

核技术利用建设项目

新建核医学科项目

环境影响报告表

建设单位：北京博仁医院 (公章)

2021 年 3 月

核技术利用建设项目

新建核医学科项目

环境影响报告表

建设单位名称：北京博仁医院

建设单位法人代表（签名或签章）：李强

通讯地址：北京市丰台区郑王坟南 6 号 A、B、C 座

邮政编码：100070

联系人：陈传通

电子邮箱：chenct@gobroadhealthcare.com

联系电话：13693215077

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新建核医学科项目			
建设单位		北京博仁医院			
法人代表	李强	联系人	陈传通	联系电话	13693215077
注册地址		北京市丰台区郑王坟南 6 号 A、B、C 座			
项目建设地点		北京市丰台区郑王坟南 6 号 A、B 一层 AB 连廊处			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	2500	项目环保投资(万元)	700	投资比例(环保投资/总投资)	28%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	530
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. 项目概述 1.1 医院概况 北京博仁医院(以下简称“博仁医院”)为一家二级综合医院,位于北京市丰台区西南三环,毗邻地铁 10 号线纪家庙站。医院主要开展独具技术特色的血液病、儿科及综合住院诊治服务,并设有为社区服务的门诊及急诊。 医院建筑面积 14000 平米,编制床位 170 张。住院病房以血液病、儿科及综合病房为主,设有百级手术室及抢救病房(包括呼吸机、血浆交换、血滤等一系列抢救设备)。辅助科室包括医学检验科、血库、医学影像科(含心电图、动态心电图、B 超、脑电图、				

肌电图等)、药剂科等。

血液科专家团队具有丰富的临床与实验室经验, 包括有 30 多年血液病诊治经验的临床医师及顶级的、血液病相关的各专业实验室的诊断专家, 擅长血液病的整合诊断及个体化治疗(包括化疗、放疗、免疫治疗、靶向治疗、去甲基化等治疗的选择与整体治疗策略的制定等)。此外, 医疗团队还非常重视用药安全性问题, 可根据患者药物代谢基因型的特点及药物浓度的监测来调整药物剂量, 以保证用药的安全性与有效性。造血干细胞移植专家团队具有非常丰富的成人(最大 68 岁)及儿童(最小 2 个月)移植经验, 累计完成数千例造血干细胞移植, 疗效为国际领先水平。移植团队对移植适应症和时机的把握、移植方式的选择(同胞相合、非血缘、亲缘半相合、脐血、同基因、自体)、个体化预处理方案的制定、移植合并症的防治、难度较大的亲缘半相合移植及难治/复发血液肿瘤的挽救性移植均有独到的成功经验。

医院将以特色、先进的医学诊断与治疗技术及专业化、人性化的护理为患者提供优质的医疗服务。

博仁医院位于北京市丰台区郑王坟南 6 号 A、B、C 座, 东侧为京九铁路线, 南侧为龙威广场 D 和 E 座, 西侧隔纪通东路为亿朋苑 2 号, 北侧为纪家庙绿化队。医院地理位置示意图见附图 1 所示, 其平面布局示意图见附图 2 所示。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

博仁医院持有北京市丰台区生态环境局颁发的《辐射安全许可证》(京环辐证[G0191], 有效期至 2025 年 1 月 13 日, 见附件 1), 许可的种类和范围是: 使用 III 类射线装置。医院已获许可使用的射线装置见表 1-1。

表 1-1 医院已许可的射线装置情况(III 类 4 台)

序号	名称	类别 (类)	数量 (台)	备注
1	移动式摄影 X 射线(DR) 机	III	1	
2	牙科 X 线机(DR)	III	1	
3	医用 X 线机(DR)	III	1	
4	螺旋(CT64 排)	III	1	
合计			4	

1.2.2 近几年履行环保审批手续情况

医院近几年共有 2 个项目履行了环评手续, 1 个为医院建设报告书项目, 另外一个为使用 III 类射线装置登记表项目。具体情况见表 1-2。

表 1-2 建设项目竣工环保验收落实情况

序号	环评批环复文号	项目名称	类别	竣工验收文号
1	丰环保审字〔2014〕229 号	北京博仁医院医疗建设项目	报告书	丰环保验字〔2015〕49 号
2	丰环辐审〔2014〕18 号	使用 III 类射线装置项目	登记表	备案项目，已登证。

1.2.3 辐射安全管理情况

（一）辐射环境安全管理机构

为了保证射线装置的安全使用和有效管理，保障各类人员的健康与安全，医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组。由行政院长担任组长，医务部主任任副组长，放射科、设备科和后勤部相关人员担任组员，并由医务部专职干事负责辐射安全的具体管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表 1-3。

表 1-3 医院辐射安全与环境保护管理领导小组

管理人员	姓名	性别	职务或职称	工作部门	专/兼职
组长	郑晓宇	男	行政院长	办公室	兼职
副组长	朱佳怀	男	医务部主任	医务部	兼职
组员	罗凤荣	男	影像科主任	放射科	兼职
组员	赵晓	女	影像科技师	放射科	兼职
组员	李敏	女	影像科护士	放射科	兼职
组员	董超	女	设备科主任	设备科	兼职
组员	蔡永生	男	后勤部主任	后勤部	兼职
组员	王彩娟	女	医务部干事	医务部	专职

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

医院制定了一系列的辐射安全管理制度，包括操作规程、辐射安全领导小组及其职责、辐射防护和安全保卫制度（含辐射防护措施）、辐射工作人员安全培训制度、射线装置检修维护制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度、辐射事故应急制度等，并在实际工作中严格按照规章制度执行。

（三）辐射工作人员培训

单位制定有辐射工作人员培训计划。目前，医院从事辐射相关工作人员共计 7 名，

均于 2018 年至 2019 期间通过了辐射安全和防护考核，取得了培训证书。单位现有相关辐射工作人员信息见附件 2。

（四）个人剂量监测

医院辐射工作人员的个人剂量监测工作目前委托北京市疾病预防控制中心承担，每季度送检一次。评价期间，评价单位调阅了 2019 第四季度与 2020 年前三个季度的个人剂量监测报告，结果显示，每季度的个人受照剂量均低于 0.1mSv，全部医护人员的年度受照剂量均未超出 2mSv/a 的剂量约束值。2019 第四季度与 2020 年前三个季度的个人剂量监测报告见附件 3。

（五）工作场所及辐射环境监测

医院已制定工作场所监测方案，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测，监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次、监测部门等。医院现有的监测方案能够满足相关标准要求，内容具体如下。

（1）工作场所的委托监测频次为 1 次/年，监测点位包括放射科机房外毗邻东、南、西、北、上、下区域、防护门外、操作人员位和其他人员可达位置，监测范围和方法参照国家标准的相关要求。

（2）如果场所辐射水平监测结果异常，应立即停止辐射活动，及时查找原因，采取有效措施，及时消除辐射安全隐患，隐患未消除前不得继续开展辐射工作。

2020 年 9 月 和 10 月，医院委托凯杰方大检测技术河北有限公司对辐射工作场所进行了年度检测，具体包括 CT、DR 和牙片机机房。检测报告显示，全部辐射工作场所周围的辐射水平均低于 0.3 μ Sv/h（含本底），满足相关标准要求。

（六）辐射事故应急管理

北京博仁医院依据《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，针对Ⅲ类射线装置可能发生的事故/事件，制定了《北京博仁医院辐射事故应急制度》，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医院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，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，还应同时向卫生行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练

练。

1.3 本项目概况

1.3.1 改建核医学科背景

截至今年 11 月，床位使用率从 2019 年平均 53%跃升至 90%以上。自我院儿童、成人淋巴瘤科开科以来，出院人次 2019 年比 2018 年增长 83%。2020 年是不平凡的一年，新冠疫情对医疗行业影响巨大，但博仁医院业务继续呈增长趋势。

博仁医院为二级综合医院，编制床位 170 张。建院近三年来，血液肿瘤患者住院人次大幅增长。对于淋巴瘤患者，PET-CT 作为常规性检查手段，需求量激增。目前与相关医院合作，虽然尚可满足诊断需求，但患者有外出感染风险，有增加患者治疗费用的情况，所以有必要引入 PET/CT 技术。此外，医院作为临床试验机构，对内对外承接了大量临床试验及研究，目前累计集团内细胞免疫治疗相关临床试验 25 项。PET-CT 等核医学测定结果是绝大部分临床试验、临床研究的入组判定的标准之一；目前在不具备在院检查的条件下，外送检查给受试者造成一定的不便，同时，也增加了安全风险。

综上所述，新建核医学科开展核医学诊断是必要的。

1.3.2 本项目建设内容

本项目为改扩建，建设内容为：对现有医疗用房进行改造，新建核医学科工作场所，开展核医学科诊断，改建后的场所属丙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科拟使用的放射性同位素如表 1-4 所示。

表 1-4 核医学科改扩建完成后使用非密封放射性同位素情况

设备名称	核素名称	核素用量	日使用量 (Bq)	日等效操作量 (Bq)	年使用量 (Bq)
PET/CT	^{18}F	3.70E+8Bq/人、 20 人次/日	7.40E+9	7.40E+06	1.85E+12
SPECT	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25E+8Bq/人、 每日 10 人次	9.25E+9	9.25E+06	2.31E+12

本项目属于使用丙级非密封放射性工作场所项目，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》，应该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》最新要求，北京科欣科技发展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。公司有多名环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受博仁医

院委托，北京科欣科技发展有限公司开展“新建核医学科项目”的环境影响评价工作。评价单位在现场查看、调查、收集资料以及现场监测的基础上，编制了本建设项目的辐射环境影响报告表。

博仁医院核医学科的下列核技术利用内容将单独备案，不包括在本环评报告表中：

1) 使用 V 类密封源。核医学科 PET/CT 成像装置，需使用 V 类校验源。医院在招标确定设备型号并明确校验源种类和活度后，单独进行备案。

2) 使用 III 类射线装置。核医学科新增使用的 PET/CT 设备，医院拟在招标确定具体型号后，单独进行备案。

1.3.3 项目选址和合理性

博仁医院的医疗布置在丰台区郑王坟南 6 号 A、B、C 栋建筑内。拟新建核医学科位于中间 AB 连廊处，现状放射科候诊、医生值班室以及 DR 机房。

新建核医学科场所周围 50m 范围内，东侧为院内停车场，之外是京九线。南侧是博仁医院医疗用房。西侧是纪通东路，之外亿朋苑 2 区用地（距离 1 号居民楼 66m）。北侧和楼上均为医疗用房，但无产科、儿科和食堂等场所，下面为土层。

本项目评价范围见图 7-1 所示，主要保护目标主要是医院的医护人员、就诊人员，以及西侧亿朋苑 2 区内游动的居民。核医学科周围 50m 内，无居民楼、学校等敏感目标，也无产科、儿科和食堂等场所，选址基本合理。

1.3.4 产业政策符合性

本项目使用放射性药物进行核医学诊断，属于《产业结构调整指导目录(2019年本)》中第十三项第5条中关于“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”类别，属于国家支持和鼓励类产业。

1.3.5 核医学科建设规划

整体部署：改建核医学科，布置高活室、注射室、储源室、废物间、PET/CT 机房和候诊区、SPECT 机房和候诊区以及留观室。

设备配置：配备 1 台 SPECT（型号待定）和 1 台 PET/CT（型号待定）。

实施计划：PET/CT 在取得《乙类大型医用设备配置许可证》后购置，SPECT 设备直接购置，故核医学科显像设备拟一次性配置齐备。

工作制度：250d/a，8h/d。

人员配置：博仁医院新建的核医学科拟配置 10 名辐射工作人员，其中医师 4 名，负责患者接诊、出具显像诊断报告等，每天显像 30 人次，4 名医师满够满足工作需要；技师 3 名，因为 SPECT 和 PET/CT 只需 1 名操作技师，故 3 名技师轮流能满足工作需要；护士 2 人，具体负责药物订购、放射性药物注射以及废物管理等，2 人轮流能够满足工作需要；物理师 1 名，具体负责设备质控和维护，可以满足工作需要。

上述人员配置也能够满足《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》中 PET/CT 的配置要求，具体对照情况见表 1-5。上述人员全部通过辐射安全与防护考核后持合格证书上岗。

表 1-5 核医学科与“大型医用设备配置准入标准”要求对照情况

大型医用设备	2019 年《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》	博仁医院核医学科	对照情况
PET/CT (含 PET)	1) 具有完整的专业人员构成：医师、技师、物理师和护士。其中，医师应取得核医学或放射医学（医学影像）专业的执业医师资格。	博仁医院核医学科人员将由医师、技师、物理师和护士组成，其中医师具有核医学（医学影像）专业的执业医师资格。	满足要求
	2) 专业技术人员数量应当与设备数量和工作量相匹配，每台设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名。	拟配备 4 名医师、3 名技师、2 名护士和 1 名物理师。	满足要求

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	¹⁸ F	液态针剂； 半衰期110min； 低毒	使用	7.40E+9	7.40E+06	1.85E+12	核医学诊断	很简单操作	核医学科	医学科高活室内暂存
2	^{99m} Tc	液态针剂； 半衰期6.02h； 低毒	使用	9.25E+9	9.25E+06	2.31E+12	核医学诊断	很简单操作	核医学科	核医学科高活室内暂存

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
无									

(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
洗涤废水、受检人员排泄物	液体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$			约 50m^3	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	衰变池暂存	依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，对于槽式衰变池（罐）暂存方式，放射性废水暂存 30d 后，解控排入医院污水处理站。严格记录废水排放台帐。
手套、棉签等其他固态物质、一次性注射器	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$			75kg	$< 10^4\text{Bq/kg}$	暂存于医学科内放射性废物间	暂存至少 30d 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，解控按医疗废物交有资质单位处置。
核医学科高活室通风橱排气	气体	微量 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$			少量，可忽略		直接排放	废气经通风橱自带的活性炭过滤器过滤后，在 A 座顶部排放。
通风橱活性炭过滤材料	固体	微量 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$			10kg			暂存至少 30d，经自行检测，符合《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求后，解控为普通废物处置。
有害气体 O_3 等	气体				$< 10\text{g}$		直接排放	经通风系统直接排入环境大气

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

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

表 6 评价依据

法规文件	1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令 9 号，2015 年 1 月 1 日实施； 2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 6 号，2003 年 10 月 1 日实施； 3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，（2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 1 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修正；2018 年 12 月 29 日第二修正）； 4. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》2005 年 9 月 14 日经国务院令 449 号公布；2014 年 7 月 29 日经国务院令 653 号修改；2019 年 3 月 2 日经国务院令 709 号修改； 5. 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日国务院令 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日国务院令 682 号修订，2017 年 10 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》，2006 年 1 月 18 日，国家环境保护总局令 31 号公布；2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 3 号修改；2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 47 号修改；2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 7 号修改； 7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 18 号，2011 年； 8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令 16 号，2020 年 11 月 5 日，自 2021 年 1 月 1 日起施行； 9. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号），2006 年； 10. 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年； 11. 《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； 12. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年版； 13. 《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 9 号，2019 年 9 月； 14. 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射
------	--

	函〔2016〕430号； 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； 16. 关于发布《建设项目竣工环保验收暂行办法》的公告，国环规环评〔2017〕4号，2017年11月； 17. 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； 18. 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告2019年第57号，2019年12月24日。
技术标准	1. 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； 2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； 3. 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)； 4. 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，2021年5月1日实施； 5. 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； 6. 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009) 7. 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)； 8. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； 9. 《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)。 10. 《北京市水污染物排放标准》(DB11/307-2013)； 11. 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012)； 12. 《环境影响评价技术导则》-大气环境 (HJ2.2-2018)； 13. 《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)； 14. 《临床核医学患者防护要求》(WS533-2017)。
其他	1. 北京博仁医院环境影响评价咨询协议书； 2. 北京博仁医院提供的放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量检测报告。

	3. 北京博仁医院核医学科改建设计图纸。 4. RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK , Radiation Protection Dosimetry. 98(1), 2002; 5. AAPM Task Group 108:PET and PET/CT Shielding Requirements. Am. Assoc. Phys. Med. Phys. 33,1, January 2006。
--	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，并结合本项目的特性，确定评价范围为：以核医学科控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示。



图 7-1 本项目评价范围示意图

7.2 评价因子

本项目主要评价因子为 γ 射线、放射性“三废”和 O_3 等。

7.3 评价目的

- 1、对建设项目环境辐射现状进行调查及辐射环境现状监测；
- 2、评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- 3、评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门管理提供依据；
- 4、通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- 5、对不利辐射环境影响和存在的问题提出防治措施，把其减少到“可合理达到的尽量低水平”；

6、为医院的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.4 评价原则

- 1、以建设项目为基础，环保法律法规为依据，国家有关方针政策为指导的原则；
- 2、突出该项目的特点，抓住关键问题，坚持实事求是、客观公正的原则；
- 3、评价来源于项目、服务于项目、指导于项目的原则。

7.5 保护目标

博仁医院租用北京市丰台区郑王坟南 6 号 A、B、C 栋建筑开设医疗场所，A 和 C 座 5 层，B 座 4 层，3 栋建筑物连廊相连构成马蹄形。核医学科位于中间 AB 连廊处，现状放射科候诊、医生值班室以及 DR 机房。

核医学科周围 50m 范围内，东侧为院内停车场，之外是京九线。南侧是博仁医院放射科、流式细胞实验室、中心药房以及病房，西侧是纪通东路，之外亿朋苑 2 区的空地（距离 1 号楼 66m）。北侧是门诊大厅、诊室、牙科、输液室。楼上（二层）为值班更衣室（PET/CT 扫描机房上面）、输血治疗室实验室（给药候诊室上方）以及医生办公室（SPECT 机房上面），下面为土层。

本项目评价范围见图 7-1 所示，主要保护目标主要是医院的医护人员、就诊人员，以及东北角医院居民楼。本项目 50m 范围内的保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目核医学楼周围地面 50m 范围内的保护目标

保护目标	方位	最近距离 (m)	常居留人数
院内停车场	东侧	2	2
放射科、流式细胞实验室、中心 药房、病房	南侧	2.5m	30
纪通东路	西侧	3	/
门诊大厅、诊室、牙科、输液室	北侧	紧邻	30
亿朋苑 2 区用地	西侧	25	6
值班更衣室、输血治疗实验室、 医生办公室	楼上	4	20
土层	地下	/	/

7.6 控制指标

7.6.1 剂量限值和剂量约束值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定：

(1) 剂量限值

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv，特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

《GB18871-2002》11.4.3.2 还规定了年剂量约束值，按辐射防护最优化原则设计的年剂量控制值应小于或等于该剂量约束值。剂量约束值是剂量限值的一个分数，公众剂量约束值通常应在 0.1~0.3mSv/a 范围内。

(2) 剂量约束值

核医学科辐射工作人员的年受照剂量约束值取 5mSv，周围公众的年受照剂量约束值取 0.1mSv。

7.6.2 放射工作场所剂量率控制水平

参照 2021 年 5 月 1 日实施的《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，核医学科采用如下剂量率控制水平：

- 1) 在控制区外的人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。
- 2) 在控制区内的候诊室、高活室以及机房周围 30cm 的周围剂量当量率也按照不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 从严要求。
- 3) 通风橱外表面 30 cm 处的周围剂量当量率按照不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 进行控制。
- 4) PET/CT 进行 CT 扫描时，其机房周围 30cm 处人员可达处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

7.6.3 放射性废水排放管理要求

(1) 水污染物排放标准

北京市地方标准《水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013) 给出了排入公共污水处理系统的水污染物排放限值：车间或生产设施排放口总 β 放射性为 10Bq/L。本项目放射性废水衰变池的排水口采用该数值进行控制。

(2) 放射性废水排放管理要求

依据《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，放射性废水暂存 30d 后，可直接解控排放。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。

7.6.4 放射性固体废物管理

由于核医学科使用的放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的半衰期均较短，因此可以将放射性废物收集暂存，待衰变至符合北京市核医学放射性废物管理要求时，解控为医疗废物处置。

据《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018] 13 号），本项目核医学科放射性固体废物须设置独立的废物间。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（所含核素半衰期小于 24 小时）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）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。

本项目使用核素为 A 类，放射性固体废物在暂存室内暂存衰变时间超过 30 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 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08 Bq/cm^2 和 0.8 Bq/cm^2 ，可对废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向，每一袋放射性固体废物填写一行记录。

7.6.5 放射性工作场所分级

非密封放射性物质工作场所按日等效最大操作量的大小进行分级，见表 7-3。

表 7-3 非密封放射性物质工作场所分级

分 级	日等效最大操作量/Bq
甲级	$>4\times 10^9$
乙级	$2\times 10^7\sim 4\times 10^9$
丙级	豁免活度值以上 $\sim 2\times 10^7$

依据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号）中操作因子选取原则，医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单操作”。

7.6.6 工作场所及工作人员的表面污染控制要求

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的有关规定，见表 7-4。

表 7-4 表面放射性物质污染控制水平 (Bq/cm²)

表 面 类 型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		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。

7.6.7 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求

2021 年 5 月 1 日将实施的《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 0.5 m/s。排风口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

本项目核医学科的排风系统的排风口设在楼顶，高度 16m。

本项目核医学科高活室内安装通风橱，操作口风速≥1m/s，通风橱设置独立的排风系统。通风橱将配套炭毡式活性炭过滤器，重量约 5kg，过滤效率预计不低于 75%。上述过滤器每年至少更换一次。

7.6.8 核医学科工作场所室内表面及装备结构要求

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

表 7-7 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

经核算，核医学科所有场所的放射性核素的加权活度大于 50MBq，属于 II 类场所，

按照表 7-7 要求，采取屏蔽措施，采用易清洗材料敷设地面，设通风橱和排风设施，设洗手盆和去污设备。

7.6.10 X 射线设备机房的屏蔽防护及空间要求

1. X 射线设备机房屏蔽防护要求：本项目 X 射线设备机房屏蔽执行《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）给出的相应屏蔽防护要求，见表 7-3。

表 7-3 医用 X 射线装置机房的屏蔽防护要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT机房	2.5	

2. 射线装置机房空间要求：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求，本项目的4间DSA机房最小有效使用面积、最小单边长度将满足表7-4的要求。

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

评价期间，评价单位委托有资质监测单位于在2021年1月21日（天气晴）对博仁医院周围、拟建核医学科场所内部和楼上场所进行了本底监测，监测内容为 γ 剂量率。监测设备为国产JW3104型X- γ 剂量率仪(经中国计量科学研究院检定)，在距地面1m高度进行 γ 辐射剂量率水平测量，其性能参数见表8-1。

监测方法：使用便携式检测设备直接测量。评价区 γ 辐射水平监测点位置见图8-1所示，监测结果见表8-2。

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

检测仪器	规格型号	性能参数	仪器编号	溯源方式及有效期
环境辐射剂量监测仪	JW-3104	能量范围： 25 keV-3 MeV 量程： $0\sim 10^5(\times 10^{-8} \text{ Gy/h})$	STT-YQ-102	检定有效期至： 2021 年 4 月 12 日

表 8-2 评价区现状环境 γ 辐射剂量率水平监测结果

编号	地点	γ 辐射剂量 (nGy/h)
1	博仁医院北侧停车场	91.2 ± 4.6
2	拟建场所东侧停车场	99.8 ± 5.0
3	博仁医院东南侧走廊	92.7 ± 5.3
4	拟建场所西侧走廊	98.1 ± 6.5
5	博仁医院西南侧走廊	99.7 ± 5.1
6	一层门诊大厅楼道	102.9 ± 7.3
7	一层拟改造场所	103.0 ± 4.1
8	拟建 PET/CT 机房上方(二层)	98.1 ± 6.0
9	拟建 PET/CT 候诊室上方(二层)	97.3 ± 4.6
10	拟建 SPECT 机房上方(二层)	97.7 ± 5.8

根据《北京市环境天然放射性水平调查研究》（1989），北京市天然辐射水平范围为60-123nGy/h。本项目评价区现状环境 γ 辐射剂量率水平监测结果(见附件4)表明：1）室外各测点辐射水平介于91.2-99.7nGy/h，与北京市环境 γ 辐射剂量率水平比较，属于正常本底水平。2）拟改造场所（一层）和其楼上（二层）的现状辐射水平介于97.3-103.0 nGy/h之间，也属于正常本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 核医学科选址和布局评价

(1) 项目布局合理性分析

核医学科位于丰台区郑王坟南 6 号 A 栋、B 栋中间 AB 连廊处，现状放射科候诊、医生值班室以及 DR 用房。博仁医院一层平面布局和本次拟改造区域示意图 9-1。

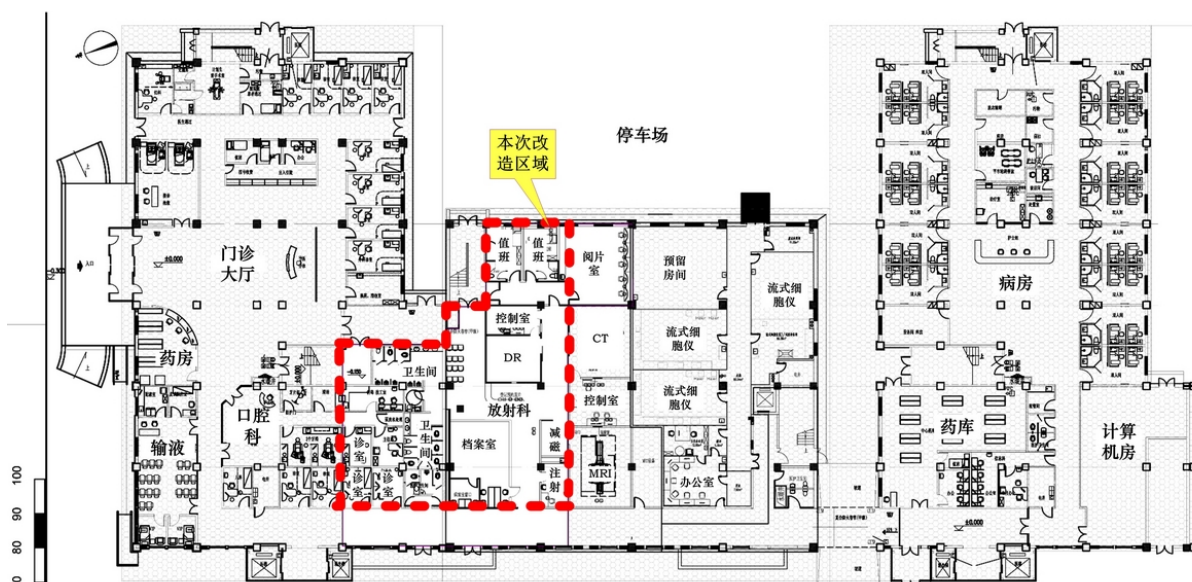


图 9-1 博仁医院一层现状平面和本次改造区域示意图



图 9-2 博仁医院一层改造后平面布局示意图

核医学科内设置单独的患者通道和医护人员通道，互相不交叉。布置高活室、注射室、储源室、废物间、PET/CT 机房和候诊区、SPECT 机房和候诊区以及留观室，能够满足核医学科诊断需要。

核医学科控制区边界周围 50m 范围内，东侧为院内停车场，南侧和北侧是博仁医院的医疗用房，西侧是纪通东路，之外亿朋苑 2 区用地（距离用地边界 25m，距离 1 号居民楼 66m）。楼上（二层）为更衣室（PET/CT 机房上面）、输血治疗室实验室（给药候诊室上方）以及医生办公室（SPECT 机房上面），无产科、儿科等敏感场所，地下为土层，无地下室。



图 9-3 核医学科平面布局示意图

布局设计时考虑了以下问题：

1. 在经常有人居留的二层办公室下方设 SPECT 扫描机房，在偶尔有人居留的更衣室下方设 PET/CT 机房，将给药后候诊室设在输血治疗室下方，尽可能减少核医学科对周围公众的辐射影响。此外，在屏蔽设计时，加强了 PET/CT 机房、SPECT 机房、给药后候诊室顶部的实体屏蔽，拟将核医学科对二层的附加剂量率贡献降低至 $0.05 \mu\text{Sv/h}$ 之下，确保核医学科二层的剂量率水平在核医学科投入运行后维持在正常本底水平。

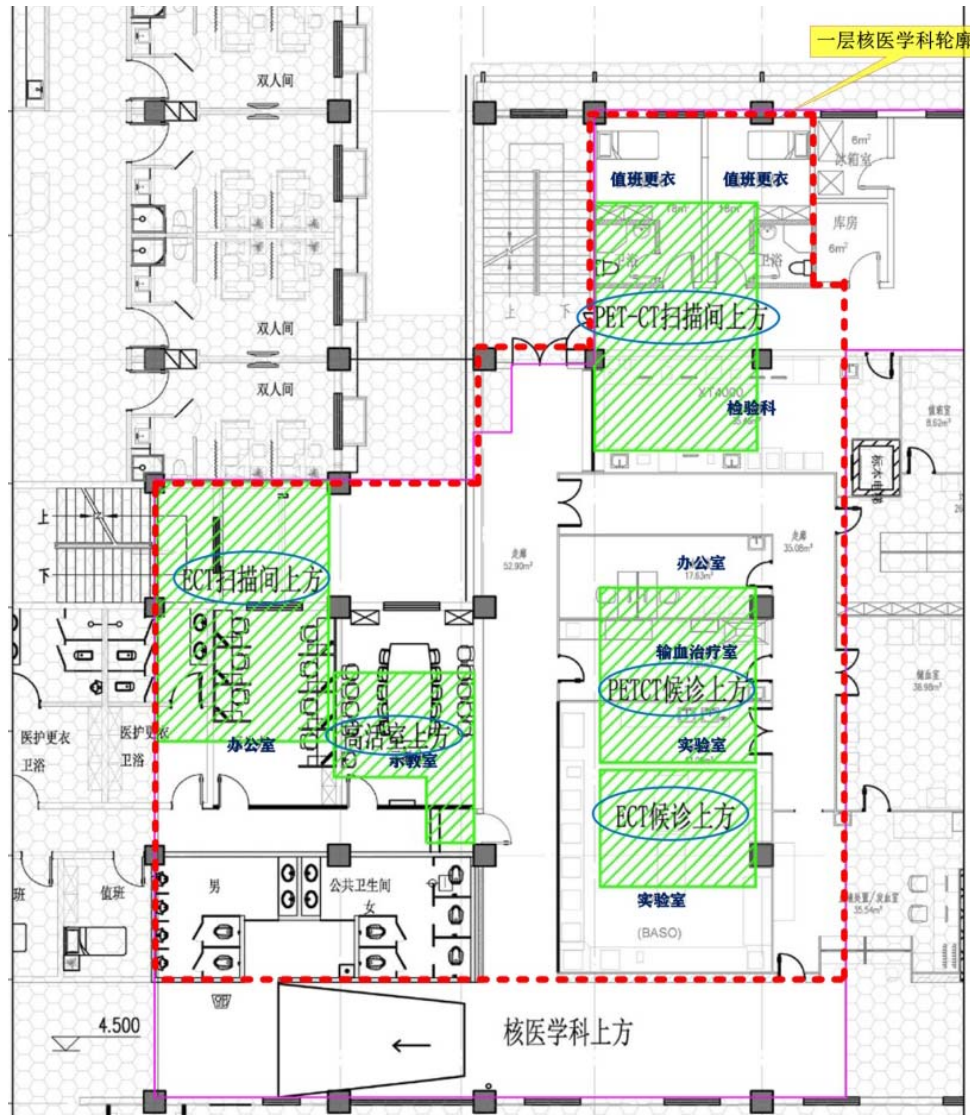


图 9-4 核医学科楼上（二层）平面布局示意图

2. 患者从一层西侧进入核医学科，完成显像诊断后，从东侧离开核医学科。放射性分装和注射操作、患者候诊和显像、工作人员办公区域相对隔离。医护人员进入高活室和控制室设有专用通道，和患者通道相对独立且没有交叉，可有效避免不必要照射。

3. 在控制区与普通场所之间采用实体屏蔽或用缓冲区隔离，在放射性操作场所内部

设计了单向门禁、铅防护门、铅玻璃观察窗，铅防护注射窗、废物库、储源室、排风设施和放射性废水暂存等辐射防护设施。此外，还配备有铅罐、废物桶以及铅衣、铅帽、铅围脖、铅手套、铅眼镜等辐射防护用品。

综上所述，核医学科工作场所布局设计基本合理。

9.2 核医学科工作场所划分和等级

(1) 工作场所等级

根据本项目使用放射性药物的化学状态和操作方式，以及放射性核素毒性和操作量，核算辐射工作场所等级。

1. 同位素操作量

SPECT 显像使用^{99m}Tc，每人用量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)~ $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，其中心肌扫描和骨扫描用量较大，最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)；进行甲状腺、肝脾、肺灌注、下肢静脉及颌下腺等各种脏器扫描用量相对较小，最大用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。本项目保守按最大用量25mCi/人次估算核医学科的辐射影响。

PET显像使用¹⁸F，每人用量 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ (6mCi)~ $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，本项目保守按最大用量10mCi/人次估算核医学科的辐射影响。

2. 操作方式

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号），本项目使用¹⁸F、^{99m}Tc相关活动为“很简单的操作”。

本项目放射性同位素使用情况见表9-1。

表 9-1 核医学科场所使用非密封放射性同位素规划

序号	核素	用途	日最大操作量(Bq)*	日等效最大操作量(Bq)	设计年用量*	计算依据
1	¹⁸ F	诊断	7.40E+9	7.40E+06	1.85E+12	10mCi/人，20 人/天，250 天/年，5000 人/年
2	^{99m} Tc	诊断	9.25E+9	9.25E+06	2.31E+12	25mCi/人，10 人/天，250 天/年，2500 人/年；
合计				1.67E+7	全部同时使用	

注：*不包括衰减损失。

根据表9-1的日等效最大操作量估算结果，新建核医学科属于丙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 药物来源

本项目使用的放射性药物全部从具有放射性药品销售资质的公司外购。

医院将根据预约的检查人数及检查内容，提前确定外购放射性药物种类和数量。使用当天早上，由供货商负责直接送至核医学科。核医学科负责药物管理人员对放射性药物名称、规格和数量，以及包装和外观进行核对和检查，并在高活室门口的摄像头下与供药公司“点对点”办理交接手续，之后暂存于高活室待用。

9.3 核医学显像诊断

博仁医院核医学科使用 ^{99m}Tc 核素药物开展 SPECT 诊断，使用 ^{18}F 核素药物开展 PET/CT 诊断。

(1) PET/CT 显像

PET/CT 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。



图 9-1 某型号 PET/CT 扫描装置示意图

^{18}F -脱氧葡萄糖(^{18}F -FDG) 是目前应用最为广泛的 PET 显像药物，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。

PET/CT 心肌显像是公认评估心肌活力的"金标准"，对梗塞区内的心肌可明确鉴别活性与非活性心肌，还能鉴别血管狭窄、斑块形成、钙化以及供血情况，能为心血管疾病的诊治提供指导，可以明显提高动脉搭桥手术的成功率，此外，还可对术后心功能恢复进行预测。

(2) SPECT 显像

SPECT技术是把标记有发射单光子核素(如 ^{99m}Tc)的重要生命物质(如糖、蛋白质、脂肪等)注射到人体内，然后借助 SPECT装置进行扫描成像，以观察这些单光子核素在人

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。

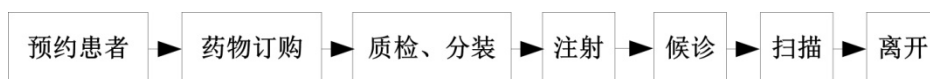
SPECT 在癌症骨转移、冠心病、肺动脉栓塞、急性脑梗塞、甲状腺癌诊断和评价等方面，能够发挥不可替代的作用。



图 9-2 本项目拟使用的 SPECT 扫描装置

(3) 患者接受显像流程

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 SPECT 或 PET 探测成像仪器进行扫描和显像。检查工作流程如下：



具体工作流程：

1. 预约患者：提前制定显像工作计划，通知患者。
2. 订购药物：根据预约的检查人数及检查项目，提前一天向药品公司订购放射性药物。
3. 接收药物：外购药物由药品公司负责把药品送至核医学科高活室门口。在摄像头监控下，核医学科人员与其办理“点对点”交接手续，然后将药物暂存于高活室内。
4. 质检：给药护师检查药品包装和外观质量，核对放射性药物名称。抽检一定比例药物进行活度的验证。本项目 ^{99m}Tc 活度验收工作在专用通风橱内进行。
5. 分装： ^{18}F 药物的半衰期很短，供药公司将其装入一个安瓶内送到核医学科，护师在注射前需要进行分装。 ^{99m}Tc 半衰期较长，由供药公司根据每人份用量直接分装在注射器内，无需再次分装。 ^{18}F 药物的分装工作在防护通风橱内进行。

6. 注射：在注射窗口防护下，给受检人员注射放射性药物，然后将废注射器等装入铅屏蔽盒内暂存，放射性废物分类收集。PET/CT 检查患者采用预埋针头方式注射，SPECT 检查患者采用直接静脉注射的方式注射。

7. 候诊：受检人员在“PET/CT 候诊室”或“SPECT 候诊室”内等候（ ^{18}F 候诊时间约 40min~90min， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 心脏扫描候诊时间 1.5h，甲状腺 20min~30min，肾显像不用候诊）。

8. 检查：待药物在身体内有一定程度的代谢后，进行 PET/CT 或 SPECT 扫描检查（一般在 15min 左右）。检查前通常如厕排空膀胱内尿液，以减少放射性干扰。

9. 留观：显像检查患者在扫描后，留观片刻（5-10min）。如显像结果符合诊断要求，即可离开核医学科。

（4）放射性核素辐射特性

显像用放射性核素物理半衰期较短，数小时至几天，主要发射 γ 射线、正电子（ β^+ ）。本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表 9-2。

表 9-2 本项目使用的放射性核素主要参数

序号	核素	毒性	半衰期	衰变类型	主要 β 能量 (max, keV)	主要 γ 能量 (keV)	用途
1	^{18}F	低毒	110min	β^+	635	511	PET/CT显像
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	低毒	6.02h	IT	/	141	SPECT显像

（5）放射性污染途径分析

1. 正常工况的污染途径

1) 放射性药物经由静脉注射进入患者体内，分布到特定器官并释放 β 射线、 γ 射线。因此，本项目的污染因素主要是产生 γ 射线和 β 射线。

2) 使用放射性物质过程中，会产生一定量的放射性废水和放射性固体废物。放射性废水主要来自于卫生间冲厕废水，高活室洗手废水、冲洗拖布废水。缓冲间洗浴废水不进入衰变池。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、放射性药物包装物、棉棒、一次性个人防护用品和垫布等物品。

3) 使用的放射性药物可能产生少量放射性气溶胶。本项目使用 Tc-99m 直接分装在注射器内使用，只有 F-18 分装。 ^{18}F 药物多为 ^{18}F FDG（2-脱氧葡萄糖的氟代衍生物）液体溶液，均不易挥发，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，不进行详细评价。

分装过程在通风橱内进行，通风橱废气经活性炭过滤器过滤后由管道组织至 A 座楼

顶排放。

2. 非正常工况的污染途径

操作放射性药物时发生放射性污染：如发生容器破碎，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。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（含校验放射源）保管不当，发生遗失或被盜：放射性物质或者放射源失控可能造成环境放射性污染。核医学科在高活室暂存放放射性药物（不贮存），在储源室内贮存Ⅴ类校验源，将采取闭路监视、防盗门等安保措施，能有效防止放射性药物（含校验放射源）被盜和丢失事件的发生。

放射性废物处置不当：放射性废物（废水或固体废物）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 辐射防护与安全管理措施

1. 核医学科辐射工作场所实行分区管理，划为控制区和监督区，将高活（注射）室、废物间、储源室、给药后等候室、扫描检查室以及患者通道等作为控制区，将预约处置室、机房控制室、设备间、给药前候诊室、缓冲区以及医护走廊作为监督区。

在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。控制区出入口门上张贴电离辐射警告标志，警示无关人员不要进入或者在出入口长久停留。设医、患人流双通道和物流通道，工作人员通过缓冲间进入高活室，防止交叉污染。

在注射室门外、扫描机房门外设置电离辐射标志及中文警示说明。PET/CT 和 SPECT 机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯关联装置，控制室防护门关闭，警示灯自动亮起。

2. 外照射防护：核医学科控制区边界、高活室、受检人员候诊和扫描机房外围和屋顶采用实体屏蔽措施，患者进、出通道门安装铅制防护门。扫描机房安装铅制电动防护门（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（周围、楼上）30cm 处剂量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。PET/CT、SPECT 机房周围的剂量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

3. 在高活室配备 1 个贮存放射性药物的铅屏蔽盒，在注射室配备 2 个铅屏蔽药物注射窗和 1 个可移动铅屏蔽注射车、2 个钨合金注射防护套和 1 个铅制废物桶（1L）。在废物库配置 2 个铅制废物桶（10L），在 2 个候诊室和 1 个留观室也各配备 1 个铅制废物桶（10L）。

4. 内照射的防护：高活室配备 2 个通风橱，通风橱操作口风速不低于 1m/s ，废气经活性炭过滤装置过滤后，由专用排风管道经管道井引至 A 座楼顶排放，高度约 16m。此外，在高活室、给药候诊室、PET/CT 机房、SPECT 机房、废物库均设置排风口，排风同样由专用排风管道经管道井引至本建筑物顶部排放。顶部排风出口全部朝向东侧方向。

5. 放射性表面污染控制措施：注射室、高活室、储源室、废物库、扫描室、候诊室及患者卫生间和控制区走廊地面铺装硬质无缝 PVC 地板革，墙面装铝塑面板或防水易清洁涂层，便于去污。

高活室和注射室放射性同位素操作台面采用易去污材料（如不锈钢板），配置托盘、吸水纸等物品。通风橱工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料。

6. 放射性废水收集处置设施：核医学科高活室内洗手池，洁具间拖布池废水，以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池。缓冲间洗浴废水不进入衰变池。废水专用管道外表面采用 6mm 厚度的铅皮进行包裹防护。衰变池采用槽式设计，衰变池总容积不低于 24m^3 ($12\text{m}^3 \times 2$)，能够满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中至少暂存 30 天的解控要求（废水罐达到高液位并自动切换后计时）。核医学科解控排放的废水，排入医院污水处理站，之后排入市政污水管网，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. 妥善收集固体放射性废物：注射窗旁设含 20mm 铅的小废物桶，废弃的放射性药物、注射器、棉棒、一次性用品等物品放入该铅制废物桶，次日早上转移至核医学科放射性废物间。核医学科废物间设置 2 个 10mm 铅制废物桶（容积 10L），用来轮流贮存 A 类废物。放射性固废依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求暂存 30d 后解控为医疗废物处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。

8. 核医学科储源室安装防盗门、闭路监控和防盗警戒系统，落实放射源安保地标要求，严防放射性药品丢失。

9. 在核医学患者通道出、入口处、留观区、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、待检患者候诊区等处安装对讲装置。

10. 核医学科场所配置 1 台辐射剂量率仪和 1 台表面污染监测仪，分别用于剂量率水平和表面污染的检测。配备铅眼镜、铅手套、铅衣、铅帽等个人防护用品。

11. 全部辐射工作人员通过辐射安全与防护考核后持证上岗。所有人员开展个人剂量监测。

12. 部分患者因身体不便等原因需要家属陪护检查的，将告知家属近距离接触可能受到少量辐射照射，请陪护人员减少近距离接触的时间或者适当增加陪护距离。

13. 在诊疗流程中增加注射时患者识别程序，在地面设置去不同候诊室和扫描机房的引导标志。

10.2 本项目辐射防护与安全管理措施设计情况

根据核医学科非密封放射性物质工作场所监管要求，本项目设计落实情况见表 10-1

所示。

表 10-1 核医学科场所辐射安全防护设施设计落实表

序号	检查项目		设计	本项目具体情况
1*	A 场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	地面标注控制区和监督区。房间门口粘贴文字说明。地面设置引导文字和标线。
2*		电离辐射警告标志	√	扫描机房防护门、候诊场所、高活室、储源室、废物间以及受检人员出、入口等门上粘贴电离辐射警告标志。
3*		独立的通风设施	√	高活（注射）室配备 2 个通风橱，屏蔽厚度分别为 50mmPb 和 10mmPb。设置 1 套独立通风系统。场所也设 1 套通风系统。
4*		治疗病房病人之间防护	√	不涉及该内容
5*		给药操作人员屏蔽	√	配备 2 个防辐射注射窗
6		易去污的工作台面	√	台面采用不锈钢材质
7*		病人专用卫生间	√	设专用卫生间及排水管线
8*		放射性核素暂存场所或设施	√	设高活（注射）室，贮存放射性药物。高活（注射）室安装防盗门，闭路监视等安保设施。
9*	B 监测设备	表面污染监测仪	√	配置 1 台表面污染监测。
10*		便携式辐射水平监测仪	√	配置 1 台 X-γ 剂量率检测仪
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	√	/
13*	C 放射性废物和废液	放射性废液处理排放系统及标识	√	设槽式放射性废水衰变池。粘贴明显文字标识。
14		放射性固体废物暂存场所或设施	--	设废物间。废物间配套 2 个 10L 废物桶，病人候诊室各配备 1 个废物桶。注射室配备 1 个废物桶。设 2 个槽式衰变池。
15*	D 防护器材	个人防护用品	√	配备一次性医用口罩和手套。配备铅衣、前围脖和铅眼镜等个人防护用品。
16*		放射性表面去污用品和防污染材料		配备洗涤灵、酒精和棉球等去污用品。台面采用不锈钢等易去污材料。

10.3 “三废”的处置

放射性废气经通风系统和活性炭过滤后，在核医学楼楼顶排放。放射性废水排入放射性废水衰变池，统一暂存和处置。放射性固体废物分类贮存于废物库内，暂存一个月后解控为医疗废物处置。

10.4 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的满足情况

表 10-2 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》中对生产、销售、使用放射性同位素和射线装置单位要求的对照评估情况。

表 10-2 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合情况

序号	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》	项目单位情况	检查结果
1	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负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院成立有辐射安全管理领导小组，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的，小组下设专职人员具体处理各项事务。	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。	医院制定了辐射工作人员培训计划。医院现有 7 名辐射工作人员通过了辐射安全与防护考核，持有合格证书。 医院为核医学科新增配备 10 名辐射工作人员。	能够符合
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暂存库或设备。	核医学科高活室内将设密封储源室，暂存 PET/CT 设备的校验源。将依照公安部门地标要求落实安保措施。	能够符合
4	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	所有机房出入口显著位置处均设置放射性警告标识和中文警示说明，以及在防护门上方设置工作状态指示灯。设置门禁系统、闭路监视、对讲系统、通风橱等，可防止误操作、防止工作人员和公众受照意外照射。	能够符合
5	配备必要的防护用品和监测仪器。	将配备有相应的防护用品和辐射监测仪器。	能够符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	已制定有较为齐全、比较严格的辐射防护规章制度，有人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度、	能够符合

		放射性废物管理制度、放射性事故应急预案。新场所投入使用前，将进一步完善人员岗位职责、设备操作规程、设备维修和维护、辐射监测方案等制定。	
7	有辐射事故应急措施。	已制定有辐射事故应急处理预案。	能够符合
8	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。	核医学科废旧校验源，送交北京市城市放射性废物库。放射性废气经通风系统的过滤器过滤后核医学楼顶部高空排放。放射性废水汇入衰变池暂存和处置。放射性固体废物暂存后定期进行解控处置。	能够符合

10.5 对比原环保部第 18 号令要求的满足情况

2011 年原环保部令第 18 号《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“18 号令”要求的对照评估如表 10-3 所示。

表 10-3 安全和防护能力对照评估情况

安全和防护管理办法要求	单位情况	符合情况
第五条 射线装置的生产调试和使用场所，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。	所有机房出入口显著位置处均设置放射性警告标识和中文警示说明，以及在防护门上方设置工作状态指示灯。设置门禁系统、闭路监视、对讲系统、通风橱等，可防止误操作、防止工作人员和公众受照意外照射。	能够符合
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。	医院已委托具有辐射水平监测能力单位每年对环境和 workplaces 周围的辐射水平进行一次监测。	符合
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	承诺每年 1 月 31 日前向北京市生态环境局提交年度评估报告。	符合

前向发证机关提交上一年度的评估报告。		
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 7 名辐射工作人员已通过了辐射安全与防护考核，并取得合格证书。医院拟为核医学科配备 10 名辐射工作人员。	能够符合
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。	已为所有辐射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度 1 次）。	能够符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响 对于本项目而言，将会在现有的大楼内进行室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。
11.2 核医学后环境影响分析 (一) 核医学科布局和分区 场所改建后，核医学科的布局如图 9-3 和附图 5 所示。 核医学科辐射工作场所实行分区管理。其中，SPECT、PET/CT 机房，2 间患者候诊室（含卫生间）、1 间留观室兼抢救室、高活室（兼质检室和注射室）、废物间、源库作为控制区进行管理，严格限制非工作人员和患者进入。控制室、缓冲间、预约登记、值班室和南侧通道作为监督区进行管理，限制无关人员进入。具体分区情况如图 11-3 和图 11-4 所示。 (二) 核医学科诊断流程 1. 患者显像流程 患者到达核医学科→预约处置室进行登记→在“给药候诊室：候诊→由患者走廊入口（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 候诊室“或者”SPECT 候诊室“候诊→进行显像扫描检查→根据引导由南侧出口离开核医学科（设单向门禁）。 患者进入一层核医学科控制区的入口门具有单向（外→内）门禁系统，从里面出来需要刷卡，故受检者无法从原路返回。控制区地面将设标志和文字说明，引导受检者按照患者路径流动，并能够迅速找到正确的候诊室和扫描机房。核医学科控制区的出口处也设置单向（内→外）门禁系统，该门从外面进入需要刷卡。 2. 核医学科人员工作流程 护师经医生办公室进入“更衣缓冲”间，更换鞋和工作服后进入“高活室（注射）”→给患者注射放射性药物→“更衣缓冲”间→离开。 技师从核医学科控制区南侧走廊进入控制室→给患者摆位和扫描。 3. 放射性药品转移流转 放射性药物由供药公司运至核医学科东侧→核医学科工作人员打开门禁，由核医学科东侧出口门进入→高活室门口，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→药品高活室暂存。

4. 放射性废物转移路线

放射性废物：注射室窗旁设置一个含 20mm 铅的废物桶（1L），存放注射器、包装物、棉棒、一次性用品等→按日期于次日早晨转移至废物间→废物间设置 2 个铅废物桶（10L），轮流暂存放射性废物→放置一个月后，A 类放射性废物解控为医疗废物处置→详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，内容包括废物分类、所含核素名称，重量，暂存起止时间，表面污染和辐射剂量自测结果，废物处置日期，处置操作人员，废物去向，部门审核人员等内容。

5. 放射性废水暂存和排放流程

PET/CT 候诊室、SPECT 候诊室内卫生间冲厕废水，洁具间的清洗洗手废水和保洁废水，高活室的洗手废水、保洁废水→核医学楼东侧地下衰变池暂存→定期排至医院污水处理站处理→市政污水官网。

6. 放射性废气收集与排放流程

核医学科诊断区域设置共计 2 套通风系统，废气经管道组织，由管道井延伸至楼顶排放。楼顶设排风机和过滤装置。具体如下：

1) 高活室内通风橱设 1 套通风系统→活性炭过滤器过滤→核医学楼楼顶排放，高度 16m；

2) 其它区域设 1 套通风系统，包括在高活室（注射）、2 间扫描机房、2 间候诊室（含卫生间）、1 间留观室、废物库、贮源间、洁具间均设排风口→活性炭过滤器过滤→核医学楼楼顶排放，高度 16m。

(三) 核医学科放射性“三废”产生量预测

(1) 核医学科的使用规划

博仁医院根据核医学科常用放射性药物，给出了博仁医院核医学科使用规划，表 11-1 给出了拟使用的放射性核素种类、用途以及最大工作量等信息。

表 11-1 核医学科的使用规划

序号	核素	用途	类别	最大工作量		
				人次/天	天数/年	人次/年
1	^{99m}Tc	诊断	A	10	250	2500
2	^{18}F	诊断	A	20	250	5000
合计				30		7500

根据使用规划，博仁医院核医学科每天使用 SPECT 开展影像诊断最多 10 人次，

每天使用 PET/CT 开展影像诊断最多 20 人次，使用核素均的半衰期均小于 1d，全部属于 A 类。

(2) 放射性固废产生和处置

核医学科按需购入放射性药物，如有剩余的放射性药物，连同包装容器暂存于高活室自行衰变。高活室内配置 1 个铅质废物桶（容积 1L），并使用不易破损的塑料袋对废弃的药瓶、注射器、包装物、棉棒、垫布等进行收集。

废物间设置 2 个铅废物桶（容积 10L），轮流使用。废物桶表面粘贴电离辐射警示标志，并按照 A 类废物进行标识。为保证放射性废物有足够的衰变时间以减少废物收集过程对医护人员的照射，拟在每天早晨将上一个工作日产生的放射性废物转移至废物间，并在收集放射性废物的塑料袋外表面注明废物类别（A 类）、重量（或体积）、所含核素名称、暂存起始日期等信息。废物间设有排风口，防止挥发性气体累积。

环评单位曾对华信医院核医学科近 3 年放射性废物产生量和诊疗人数进行统计分析，得出放射性废物产生量约为 6g/人次。本评价以每人次产生 10g 放射性固体废物进行评价。根据表 11-1 预计，核医学科全年满负荷运行时，开展核素显像检查共计 7500 人次，放射性废物年产生量约 75kg。此外，核医学科每年更换通风橱活性炭过滤器，预计额外产生 10kg 左右固体废物，总计约 85kg。

依据《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，放射性固体废物在废物间内暂存衰变时间超过 30 天后，使用剂量率仪和表面污染监测仪分别对废物逐袋进行表面巡测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 α 、 β 表面污染水平分别小于 0.08Bq/cm² 和 0.8Bq/cm² 时，将废物解控作为医疗废物处置，并在“放射性固体废物暂存、处置管理台账”上详细记录解控废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、废物处置人员和处置日期等信息。

另外，每年更换通风系统的活性炭过滤器，预计额外产生 10kg 活性炭滤材。拆卸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，存放超过至少一个月后，经监测满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 A 类固体废物相关要求后解控作为医疗废物处置。

(3) 放射性废水产生和处置

1. 放射性废水的产生量预计

根据核素显像检查规程要求，全身扫描和腹部扫描检查前须排尽小便。核医学科的患者给药后候诊室卫生间（2 个）、高活室清洗池排水以及洁具间清洁废水进入废水衰

变池，经过贮存衰变后排入医院医疗污水收集系统，最终排入院外市政污水管网。

依据表11-1，博仁医院核医学科每天接受显像患者最多30人次。保守假设：

1) 每个工作日，接受显像检查的患者在候诊期间全部排尿，预计产生含放射性核素的冲厕废水量最大为 $0.15\text{m}^3/\text{d}$ （按 $5\text{L}/\text{人次}$ 计）。

2) 核医学科高活室每天产生洗手废水 10L ，保洁废水 40L 。

综上所述，核医学科每天放射性废水产生量为 0.2m^3 ，每周工作5的，全年工作 250d ，年排放废水总量 50m^3 ，每月产生废水约 4.2m^3 ，

拟在核医学科所在建筑物外东侧空地新建一个地下的放射性废水衰变系统，包括2个 2m^3 的沉淀池（可轮流使用），1个检修井和2个有效容积均不低于 12m^3 的衰变池。核医学场所产生的放射性废水（高活室和受检人员卫生间），将通过专用管道先汇入沉淀池，上清液再汇入废水衰变池，废水暂存1个月满足解控要求后，经医院污水处理站处理后排入市政管网。

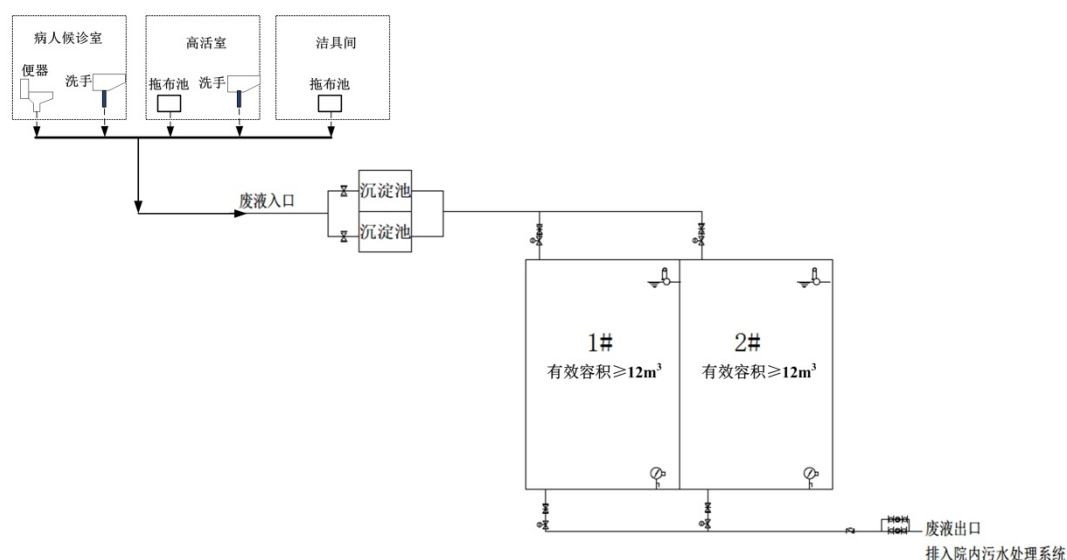


图 11-1 放射性废水收集示意图

2. 放射性废水衰变池

1) 衰变池位置和容积

拟在核医学楼所在建筑物东侧室外空地新建一个地下的放射性废水衰变池。采用钢筋混凝土结构，混凝土标号不小于 C30，抗渗等级 S8，四周池壁和地板厚度 300mm ，采用防水卷材进行抗渗处理，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止对地下水造成污染。

衰变池顶板厚度不低于 200mm ，检修盖板采用 6mm 铅板屏蔽。衰变池区域设围栏，避免人员在衰变池上方长时间停留。

放射性废液经沉淀池（ 2m^3 ，1备1用）后，流入衰变池，衰变池设2个，每个尺寸为2000长×3000宽×2500mm深，有效容积不低于12立方米，总容积约为 24m^3 （ 12m^3 /槽×2槽）。放射性废水收集示意图见图11-1所示。

2) 衰变池结构

放射性污水排水管道均采用DN100防腐蚀的不锈钢管，并用6mm铅皮包裹方式屏蔽。

3) 衰变池控制和管理

➤ 设计液位指示和报警装置，自动进、排水阀门和溢流管线。PLC 控制系统触摸屏上可显示各浮球限位、电动阀和污水泵状态，浮球限位。电动阀在非正常状态启动报警器。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，各衰变池循环使用。

➤ 潜水泵阀门采用电/手动双控制球阀，为后续设备维护检修提供保障。

➤ 每个衰变池均设置液位传感器、电动阀、压力传感器等，当放射性污水进入 1#衰变池，通过电动阀控制，当液面到达设定高度，自动关闭 1#池体电动阀（自动计算设定好的衰变池时间），打开 2#衰变池的电动阀（在此过程中，1#衰变池的衰变周期达到 30d 自动开启电动阀排水），当液面到达设定高度，自动关闭 2#电动阀（自动计算设定好的衰变时间），打开 1#衰变池电动阀进入到 1#衰变池，依次循环使用。

3. 放射性废水达标排放可行性分析

衰变池采用槽式贮存方式，核医学科产生的A类放射性废水全部通过专用管道汇入衰变池。平均每天产生的放射性废水约200L（冲厕废水150L，洗手废水10L，清洁废水40L），2个容积均为 12m^3 的衰变池罐轮流使用，废水可以暂存约86d，满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的放射性废水暂存30d要求，可以达标排放

(4) 放射性废气产生和处置

核医学科高活室设计有通风操作柜，废气由专用管道引至楼顶排放（高度 16m）。放射性药物活度测定、分装和质检操作均在通风操作柜内进行，使用量较大、较频的含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 显像药物，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。

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，仍有可能有微量的放射性物质从排风系统排放至周围环境空气中。高活室排风中的极少量放射性物质经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众的辐射剂量贡献很小。

本项目设有 2 套排风系统，1 套为高活室通风橱独有，1 套为给药受检人员候诊区域独有，在控制区内给药候诊室、留观室、PET/CT 机房、SPECT 机房、废物间、储源室均设排风口。排风经管道组织由管道井到达楼顶排放。

楼顶设置排风机和过滤装置，排风口设计在 A 楼顶部，排风口朝向东侧。活性炭过滤器尺寸为 $630 \times 320 \times 200\text{mm}$ ， $4000 \times 200 \times 200\text{mm}$ ，每个活性炭过滤器重量 5kg。

(四) 辐射环境影响

SPECT 扫描使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物。PET/CT 扫描使用 ^{18}F 药物，分别以 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 为例进行评价。

(1) 核医学科的实体屏蔽设计方案

根据设计单位提供图纸整理，核医学场所的辐射实体屏蔽方案如表 11-2 所示。

表 11-2 核医学场所的辐射实体屏蔽方案*

场所名称	使用功能	实体屏蔽改造方案	
		屏蔽体	改扩建方案
出入口	患者入口和出口	防护门	8mmPb
		墙体	240mm 硫酸钡砌块
高活室 (注射室)	暂存放射性药物；质检、分装显像药物；注射放射性药物	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		注射窗 1(西侧)	10mmPb
		注射窗 2(东侧)	40mmPb
		室顶	160mm 混凝土+8mmPb
		地面	土层
		防护门	8mmPb
PET/CT 机房	PET/CT 扫描	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		室顶	160mm 混凝土+16mmPb
		地面	土层
		患者防护门	8mmPb
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
PET/CT 控制室	PET/CT 控制	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		室顶	160mm 混凝土
		地面	土层
		防护门	8mmPb
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
PET/CT 候诊室	注射 ^{18}F 等 PET 药物的患者在扫描前等候、休息	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		室顶	160mm 混凝土+20mmPb
		地面	土层
		防护门	8mmPb
留观兼抢救室	PET/CT 和 SPECT 检查后患者留观，患者抢救。	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		室顶	160mm 混凝土+16mmPb
		地面	土层
		防护门	8mmPb
废物间	贮存放射性废物	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		室顶	160mm 混凝土+8mmPb
		地面	土层
		防护门	8mmPb
储源室	贮存 PET/CT 设备校验源	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		室顶	160mm 混凝土+8mmPb
		地面	土层
		防护门	8mmPb

SPECT 候诊室	注射 ^{99m}Tc 药物的患者在扫描前等候、休息	四周墙体	240mm 硫酸钡砌块
		室顶	160mm 混凝土+8mmPb
		地面	土层
		防护门	8mmPb
SPECT 机房	SPECT 扫描	南墙	240mm 硫酸钡砌块
		东墙、西墙、北墙	240mm 实心砖+2mm 铅板
		室顶	180mm 混凝土+2mm 铅板
		地面	土层
		防护门	4mmPb

注：混凝土密度 2.35 t/m^3 ，实心砖密度 1.65 t/m^3 ，硫酸钡砌块密度 3.0 t/m^3 。屋顶考虑了 5cm 地面做法。

(2) 贯穿辐射环境影响预测

1. 剂量估算源强

1) ^{99m}Tc 每人次用量 $1.85 \times 10^8 \text{ Bq} (5\text{mCi}) \sim 9.25 \times 10^8 \text{ Bq} (25\text{mCi})$ ，其中心肌扫描和骨扫描最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{ Bq} (25\text{mCi})$ ，甲状腺、肝脾、肺灌注、下肢静脉及颌下腺等各种脏器扫描用量相对较小，最大用量为 $3.7 \times 10^8 \text{ Bq} (10\text{mCi})$ 。注射 $0.925 \text{ GBq} (25\text{mCi})$ ^{99m}Tc 药物病人，其 1m 处的辐射剂量率为 $3.75 \mu\text{Sv/h}$ (国际放射防护委员会，第 52 号出版物，p14, 1987)。

2) ^{18}F 使用量为 $0.185 \text{ GBq} (5\text{mCi})/\text{人次} \sim 0.37 \text{ GBq} (10\text{mCi})/\text{人次}$ 。根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 ^{18}F 的 K_{γ} 常数为 $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，给患者注射 10mCi 的 ^{18}F 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) ^{18}F 显像药物需要在高活室再次分装，上下午各送药一次。每个防护罐盛装 10 人份，最大活度 100mCi 。根据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry. 98(1), 2002]，操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 $602 \mu\text{Sv/h}$ 。

4) 每次分装 ^{18}F 药物后要进行活度测量，此时相当于“裸源”状态。保守假设对 15mCi 的药物进行活度测量，1m 处的剂量率为 $90 \mu\text{Sv/h}$ 。质检 25mCi 的 ^{99m}Tc ， 25mCi “裸源” 1m 处的剂量率为 $22 \mu\text{Sv/h}$ 。

5) PET/CT 候诊室最多有 2 名给药后受检者候诊。SPECT 候诊室最多有 2 名给药后受检者候诊。留观室最多有 2 名受检者 (PET 和 SPECT 受检者各 1 名)。

6) 放射性药物分装通风橱外表面 30cm 处 (人员操作位) 的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

2. 估算方法

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，依照剂量率和距离平方成反比衰减的关系，同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用，估算高活室、

扫描室、休息室和留观室等有代表性场所周围的附加辐射剂量率，然后结合可能的照射时间，估算职业人员和公众的受照剂量。

剂量估算公式：

辐射剂量率可由式（11-1）和式（11-2）计算得到，

$$D=D_0 \times B/R^2 \quad (11-1)$$

$$B=10^{-d/TVL} \quad (11-2)$$

式中：D：估算点的附加剂量率，mSv/h；D₀：距源 1m 处的剂量率，mSv/h；B：衰减因子；R：源到计算点的距离，m；d：屏蔽层厚度，mm；TVL：十分之一层（TVL）厚度，mm。对 ¹⁸F 来讲，铅中 TVL 为 16.6mm，混凝土中 TVL 为 176mm。对于 ^{99m}Tc 来讲，铅中 TVL 为 1mm，混凝土中 TVL 为 66mm。

人员附加年受照剂量可由式（11-3）计算得到。

$$E=D \times t \times T \quad (11-3)$$

式中：E：年有效剂量，mSv/a；D：计算点的附加剂量率，mSv/h；t：受照时间，h/a；T：居留因子。

3. 核医学科控制区周围不同位置的附加剂量率水平

基于上述源项，依照公式（11-1）和公式（11-2），估算高活室、PET/CT 机房、SPECT 机房、候诊室周围不同位置的最大附加剂量率。不同位置的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。

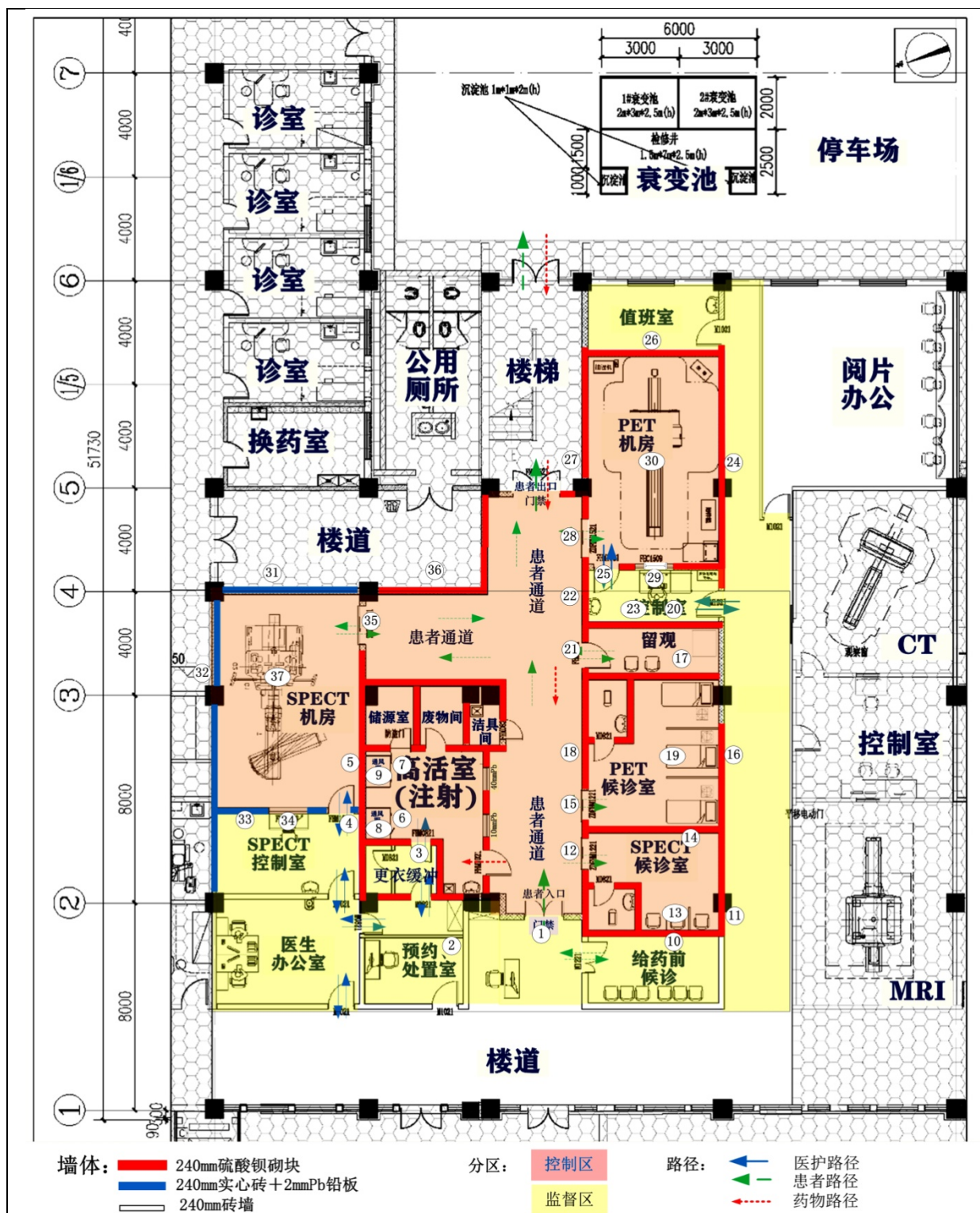


图 11-2 核医学科控制区周围附加剂量率估算点位示意图

表 11-3 核医学科控制区控制区边界外的附加剂量率估算

场所名称	编号	估算点 (具体位置见图 11-2)	源项	实体屏蔽	距离 (m)	透射系 数	附加剂量 率($\mu\text{Sv/h}$)	功能区划
入口处	1	核医学科控制 区入口处	1 名 ^{18}F 注射 患者(10mCi)	8mmPb	5.6	3.30E-1	3.57E-01	监督区

			3 名 SPECT 患者候诊	240mm 硫酸钡砌块	4.5	2.78E-5		
高活室/ 注射室	2	西墙外预约室	1 名 ^{18}F 注射患者(10mCi)	240mm 硫酸钡砌块	3.2	1.82E-2	6.03E-02	监督区
	3	西墙外缓冲间	1 名 ^{18}F 患者注射(10mCi)	8mmPb	3.5	3.30E-1	9.13E-01	监督区
			1 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者注射(25mCi)	240mm 硫酸钡砌块+20mmPb	2.5	2.78E-25		
	4	北侧墙外 SPECT 控制室	1 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者(25mCi)扫描	4mmPb	4.7	1.00E-4	1.70E-05	监督区
			通风橱质检 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物 25mCi	240mm 硫酸钡砌块+10mmPb	1.0	2.78E-15		
	5	北侧墙外 SPECT 机房内	分装 100mCi ^{18}F 药物	240mm 硫酸钡砌块+50mmPb	1.0	1.77E-5	1.07E-02	控制区
	6	10mmPb 通风橱表面	质检 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	20mmPb	0.4	1.00E-10	1.38E-08	控制区
	7	50mmPb 通风橱表面	分装 100mCi ^{18}F 药物	50mmPb+40mm 铅罐	0.4	3.79E-06	2.91E-04	控制区
	8	10mmPb 通风橱上方(二层示教室)	质检 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	160mm 混凝土+8mmPb+10mmPb	2.8	3.76E-21	1.06E-20	普通场所
SPECT 候诊室	9	二层 50mmPb 通风橱上方(二层示教室)	分装 100mCi ^{18}F 药物	160mm 混凝土+8mmPb+50mmPb	2.8	3.95E-5	3.03E-03	普通场所
	10	西侧墙外给药前候诊室	3 名注射 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物患者候诊	240mm 硫酸钡砌块	1.0	2.78E-5	3.13E-04	监督区
	11	南侧墙外楼道内		240mm 硫酸钡砌块	1.0	2.78E-5	3.13E-04	监督区
	12	北侧墙外患者通道内		8mmPb	4.3	1.00E-8	6.08E-09	控制区
	13	顶部 30cm 处(二层实验室)		160mm 混凝土+8mmPb	3.85	3.76E-11	2.85E-11	普通场所
PET 候诊室	14	西侧墙外 SPECT 候诊室	3 名 ^{18}F 注射患者候诊(10mCi)	240mm 硫酸钡砌块	1.0	1.82E-2	1.23E+00	控制区
	15	防护门外		8mmPb	4.5	3.30E-1	1.11E+00	控制区
	16	南侧墙外楼道		240mm 硫酸钡砌块	1.5	1.82E-2	5.49E-01	监督区
	17	东侧留观室内		240mm 硫酸钡砌块	1.0	1.82E-2	1.23E+00	控制区
	18	北侧墙外		240mm 硫酸钡砌块	3.5	1.82E-2	1.01E-01	控制区
	19	顶部二层实验室		160mm 混凝土+20mmPb	3.85	7.7E-3	5.28E-02	普通场所
留观室	20	东侧墙外控制室	1 名 ^{18}F 注射患者(10mCi)和 1 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者留观	240mm 硫酸钡砌块	1.0	1.82E-2	6.17E-01	监督区
	21	防护门外		8mmPb	2.3	3.30E-1	2.11E+00	控制区
	22	北侧墙外通道		240mm 硫酸钡砌块	1.8	1.82E-2	1.90E-01	控制区
	23	顶部二层检验室		160mm 混凝土+16mmPb	3.85	1.34E-2	3.06E-02	普通场所
PET/CT 机房	24	南墙外楼道	^{18}F 注射患者(10mCi)	240mm 硫酸钡砌块	3.1	1.82E-2	6.42E-02	监督区

SPECT 机房	25	控制室防护门		8mmPb	4.3	3.30E-1	6.05E-01	监督区
	26	东侧值班室		240mm 硫酸钡砌块	4.3	1.82E-2	3.34E-02	监督区
	27	北墙外通道		240mm 硫酸钡砌块	3.1	1.82E-2	6.42E-02	普通场所
	28	患者防护门外		8mmPb	3.9	3.30E-1	7.36E-01	控制区
	29	控制室观察窗		240mm 硫酸钡砌块	4.0	1.82E-2	3.86E-02	监督区
	30	机房顶部 30cm (二层实验室)		160mm 混凝土 +16mmPb	3.8 5	1.34E-2	3.06E-02	普通场所
	31	东侧墙外普通场所	^{99m} Tc 注射患者(25mCi)	240mm 实心砖 +2mm 铅板	3.0	2.80E-5	1.17E-05	普通场所
	32	北侧墙外普通场所		240mm 实心砖 +2mm 铅板	2.3	2.80E-5	1.98E-05	普通场所
	33	西侧墙外控制室		240mm 实心砖 +2mm 铅板	5.9	2.80E-5	3.02E-06	监督区
	34	控制室观察窗处		4mmPb	5.8	1.00E-4	1.11E-05	监督区
	35	南侧患者防护门外		4mmPb	3.7	1.00E-4	2.74E-05	控制区
	36	东侧患者通道		240mm 实心砖 +2mm 铅板	2.0	2.80E-5	2.63E-05	普通场所
	37	SPECT 机房楼上(二层办公室)		180mm 混凝土 +2mm 铅板	2.8	1.87E-5	8.94E-06	普通场所

注：1) 实心砖密度 1.65t/m³，硫酸钡砌块密度 3.0 t/m³，楼板密度 2.35t/m³；

2) SPECT 通风橱屏蔽厚度 10mmPb，PET 通风橱屏蔽厚度 40mmPb；

3) 翻转罐屏蔽厚度*40mmPb。

4) 患者通道左侧 SPECT 机房和高活室区域楼层高度 3.9m，患者通道右侧区域楼层高度 4.55m。

可见，本项目运行后，核医学控制区边界外监督区的附加剂量率水平最大为 0.913μSv/h(缓冲间)，控制区边界外普通场所的附加剂量率水平最大为 0.118μSv/h(PET 候诊室楼上实验室)。PET/CT 机房周围的附加剂量率低于 0.736μSv/h(患者防护门外)，SPECT 机房周围的附加剂量率低于 2.63E-5μSv/h，均满足 2.5μSv/h 的剂量率控制要求。此外，控制区内候诊室、高活室以及机房周围 30cm 的周围剂量当量率也不大于 2.5 μSv/h。

本项目 PET/CT 机房墙体、顶棚、地板、观察窗和防护门采取的辐射屏蔽措施均大于 8mm 铅当量，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 给出的 2mm 铅当量防护要求，机房面积为 40m²，单边长度为 5m，分别满足 30m² 和 4.5m 的要求，可以预计，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，对环境几乎没有辐射影响。

4. PET/CT 和 SPECT/CT 附加剂量率叠加分析

根据西门子厂家 140kVp 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线, 1m 处的杂散辐射为 $0.052 \mu\text{Gy/mAs}$ (垂直) 和 $0.051 \mu\text{Gy/mAs}$ (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 。

本项目 PET/CT 机房的屏蔽设计为 240mm 硫酸钡砖, 透射系数为 $1.89\text{E-}05$, 按照关注点的最近距离 3m 估算, CT 运行所致的附加剂量率为 $0.12 \mu\text{Gy/h}$ 。

保守假设全部 PET 检查人员做 CT 扫描, 全年运行时间约 25h, 对机房周围全居留人员的附加剂量贡献为 $3 \mu\text{Sv}$ 。

5. 核医学科控制区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 2500 人次, 扫描时间平均为 15min/人次, 机房内受检者的停留时间约为 625h, SPECT 候诊室内人员的停留时间也为 625h。

2) 每年 PET/CT 检查最大人数为 5000 人次。PET/CT 的扫描时间为 15min/人次, 则 PET/CT 机房内患者停留时间约为 1250h, 候诊室的年候诊时间为 1187h。

3) PET/CT 受检患者采用预埋针方式注射, 每人每次的药物注射时间为 30s/人, 全年注射 PET 药物总时间也为 41.7h。

4) SPECT 受检患者采用直接注射方式, 每人每次的药物注射时间为 60s/人, 全年注射 SPECT 药物总时间为 41.7h。

5) 高活室通风橱内每天进行 PET 药物分装累积操作时间为 30min, 全年累计分装时间为 125h。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 质检每天 10min, 全年 41.6h。

表 11-4 给出了核医学科控制区周围停留公众可能的受照剂量估算结果, 可见, 控制区边界外公众的外照射受照剂量最多为 0.0627mSv/a (PET 候诊室顶部实验室), 其次为 0.0407mSv/a (PET 候诊室南侧墙外楼道), 均低于本项目设定的 0.1mSv/a 的公众剂量约束值。

表 11-4 核医学科所致公众外照射剂量估算

场所名称	编号	估算点 (具体位置见图 11-2)	主要源项	附加剂量 率($\mu\text{Sv/h}$)	暴露 时间 (h/a)	居留 因子	受照剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
入口处	1	核医学科控制区入口 口处	1 名 ^{18}F 注射患 者(10mCi)	3.57E-01	41.7	1/16	9.30E-01
高活室/	2	西墙外预约室	1 名 ^{18}F 注射患	6.03E-02	41.7	1	2.51E+00

	注射室			者(10mCi)				
		3	西墙外缓冲间	1名 ¹⁸ F患者注射(10mCi)	9.13E-01	41.7	1/16	2.38E+00
		8	10mmPb通风橱上方 (二层示教室)	质检 25mCi 的 ^{99m} Tc	1.06E-20	41.6	1	4.41E-19
		9	二层 50mmPb 通风橱上方 (二层示教室)	分装 100mCi ¹⁸ F 药物	3.03E-03	125	1	3.79E-01
	SPECT候诊室	10	西侧墙外给药前候诊室	3名注射 25mCi 的 ^{99m} Tc 药物患者候诊	3.13E-04	625	1/16	1.22E-02
		11	南侧墙外楼道内		3.13E-04	625	1/16	1.22E-02
		13	顶部 30cm 处 (二层实验室)		3.66E-11	625	1	1.78E-08
	PET候诊室	16	南侧墙外楼道	2名 ¹⁸ F注射患者候诊 (10mCi)	5.49E-01	1187	1/16	4.07E+01
		19	顶部二层实验室		5.28E-02	1187	1	6.27E+01
	留观室	23	顶部二层检验室	1名 ¹⁸ F注射患者(10mCi)和 1名 ^{99m} Tc 患者留观	3.93E-02	1250	1	3.83E+01
	PET/CT机房	24	南墙外楼道	¹⁸ F 注射患者 (10mCi)	6.42E-02	1250	1/16	5.02E+00
		26	东侧值班室		3.34E-02	1250	1/4	1.04E+01
		27	北墙外通道		6.42E-02	1250	1/16	5.02E+00
		30	机房顶部 30cm (二层实验室)		3.93E-02	1250	1	3.83E+01
	SPECT机房	31	东侧墙外通道	^{99m} Tc 注射患者(25mCi)	1.17E-05	625	1/16	4.57E-04
		32	北侧墙外诊室		1.98E-05	625	1	1.24E-02
		36	东侧患者通道		2.63E-05	625	1/16	1.03E-03
		37	SPECT 机房楼上(二层办公室)		8.94E-06	625	1	5.59E-03

5. 核医学科辐射工作人员受照剂量估算

基于以下假设估算辐射工作人员受照剂量：

1) 按照最大工作量，2名护师轮流完成药物注射工作。3名技师轮流完成 SPECT 和 PET/CT 操作。

2) SPECT 和 PET/CT 摆位时间 30s/人次，SPECT 和 PET/CT 摆位时间分别为 20.8h 和 41.7h。PET/CT 和 SPECT 移床均采用遥控非人推方式，摆位时候与病人没有近距离的接触。技师有时候在 1m 左右对患者进行摆位指导，有时候在控制室通过对讲设备进行摆位指导。综合考虑，将 PET/CT 和 SPECT 摆位距离统一为 1m 进行估算。

3) 《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry. 98(1), 2002]给出:手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5mL ^{99m}Tc 药液时,对距离注射器 30cm 处人的深部剂量率为 $2.6 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$ 。所以,注射 25mCi 的 ^{99m}Tc 时,距离注射器 30cm 处人的深部剂量率为 $241 \mu\text{Sv/h}$ 。采用 10mmPb 具有防护功能的注射窗注射,剂量率可以减少为 1/100,约 $2.4 \mu\text{Sv/h}$ (协和医院核医学科现场实测结果)。

4) 《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry. 98(1), 2002]给出:手持注射器注射活度为 1MBq、容量为 5ml ^{18}F 药液时,对距 30cm 处人的剂量率为 $1.8 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 。所以,注射 370MBq(10mCi)的 ^{18}F 距 30cm 处人的剂量率为 $666 \mu\text{Sv/h}$ 。注射时采用 40mmPb 具有防护功能的注射窗注射,注射位的剂量率可降低至少二个量级,约为 $6 \mu\text{Sv/h}$ 。

5) 每个检查日在高活室通风橱内分装放射性药物 30min,年工作时间 125h,操作位的剂量率低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

6) PET/CT 使用密封校验源开展设备校验,目前设备型号未定,密封源种类和活度未知,以常用的 ^{68}Ge 且最大活度为 111MBq 为源项,估算密封源在核医学科内搬运的受照剂量。 111MBq ^{68}Ge 密封源 1m 处的剂量率为 $1.8\mu\text{Sv/h}$ 。每周使用密封源对仪器进行一次校验,每次搬运放射源时间累计 5min,与放射源距离 30cm。

工作人员受照剂量按照药物分装、注射、摆位、扫描和校验源搬运等几个环节进行估算。按照最大工作量估算,核医学科辐射工作人员的年受照剂量估算结果见表 11-5。

表 11-5 核医学科工作人员受照剂量估算

辐射工作人员 岗位	源项情况	剂量当量率 (μ Sv/h)	累计总工作 时间(h)	轮流人数 (人)	受照剂量 (mSv/a)
药物分装	^{18}F	2.5	125	2	0.33
药物注射/给药	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.4	41.7	2	
	^{18}F	6	41.7	2	
SPECT 摆位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.75	20.8	3	0.75
SPECT 扫描		1.11E-05	625		
PET/CT 摆位	^{18}F	33.9	41.7	3	
PET/CT 扫描*		6.17E-01	1250		
密封源搬运	^{68}Ge , 111MBq	20	4.2	1	0.084

注: PET/CT 控制室按照候诊室附加剂量率贡献保守考虑。

可见,核医学科在最大工作量情况下,2 名专职注射人员的年受照剂量为 0.33mSv,3 名从事核医学科显像工作的技师年受照剂量为 0.75mSv,使用密封源校验设备的物理师受照剂量为 0.084mSv,均低于本项目为辐射工作人员设定的 5mSv/a 的剂量约束值。

11.3 事故影响分析

11.3.4 核医学科放射性同位素使用场所事故分析与应急措施

(1) 事故分析

核医学科工作场所在正常营运情况下，对于公众和周围环境基本是安全的，但如果管理不善发生某些事故，可能对公众和环境造成危害，主要有如下原因：

1) 放射性药品撒漏、放射源或放射性药品丢失

由于工作人员操作不熟练或其他原因造成放射性药物撒漏，以及放射源或药物保管不善致使放射性药剂在给患者用药之前丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

2) 放射性废物管理不善

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。

3) 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。

(2) 风险防范与事故应急处理措施

针对在核医学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) 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。

2) 安保措施：核医学科场所注射室拟安装防盗门，室内设置闭路监视系统，以满足生态环境和公安部门关于放射源和放射性物品存放的要求。

3) 屏蔽防护：药物使用场所（高活室）、受检人员停留场所（扫描机房和候诊区等），墙体采用混凝土屏蔽，防护门采用铅屏蔽，注射窗口采取 40mm 铅防护。观察窗采用铅玻璃防护，减少电离辐射对周围环境的辐射影响。

4) 表面污染控制措施：在通风橱内分装放射性药物，注射窗口处注射药物。一旦发生撒漏导致台面和地面污染的情况，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。工作人员离开高活室，在缓冲间更换工作鞋和工作服，防止放射性污染扩散至控制区之外。

5) 放射性废物管理：设立专用的放射性废物间，配置 2 个铅制废物桶。收集高活

室（注射室）等场所产生的放射性废物，标注日期，放置 30d 后解控为医疗废物处置。设置放射性废水衰变池，将放射性废水暂存 30d 后排放。活性炭过滤器一年更换一次，暂存 30d 后解控为医疗废物处置。

6) 发现意外事件与事故的当场人员应当立即向科负责人、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，保卫科负责保护现场，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行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

目前，医院设立了辐射安全与环境保护管理领导小组（见表 1-4），落实了安全责任制。

辐射安全管理小组的职责：

1. 在医院辐射安全防护组组长的领导下，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，在辐射安全防护组组长的指挥下负责事故现场的应急处理工作。
5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。
6. 建立射线装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的射线装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。
7. 对医院从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。
8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好医院年度评估报告工作，按时上报。

12.2 辐射环境保护和安全管理规章制度

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》，结合医院实际情况，将制定相对完善的管理制度、操作规程和应急预案。

本项目实施后，医院将补充 PET/CT 设备、SPECT 设备操作规程，建立放射性药物使用管理规程，完善辐射监测计划和事故应急方案等规章制度，并重新申领辐射安全许可证，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，确保大家依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

12.3 人员配置和辐射安全与防护考核

医院制定了辐射工作人员培训计划。目前，全部从事放射工作的职业人员和管理人

员共 7 人，均通过了辐射安全与防护考核，并取得合格证书。此外，医院计划利用集会、内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织放射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全法规知识和防护新知识培训。

依据《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》第五条规定，对配置 PET/CT 单位的人员要求为“专业技术人员数量应当与设备数量和工作量相匹配，每台设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名”。

根据上述要求，本项目完成后，核医学科将配置 10 名辐射工作人员，人员的具体配置计划见表 1-7，能够满足“每台 PET/CT 设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名”的工作需要。

12.4 辐射监测

1. 基本原则

根据原环保部 18 号令的要求，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周围的辐射水平进行 1 次监测。

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，对非密封场所内的表面污染水平开展自行监测，检测记录归档。

2. 个人剂量监测

从事辐射工作的人员佩戴使用 TLD 个人剂量计。按每个季度一次的频度委托有资质的机构进行个人剂量检测。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令第 55 号）要求建立个人剂量档案。

放射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的（每季度超出 1.25mSv/a，或者显著高于同科室其它人员），应当立即核实和调查，并将有关情况进行文字记录。

3. 辐射工作场所监测

- 1) 监测项目： γ 剂量率水平，表面污染水平
- 2) 检测设备： γ 辐射剂量率仪，表面污染监测仪
- 3) 检测频次：每年委托有资质单位开展至少 1 次剂量率水平，每半年开展一次自行监测，每天工作后自行开展 1 次表面污染检测。
- 4) 工作场所 γ 剂量率水平监测：包括核医学科控制区边界外、PET/CT 和 SPECT 机房周围（含楼上）和衰变池上方的剂量率水平。监测数据记录存档。监测点位布置见图 11-2 所示和表 12-1。

表 12-1 核医学科场所监测方案

项目	频次	布点位置	测量条件
γ 剂量率	1 次/年	如图 11-2 和表 12-1	核医学科正常运行, 机房内有患者显像, 候诊室有人员候诊。
表面污染水平	1 次/d	如表 12-2	每天工作结束后监测。

表 12-2 γ 剂量率水平监测点位设置

编号	估算点 (具体位置见图 11-2)	源项	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	核医学科控制区入口处	1 名 ^{18}F 注射患者(10mCi)	
2	西墙外预约室	1 名 ^{18}F 注射患者(10mCi)	
3	西墙外缓冲间	1 名 ^{18}F 患者注射(10mCi)	
4	北侧墙外 SPECT 控制室	1 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者(25mCi)扫描	
5	北侧墙外 SPECT 机房内	分装 100mCi ^{18}F 药物	
6	10mmPb 通风橱表面	质检 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	
7	50mmPb 通风橱表面	分装 100mCi ^{18}F 药物	
8	10mmPb 通风橱上方 (二层示教室)	质检 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	
9	二层 50mmPb 通风橱上方 (二层示教室)	分装 100mCi ^{18}F 药物	
10	西侧墙外给药前候诊室	3 名注射 25mCi 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物患者 候诊	
11	南侧墙外楼道内		
12	北侧墙外患者通道内		
13	顶部 30cm 处 (二层实验室)		
14	西侧墙外 SPECT 候诊室	3 名 ^{18}F 注射患者候诊(10mCi)	
15	防护门外		
16	南侧墙外楼道		
17	东侧留观室内		
18	北侧墙外		
19	顶部二层实验室		
20	东侧墙外控制室	1 名 ^{18}F 注射患者(10mCi)和 1 名 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者留观	
21	防护门外		
22	北侧墙外通道		
23	顶部二层检验室		
24	南墙外楼道	^{18}F 注射患者(10mCi)	
25	控制室防护门		
26	东侧值班室		
27	北墙外通道		
28	患者防护门外		
29	控制室观察窗		
30	机房顶部 30cm (二层实验室)		

31	东侧墙外普通场所	^{99m} Tc 注射患者(25mCi)	
32	北侧墙外普通场所		
33	西侧墙外控制室		
34	控制室观察窗处		
35	南侧患者防护门外		
36	东侧患者通道		
37	SPECT 机房楼上(二层办公室)		

5) 表面污染水平监测：每天工作结束后，对高活室台面、地面，通风橱台面，注射室注射窗，候诊室地面，PET/CT 和 SPECT 机房等进行表面污染监测，监测数据记录存档。监测点位如表 12-3。

表 12-3 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	高活室	通风橱台面	
2		高活室地面	
3	注射区	注射窗	
4		地面	
5	PET/CT 候诊室	候诊室地面	
6	SPECT 候诊室	候诊室地面	
7	SPECT 机房	SPECT 病人床	
8		SPECT 机房地面	
9	PET/CT 机房	PET/CT 病人床	
10		PET/CT 机房地面	

4. 环境监测

根据原环保部 18 令的要求，每年委托有资质单位对辐射工作场所的周围环境，进行 1 次环境辐射水平监测，监测数据记录存档。监测点位如图 8-1。

12.5 辐射监测设备和防护用品

12.5.1 医院现有的辐射监测仪器和个人防护用品

医院为每位辐射工作人员配备了个人剂量计，开展了个人剂量监测。放射科为患者配备了铅衣、铅围脖、铅眼镜等个人防护用品，具体见表 12-4。

表 12-4 医院现有的辐射防护用品

名 称	数 量	名 称	数 量
铅衣	4	铅帽	2
铅手套	0	铅眼镜	1
铅围裙	4	铅围脖	4
铅屏风	1	个人剂量计	9

12.5.2 拟为本项目新增的辐射监测仪器和个人防护用品

核医学科改扩建后，使用现有的 2 台手持式多功能监测仪，能够满足场所表面污染，放射性废物解控（表面污染和剂量率）监测需要。核医学科拟增加下列防护用品，具体见表 12-5 所示。

表 12-5 核医学科工作场所拟配置的监测仪器和辐射防护用品

名 称	数量(个)	规格	使用场所
便携式剂量率	1	型号待定	核医学科
表面污染监测仪	1	型号待定	核医学科
活度计	2	型号待定	高活室
通风橱	1	50mmPb	高活室
通风橱	1	10mmPb	高活室
储存铅罐	2	1 个 20mmPb 、1 个 10mmPb	高活室
翻转式铅罐	1	40mmpb	高活室
防护注射窗	2	1 个 40 mmPb, 1 个 10mmPb	注射室
铅 盒	2	10 mmPb	高活室
注射器防护套	1	1 个 10 mmPb, 1 个 5mmPb	高活室
铅废物桶	2	10mmPb	废物间
	3	10mmPb	2 个候诊室, 1 个留观室
	2	20mmPb	高活室
铅衣、铅围脖	2	0.5mmPb	SPECT 机房和注射室
铅屏风	2	6mmPb	PET/CT 候诊室
	2	2mmPb	SPECT 候诊室

12.6 辐射事故应急

医院制定了《辐射事故（件）应急预案》，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。

医院已针对使用 III 类射线装置可能发生的大剂量照射情景制定了应急预案。本项目申请使用许可之前，将增加针对放射源丢失、被盗、放射性环境污染等情景制定的应急预案，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。

一旦发生辐射事故时，立即启动辐射事故应急方案，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》，向生态环境主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

12.6 项目环境保护验收内容建议

建议本项目的环保验收内容列于表 12-6 中。

表 12-6 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
剂量约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和环评预测结果，本项目核医学楼辐射工作人员年受照剂量约束值均取 5mSv/a；公众取 0.1mSv/a 作为年剂量约束值。
剂量率控制水平	核医学科控制区边界（周围和楼上 30cm）处剂量率水平不大于 2.5μSv/h。PET/CT、SPECT 机房和候诊室周围的剂量率水平不大于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在核医学科出入口、高活室、扫描机房、给药后候诊室门外门口均设置电离辐射警告标识和中文警示说明。在 SPECT 和 PET/CT 机房门口设置工作状态警示灯。
场所布局和屏蔽设计	放射性工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。实体屏蔽墙、铅防护门和铅玻璃观察窗等的屏蔽能力满足辐射防护的要求。在高活室配备 2 个通风橱，在注射区配备 2 个铅屏蔽药物注射窗，确保场所周围的辐射安全。
辐射安全与防护措施	核医学科场所实行分区管理，在控制区入口和出口均设置单向门禁系统，限制无关人员出入。注射区、高活室、扫描室、储源室、废物间、候诊室及卫生间和控制区走廊等场所采取放射性污染控制措施。高活室采用实体屏蔽措施，安装防盗门、电视监控系统，满足安保要求。
规章制度	针对新增的设备，医院完善《辐射工作人员岗位职责》、《操作规程》、《台账管理制度》等规章制度。
辐射检测仪器和个人防护用品	配置 1 台辐射剂量率和 1 台表面污染监测仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。配备铅衣、铅帽等个人防护用品 2 套。
“三废”处置设施	1. 配套放射性废水暂存设施并正常运行。衰变池总容积不低于 24m³（12m³×2），槽式方式运行，确保放射性废水满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中 A 类废水排放要求。 2. 高活室设置具有独立通风系统的通风橱，排风速率满足相关要求。 3. 配置废物间，配备 2 个 10L 具有屏蔽功能的废物桶，注射窗旁配套一个铅制废物桶（容积 1）。废物间有通风口，确保放射性废物满足《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》相关要求后解控作为医疗废物处置。
人员培训	博仁医院现有的 7 名辐射工作人员均通过了辐射安全与防护考核，取得合格证书。本项目新增配置 10 名辐射工作人员。
应急预案	医院将对《辐射事故应急预案》进行补充和完善，将放射源的应急内容纳入应急预案中。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1. 核技术应用现状：博仁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[G0191]），许可的种类和范围是使用III类射线装置。

2. 实践正当性：因临床诊疗工作需要，医院急需发展核医学科诊断技术，医院拟对现有医疗用房进行改造，增设核医学科场所，使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等放射性药物开展核医学科诊断。本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。

3. 选址及设计合理性：拟建核医学科的场所现状为放射科候诊、医生值班室以及DR 机房。北侧是门诊大厅、诊室、牙科、输液室。楼上（二层）为值班更衣室、输血治疗室实验室以及医生办公室，下面为土层。周围 50m 范围内，东侧为院内停车场，之外是京九线。南侧是博仁医院放射科、流式细胞实验室、中心药房以及病房，西侧是纪通东路，之外亿朋苑 2 区的空地（距离 1 号楼 66m）。核医学科周围 50m 内，无居民楼、学校等敏感目标，也无产科、儿科和食堂等场所，选址基本合理。

核医学科分区明确，放射性分装和注射操作、患者候诊和显像、工作人员办公区域相对隔离，满足了核医学分区管理的要求。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，有效避免不必要照射，满足辐射工作场所安全使用的要求。

4. 本项目周围辐射环境现状：评价区环境 γ 辐射剂量水平与北京市的环境 γ 辐射剂量率水平基本一致，属于正常本底水平。

5. 辐射屏蔽能力分析：核医学科屏蔽设计符合辐射防护要求，预计控制区边界外，PET/CT 和 SPECT 机房周围的剂量率水平低于本项目设定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求，

6. 公众和职业人员受照剂量：本项目运行后核医学科控制区周围附加辐射剂量率满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求，PET/CT 和 SPECT 机房周围的剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求。本项目运行所致工作人员和公众的辐射剂量分别满足职业人员剂量约束值 5mSv/a 和公众受照剂量约束值 0.1mSv/a 要求。

7. 放射性“三废”排放：预计核医学科改扩建完成并投入使用后，每年产生放射性废水总量约 50m^3 ，产生放射性固体废物约 85g/a 。项目产生的放射性废水只含 A 类核素，衰变池暂存 30d 后排放。放射性废物暂存衰变 30d 后，解控为照医疗废物处置。

8. 辐射安全与防护设施/措施：核医学科辐射场所出入口安装门禁系统，张贴电离辐射警告标志和文字警示说明，限制非工作人员和非受检人员进入。射线装置机房门外设置工作指示灯，张贴电离辐射警告标志。

注射室、高活室、扫描室、废物间和工作区走廊地面铺装硬质无缝 PVC 地板革，墙面装铝塑面板或釉面砖，便于去污。通风橱台面采用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料，便于放射性污染去污和去除。

核医学科高活室设置通风橱，配套独立通风系统，设置放射性废水专用收集系统，设置放射性废水衰变池，放射性固体废物间，配备满足工作需要的辐射检测仪和辐射防护用品。

9. 辐射安全管理：医院设有辐射安全防护管理小组，负责全院的辐射安全管理和监督工作。有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训计划、健康体检制度、设备检修维护制度和辐射事故应急预案。随着本项目的建设，将不断完善操作规程、辐射监测计划和事故应急预案。

10. 辐射工作人员考核：博仁医院已制定了辐射工作人员考核、剂量检测和健康体检制度。核医学科拟新增配置 10 名辐射工作人员，在通过了辐射安全与防护考核后持证上岗。

11. 与管理要求的符合情况：对着生态环境部 2019 修订的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》提出的具体要求进行对照评估，环评报告中描述的辐射安全和防护措施如果得到落实，能够满足运行的要求。

综上所述，博仁医院根据建设发展和患者诊疗需要，医院拟对现有放射科等医疗用房进行整体改造，增设核医学科场所，使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等放射性药物开展核医学科显像诊断。本项辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，其运行对周围环境产生的辐射影响可以接受。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，博仁医院承诺：

1) 在项目运行过程中，绝不容许弄虚作假、绝不容许违规操作等违反相关环保法律法规要求的行为。

2) 不断加强全院的辐射安全(包括射线装置和同位素)管理工作，进一步完善辐射安全管理规章制度，落实辐射安全管理责任。

3) 严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和辐射工作人员进行剂量监测，并将监测记录保存留档。

4) 加强辐射工作人员管理，每 5 年组织辐射工作人员再次参加辐射安全与防护考核，持证上岗。

5) 及时办理辐射安全许可证变更手续。在投入运行后，及时自行组织竣工环境保护验收，运行过程中接受生态环境管理部门的监督检查。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:		
公 章		
经办人	年	月 日

审批意见:		
公 章		
经办人	年	月 日