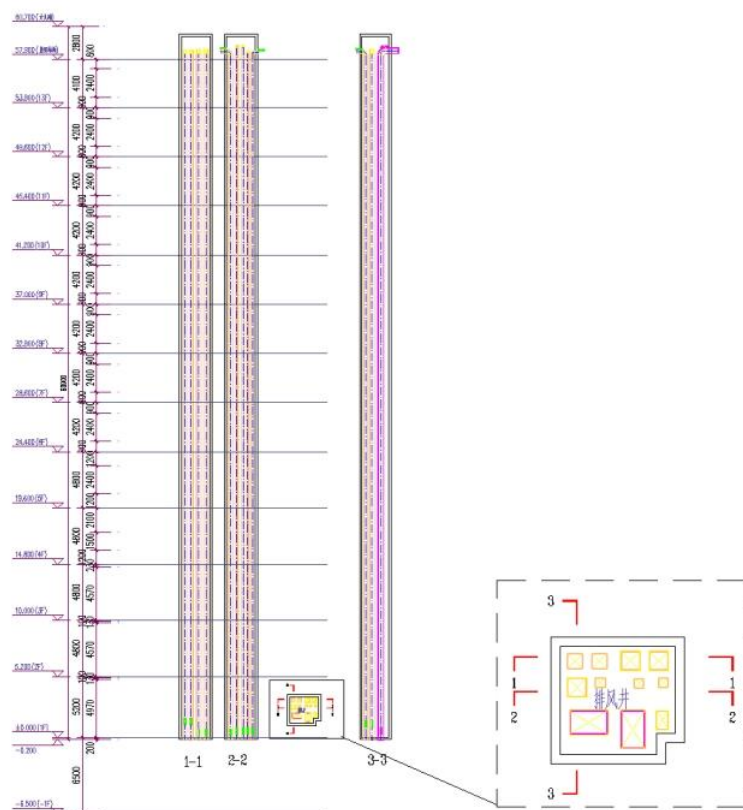


图 10-9 排风井内排风管剖面图

10.8“三废”的治理

放射性同位素实验室产生的放射性废气经通风系统的活性炭过滤后，在医疗楼顶部排放。放射性废水汇入 1 号放射性废水衰变池，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。

10.9 法规符合情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，现对北京清华长庚医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

10.9.1 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。

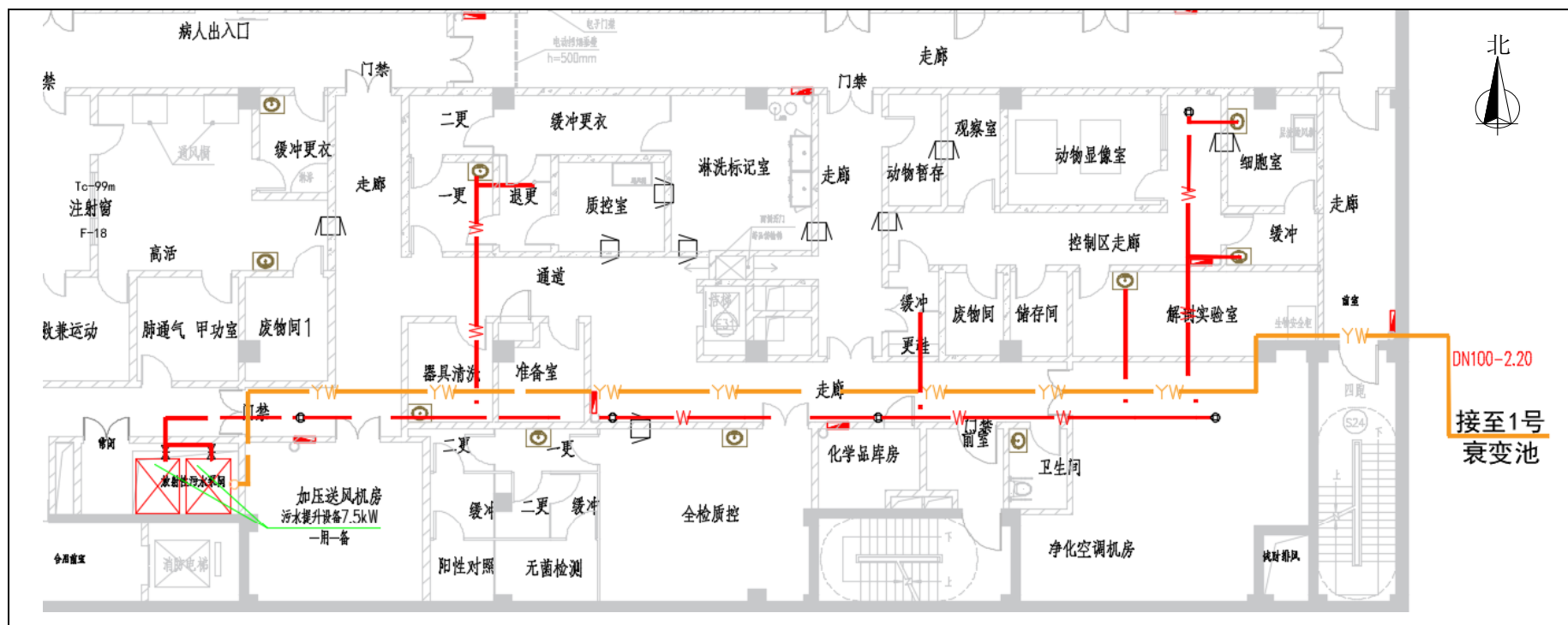
表 10-4 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

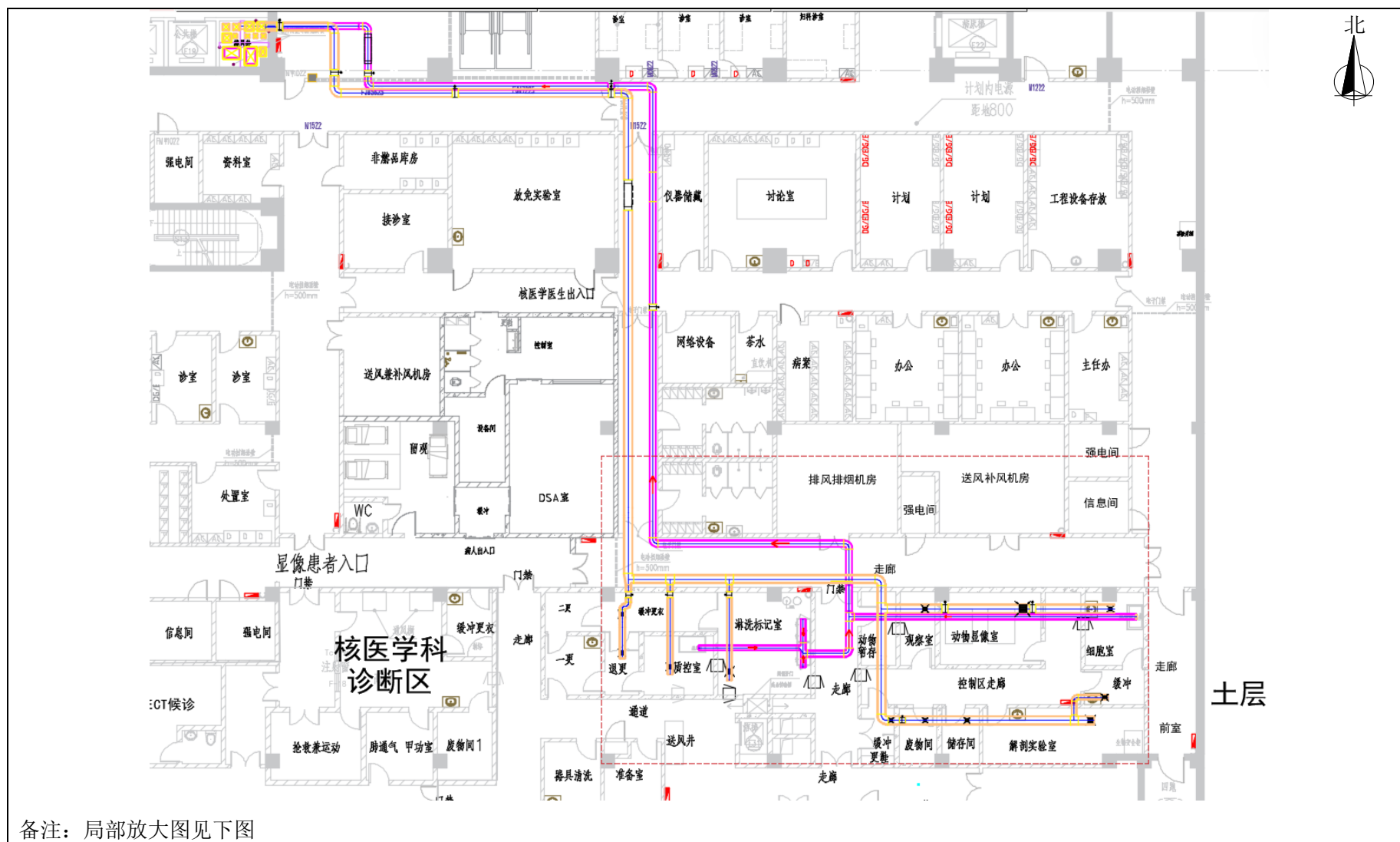
序号	应具备条件	落实情况	符合情况
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，应当设有专门的辐射	成立了由党委委员为主席的辐射防护和安全管理委员会，全面负责	符合

	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。	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，本项目都是已有科室改扩建项目，相关部门负责人不变。	
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。北京清华长庚医院拟为本项目配置至少新增 5 人辐射工作人员，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。	本项目不涉及放射源。	/
4	放射性同位素与射线装置，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	在放射性同位素实验室场所控制区出入口防护门拟安装门禁系统，相关场所门上张贴电离辐射警告标识和中文警示说明。在动物显像室拟安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。	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。	医院拟为本项目配备 1 台辐射剂量巡测仪、2 台表面污染监测仪，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。	淋洗标记室内配备手套箱，设置专用排风管道，排风引至本建筑物顶部排放。放射性同位素实验室场所控制区产生的废水，与地下三层回旋加速器场所、核医学科诊断区的控制区产生的废水，经专用管道一并进入 1 号放射性废水衰变池，排放前委托有资质的检测机构。妥善收集固体放射性废物。废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品放入专用铅制储存箱，依照 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	在现有事故应急措施上，根据新	落实

	施。	建项目的需要,拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	后符合
10.9.2 《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和防护标准的要求,设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	机房外拟设置醒目的电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明。机房安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。同位素实验室出入口均设有门禁系统等。	落实后符合
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。每天对淋洗标记室、动物显像室、观察室、解剖实验室、细胞室、废物间等、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。 北京清华长庚医院拟为本项目配置至少5人辐射工作人员,在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合

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





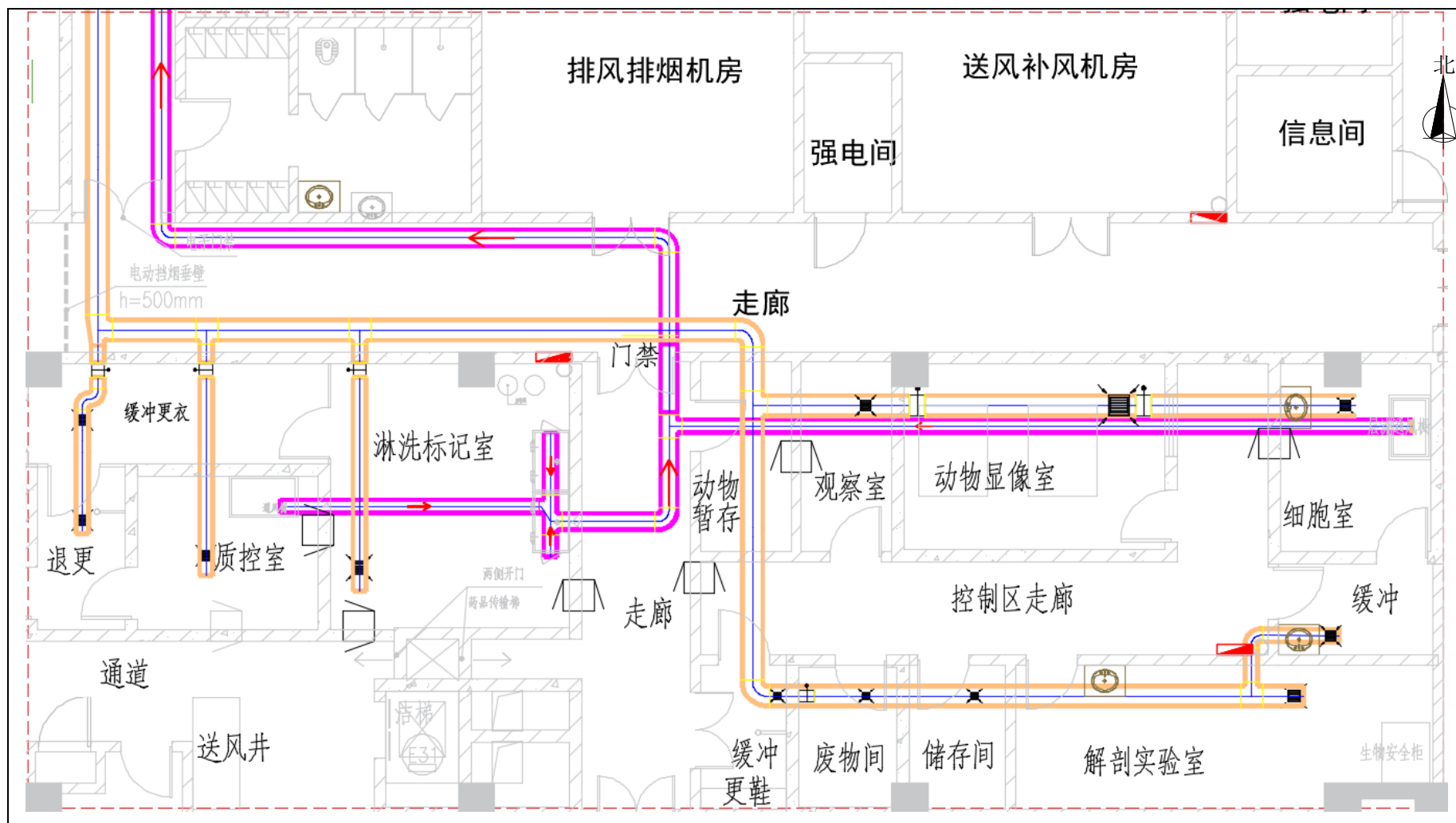


图 10-8 下一层放射性同位素实验室区域排风图

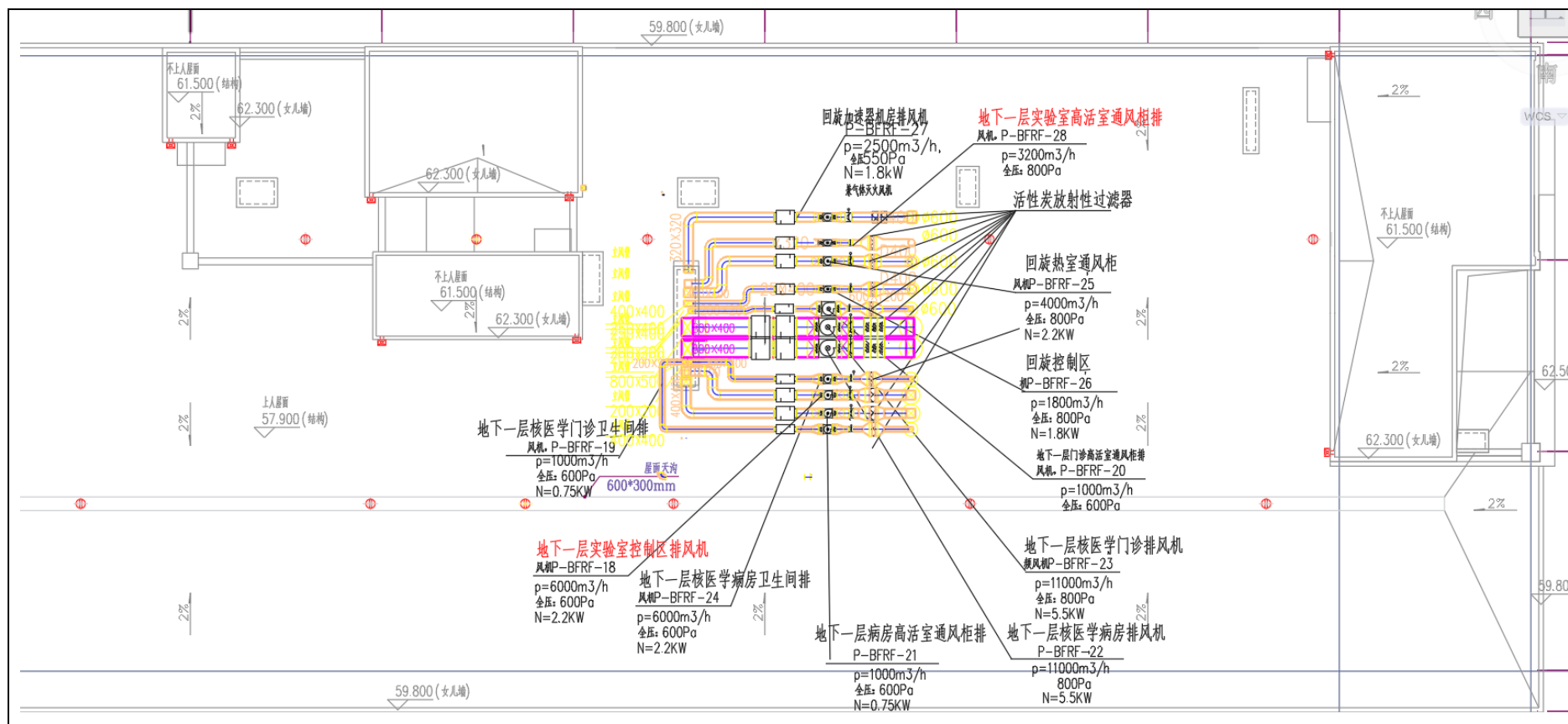


图 10-10 楼顶排风口位置图

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

该项目施工活动对环境的影响主要是放射性同位素实验室建设过程中产生的噪声、粉尘以及振动等，为了不影响周围环境，在场所建设过程中，将采取一些降噪、防尘措施。如在施工现场设置隔离带、设立声屏障，这样既可有效的减少扬尘的污染，又可降低噪声；合理安排施工时间，对振动较大的施工，尽量安排在下班或节假日进行。本项目是在现有预留场所进行修建，工程量小，且施工都在医院场所内进行，并且项目所在地区的地面已经过硬化，无裸露地面，因此产生的扬尘相对较小，因此基本不影响单位和周围其他单位的正常工作。

11.2 放射性同位素实验室运行（使用）后对环境的影响

11.2.1 源项

本项目申请使用 4 种放射性同位素，需要在放射性同位素实验室进行一系列放药的标记及科研实验，各实验室的主要放射性操作情况如下：

（1）淋洗标记室：本项目的放射性同位素进行的淋洗、标记、合成、分装等操作都在此房间手套箱中进行，手套箱中一次操作的放射性同位素 F-18、Ga-68、Lu-177 不超过 555MBq，合成手套箱中每天操作的放射性同位素 Tc-99m 不超过 $2.96E+4MBq$ （其中大部分淋洗后转运到核素诊断区用于 SPECT 诊断），本项目拟使用核素的基本参数见表 11-1。

（2）质控室：操作 Tc-99m、Lu-177 两种核素，每天最多操作的活度不超过 $7.40E+6Bq$ ；

（3）动物显像室：每天最多一共使用 10 只小鼠，操作的每种核素的放射性核素活度不超过 $1.85E+08Bq$ （小鼠不超过 $7.4E+07Bq$ ）；实验鼠在动物显像室扫描后直接处死后置入冰柜中暂存。

（4）解剖实验室：对动物进行解剖，每次最多 10 只小鼠，解剖时活度不超过 $1.85E+08Bq$ ；

（5）细胞室：操作 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 核素，每种核素不超过 $3.7 E+6Bq$ 。

表 11-1 使用的放射性同位素的基本参数

核素	衰变方式	剂量率常数 ($\mu Sv \cdot m^2 /$	$TVL_{铅}$ (mm)	$TVL_{混凝土}$ (mm)	1m 处的最大剂 量率($\mu Sv/h$)
----	------	---------------------------------	-------------------	---------------------	------------------------------

		h·MBq)			
F-18	EC、β ⁺	0.143	16.6	176	31.7
Ga-68	EC、β ⁺	0.134	16.6	176	29.7
Mo-99	β ⁻	/	23.4	250	/
Tc-99m	IT	0.0303	1	110	16.8
Lu-177	β ⁻ 、γ	0.005	2.11	90	0.3

注：①铅的十分之一减弱层厚度参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》、《EXPOSURE RATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUES FOR OVER 1,100 RADIONUCLIDES》。②混凝土的十分之一减弱层厚度参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），其中 Mo-99 混凝土的十分之一减弱层厚度由辐射安全手册图 6.4 分析获得，Lu-177 混凝土的十分之一减弱层厚度由辐射安全手册表 6.7 数据类比推得。③Ga-68 的十分之一减弱层厚度参考 F-18。

F-18、Ga-68 在铅和混凝土中的十分之一减弱层厚度相当，考虑到 F-18 的周围剂量当量率较大，需要关注。此外，Tc-99m 的操作量较大，也需要关注。故计算辐射屏蔽效果时，重点考虑 F-18 和 Tc-99m 两种核素。Lu-177 的周围剂量当量率较小，在满足 F-18 核素的屏蔽防护的情况下，一定能满足 Lu-177 的屏蔽要求。

F-18 为正电子核素，衰变过程 β⁺ 粒子湮灭产生 0.511MeV 的 γ 射线，穿透能量接近。β 粒子穿透能力很弱，在空气中射程较短，不会对周围环境产生明显辐射影响，因此，本项目重点考虑 γ 射线的辐射影响。分析不同操作情况下，职业人员和公众的外照射辐射影响。

11.2.2 估算方法

剂量估算中，将接受药物注射后的动物鼠、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，估算淋洗标记室、质控室、动物显像室、观察室、解剖实验室、细胞室等有代表性场所周围的辐射剂量率和对职业人员、公众的附加照射剂量，以及职业人员在动物鼠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

$$\dot{H}_{\gamma} = \dot{H}_0 \times r^{-2} \times 10^{-d/TVL} \quad (\text{公式 11-1})$$

式中：

$\dot{H}_{\gamma}$ —关注点的 γ 剂量率 μSv/h；

$\dot{H}_0$ —距源 1m 处的 γ 剂量率 μSv/h；

r —关注点距源中心的距离，m；

d —屏蔽厚度，cm；

TVL — γ 射线 1/10 值层厚度，cm；

(2) 年有效剂量

附加年有效剂量计算公式： $E = \dot{H} \times t \times T$ (公式 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

11.2.3 辐射影响

11.2.3.1 淋洗标记室辐射影响

(1) 药物标记、合成、分装

本项目的标记实验室进行的标记、合成、分装等操作都在此房间热室内进行，本实验室进行的高活度操作均在热室（北侧热室六面均为 20mmPb，南侧热室六面均为 50mmPb）中进行，每次操作时间不超过 1h（近距离操作不超过 10min），每年最多 350 次（Tc-99m 最多 250 次，Lu-177 最多 100 次）；每次分装活度为 $5.55\text{E}+8\text{Bq}$ 的 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 核素操作不超过 5min，每年最多 100 次，工作人员的操作距离取 0.8m。热室则模块箱外表面的剂量率保守以 Mo-99 和 F-18 核素（Tc-99m、Lu-177 的十值层分别为 1mmPb、2.11mmPb，Ga-68 的影响小于 F-18）估算，结果如下表所示：

表 11-2 模块箱外表面的剂量率计算结果

核素名称	初始活度 (MBq)	位置	屏蔽厚度	距离 (m)	衰减因子	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
Mo-99	2.96E+10, 发生器 1m 处剂量率为 8.88 $\mu\text{Sv/h}$	正面 30cm 处	20mmPb	0.8	1.40E-01	1.94E+00	淋洗标记室
		平常操作位	20mmPb	2.7	1.40E-01	1.70E-01	淋洗标记室
		北侧 30cm 处	20mmPb	0.8	1.40E-01	1.94E+00	淋洗标记室

			顶部 30cm 处	20mmPb	1.3	1.40E-01	7.34E-01	/
			东侧/后 面 30cm 处 a1	20mmPb +240mm 混凝土 砖	1	2.57E-02	2.28E-01	走廊
			西侧 a2	20mmPb	4.4	1.40E-01	6.41E-02	缓冲更衣
			北侧 a3	20mmPb +240mm 混凝土 砖	2.4	2.57E-02	3.96E-02	走廊
			防护门 a4	20mmPb +3mmPb	4.5	1.04E-01	4.56E-02	缓冲更衣
			楼上 a5	20mmPb +300mm 混凝土	5.8	8.82E-03	2.33E-03	室外空地
			楼下 a6	20mmPb +300mm 混凝土	4.1	8.82E-03	4.66E-03	停车场 车道
	F-18	555MBq, 1m 处剂量 率为 79.4 μ Sv/h	正面 30cm 处	50mmPb	0.8	9.73E-04	1.21E-01	淋洗标 记室
			南侧 30cm 处	50mmPb	0.8	9.73E-04	1.21E-01	淋洗标 记室
			顶部 30cm 处	50mmPb	1.3	9.73E-04	4.57E-02	/
			东侧/后 面 30cm 处 a7	50mmPb +240mm 混凝土 砖	1	8.76E-05	6.95E-03	走廊
			南侧 a8	50mmPb +240mm 混凝土 砖	2.5	8.76E-05	1.11E-03	走廊

输过程中距工作人员的距离按 50cm 估算。每次从淋洗标记室到传递窗按 10s 估算，每年最多转移 350 次，则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 $2.5\mu\text{Sv/h} \times 350 \times 10/3600\text{h} \approx 2.4\mu\text{Sv}$ 。

11.2.3.2 质控室辐射影响

放射性药物制备好后，取样不大于 $7.40\text{E}+6\text{Bq}$ （一般不大于 $3.70\text{E}+6\text{Bq}$ ）分装在注射器或西林瓶内，置于注射器防护盒（铅防护当量 25mm），通过传递窗移至质控室利用放射性薄层色谱仪（TLC）、高纯锗 γ 谱仪和发射光谱仪（ICP）等仪器对放射性药物进行分析实验。

本实验室进行开放性实验操作的活度均不超过 $7.40\text{E}+6\text{Bq}$ （ $200\mu\text{Ci}$ ），1m 处操作位剂量约为 $0.23\mu\text{Sv/h}$ （ $0.0303\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{MBq} \times 7.4\text{MBq}$ ，以 Tc-99m 代表）。样品制备时间约 10min，放射化学纯度的测定时间约 5min，放射性核纯度检测时间约 2min，考虑到测量分析过程工作人员的停留时间，保守测量时间不超过 0.5h，则年工作不大于 175h，工作人员的操作距离取 1m，则辐射工作人员年附加剂量为 $40.3\mu\text{Sv}$ 。

11.2.3.3 动物显像室辐射影响

（1）注射：放射性药物制备后分装到注射器，注射器置于 25 mm 铅当量的防护盒内。给实验动物注射标记好的放射性药物，注射的最大活度为 18.5MBq （ 0.5mCi ），1m 处剂量为 $2.65\mu\text{Sv/h}$ （以 F-18 代表， $0.143\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{MBq} \times 18.5\text{MBq}$ ）。操作时间 1 分钟，操作距离 0.5m，注射过程所受剂量为 $0.18\mu\text{Sv}$ ，一年注射实验动物不超过 1000 只，辐射工作人员的年附加剂量约为 $180\mu\text{Sv}$ 。

（2）摆位：工作人员给注射了 18.5MBq 核药的动物鼠摆位，摆位时间 30s/只，一年显像动物不超过 500 只，累计摆位时间不大于 4.17h，则摆位时工作人员受到的年附加剂量 $2.65\mu\text{Sv/h} \times 4.17\text{h} = 11.1\mu\text{Sv}$ 。

（3）扫描：本项目配置的动物 PET/SPECT/CT 将带有自屏蔽系统，类比同类型自屏蔽的动物 PET/SPECT-CT 一体机，CT 使用时自屏蔽系统表面剂量率与本底相当，且四周墙体不低于 2.5mmPb 屏蔽，因此扫描过程对隔室操作人员和周围公众的辐射剂量可忽略。

动物显像室工作人员受到年照射剂量为 $191.1\mu\text{Sv}$ （ $180\mu\text{Sv} + 11.1\mu\text{Sv}$ ）。

11.2.3.4 解剖实验室辐射影响

(1) 实验操作：本实验室需要进行动物解剖等处理实验，工作人员的操作距离为 0.5m，每只动物解剖时间约 2~10 min（每只解剖和测量按 10min 估算，解剖时配有 10mm 铅当量玻璃防护），每年解剖动物的数量不大于 500 只，则年操作时间为 83.34h，每只给药量不大于 $1.85\text{E}+7\text{Bq}$ （ $500\mu\text{Ci}$ ），0.5m 处操作位剂量约为 $2.65\mu\text{Sv/h}$ （保守按 F-18 影响估算， $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}\times 18.5\text{MBq}\times 0.25/(0.5\text{m}\times 0.5\text{m})$ ，其中 10 mm 铅衰减因子取 0.25）则辐射工作人员年附加剂量约为 $220.9\mu\text{Sv}$ （ $2.65\mu\text{Sv/h}\times 83.34\text{h}$ ）。

(2) 动物转移：实验鼠在动物显像室注射核药之后放置于 5mm 铅笼中转移到解剖室（5mm 铅衰减因子取 0.5），1m 处剂量约为 $1.3\mu\text{Sv/h}$ （以 F-18 代表， $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}\times 18.5\text{MBq}\times 0.5$ ），每次转移按 30s 估算，距离取 0.5m 每年最多转移 500 次，则运转到注射位时工作人员的受照剂量为 $1.3\mu\text{Sv/h}\times 500\times (30/3600\text{h})/(0.5\times 0.5)\approx 21.7\mu\text{Sv}$ 。

解剖实验室工作人员受到年照射剂量为 $242.6\mu\text{Sv}$ （ $220.9\mu\text{Sv}+21.7\mu\text{Sv}$ ）。

11.2.3.5 细胞室辐射影响

放射性药物制备后分装到注射器，注射器置于 25mm 铅当量的防护盒内转运到细胞室，细胞室操作核素最大活度为 $3.7\text{E}+6\text{Bq}$ （ 0.1mCi ），1m 处剂量为 $0.53\mu\text{Sv/h}$ （以 F-18 代表， $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}\times 3.7\text{MBq}$ ）。操作时间 2h，全年实验时间约为 200h，操作距离 0.5m，实验时配有 10mm 铅当量玻璃防护（10 mm 铅衰减因子取 0.25），辐射工作人员的年附加剂量约为 $106\mu\text{Sv}$ 。

11.2.3.6 操作放射性同位素对公众所致剂量

(1) 周围剂量率水平估算

本项目考虑对质控室、动物显像室、解剖实验室、细胞室对周围的影响，考虑到本项目使用的核素半衰期都不是太长，根据以上的估算，这几个场所周围公众附加剂量以 F-18 和 Tc-99m 进行估算。表 11-3 列出周围不同场所的附加剂量率，相关场所估算点位置见图 11-2。

表 11-3 场所周围不同位置的剂量率

场所名称	编号	估算点位 (见图 11-8~9)	屏蔽材料与厚度	距离 (m)	衰减因 子 B	附加剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
淋洗标记室 (Mo-99 $2.96\text{E}+10$ ，发生 器，	a1	东墙外走 廊	20mmPb+240mm 混凝土砖	1	$2.57\text{E}-02$	$2.28\text{E}-01$	工作人员
	a2	西墙外缓 冲更衣区	20mmPb	4.4	$1.40\text{E}-01$	$6.41\text{E}-02$	工作人员

8.88 μ Sv/h@1m)	a3	北墙外走廊	20mmPb+240mm 混凝土砖	2.4	2.57E-02	3.96E-02	公众
	a4	防护门外 缓冲更衣区	20mmPb+3mmPb	4.5	1.04E-01	4.56E-02	工作人员
	a5	楼上室外 空地	20mmPb+300mm 混凝土	5.8	8.82E-03	2.33E-03	公众
	a6	楼下停车 场车道	20mmPb+300mm 混凝土	4.1	8.82E-03	4.66E-03	公众
淋洗标记室 (F-18 5.55E+2, 79.4 μ Sv/h@1m)	a7	东墙外走廊	50mmPb+240mm 混凝土砖	1	8.76E-05	6.95E-03	工作人员
	a8	南墙外通 道	50mmPb+240mm 混凝土砖	2.5	8.76E-05	1.11E-03	工作人员
	a9	西墙外质 控室	50mmPb+240mm 混凝土砖 (局部 52mmPb)	4.4	7.37E-04	3.02E-03	控制区
	a10	楼上室外 空地	50mmPb+300mm 混凝土	5.8	1.92E-05	4.53E-05	公众
	a11	楼下停车 场车道	50mmPb+300mm 混凝土	4.1	1.92E-05	9.07E-05	公众
质控室 (7.4MBq Tc-99m, 2.24E- 01 μ Sv/h@1m)	b1	东墙外淋 洗标记室	240mm 混凝土砖	1.6	2.12E-02	1.86E-03	控制区
	b2	南墙外通 道	240mm 混凝土砖	3.1	2.12E-02	4.96E-04	工作人员
	b3	西墙外退 更区	240mm 混凝土砖	2.9	2.12E-02	5.66E-04	工作人员
	b4	北墙外缓 冲更衣	240mm 混凝土砖	0.9	2.12E-02	5.88E-03	工作人员
	b5	防护门外 退更区	3mmPb	3.6	1.00E-03	1.73E-05	工作人员
	b6	楼上室外 空地	300mm 混凝土	5.8	1.87E-03	1.25E-05	公众
	b7	楼下停车 场车道	300mm 混凝土	4.1	1.87E-03	2.50E-05	公众
动物显像室 (18.5MBq F- 18, 2.65 μ Sv/h@1m)	c1	东墙外控 制区走廊	240mm 混凝土砖	2.6	9.01E-02	3.52E-02	控制区
	c2	南墙外控 制区走廊	240mm 混凝土砖	2.4	9.01E-02	4.14E-02	控制区
	c3	西墙外观 察室	240mm 混凝土砖	3.6	9.01E-02	1.84E-02	控制区
	c4	北墙外走 廊	240mm 混凝土砖	2.2	9.01E-02	4.92E-02	公众
	c5	观察窗外 控制区走 廊	3mmPb	2.5	6.60E-01	2.79E-01	控制区
	c6	防护门外 控制区走 廊	3mmPb	2.9	6.60E-01	2.07E-01	控制区
	c7	楼上室外 空地	300m 混凝土	5.8	1.97E-02	1.55E-03	公众
	c8	楼下停车 场车道	300m 混凝土	4.1	1.97E-02	3.11E-03	公众

动物显像室（8只注射 18.5MBq F-18 于 5mm 铅笼暂存，10.6μSv/h@1m）	c1	东墙外控制区走廊	240mm 混凝土砖	2.6	9.01E-02	1.41E-01	控制区
	c2	南墙外控制区走廊	240mm 混凝土砖	2.4	9.01E-02	1.66E-01	控制区
	c3	西墙外观察室	240mm 混凝土砖	3.6	9.01E-02	7.37E-02	控制区
	c4	北墙外走廊	240mm 混凝土砖	2.2	9.01E-02	1.97E-01	公众
	c5	观察窗外控制区走廊	3mmPb	2.5	6.60E-01	1.12E+00	控制区
	c6	防护门外控制区走廊	3mmPb	2.9	6.60E-01	8.31E-01	控制区
	c7	楼上室外空地	300mm 混凝土	5.8	1.97E-02	6.22E-03	公众
	c8	楼下停车场车道	300mm 混凝土	4.1	1.97E-02	1.25E-02	公众
解剖实验室（18.5MBq F-18，2.65μSv/h@1m）	d1	东墙外走廊	200mm 混凝土砖	1	1.35E-01	3.57E-01	公众
	d2	南墙外净化机房	200mm 混凝土砖 (局部 300mm 混凝土砖)	1.1	1.35E-01	2.95E-01	公众
	d3	西墙外储存间	200mm 混凝土砖	8	1.35E-01	5.58E-03	控制区
	d4	北墙外控制区走廊	200mm 混凝土砖	2.2	1.35E-01	7.38E-02	控制区
	d5	防护门外控制区走廊	/	7.5	1.00E+00	4.70E-02	控制区
	d6	楼上室外空地	300mm 混凝土	5.8	1.97E-02	1.55E-03	公众
	d7	楼下停车位	300mm 混凝土	4.1	1.97E-02	3.11E-03	公众
细胞室（3.7MBq F-18，0.53μSv/h@1m）	e1	东墙外走廊	240mm 混凝土砖	0.9	9.01E-02	5.88E-02	公众
	e2	南墙外缓冲区	240mm 混凝土砖	3.1	9.01E-02	4.96E-03	控制区
	e3	西墙外控制区走廊	240mm 混凝土砖	3.0	9.01E-02	5.29E-03	控制区
	e4	北墙外走廊	240mm 混凝土砖	1.7	9.01E-02	1.65E-02	公众
	e5	防护门外缓冲区	/	2.8	1.00E+00	6.75E-02	控制区
	e6	楼上室外空地	300mm 混凝土	5.8	1.97E-02	3.11E-04	公众
	e7	楼下停车位	300mm 混凝土	4.1	1.97E-02	6.21E-04	公众

备注：①混凝土砖密度不低于 1.8t/m³，混凝土密度 2.35t/m³，24cm 混凝土混相当于 18.4cm 砵，20cm 混凝土砖相当于 15.3cm 砵；②以上计算均为考虑核素随着时间的衰变影响。

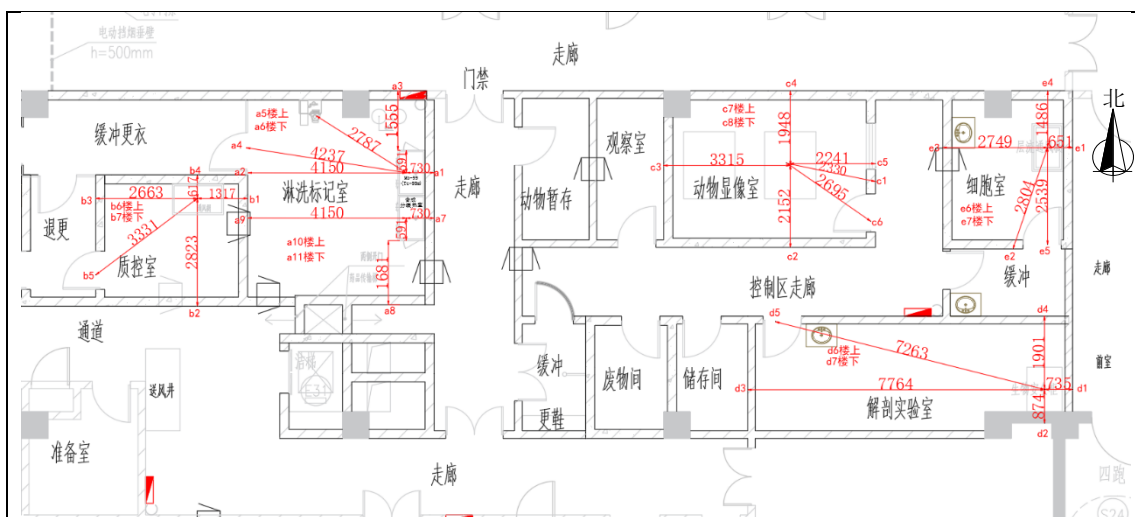


图 11-2 放射性同位素实验室相关场所估算点位置图

由表 11-3 可知，本项目运行后，放射性同位素实验室控制区边界外（四周）的附加剂量率水平低于 $3.57\text{E-}01$ （解剖实验室东墙外走廊），对楼上的附加剂量最大为 $6.22\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ （动物显像室楼上室外路面），对楼下正常位（距地面 170cm 处）的附加剂量率最大为 $1.25\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ （动物显像室楼下停车场车道）。控制区内各区域周围的附加剂量率最大为 $1.12\mu\text{Sv/h}$ （分布实验前 8 只动物鼠暂存于动物显像室，观察窗外），也满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求。

（2）周围公众受照剂量估算

本次科研实验共使用四种核素（每天只使用一种），实行每日一班制，每年最多工作 100d，其中涉及动物实验，动物显像实验 50 天，动物解剖实验 50 天。根据表 11-3 所列最大工作量进行剂量估算。假设：

①淋洗标记室药物合成每次操作时间不超过 1h，每年最多 350 次（Tc-99m 最多 250 次，Lu-177 最多 100 次），全年合成时间 350h；每次分装核药操作不超过 5min，每年最多 100 次，全年分装时间 8.34h。

②质控室每次质控时间为 30min，全年工作保守按 350 次，共全年质控时间 175h。

③动物显像室实验鼠每只注射时间 1 分钟，摆位时间 30s，一年实验动物注射不超过 1000 只，显像不超过 500 只，全年注射时间 16.67h、摆位时间 4.17h；本项目配置的动物 PET/SPECT/CT 带有自屏蔽系统，CT 使用时自屏蔽系统表面剂量率与本底相当，且四周墙体不低于 2.5mmPb 屏蔽，因此扫描过程对周围公众的辐射剂量可忽略。

④动物显像室开展分布实验时，每次不超过 10 只实验鼠。分为 3 组，其中一组（2~4 只）在给药后直接转到解剖实验室做分布实验，另外最多 8 只实验鼠在动物显像室暂存，暂存时间不超过 1h，每月最多开展一次分布实验，则全年暂存时间最多 12h。

⑤解剖实验室进行动物解剖，每只动物解剖时间最长为 10 min，每年解剖动物的数量不大于 500 只，则年操作时间为 83.34h。

⑥细胞实验室开展实验的操作时间约 2h，每年最多开展 100 天，则全年实验时间为 200h。

根据表 11-3 周围场所的附加剂量及相关工作时间放射性同位素实验室周围公众区域附加剂量估算结果见表 11-4。可见，本项目对公众的辐射照射剂量最大不超过 1.86 μ Sv/a（解剖实验室东墙外），满足本项目设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

表 11-4 本项目相关场所主要位置公众的年附加剂量估算

位置（估算点位见图 11-1）		附加剂量率 (μ Sv/h)	居留 因子	全居留时间 (h/a)	年附加剂量 (μ Sv/a)
淋洗标记室 (2.96E+10 的 Mo-99 (Tc-99m)发生器)	北侧走廊 a3	3.96E-02	1/16	350	8.65E-01
	楼上室外空地 a5	2.33E-03	1/16	350	5.09E-02
	楼下停车场车道 a6	4.66E-03	1/16	350	1.02E-01
淋洗标记室 (5.55E+2Bq 的 F-18)	楼上室外空地 a10	4.53E-05	1/16	8.34	2.36E-05
	楼下停车场车道 a11	9.07E-05	1/16	8.34	4.73E-05
质控室内 (7.4MBq 的 Tc- 99m)	楼上室外空地 b6	1.25E-05	1/16	175	1.37E-04
	楼下停车场车道 b7	2.50E-05	1/16	175	2.73E-04
动物显像室 (18.5MBq 的 F-18)	北墙外走廊 c4	4.92E-02	1/16	20.84	6.41E-02
	楼上室外空地 c7	1.55E-03	1/16	20.84	2.02E-03
	楼下停车场车道 c8	3.11E-03	1/16	20.84	4.05E-03
动物显像室（8 只注射 18.5MBq 的 F-18 的实验 鼠暂存于 5mm	北墙外走廊 c4	1.97E-01	1/16	12	1.48E-01
	楼上室外空地 c7	6.22E-03	1/16	12	4.67E-03

铅笼)	楼下停车场车道 c8	1.25E-02	1/16	12	9.34E-03
解剖实验室 (18.5MBq 的 F-18)	东墙外走廊 d1	3.57E-01	1/16	83.34	1.86E+00
	南墙外净化机房 d2	2.95E-01	1/16	83.34	1.54E+00
	楼上室外空地 d6	1.55E-03	1/16	83.34	8.09E-03
	楼下停车位 d7	3.11E-03	1/16	83.34	1.62E-02
细胞室 (3.7MBq 的 F-18)	东墙外走廊 e1	5.88E-02	1/16	200	7.35E-01
	北墙外走廊 e4	1.65E-02	1/16	200	2.06E-01
	楼上室外空地 e6	3.11E-04	1/16	200	3.88E-03
	楼下停车位 e7	6.21E-04	1/16	200	7.77E-03

11.2.1.4 放射性同位素实验室受照剂量总结

(1) 工作人员

根据以上估算，放射性同位素实验室的附加有效剂量如表11-5。

表 11-5 实验室工作人员各环节附加有效剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)

环节	淋洗标记室	药物转移	质控室	动物显像室	解剖室	细胞室
附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)	196.5	2.4	40.3	191.1	242.6	106
合计	778.9					
备注	本实验室拟配备 5 名工作人员					

根据表11-5中数据，假设1名工作人员从事本项目所有放射工作环节，则致其年附加有效剂量为778. μSv ，实际工作时，不同环节由不同工作人员完成，则本项目实际致每名工作人员附加有效剂量更低，能够满足工作人员年剂量约束值 (5mSv) 的要求。

(2) 公众

根据表 11-4 中估算结果，本项目对公众的辐射照射剂量约为 1.86 $\mu\text{Sv/a}$ ，满足本项目设定的 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

11.3放射性废物产生及排放情况

11.3.1 放射性废气

同位素实验室淋洗标记室内拟配2个热室（手套箱），质控室、细胞室拟各设1个普通通风橱。放射性同位素实验室共配2套排风系统，手套箱（通风橱）分别设置独立的排风系统，配备高效过滤器（过滤效率 $\geq 99.97\%$ ），各手套箱（通风橱）废气由单独管道引出后合并为1个排风管道由医疗楼顶部的排风系统排出，在排风口前端设置活性炭过滤器（过滤效率 $\geq 90\%$ ）。另外控制区场所设有1套专用排风管道，废气由专用管道分别引至医疗楼楼顶东北角高出楼顶排放（总高度59.8m），排风口朝东设置，高于医疗楼顶部并高于周围50m范围内建筑物。

放射性药物分装、活度测定均在淋洗标记室的热室内进行，本项目使用的F-18、Ga-67、Tc-99m、Lu-177核素药物，物理性质稳定，均为液体，注射环节挥发到空气中的份额可以忽略不计。此外，通风系统设置有活性炭过滤器，会进一步过滤净化，对周围环境的影响十分轻微，故本项目不予详细评价。

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少，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。

医院委托设备厂家定期检查维护药物通风橱的吸附过滤装置，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），确保过滤效率满足设计要求。更换滤材操作时执行辐射监测制度，并采取个人防护措施和场所去污措施。拆下的废弃滤材及更换的部件应妥善收集，密封包装暂存于废物间，按照放射性固体废物进行暂存，存放超过至少68天后经检测满足解控水平后按照普通医疗废物进行处置。

11.3.2 放射性液体废物

放射性同位素实验室淋洗标记室、细胞室、解剖实验室内产生的少量废水，将通过专用管道一并汇入位于医疗楼东侧的放射性废水1号衰变池，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。

1号衰变池收集的放射性废液中含有少量回旋加速器场所、生产过程中产生的正电子短半衰期核素，主要的放射性核素来源于核医学诊断区受检患者的排泄物（含I-131），年产生废水约131.1m³。本项目产生放射性废水保守按30L/d考虑，另外应急淋浴水保守每年按一次50L，则年产生废水约为30L $\times$ 100+50L=3.

1m³，新增产生的废水量较少，叠加现有项目的废水量，影响不大。

1 号衰变池的总容积为 114.7m³（40m³+38.2m³+36.5m³），废水从充满至排放可贮存衰变约 203 天。

综上，本项目建设完成启用后 1 号衰变池排放情况能够满足 HJ1188-2021 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 A 类放射性废水暂存衰变满 10 个半衰期（含 I-131 废水 180 天）的要求。排放前委托有资质的检测机构对废水进行检测，废水中 I-131 核素的放射性活度浓度和总 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。

11.3.3 放射性固体废物

本项目按需申请放射性核素，如有剩余的放射性核素，连同包装容器暂存于淋洗标记间自行衰变。动物显像室、解剖实验室、细胞室内各配置 1 个铅质废物桶，将废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等固体放射性废物，暂存于该废物桶内，标注日期于每周一早晨转移至废物间内的废物桶内，废物间配备 2 个铅废物桶，淋洗标记室、质控室各配备 2 个铅质废物桶，废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置 68 天后，满足清洁解控后处置，作为医疗废物处理，详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”。废物间冰柜里放 2 个 5mmPb 铅废物桶，储存实验后的大小鼠。

11.3.3.1 一般放射性固体废物

医院每年最多 50 个 Mo-99（Tc-99m）发生器，达到使用寿命后厂方下次送新的发生器时回收。

试剂废弃的药瓶、放射性药物注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品按类别、日期放入废物间内，动物注射等操作会在吸水垫上操作，少量的小动物血液量完全被吸水垫吸收后按照固体废物处理。

本项目全年开展动物实验 1000 只，平均按每只产生含放射性固体废物（废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、被污染的一次性用品等）0.02kg，则项目满负荷运行年产生量约 20kg；加上动物注射等操作会在吸水垫上操作，暂存室的小鼠排放尿液产生的吸附在吸水垫上，少量的小动物血液量完全被吸水垫吸收后按照固体废物处理，满负荷运行年产生量不大于 30kg，则项目满负荷运行年产

生量约 50kg。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（Lu-177 核素暂存超过 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

11.3.3.2 过滤器废物

淋洗标记室场所每年更换热室和楼顶活性炭过滤器，预计额外产生 12kg 固体废物（每个活性炭过滤器不小于 2kg，每个高效过滤器不大于 2kg），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 68 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 和 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物解控作为医疗废物处置。

11.3.3.3 实验动物尸体废物

依照上述动物实验方案可知，每年最多共需 1000 只小鼠，每只实验小鼠体重常规是 18-25g，保守按照 30g 计算，年产生的动物尸体及组织约为 30kg。实验结束后，动物均被处死，尸体装入密封袋，暂存于废物间内配置的冰柜中，暂存 68d 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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，将尸体送医院动物室按照普通动物尸体处理。

动物尸体储存说明：本项目使用的动物为老鼠，每年使用量较少（不大于 1000 只），不进行动物的饲养，统一由医院动物房购买。每只小老鼠注射量不大于 18.5MBq ，实验动物的数量和每只实验动物的药物用量均小于人的检测，对动物进行放射性药物注射也在动物显像室内进行。每天每次实验老鼠不超过 10 只，

实验完处死后的小鼠标明核素种类、时间。每半年实验小鼠不大于 500 只，冷冻 500 只小鼠，体积不超过 50 立方分米，一般冰柜均可满足要求。500 只小鼠废物总的放射性活度约等于最后一天小鼠的放射性活度，能满足解控要求。

本项目除了以上产生的固体废物外，其它的固体废物量（更换活性炭）依托现有，能够满足使用要求。

本项目产生的所有实验动物尸体均应冷冻暂存。实验动物尸体或组织应按照所含核素种类分类收集，动物尸体或组织装入密封袋、标注所含核素种类和产生日期后，送至对应的废物间的专用冰柜内冷冻暂存；参考放射性固体废物的暂存时间要求，动物尸体暂存时间按 68 天管理，解控后的动物尸体废物按普通动物尸体的规定妥善处理。

11.4 本项目异常事件分析与防范措施

11.4.1 放射性同位素实验室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）放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。放射性废水未经足够时间的暂存而超标排放，可能对环境或人体造成一定危害；放射性固体废物未经足够时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（4）屏蔽措施不当。如果对操作放射性核素的场所屏蔽措施不利，可能对环境造成污染和对人员造成不必要的照射。

11.4.2 风险防范与事故应急处理措施

针对在工作场所运行过程可能出现的事故，应采取一系列预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

（1）放射性核素由专业公司送达医院后，核医学科技师与送药人员在核医学科高活室内摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失恶化被盗。

（2）建立放射性药物（核素）使用管理制度，制定放射性同位素操作技术规

程和事故应急处理预案。辐射安全管理小组定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正，工作人员须熟练掌握放射性药物操作技能和辐射防护基本知识的培训，正确处置意外情况，上述措施可以有效避免因操作失误，导致工作场所发生局部放射性污染的事件发生。

在控制区出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) 放射性同位素实验室淋洗标记室、动物显像室等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68天后，达到解控水平后办理清洁解控，该措施可有效避免放射性废物对环境造成污染和影响。

放射性场所场设置有排风系统，废气有组织在楼顶排放。

(4) 发现意外事件与事故的当场人员应当立即向部门负责人、上级各管理部门以及辐射安全管理小组负责人和专职人员报告，启动事故应急预案。辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，负责保护现场，控制范围。发生该类事故后，应在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。如果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。

11.5 项目环保验收内容建议

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

表11-6 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
剂量当量率	控制区外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在放射性同位素实验室场所出入口、淋洗标记室、质控室、动物显像室、解剖实验室、细胞室、废物间等门外设置放射性警告标识和中文警示说明。

布局 and 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。淋洗标记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	放射性同位素实验室工作场所实行分区管理，在控制区出入口分别安装门禁系统，限制无关人员出入；淋洗标记室、质控室、动物显像室、解剖实验室、细胞室、废物间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。采用实体屏蔽措施，安装视频监控系统等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，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 11 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；淋洗标记室安装手套箱，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管理委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。辐射安全管理小组的职责：

1. 在医院辐射安全管理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，在辐射安全管理委员会主席的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6. 建立装置档案，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增加辐射工作人员 5 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

北京清华长庚医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训考核制度、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、放射性废物管理制度、辐射事故应急制度等。

本项目实施后，北京清华长庚医院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（如增加同位素实验室操作规程等）、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

北京清华长庚医院根据制订了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，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中国医学科学院放射医学研究所承担，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放射性同位素工作场所和所有射线装置机房防护和机器性能检测1次。

（2）本项目自行监测方案

医院针对本项目启用后，核医学科拟新增1台辐射剂量巡测仪、2台表面污染监测仪，能够满足医院辐射防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后

拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。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：点位包括动物显像室、质控室等机房和其楼上、楼下，控制区边界外 30cm 处（如控制室等有代表性点位不少于 1 次/月）及放射性同位素实验室内相关场所的剂量率水平。监测数据记录存档，监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-1 放射性同位素实验室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~z2	控制区出入口	四周及楼上楼下	1 次/年
o1~o7	退更	四周及楼上楼下	1 次/年
p1~p5	缓冲更衣	四周及楼上楼下	1 次/年
q1~q7	东侧缓冲	四周及楼上楼下	1 次/年
s1~s7	淋洗标记室	四周及楼上楼下	1 次/年
t1~t7	质控室	四周及楼上楼下	1 次/年
u1~ u8	动物显像室	四周及楼上楼下	1 次/年（其中控制室 1 次/月）
v1~ v7	观察室	四周及楼上楼下	1 次/年
w1~w7	细胞室	四周及楼上楼下	1 次/年
x1~ x7	解剖实验室	四周及楼上楼下	1 次/年
y1~ y7	废物间	四周及楼上楼下	1 次/月

(5) 表面污染水平监测点位设置：每天工作结束后，对淋洗标记室台面、地面，手套箱台面以及相关设备表面等进行表面污染监测，监测数据记录存档。

表 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)
1~8	淋洗标记室	手套箱台面及表面、淋洗标记室地面、传递窗	
9~12	质控室	台面、地面、传递窗	
13~15	动物显像室	注射台面、地面、设备表面	
16~17	观察室	台面、地面	
18~20	细胞室	台面、地面、传递窗	
21~22	解剖实验室	台面、地面	
23	退更	地面	
24	缓冲更衣	地面	
25	东侧缓冲	地面	
26	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	

12.4 辐射事故应急管理

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

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

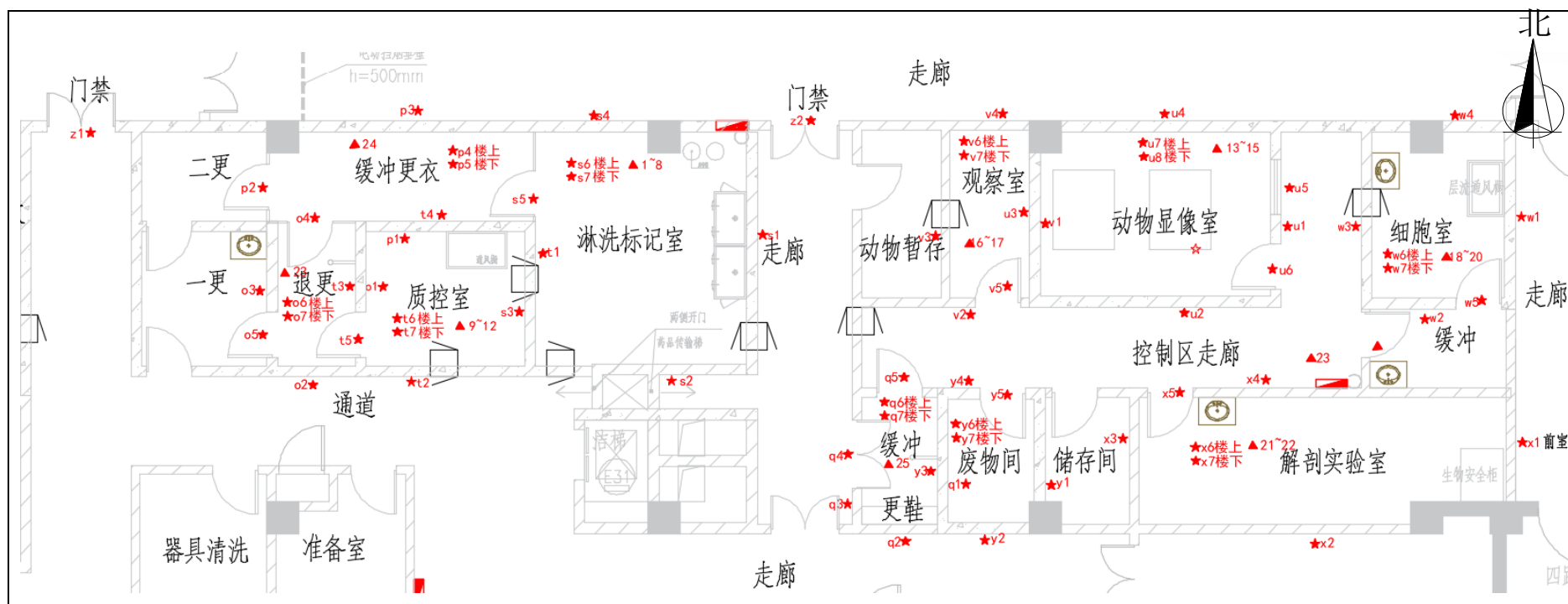


图 12-1 拟建核医学科场所自行检测点位图

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

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

为了进一步提升科室科研基础能力，开发出更具特异性、疗效更好的放射性药物，推动核医学治疗领域的发展，拟在二期核医学科新建放射性同位素实验室，新增 1 台动物 PET/SPECT-CT 一体机，使用 F-18、Ga-68、Tc-99m、Lu-177 开展科研实验。

13.1.2 正当性分析

本项目使用放射性核素药物开展科学研究和动物 PET/SPECT-CT 一体机进行动物模拟研究，可提供生物分布、药代动力学等多方面的丰富信息，准确反映药物在动物体内摄取、结合、代谢、排泄等动态过程。本项目建成后，为快速在动物和人体进行同一试验提供了机会，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

本项目位于二期医疗楼地下一层核医学科东侧，周围 50m 区域除了东侧和南侧部分为院外马路区域外，其它都是医院内部，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，以及科研实验的便利性，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

医院在设置辐射工作场所时已充分考虑了设备性能和运行特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

放射性同位素实验室工作场所实行分区管理，在控制区出入口分别设置门禁系统，限制无关人员出入；淋洗标记室、质控室、动物显像室、观察室、细胞室、解剖实验室、废物间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。

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 $100\mu\text{Sv/a}$ 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。通过对辐射屏蔽措施分析可知，控制区外周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。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工作人员以及周围公众的影响是十分轻微的。

(3) 放射性“三废”排放。预计放射性同位素实验室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，最后委托有放射性固废处理资质的单位处理。将产生极少量的放射性废气从医疗楼顶部排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于到处空气浓度限值。

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

13.1.6 结论

综上所述，北京清华长庚医院二期新建放射性同位素实验室项目，相应的辐射安全防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京清华长庚医院承诺：

(1) 项目批复许可后，启用前须办理相关辐射安全许可和 PET/SPECT-CT 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。

