核技术利用建设项目

新建核医学科 PET 中心项目
环境影响报告表

北京大学首钢医院

2020 年 7 月

环境保护部监制

核技术利用项目

新建核医学科 PET 中心项目
环境影响报告表

建设单位名称：北京大学首钢医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市石景山区晋元庄路 9 号

邮政编码：100144　　联系人：刘逢雨

电子邮箱：sgyy_yzc@163.com　　联系电话：010-57830827

目 录

表 1　项目基本情况.....1
表 2　放射源.....12
表 3　非密封放射性物质.....13
表 4　射线装置.....14
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）.....15
表 6　评价依据.....16
表 7　保护目标与评价标准.....18
表 8　环境质量和辐射现状.....24
表 9　项目工程分析与源项.....26
表 10　辐射安全与防护.....30
表 11　环境影响分析.....44
表 12　辐射安全管理.....64
表 13　结论与建议.....70
表 14　审 批.....73
附图 1　首钢医院地理位置示意图.....74
附图 2　首钢医院平面布局及周边关系图.....75
附图 3　核医学科 PET 中心平面布局图.....76
附图 4　核医学科 PET 中心监控装置平面布局图.....78
附图 5　核医学科 PET 中心对讲装置平面布局图.....79
附图 6　新建核医学科 PET 中心放射性废液衰变池平剖面图.....80
附件 1　辐射安全许可证.....81
附件 2　2019 年度个人剂量检测报告.....87
附件 4　核医学科解控记录.....95
附件 4　乙类大型医用设备配置许可证.....96
附件 5　项目网上公示截图.....97
附件 6　场所现状本底监测报告.....98
附件 7　北京肿瘤医院类比检测数据.....102
附件 8　产权相关证明.....103

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">新建核医学科 PET 中心项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">北京大学首钢医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>顾晋</td><td>联系人</td><td>刘逢雨</td><td>联系电话</td><td colspan="3">010-57830827</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">北京市石景山区晋元庄路 9 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">北京市石景山区晋元庄路 9 号核医学科 PET 中心</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">无</td><td>批准文号</td><td colspan="3">无</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资(万元）</td><td>2235</td><td colspan="2">项目环保投资(万元）</td><td>435</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>19.5%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☑新建 □改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积(m^2）</td><td>551</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="6">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="6">□Ⅰ类（医疗使用） □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="6">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">□乙　☑丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="6">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="6">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="6">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td></td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

1.1 单位概况

北京大学首钢医院（以下简称“首钢医院”或“医院”）始建于 1949 年，是一所集医疗、教学、科研、预防保健为一体的大型三级综合医院，占地面积 65610 平方米，编制床位 1006 张，在岗职工 1800 余人，拥有设有 36 个临床科室，12 医技科室，四个社区卫生服务中心。2002 年 9 月，首钢总公司与北京大学签署联合办院协议，成为北京大学附属医院、北京大学教学医院、北京大学临床学院。北京大学首钢医院现为北京市基本医疗保险 A 类定点医院、北京市住院医师规范化培训基地、石景山区区域医疗中心，2022 年北京冬奥会场馆医疗保障牵头医院。

北京大学首钢医院坚持“以重点学科带动医院发展，以特色技术带动学科发展”的发展战略，在几代人的共同努力下，目前已经拥有胃肠外科、泌尿外

科、肝胆胰外科、普通外科、骨科、骨肿瘤科、呼吸内科、心血管内科、神经内科、消化内科、血管医学科等一批优势学科和行业知名学科带头人。2017年3月，医院率先建设了国内第一家三级医院安宁疗护中心。近年来，医院通过不断加强人才工作和学科建设，综合竞争力不断攀升，相继承担着国家级、省部级、市级等众多科研项目。

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

首钢医院目前持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[H0007]，有效期至2020年8月19日，许可证副本相关页见附件1），许可的种类和范围是：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。医院已许可使用射线装置及非密封放射性物质情况分别见表1-1、表1-2所示。

表1-1　已许可使用的射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量（台）
1	车载X光机	Ⅲ	1
2	骨密度X光机	Ⅲ	1
3	普通X射线机	Ⅲ	2
4	C形臂	Ⅲ	3
5	泌尿多功能X线机	Ⅲ	1
6	牙片机	Ⅲ	2
7	床旁X射线机	Ⅲ	3
8	CT	Ⅲ	3
9	数字X射线机	Ⅲ	5
10	乳腺X光机	Ⅲ	1
11	碎石	Ⅲ	1
12	DSA	Ⅱ	3
13	胃肠造影机	Ⅲ	1
14	——	合计	27

表1-2　已许可使用的非密封放射性物质

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）
泌尿外科中心手术室	丙	I-125	1.78E+7	1.33E+11
核医学	乙	Tc-99m	1.85E+8	4.6E+12

1.2.2 近几年履行环保审批情况

首钢医院近 5 年来开展的核技术利用项目，均履行了环保审批手续，详见表 1-3 所示。

表 1-3　近几年履行环保审批手续情况一览表

编号	项目名称	环保审批	竣工环保验收
1	更新 1 台车载 X 射线机	京环审[2015]95 号	京环验[2015]145 号
2	更新 1 台数字胃肠机	备案号：201811010700000024	已登证
3	医院住院楼一层 CT 室新增 I-125 粒子植入使用及住院大楼一层新增 CT 一台	备案号：201811010700000442	已登证
4	新建使用数字减影造影机	京环审[2019]198 号	已完成自主验收（2019 年 11 月）

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，首钢医院专门成立了辐射防护领导小组，由院长担任组长，副院长担任副组长，医务处、门诊部、保卫处、医学工程处、基建处、总务处、医学影像科、神经外科、核医学科等部门的相关人员担任组员，并指定医务处刘逢雨专职负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表 1-4。

表 1-4　首钢医院辐射防护领导小组成员名单

职责	姓名	性别	职务	部门	专/兼职
组长	顾晋	男	院长	院办	兼职
副组长	王海英	女	副院长	院办	兼职
组员	杨布仁	男	副院长	院办	兼职
	王宏宇	男	副院长、血管医学科主任	院办	兼职
	关振鹏	男	副院长、骨科主任	院办	兼职
	薄天慧	女	医务处处长	医务处	兼职
	王义	男	门诊部主任	门诊部	兼职

	张爱国	男	保卫处处长	保卫处	兼职
	左晓霞	女	护理部副主任	护理部	兼职
	赵长坡	男	医学工程处处长	医学工程处	兼职
	杨迪	男	基建处处长	基建处	兼职
	刘宏彦	女	总务处处长	总务处	兼职
	张滨	男	医学影像科主任	医学影像科	兼职
	于明川	男	医学影像科副主任	医学影像科	兼职
	刘京山	男	普通外科主任	普通外科一病区	兼职
	冷建军	男	肝胆胰外科主任	肝胆胰外科	兼职
	李宁忱	男	泌尿外科主任	泌尿外科	兼职
	高峰	男	神经外科主任	神经外科	兼职
	唐强	男	心血管内科主任	心血管内科	兼职
	乔淑冬	女	神经内科一病区主任	神经内科一病区	兼职
	高伟	男	神经内科二病区主任	神经内科二病区	兼职
	郭正纲	男	麻醉科主任	麻醉科	兼职
	张蓉	女	口腔科主任	口腔科	兼职
	东黎光	男	体检中心主任	体检中心	兼职
	姜雅聪	女	核医学科主管医师	核医学科	兼职
	陈新	女	金顶街社区卫生服务中心主任	金顶街社区卫生服务中心	兼职
	张宏林	男	古城社区卫生服务中心主任	古城社区卫生服务中心	兼职
	刘逢雨	女	医务处干事	医务处	专职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

首钢医院结合医院实际情况，已制定一套相对完善的辐射安全管理制度，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、辐射事故应急制度等，并严格按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员培训情况

首钢医院制定了辐射工作人员考核计划。目前，全部从事辐射工作的职业人员和管理人员共计 156 人，均参加了生态环境部门认可的单位组织的辐射安全与防护考核，并取得合格证书（最早的一批为 2018 年 4 月取得合格证）。

今后如需新增辐射工作人员，将及时安排其在国家核技术利用辐射安全与

防护培训平台报名参加辐射安全与防护考核，持证上岗，已有人员培训证到期的将及时安排其参加辐射安全与防护考核。

1.2.3.4 个人剂量监测情况

首钢医院的个人剂量监测工作委托北京市疾病预防控制中心按每季度 1 次的频度进行个人剂量监测，个人剂量档案齐全。全部的辐射工作人员均配置了个人剂量计，每季度由医院专人负责收集更换，并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案。

根据医院提供的 2019 年度的个人剂量监测结果（见附件 2），参与个人剂量检测的 184 名人员，年度个人受照剂量超出 1mSv 只有从事介入工作的 1 人（1.69mSv），其余人员均低于 1mSv，均未超过医院年剂量管理值 5.0mSv。多数人员的年度受照剂量低于 0.2mSv，说明首钢医院的辐射安全防护措施是可行的。

开展个人剂量检测的人员，包含辐射工作人员、核技术利用场所的进修人员、核医学科就医引导人员和保洁人员等，所以开展个人检测的人数（184 名）多于辐射工作人员数量（156 名）。部分进修人员工作时间较短，所以出现了只有一个季度的个人剂量检测结果的情况。

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

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测情况

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

委托监测：医院已建立辐射环境医院每年委托有 CMA 资质的单位对医院

已有的辐射场所防护和机器性能检测一次，且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

表面污染监测：每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台台面、通风橱台面、注射车以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测其工作服、体表的表面污染水平。根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，该项工作由核医学科工作人员自行完成。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，本次申报的核医学科 PET 中心项目，将纳入医院放射工作场所的监测范围，一并按照现有的频度开展自行监测。医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-5。

表 1-5　医院现配有辐射监测仪器清单

序号	仪器名称	型　号	购置日期	仪器状态	数量	使用场所
1	辐射监测仪	Ranger	2018-12-27	正常	2	介入中心/导管室
2	表面污染仪	CoMo170	2018-12-27	正常	1	核医学
3	便携式表面污染测量仪	MicroCont Ⅱ RGZ190	2012-1	正常	1	核医学
4	活度计	CRC-25R	2012-1-2	正常	1	核医学
5	监视器	MCC-460R	2007-1-1	正常	1	核医学
6	便携式放射性检测仪	PDS-100GN	2012-2	正常	2	核医学
7	表面污染仪	Inspector	2009-4-14	正常	1	核医学（碘-125）
8	报警器	BDL9500-3C	2007-1-1	正常	1	核医学
9	辐射监测仪	Ranger	2019-4-18	正常	1	医学影像科（碘-125）
10	表面污染仪	CoMo170	2019-4-18	正常	1	医学影像科（碘-125）

1.2.3.6 辐射事故应急管理情况

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，以保证一旦发生辐射意外事件时，即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，单位将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行政部门报告。2019 年 9 月 27 日下午，医院组织核医学科辐射防护应急演练。演练以核医学科使用 Tc-99m 为演练主体，液体 Tc-99m 在注射过程中意外掉落，导致 Tc-99m 为演练背景，按照演练工作要求，由主管院长牵头，医务处组织协调，参加部门有核医学、医学工程处、疾病预防控制处、医院感染管理办公室、护理部、保卫处等。通过演练，使核医学工作人员对操作中可能出现的情况有了直观清楚的认识；对辐射工作人员进行宣传教育，加强了辐射工作人员的辐射安全防护意识和应急处置能力。同时也使各相关部门对辐射事故应急处置的流程更加清楚和熟练。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

首钢医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）对放射性废物进行管理。放射性固体废物分类收集于专用的废物库内，暂存时间分别超过 30 天、10 倍最长半衰期，对表面污染和辐射剂量率水平自行监测无异常后做为医疗废物处置。医院最近于 2020 年 5 月 26 日按照要求对 2017 年 7 月至 2020 年 1 月暂存时间满足要求的 Tc-99m 固体废物进行了清洁解控，并进行了详细解控记录（解控记录详见附件 3），质量约为 47kg。核医学现使用的显像核素为 Tc-99m（A 类），现有衰变池为推流式衰变池（2m^3×3），产生的放射性废水按照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》管理要求解控排放。

1.2.3.8 其他情况

2019 年度，首钢医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据相关法律法规对单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，编写了年度评估报告。

1.3 本项目情况

1.3.1 本项目背景

北京大学首钢医院1989年建科，现有1台SPECT自2003年开始使用，目前常规开展骨扫描、肾动态、肺通气、肝胆显像检查等多项核医学检查项目，利

用Tc-99m药物开展诊疗工作，2019年度核医学科检查量达到3699人次。

核医学科多年的运行培养了专业技术人员，现有配备有医师3人，技师1人，其中副高级职称1人。

目前核医学科设备已使用超过15年，设备严重老化，多次出现故障，不能满足院内诊疗需要，因此对院内核医学科进行升级，北京大学首钢医院拥有以顾晋院长为中心的肿瘤优势学科群，致力于打造从预防、治疗到晚期临终关怀的全流程全学科的肿瘤诊疗体系，核医学PET/CT是其中重要的诊疗手段。北京大学首钢医院PET中心的建立将为北京西部患者提供优质的核医学检查资源。医院增加PET/CT大型仪器设备的需求，得到了卫健委的支持， PET/CT设备已于2019年10月获得了《乙类大型医用设备配置许可证》（乙0101100009），见附件4。

待本项目PET中心启用后，现有核医学科办理退役（PET中心和现有核医学科不同时开展诊疗工作），拆除现有核医学科建筑后，医院拟建设新门急诊楼，在楼内建设新的核医学科及放疗科等相关科室，后续将本次新增的PET功能也迁入新楼内。

1.3.2 项目内容

首钢医院拟将原医工处办公楼1层西侧区域改建成核医学科PET中心。具体改造可分为2大部分，第1部分为放射放射性区域的改造，主要集中在建筑物西侧，自南向北分别改造成留观室、废物间、淋浴间、缓冲间、高活室、候诊室、PET/CT室等；第2部分为非放射性区域的改造，主要为注射前候诊、问诊、预约登记及工作人员办公场所的改造，改造后拟配套使用1台联影uMI550型PET/CT和1枚Ge-68的校准源，使用F-18核素开展核医学显像诊断。

1.3.3 核素使用量及场所分级

新建核医学科 PET 中心启用后将开展核医学检查项目，PET 检查使用 F-18 药物的用量约 222~370MBq/人，每个检查日最多实施 PET 检查 30 人次，每周最多工作 5 天，详见表 1-6。

表 1-6　新建核医学科 PET 中心使用非密封放射性同位素情况

使用场所	核素种类	患者最大用量（Bq）	预计每日最多检查人数	年最大使用天数（天）	日最大操作量（Bq）	年用量（Bq）	操作方式

核医学科 PET 中心	F-18	3.7E+8	30	250	1.11E+10	2.78E+12	很简单操作

根据 GB18871-2002 以及《关于明确核技术辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）F-18 核素的毒性组别和操作因子的相关规定，核算后的各种核素的日等效最大操作量如表 1-7 所示，核医学科 PET 中心日等效操作量小于乙级非密封放射性物质工作场所的上限（2×10^7Bq），属于丙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-7　核素日等效最大操作量

使用场所	核素种类	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）	场所等级
核医学科 PET 中心	F-18	1.11E+10	0.01	10	1.11E+07	丙级

新建核医学科 PET 中心拟配套的 PET/CT（Ⅲ类）和 Ge-68 校准源（V 类）拟单独办理备案，方案设计时已考虑Ⅲ类射线装置的屏蔽防护和机房面积要求，源库还将严格落实公安部门关于《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》。拟配套的射线装置的型号、技术指标以及 V 类校验源种类和活度见表 1-8 所示。

表1-8　核医学科PET中心拟配套的射线装置和V类校验源情况

名称	型号	厂家	技术指标	使用地点
PET/CT	uMI550	上海联影医疗科技有限公司	140kV/420mA	PET/CT室
Ge-68棒源	/		7.40E+7Bq*1枚	PET/CT室

注：拟购射线装置已取得《中华人民共和国医疗器械注册证》，注册证编号：国械注准 20173331479；

本项目场所属于丙级非密封放射性物质工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》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《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》要求，首钢医院委托北京辐环科技有限公司承担本项目的环境影响评价工作，评价单位评价人员在现场踏勘、收集资料的基础上，对该项目建设和运行过程中的对环境的电离辐射影响进行了分析评

价，并编制了环境影响报告表。评价重点是核医学科 PET 中心场所运行过程中产生的γ射线，放射性“三废”对操作人员、周围公众和环境的影响。

1.3.3 项目建设必要性和正当性

正电子发射扫描技术(PET）在肿瘤、心脏和脑部疾病的诊断和疗效评估中具有独特的优势，常用于多数肿瘤的诊断、分期和治疗评估并进行精确定位，特别适合确定肿瘤有无转移和复发。PET是把标记有正电子核素（如F-18）的示踪剂注射到人体内，然后利用体外探测仪器（PET）探测这些正电子核素在人体全身脏器的分布情况，再结合CT的扫描图像，进行影像融合，可以观察病灶的病理生理变化及形态结构，从而显著提高疾病诊断的准确性以及治疗方案的合理性。

本项目使用的核医学显像技术属于成熟技术，利用含F-18放射性药物，依靠PET/CT的技术手段，开展核医学影像诊断工作，是核医学科成熟的技术手段，尽管项目运行过程产生的电离辐射和放射性“三废”对周围人员和环境可能产生一定的影响，但是借助这些医学诊断技术，可以有针对性地开展疾病治疗，所获利益远大于其可能产生的危害。因此，本项目符合辐射实践正当性原则要求。考虑到核医学检查对受检者辐射剂量贡献较大，核医学科将严格根据临床医生的申请进行检查，同时核实检查适应症，排除有禁忌症患者。

1.3.4 开展本项目的技术能力

（1）辐射工作人员配备

根据《放射诊疗管理规定》和 2019 年《北京市卫生健康委员会关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》的要求，首钢医院新建核医学科 PET 中心场所的辐射工作人员（医师、技师和护师）配置计划见表 1-9 所示。

表 1-9　核医学 PET 中心工作人员要求及配置计划

序号	相关要求	本项目人员配置计划
1	单台 PET/CT 或 PET 设备至少具有医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名、护士 1 名。	拟配备医师 3 名，技师 2 名，护师 1 名，物理师 1 名。

根据建设单位提供的资料，建设单位核医学科 4 名工作人员（3 名医师、1 名技师）将转到本项目辐射相关工作，为满足工作需要，建设单位 2020 年计划引进 1 名护师、1 名技师和 1 名物理师，本项目的工作人员和分工情况如

下表 1-10 所示。

表 1-10　新建核医学科 PET 中心辐射工作人员配备情况

类别	数量	拟从事具体工作
中级以上医师（包括医学影像学专业技术人员）	3	PET 检查对象的筛选和确认，PET 诊断报告编写。
技师	2	PET/CT 设备操作、受检者摆位。
护师	1	F-18 药物交接、分装和注射，放射性废物管理、表面污染监测等。
物理师	1	设备的质量保证和质量控制、以及辐射安全与防护管理。

（2）检测仪器配备情况

本项目实施后调配现有核医学科1台辐射剂量巡测仪和1台表面污染监测仪，能够满足核医学科PET中心常规的检测要求。

1.3.5 项目选址与周围环境

本项目核医学科 PET 中心位于医院东北角核医学楼（医工处）内，核医学科 PET 中心东侧距北方工业大学 55 米，南侧、西侧 50m 处为院内办公用地，北侧铁路约 36 米（铁路现已闲置），核医学楼（医工处）下方无建筑室，本项目区域楼上无建筑，仅东侧（医工处）上方有建筑物。医院地理位置见附图 1 和本项目 50m 评价区域图见图 7-1。

1.3.7 核医学科 PET 中心改造计划

医院计划于 2020 年 9 月底开始核医学科 PET 中心改造安排（取得核医学科 PET 中心项目批复后开始实施，施工期约 4 个月），预计 2021 年 2 月开始 PET/CT 安装工作。

1.3.8 本项目公示情况说明

本项目环评公示信息和环评文件全文在首钢医院的网页上进行了公示，公示网址为http://www.html，公示时间为2020.6.19-2020.6.28。公示期间，建设单位和环评单位未收到咨询或投诉的电话和邮件。公示内容见附件5。

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

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

表 3　非密封放射性物质

序号	核素 名称	理化 性质	活动 种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	F-18	液态针剂； 半衰期109.8min； 低毒	使用	1.11E+10	1.11E+07	2.78E+12	核医学诊断	很简单操作	核医学科PET中心	核医学科PET中心高活室通风橱内

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

表 4　射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注

（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、病人排泄物	液态	F-18（A类）			72.6m^3	总β<10 Bq/L	18m^3衰变池暂存	依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求，对于槽式衰变池（罐）暂存方式，暂存至少1个月后（实际可达2.0个月），排入医院污水管网，严格记录废水处理台帐。
手套、纱布等固态其他物质、一次性注射器	固态	F-18（A类）			<75kg	<10^4 Bq/kg	放射性固体废物在废物间内储存。	暂存至少一个月，经检测，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，按医疗废物委托交有资质单位处置。
核医学科高活室操作柜排气	气态	微量F-18			少量，可忽略	/	净化过滤后稀释排放	经通风橱自带的活性炭过滤器过滤后，在高于PET中心楼顶部3m处排放。
核医学科PET中心场所：通风橱活性炭滤材	固体	F-18			15kg	<10^4Bq/kg	暂存于核医学科内配套放射性废物间	暂存至少一个月，经检测，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，按医疗废物委托交有资质单位处置。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m^3；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/m^3）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》，2015 年 1 月 1 日。 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日。 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日。 （4）《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日。 （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日。 （6）《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2018 年 4 月 28 日。 （7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2019 年 8 月 22 日。 （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 4 月 18 日。 （9）《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。 （10）《北京市环保局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24 号，2018 年 1 月 25 日。 （11）《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。 （12）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日。 （13）《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年 4 月 1 日。 （14）《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。 （15）《辐射安全与防护监督检查技术程序》，原环保部，2012 年 3 月。 （16）《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。
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），原环境保护部。 （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

	（3） 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010） （4） 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006） （5） 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009） （6） 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005） （7） 《北京市水污染物综合排放标准》（DB11/307-2013） （8） 《核技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》（DB11/ 639-2009） （9） 公安部《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012） （10）《放射性物品库风险等级和安全防范要求》（DB11/412-2007） （11）《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93） （12）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001） （13）《表面污染测定 第一部分 β 发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和α 发射体》（GB/T14056.1-2008）
其他	（1） AAPM Task Group 108：PET and PET/CT Shielding Requirements，Med.Phys. 33（1），January 2006。 （2） Radiation Protection Dosimetry Vol.98 No 1，2002。 （3） 首钢医院提供的与本项目相关的申请和技术资料，2020.6。 （4） 首钢医院新建核医学科 PET 中心工作场所改造建筑及辐射屏蔽工程设计资料，2020.6。

表 7　保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为新建核医学科 PET 中心项目。

7.1.2 关注问题

（1）PET 中心放射性物质工作场所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新增辐射工作场所要求。

7.1.3 评价因子

本项目的环境影响评价因子为γ射线、β射线、放射性“三废”等。

7.1.4 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则－核技术利用建设项目　环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，并结合该项目辐射为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定本项目评价范围为核医学科 PET 中心及周围 50m 区域。

7.2 保护目标

本项目新建核医学科 PET 中心位于医院东北角核医学楼（医工处）内，PET 中心东侧为医工处，西侧为太平间和院内道路，南侧为院内道路，之外为制冷站和现有核医学科，北侧为医院围墙，无楼上、楼下。

核医学科 PET/CT 中心东侧距北方工业大学 55 米，南侧、西侧 50m 处为院内办公用地，北侧铁路约 36 米（铁路现已闲置），根据项目特点及周围毗邻关系，确定主要环境保护目标主要为评价范围内工作人员，以及场所周围活动的公众人员。本项目将采取有效的辐射防护与安全管理措施，确保核医学科 PET 中心运营所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。本项目评价范围见图 7-1 所示，核医学科 PET 中心周边关系图见图 7-2 所示，项目边界周围 50m 范围内保护目标相关情况见表 7-1 所示。

表 7-1　新建核医学科 PET 中心控制区周围 50m 范围内的保护目标

位置	保护目标	方位	最近距离(m)	常停留人数	备注
医院内	医工处	东侧	23	10	医工处工作人员
	制冷站	南侧	16	5	制冷站工作人员

	太平间	西侧	紧邻	10	太平间工作人员
医院周围	铁路	北侧	36	1	铁路工作人员

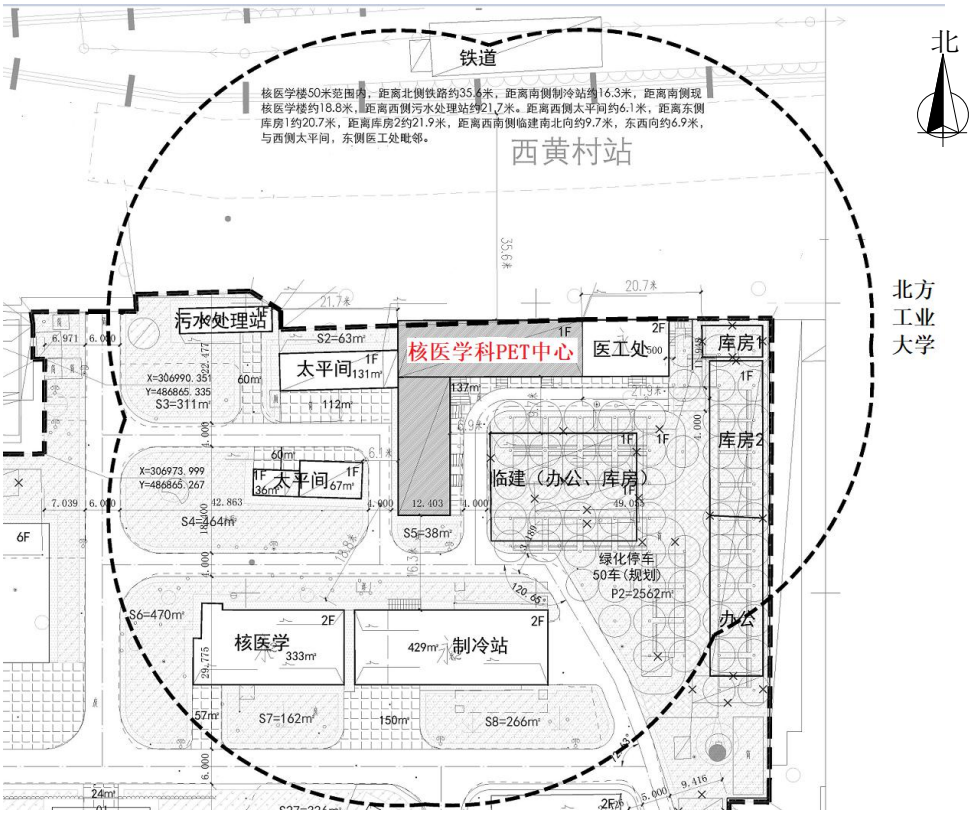

图 7-1　本项目评价范围示意图

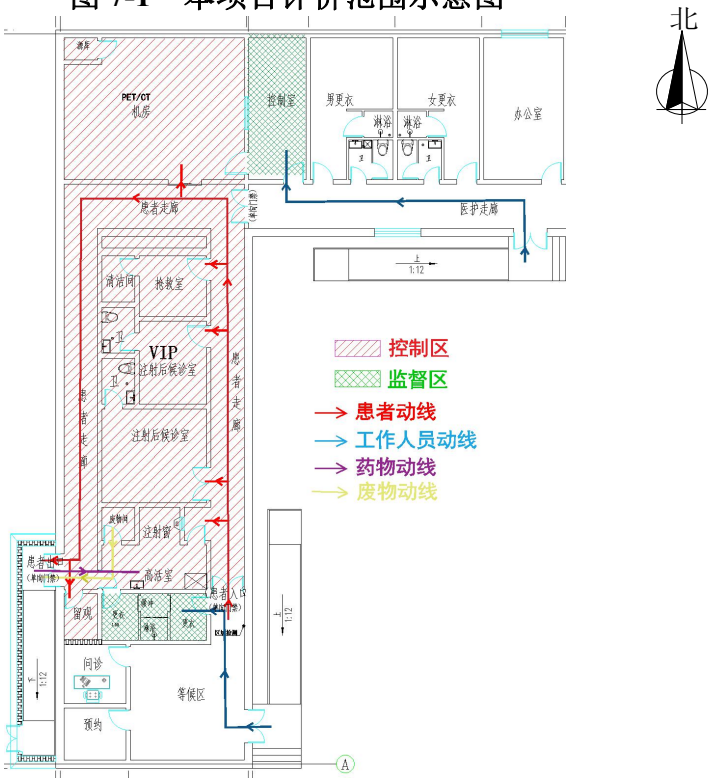

图 7-2　核医学科 PET 中心布局图

7.3 评价标准

7.3.1 基本剂量限值

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

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

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

7.3.2 剂量约束值

职业照射，本项目辐射工作人员取 5mSv/a 作为剂量约束值；公众照射，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

本次评价所取年剂量约束值数值与单位统一剂量管理目标值一致。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，核医学科 PET 中心控制区边界外 30cm 处的辐射剂量率应不大于 2.5μSv/h。

7.4 放射性废水排放控制要求

本项目只使用 F-18 核素，半衰期小于 24 小时的 A 类核素。本项目产生的放射性废水拟按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）A 类核素管理收集。拟建 A 类放射性废水槽式衰变池（容积 3×6m³），A 类放射性废水至少暂存 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。

7.5 放射性固体废物管理

由于核医学科 PET 中心场所使用的放射性核素 F-18，其半衰期较短，因此可以将放射性废物收集暂存，待衰变至符合清洁解控水平时，再按医疗废物要求进行处理。

依据《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，核医学科 PET 中心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。

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

7.6 操作放射性同位素通风橱及排风口设置要求

《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）第 4.5 款：合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并设有活性炭过滤或其它专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定限值。

本项目新建核医学科 PET 中心高活室内安装有通风橱，操作口风速＞1m/s（半开时）。通风橱配套有活性炭过滤器，并设置独立的排风系统，排风口位于 PET 中心顶部，高于本建筑物。

活性炭过滤器具体要求：材料颗粒活性炭，滤材质量不低于 15kg（一个通风橱和两个排放口都设有活性炭过滤），更换周期为一年。

7.7 放射性工作场所分级

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

表 7-3　非密封源工作场所的分级

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

7.8 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），非密封源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

类别		表面污染控制水平（β放射性物质）
工作台、设备、墙、地面	控制区	4×10 Bq/cm^2
	监督区	4 Bq/cm^2
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4 Bq/cm^2
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1} Bq/cm^2

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 100cm^2，地板取 1000cm^2。

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

7.9 核医学相关工作场所的放射性物质污染的防护要求

《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）第 4.4 款给出了新建核医学科 PET 中心工作场所表面及装备结构要求，具体见表 7-5。根据

GBZ120-2006 标准中表 2 和表 3 的相关参数估算出，本项目属于Ⅱ类场所，需设置通风橱、专用排风，地板采用 PVC 等易去污材料敷设，地板与墙壁接缝无缝隙。

表 7-5　核医学相关工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
Ⅰ	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求	需要
Ⅱ	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般处理	需要
Ⅲ	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般处理	只需清洗设备

7.10 放射性药物操作的一般放射防护要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006 ）的有关规定，操作放射性药物应有专门场所；在放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品；放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分；购买的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和表面放射性污染擦拭实验结果等。

表 8　环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 地理位置

首钢医院位于北京市石景山区晋元庄路 9 号，医院地理位置见附图 1 所示。医院东侧紧邻北方工业大学，南侧为晋元庄路，西侧为首钢黄南苑小区，北侧为铁路区域，医院平面布局和周围关系图见附图 2 所示。

8.1.2 场所位置

核医学科 PET 中心位于医院东北角核医学楼（医工处）西侧，核医学 PET 中心东侧为医工处，西侧为太平间和院内道路，南侧为院内道路，之外为制冷站和现有核医学科，北侧为医院围墙，无楼上、楼下。改造后的核医学科 PET 中心辐射工作场所平面布局见附图 3 所示。

8.2 辐射环境现状监测

委托持有计量认证资质证书的北京华克智星医疗技术研究院有限公司，于 2020 年 7 月 16 日对本项目首钢医院新建核医学科 PET/CT 中心拟建区域环境辐射水平进行了现状本底检测（检测报告编号 HKZX-[2020]第 007 号，检测报告见附件 4）。检测使用 X、γ剂量率仪，监测结果见表 8-1。

表 8-1　评价区环境γ辐射剂量率现状监测结果

序号	检测点位	γ辐射剂量率（nSv/h)
1	现北侧楼办公室区域	107
2	现北侧楼会议室区域	122
3	现库房（4）	109
4	现库房（3）	113
5	现库房（1）	109
6	现西侧楼办公室区域	113
7	现北侧楼东侧空地	103
8	现北侧楼南侧空地	89.3

9	现西侧楼东侧空地	89.3
10	现西侧楼南侧空地	95.5
11	现西侧楼西侧空地	92.6

注：*监测结果含宇宙射线

医院拟建核医学科 PET 中心场所及周围环境 X-γ剂量率水平为 82.6～122 nSv/h，与北京市环境γ辐射剂量率调查结果比较，属于正常本底水平，未发现院内及该项目场所周边环境辐射水平异常。

表 9　项目工程分析与源项

9.1 X 射线诊断装置

本项目配套使用 1 台 PET/CT 装置，属于 III 类射线装置，拟单独备案。

9.2 密封校验源

本项目配套使用 Ge-68 密封源（1 枚）开展 PET/CT 装置的定期校验，最大活度为 7.40×10^{7}Bq，属于 V 类放射源，拟单独备案。

为了核医学科项目整体分析，虽然本项目配套的 III 类射线装置和 V 类放射源拟单独备案，本评价报告对III类射线装置和刻度源操作流程、环境影响还进行简要分析。

9.3 放射性同位素显像设备与诊断流程

9.3.1 核医学扫描诊断装置

核医学是采用核技术来诊断、治疗和研究疾病的一门新兴学科。它是核技术、电子技术、计算机技术、化学、物理和生物学等现代科学技术与医学相结合的产物。核医学可分为两类，即临床核医学和基础核医学。本项目新建核医学科中涉及的内容为临床核医学中的放射性同位素显像检查，项目拟新增使用 1 台 PET/CT 扫描装置，如图 9-1 所示。

图 9-1　uMI 550 型 PET/CT 装置示意图

9.3.2 工作流程

（1）放射性同位素显像工作流程

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

检查工作流程：患者预约登记→计划订药（有资质的单位提供）→质检→分装→用药前候诊区候诊→患者注射→用药后候诊区候诊→摆位→图像采集→图像处理→读片、发报告。

订货：提前一天根据预约的检查人数及诊断项目，向药品公司订购标记的放射性药物 F-18（其中只有 F-18 试剂送来时是整装，使用时需要据实际情况进行分装，当工作量达到最大时按每天 3 次送药，分别为早上 8：00 前、上午 10:00 前，下午 13:00 前）。拟从其他单位购买的放射性药物到达医院后，通过核医学科 PET/CT 工作场所西南角患者出口防护门进入，经患者走廊送往高活室。

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

分装：F-18 半衰期短，其标记的放射性药物需要在核医学科高活室通风橱内分装。

注射前候诊：受检者首先在问诊室问诊，医护人员对患者进行血糖测定，然后在等候区候诊。

注射：在注射室内，打开铅屏蔽盒，取出一次性注射器，给患者注射标记放射性药物，然后将废注射器装入铅屏蔽盒内暂存。

注射后候诊：病人在给药后病人候诊区（VIP 注射后候诊室、注射后候诊室）等候，候诊时间约 40min~90min。

摆位：注射药物的受检者在候诊后，由工作人员通过语音通话系统引导，从患者专用通道进入 PET/CT 室。工作人员主要通过语音通话系统进入机房指导受检者摆体位。

检查：摆位结束并关闭防护门后，工作人员在控制室内通过操作台控制完成自动诊断扫描检查程序。检查过程中，操作人员通过观察窗监控 PET/CT 机

房内情况。

留观：受检者在扫描检查后，留观片刻，如显像符合要求即离开核医学科PET中心。

诊断：PET/CT图像重建，出具报告。检查资料原始数据及图像储存。

（2）质控流程

本项目使用厂家配备的密封源质控进行质控。uMI 550型PET/CT配备1枚活度为7.4E+7Bq的Ge-68密封源，由物理师每周或两周一次质控使用，质控时物理师把密封源从源库按要求取出放到PET/CT检查床指定位置后回到控制室按规定程序进行扫描，扫描结果都通过后结束质控，把密封源取下运回源库。

9.3.3 放射性核素使用量

核医学科工作场所运行后，放射性药物由有销售资质的公司提供。

其中，PET/CT检查F-18药物的用量按不超过370MBq/人，按每个检查日最多实施PET检查30人次，每周工作5天计算（每年工作250天），则日操作总量不超过1.11E+10Bq，年最大操作量2.78E+12Bq。

9.3.4 校准源

本项目PET/CT拟使用1枚Ge-68（V类放射源），活度为7.4E+6Bq，用于PET的图像配准及探头校正，储存在源库内，由物理师每周或两周一次质控使用。

9.3.5 放射性核素分析

F-18物理半衰期很短，主要发射γ射线、正电子（β^+），β^+粒子在体内经湮灭辐射产生两个方向相反和能量均为511keV的γ光子。本项目使用的放射性核素主要物理参数列于表9-1。

表9-1　项目使用的放射性核素主要参数

核素	半衰期	衰变方式	主要射线及平均能量（MeV）
F-18	109.8min	β^+	γ—0.511

9.4 使用放射性核素污染途径分析

9.4.1 正常工况的污染途径

（1）γ射线和X射线贯穿辐射。在进行F-18药物交接、质检、注射、观

察病人和摆位等操作时，操作人员及注射区、候诊区和扫描机房周围停留的公众可能受到 F-18 释放出的γ射线的影响。校准源质控在图像配准及探头校正过程中释出γ射线贯穿屏蔽层，对操作人员产生一定的辐射照射。CT 扫描产生 X 射线。

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

（3）本项目使用的 F-18 放射性药物全部向专业公司购买。在通风橱内对 F-18 进行分装。F-18 放射性药物为液体溶液，不易挥发，且分装时间较短，故使用过程中产生的放射性气体十分微量。

9.4.2 非正常工况的污染途径

操作放射性药物时发生容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，污染清除将产生少量的放射性固体废物。

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

放射源或放射性药物保管不当，发生遗失或被盗，可能造成环境放射性污染。核医学科 PET 中心场所在高活室和源库暂存的放射性同位素，采用双人双锁进行管理，执行使用登记管理制度，可有效防止同位素被盗和丢失事件的发生。放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

表 10　辐射安全与防护

10.1 核医学科 PET 中心辐射安全与防护

（1）核医学科 PET 中心建设方案

新建核医学科 PET 中心拟利用原医工处办公楼一层西侧区域改建。该场所现状布局见图 10-1 所示，其中红色区域为拟改建区域。新建核医学科 PET 中心布局和改建方案：

1）放射性区域的改造，主要集中在建筑物西侧，自南向北分别改造成留观室、废物间、淋浴间、缓冲间、高活室、候诊室、抢救室、PET/CT 室等；非放射性区域的改造，主要为南侧注射前候诊、问诊、预约登记和东北侧的工作人员办公场所。

2）受检者入口设在东南侧，受检者出口设在西南侧，患者出入口设置单向门禁系统，检查后患者由西南侧出口离开 PET 中心。

3）核医学科 PET 中心南侧地下修建放射性废水衰变池房，内设容积 18m^3（3×6m^3）放射性废水衰变池,收集核医学科 PET 中心控制区产生的放射性废水，包括注射后患者卫生间、高活室下水和控制区清洁间产生的废水、缓冲区淋浴水。

4）配套建设两套放射性通风处理设施，其中通风橱设置专用排风管道，经排风管道由西侧延伸至楼顶，风口高于楼顶三米并安装活性炭过滤装置，设有双过滤装置（其中通风橱和排放口分别设置，风速≥1m/s）；另外一套为控制区内 PET/CT 室、2 间注射后候诊室、高活室、患者通道、源库、废物间等场所放射性废气体统一后，经排风管道由西侧延伸至楼顶，风口高于楼顶三米并安装活性炭过滤装置，风机位于楼顶，风量为 3700m^3/h。

新建核医学科 PET 中心改建完毕后，控制区包括 PET/CT 室，源库，高活室，废物间，留观室，抢救室，注射后候诊室含卫生间，患者走廊。监督区包括控制室，医护人员缓冲间，更衣室等。改建后新建核医学科 PET 中心平面布局见图 10-2 和附图 3 所示，通风和放射性废液流向见图 10-3、图 10-4 所示。

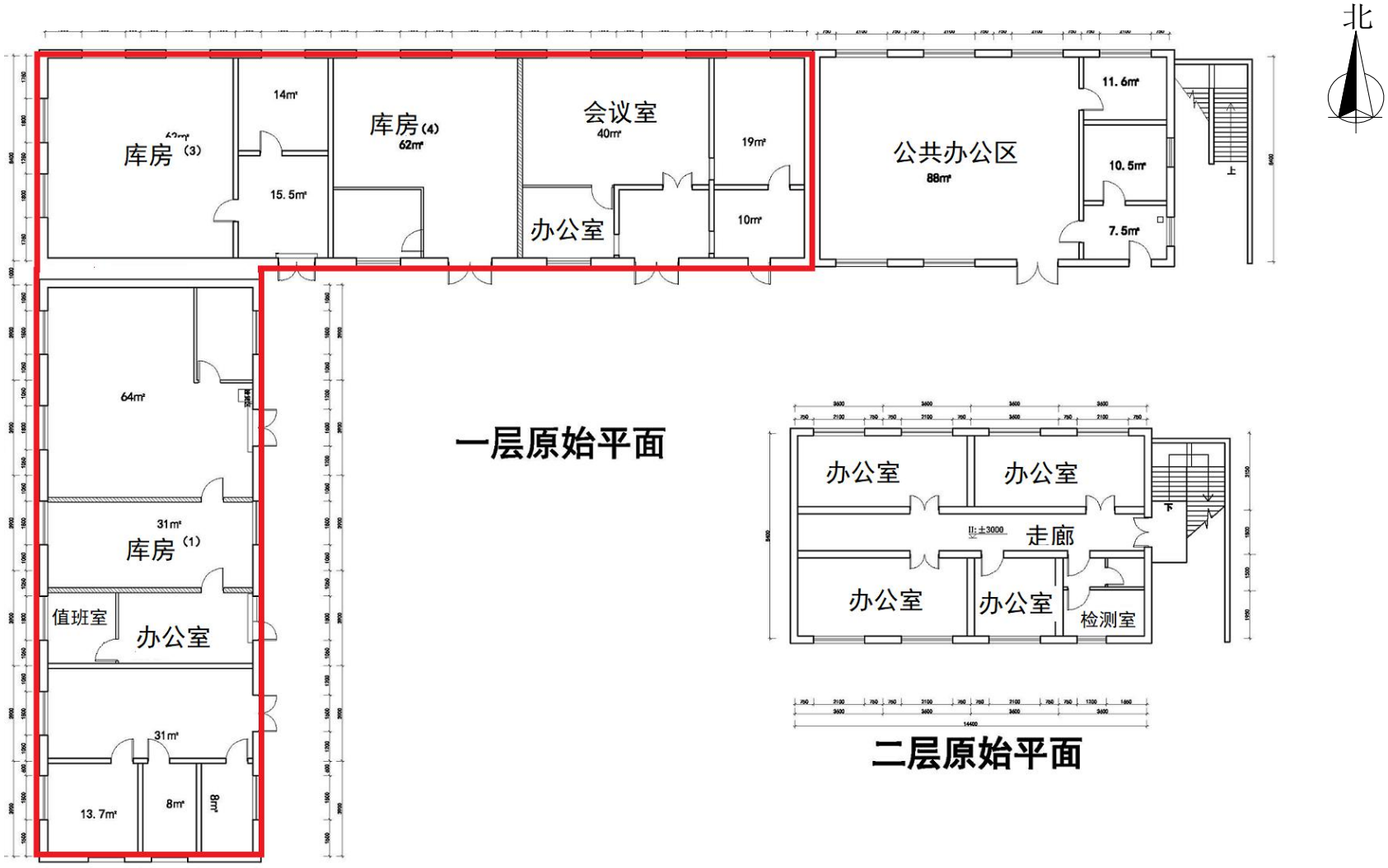

图 10-1　新建核医学科 PET 中心的现状平面布局示意图（红框内区域为 PET 中心改造区）

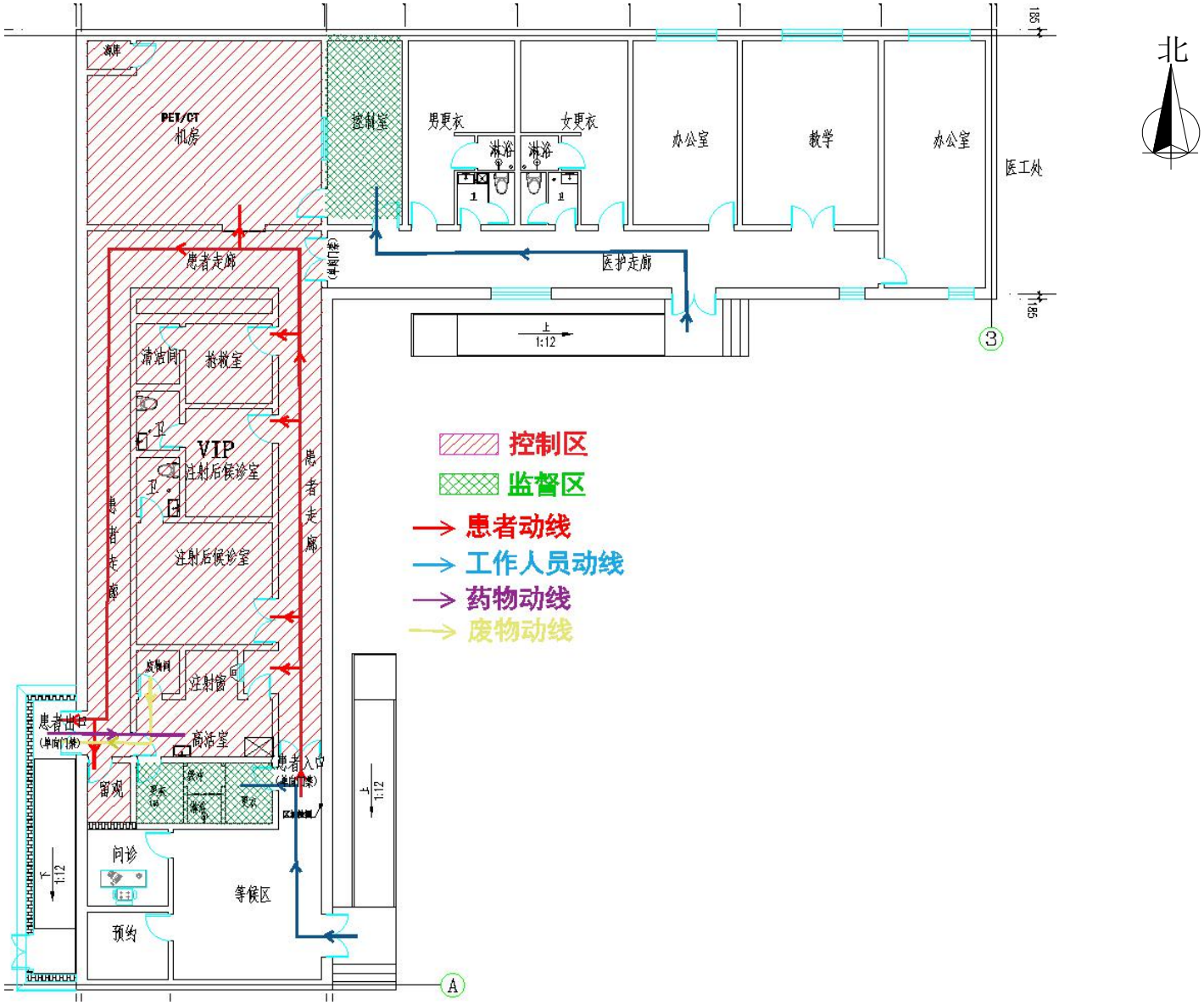

图 10-2　拟建新建核医学科 PET 中心平面布局图（改造后）

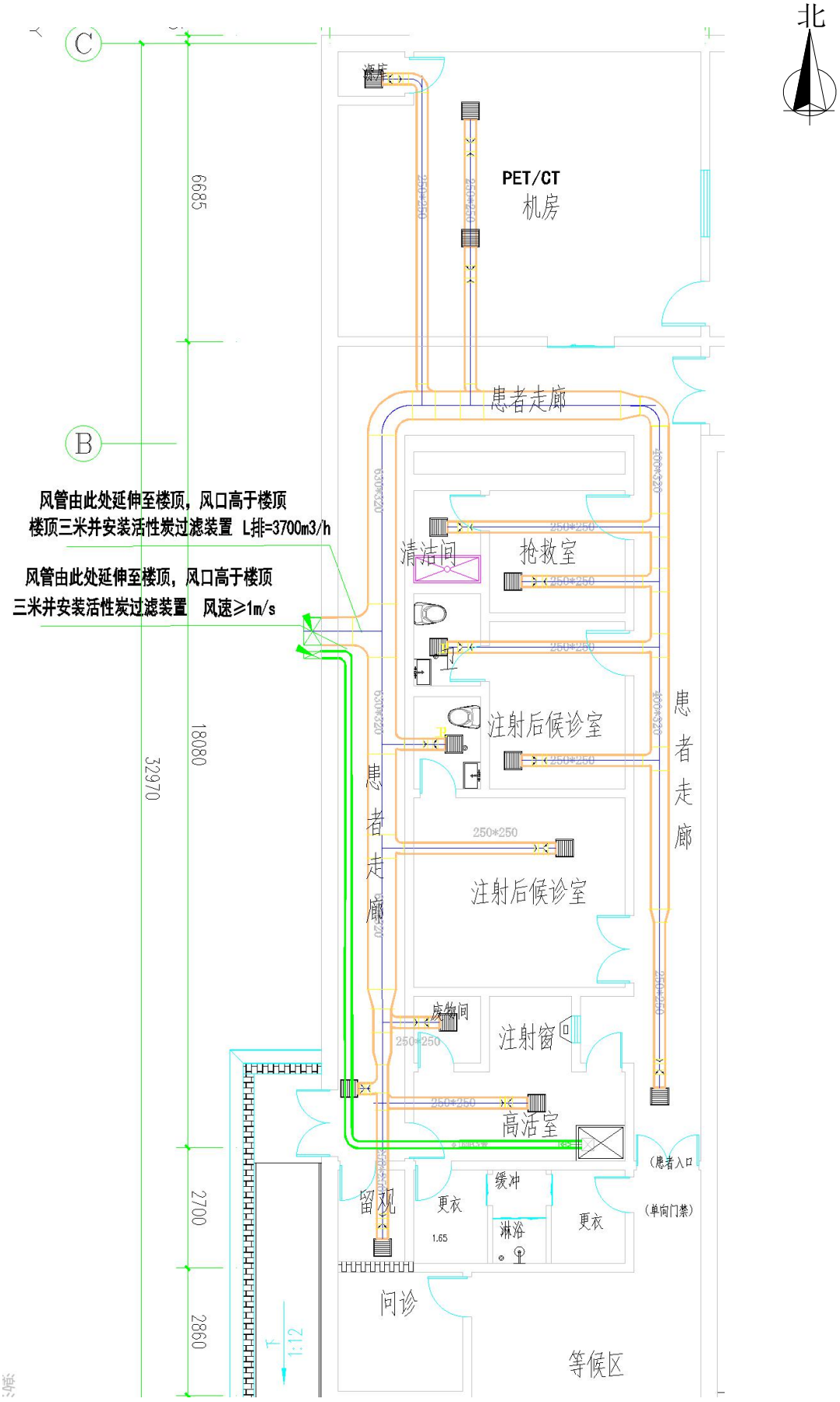

图 10-3　拟建新建核医学科 PET 中心放射性废气通风路由示意图

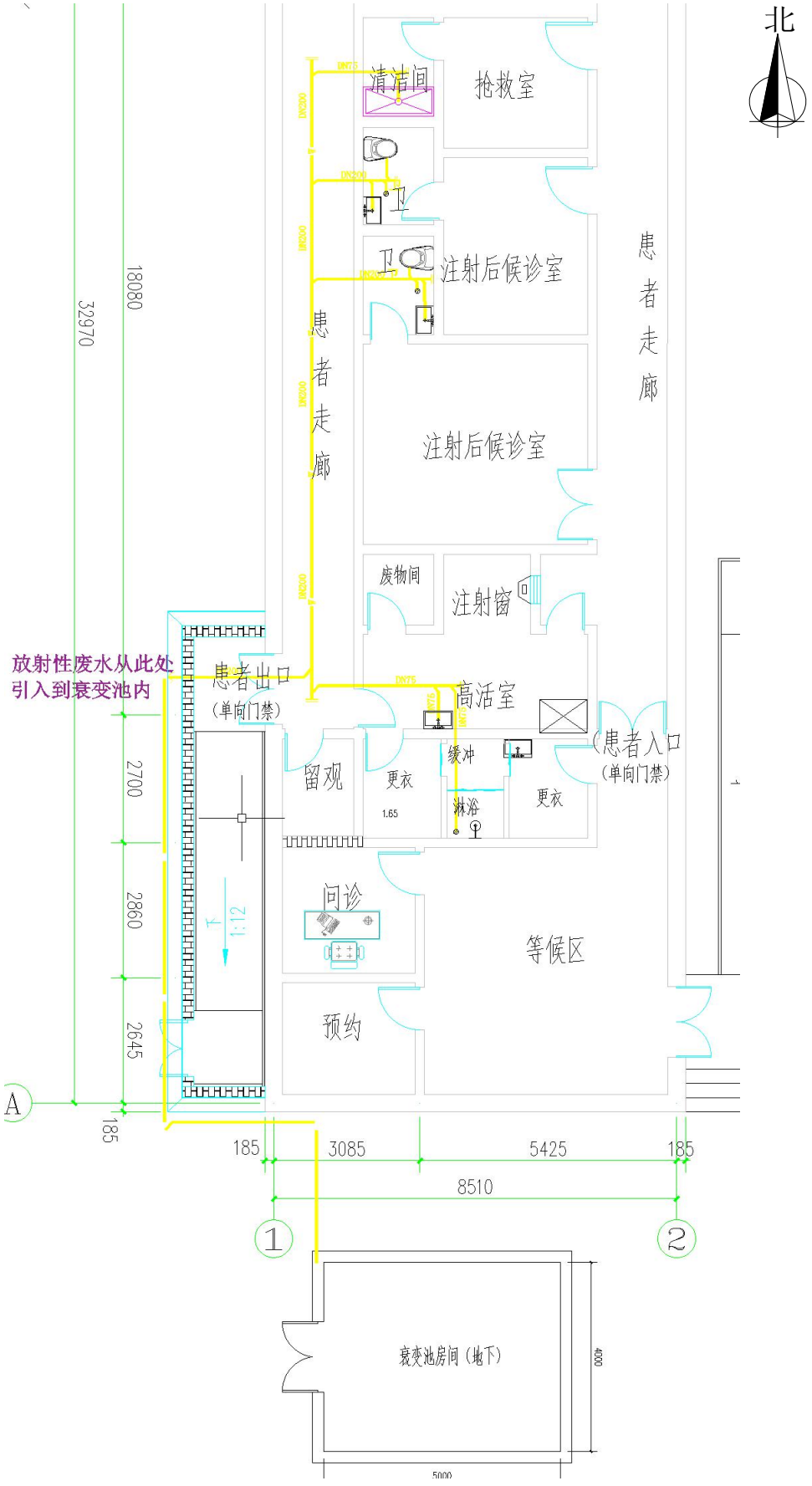

图 10-4　拟建新建核医学科 PET 中心放射性废水路由示意图

（2）辐射屏蔽设计

核医学科PET中心场所利用改造区域周围370mm红砖基础上增加射线防护板（密度为2.5g/cm^3），PET中心控制区内的墙体，主要采用加气混凝土砖+射线防护板，顶棚在现有的120mm混凝土增加60mm硫酸钡水泥（3.8g/cm^3）。核医学PET中心场所整体高度4.5m。

场所根据辐射防护要求，设计了含铅防护门、铅玻璃，专用通风橱，放射性废水衰变池和固体废物间。此外，还配备有防辐射注射窗、铅制废物桶，药品盛装铅盒等防护器具等，以及工作服、拖鞋等工作人员防护用品，改造后实体屏蔽方案见表10-1所示。核医学科PET中心辐射安全防护设施设计要求见表10-2。

表10-1　核医学科PET中心场所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	备注
1	PET/CT室	东墙	200mm加气混凝土砖+104mm射线防护板	控制室
		南墙	200mm加气混凝土砖+104mm射线防护板	患者走廊
		西墙	370mm红砖+39mm射线防护板	太平间
		北墙	370mm红砖+39mm射线防护板	院外铁路区域
		顶棚	120mm 混凝土+60mm硫酸钡水泥	无人区
		控制室门	8mmpb	控制室
		机房防护门	8mmpb	患者走廊
		观察窗	8mmpb当量铅玻璃	控制室
2	源库	东墙	240mm水泥砖	PET/CT室
		南墙	240mm水泥砖	PET/CT室
		西墙	370mm红砖+39mm 射线防护板	太平间
		北墙	370mm红砖+39mm 射线防护板	院外铁路区域
		顶棚	120mm混凝土+60mm硫酸钡水泥	无人区
		防护门	8mmpb	PET/CT室
3	抢救室	东墙	200mm加气混凝土砖+104mm射线防护板	患者走廊
		南墙	200mm加气混凝土砖+104mm射线防护板	VIP注射后候诊室

		西墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	清洁间
		北墙	740mm 红砖	患者走廊
		顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	无人区
		防护门	8mmpb	患者走廊
4	VIP 注射后候诊室	东墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	患者走廊
		南墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	注射后候诊室
		西墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	患者走廊
		北墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	抢救室
		顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	无人区
		防护门	8mmpb	患者走廊
5	注射后候诊室	东墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	患者走廊
		南墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	高活室
		西墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	患者走廊
		北墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	VIP 注射后候诊室
		顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	无人区
		防护门	8mmpb	患者走廊
6	高活室	东墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	患者走廊
		南墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	更衣室
		西墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	患者走廊
		北墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	注射后候诊室
		顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	无人区
		注射窗	50mmpb 当量铅玻璃	患者走廊
		东侧防护门	8mmpb	患者走廊
		西侧防护门	8mmpb	患者走廊
		南侧防护门	8mmpb	更衣室

		通风橱	50mmpb	/
7	废物间	东墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	高活室
		南墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	高活室
		西墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	患者走廊
		北墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	注射后候诊室
		顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	无人区
		防护门	8mmpb	高活室
8	留观室	东墙	240cm水泥砖+130mm射线防护板	更衣室
		南墙	240cm水泥砖+130mm射线防护板	问诊室
		西墙	370mm红砖+39mm射线防护板	患者走廊
		北墙	200mm气块混凝土砖+104mm射线防护板	患者走廊
		顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	无人区
		防护门	8mmpb	患者走廊
9	患者走廊	患者入口门	8mmpb 的防护门	走廊
		东西两侧墙体	370mm红砖+39mm射线防护板	院内道路
		东北侧门	8mmpb的防护门	医护走廊
		患者出口门	8mmpb 的防护门	患者走廊
		顶棚	120mm混凝土+60mm硫酸钡水泥	无人区

说明：依据建设单位提供的资料，红砖密度为 1.6g/cm^3；水泥砖密度为 2.1g/cm^3，铅板的密度为 11.4g/cm^3；混凝土密度不低于 2.35g/cm^3；硫酸钡水泥的密度不低于 3.8/cm^3；射线防护板密度为 2.5g/cm^3。未提供加气混凝土砖的密度，故计算时未考虑其屏蔽。各功能室墙面、地面均为光滑饰面。

表 10-2　核医学科 PET 中心场所辐射安全防护设施设计要求

序号	项目	内容	是否拟设置	备注
1*	A 场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	地面标注控制区和监督区
2*		场所门外电离辐射警示标识	√	出入口、PET/ CT 室防护门、高活室等门上粘贴电离辐射警示标志

3		独立的通风设施（流向）	√	高活室设带屏蔽设计的通风橱
4		有负压和过滤的工作箱/通风橱（乙级以上）	√	拟配有负压通风橱
5		治疗病房病人之间防护（屏蔽、通风）	/	无治疗病房
6*		注射或口服取药用屏蔽	√	配备注射窗口
7		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	√	墙面、地面均为光滑饰面
8		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	√	放射性药物密封于专用屏蔽容器
9*		病人专用卫生间	√	专用卫生间及排水管线
10*		放射性同位素暂存库或设施	√	同位素在高活室暂存，设闭路监控。
11*		放射性固体废物收集容器和放射性标识	√	6 个暂存用废物桶，1 处废水衰变池。
12		安全保卫设施（贮存场所必须）	√	受检者检查区入口、出口均设有门禁系统。源库出入口设防盗门、入侵报警、视频监控等。
13	B 监测设备	便携式监测仪器仪表（污染、辐射水平等）	√	调配 1 台手持辐射检测仪和 1 台表面污染监测仪
14*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个人剂量计
15		个人剂量报警仪	--	--
16		放射性活度计	√	高活室配备活度计
17	C 放射性废物和废液	放射性下水系统及标识	√	18m^3 废水衰变池
18*		放射性固体废物暂存间（设施）	√	设废物间，贮存放射性废物
19		废物暂存间屏蔽措施	√	墙体和铅桶屏蔽
20		暂存间通风系统	√	废物间设一个排风口

21*	D 防护器材	个人防护用品	√	铅玻璃，4 套铅衣，配备一次性医用口罩和手套等
22*		放射性表面去污用品和试剂	√	洗涤灵、酒精和棉球
23		灭火器材	√	1 个干粉灭火器

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/。

10.2 辐射防护措施

（1）实行控制区和监督区分区管理。在控制区患者出入口拟安装单向门禁系统，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。控制区出入口门、PET/CT 防护门、高活室门上张贴电离辐射警告标识，警示无关人员不要进入或者不要长久停留。

（2）通风橱台面和注射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收集罐，患者检查床面铺薄塑料布。

（3）工作人员进入辐射工作区，穿工作服，涉及放射性药物的操作佩戴乳胶手套。工作人员相关操作后应使用仪器及时监测个人防护用品外表面、操作用品和操作场所的表面污染。

（4）外照射防护：注射窗为具有防护功能的铅玻璃窗，可有效减少注射过程中工作人员受照剂量，候诊区、机房均为实体屏蔽。严格根据需要扫描量和药量制备，在保证诊断效果的条件下，尽可能减少放射性同位素的使用量，以降低γ辐射水平，保证人员的受照剂量和周围环境的辐射水平处于可合理达到的尽量低水平。

（5）内照射的防护：高活室配备具有防护功能 50mmPb 当量的通风橱，并带有活性炭过滤器，设备正面配有铅玻璃、观察窗及操作工作孔。在通风橱内分装放射性药物。一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物做为放射性固废处置。通风橱设置专用排风管道，经排风管道由西侧延伸至楼顶，风口高于房顶三米并安装活性炭过滤装置，设有双过滤装置（其中通风橱和排放口分别设置，风机位于房顶，风速≥1m/s）；另外一套为控制区内 PET/CT 室、3 间注射后候诊室、高活室、注射室、患者通道、源库、废物间等放射性废气体统一后，经排风管道由西侧延伸至楼顶，风口高于房顶三米并安

装活性炭过滤装置，风机位于房顶，风量为 3700m^3/h。

通风橱性能：同位素药物分装防护室（通风橱）为负压设备，并带有微负压百级净化的功能，当负压风机进行排风工作时，防护室内为负压状态。

（6）妥善收集固体放射性废物：拟配 6 个铅废物桶（4 个 10mmpb、2 个 15mmPb），其中废物间放 4 个 10L 的铅废物桶及注射窗口和高活室各放 1 个 5L 的铅废物桶（15mmPb）。试剂废弃的放射性药物注射器、诊断试剂盒、包装物、棉棒、一次性用品等物品按类别、日期放入废物间内。放射性固废放置至少一个月后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》A 类固体废物相关要求进行清洁解控处置，并详细记录放射性固体废物暂存、处置管理台账，清晰记录放射性废物的暂存、检测、解控、排放等信息。

（7）放射性废水收集处置：核医学科 PET 中心场所高活室内洗手池废水，控制区清洁废水，以及给药后患者专用卫生间的冲厕废水（A 类核素放射性废水），通过专用管道一并进入 PET 中心放射性废水衰变池。槽式衰变池位于 PET 中心南侧地下衰变池房内，其总容积约为 18m^3（6m^3×3），清洁解控排放的废水，排入医院污水站进一步处理后，最终进入市政污水收集管网，并详细记录“放射性废水暂存、处置管理台账”。

（8）核医学科 PET 中心场所设置源库，用来贮存 V 类校验密封源。拟设置闭路监视和防闯入等技防系统，拟安装有防盗门，以符合公安部门《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》。核医学科 PET 中心场所建立密封校验源管理台帐和使用登记制度，严防放射源和放射性药品丢失。密封源退役时，送交北京市城市放射性废物库。

（9）核医学科 PET 中心调配核医学科现有的 1 台手持辐射检测仪和 1 台表面污染监测仪，用于表面污染和剂量率水平的检测，当工作人员在高活室被污染时（如果知道被污染后马上检测），一般离开前须在缓冲间对污染区进行监测，确保污染物不被带出。

（10）放射性区域拟设置对讲装置和摄像装置，具体位置详见附图 4 和附图 5。

（11）本项目全部辐射工作人员通过辐射安全与防护考核后，持证上岗。

（12）部分患者因身体不便等原因需要家属陪护检查的，将告知其近距离接

触可能受到少量辐射照射的剂量。

10.3 法规符合情况

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

10.3.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

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

表 10-3　执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	应具备条件	落实情况	符合情况
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，应当配有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了由院长担任组长的辐射防护领导小组，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院规定所有新增辐射工作人员，在上岗前将接受生态环境的辐射安全与防护考核，并经考核合格后上岗。每5年重新参加考核，并制定了辐射工作人员考核计划。 首钢医院核医学科 PET 中心启用后拟增配到 7 名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。	近期符合
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。	源库拟安装视频监控和红外报警系统和公共安全管理部门要求的防盗门，落实放射性同位素安全保卫措施。	近期符合
4	放射性同位素与射线装置，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	在核医学科 PET 中心场所控制区出入口处，PET/CT 室门口、高活室门口等位置拟设置放射性警告标识和中文警示说明。机房拟安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。	近期符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐	本项目调配的 1 台手持辐射检测仪和 1 台表面污染监测仪，能够满	符合

	射监测等仪器。	足现在工作的需要。	
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。	进一步完善规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员考核计划、监测方案等。	近期符合
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	高活室内配备通风橱，设置专用排风管道，经排风管道由西侧延伸至楼顶，控制区其它场所放射性废气体统一后，经排风管道也由西侧单独管道延伸至楼顶，排风口过滤后排出。核医学科 PET 中心场所控制区内产生的废水，通过专用管道一并进入放射性废水衰变池，衰变至少 1 个月后排入医院污水管网。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，暂存至少 1 个月后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》作为医疗废物处理。	近期符合
8	有完善的辐射事故应急措施。	拟完善辐射事故应急处理预案。	近期符合

10.3.2《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10-4 所示。

表 10-4 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	落实情况	是否符合要求
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	机房拟设置醒目的电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明。机房安装有门-灯联锁安全装置及工作警示灯。源库出入口拟设工作人员专用门禁、防盗门、入侵报警、视频监控等安全防范设施、技术防范系统等。受检者检查区入口和出口均设有门禁系统。	近期符合
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	医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对放射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医	近期符合

	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。	院将每年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。每天对高活室、注射区、候诊区的表面污染进行自行监测，并做好记录。	
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日前向生态环境局提交年度评估报告。	近期符合
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。	医院规定所有新增辐射工作人员，在上岗前将接受生态环境的辐射安全与防护考核，并经考核合格后上岗。每5年重新参加考核，并制定了辐射工作人员考核计划。 首钢医院核医学科PET中心启用后拟增配到7名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。	近期符合
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。	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）。	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。	已委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	符合

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

表 11　环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

该项目施工活动对环境的影响主要是场所改造过程中产生的噪声、粉尘以及振动等，为了不影响周围环境，在场所改造过程中，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。本项目是对已有房间进行改造，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 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科布局及辐射防护措施分析

（一）选址设计合理性分析

本项目拟将原医工处办公楼一层西侧区域改建成核医学科 PET 中心，为相对独立的一处丙级非密封放射性工作场所，核医学科 PET 中心紧邻四侧均为医院内部，东侧为医工处，西侧为太平间和院内道路，南侧为院内道路，之外为制冷站和现有核医学科，北侧为医院围墙，无楼上、楼下。核医学科 PET 中心东侧距北方工业大学 55 米，南侧、西侧 50m 处为院内办公用地，北侧铁路约 36 米（铁路现已闲置），使用放射性同位素过程中对周围环境和公众的影响较小，该项目核医学科选址基本合理。

（二）建筑布局合理性分析

（1）**总体布局**

本项目核医学科 PET 中心严格按照放射性区域和非放射性区域分开布局，详见图 11-1。非放射性区域主要为 2 部分，一部分是核医学楼（医工处）1 层东北角的医生办公室、淋浴、更衣、教学，另外一部分是核医学楼（医工处）1 层南侧的候诊区、预约登记及问诊区。

放射性区域为“I”型所包围的区域。从南至北分别为留观室、废物间、淋浴间、缓冲间、更衣室、高活室、2 条患者走廊、注射后候诊室及其专用卫生间、VIP 注射后候诊室及其专用卫生间、抢救室及清洁间、PET/CT 机房，PET/CT 机房内设置 1 间源库（用于储藏 PET-CT 校准源）。

核医学科 PET 中心场所辐射工作场所实行分区管理，具体分区情况如图 11-1 所示。其中 PET/CT 机房、高活室、废物间、注射后候诊室及其专用卫生间、VIP 注射后候诊室及其专用卫生间、抢救室、清洁间、留观室、患者走廊等作为控制区进行管理，严格限制非工作人员进入。对于控制区，建设单位拟采取一系列的放射卫生防护与安全措施，在控制区的进出口和适当位置处拟设立电离辐射警告标志，设置防护门的门灯联锁装置，实时摄像监视、指示灯等设施，严格限制无关人员随意进出控制区，保障在正常诊疗工作过程中，无关人员不得在该区内有滞留，以保障该区的辐射安全。

控制室，淋浴间、缓冲间、院内道路等为监督区进行管理，限制无关人员进入。该区不采取专门的安全防护措施，但要定期进行辐射水平检测，如发现问题，则应采取相应的措施。

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

（2）患者就诊流程

患者按照预约时间，到达新建核医学科 PET 中心登记室→到注射前候诊区候诊→轮到患者核医学检查时，从核医科 PET 中心南侧专用患者入口通过门禁进入检查区，在注射区窗口施予药物→在候诊室休息→按检查要求排尽小便→通过对讲装置接到检查通知，进入机房进行扫描检查（候诊室与控制室设有对讲装置）→受检者在扫描检查后，留观片刻，如显像符合要求即从位于西侧带有门禁的防护门离开核医学科 PET 中心工作场所。

可见，受检人员设有专用通道，和医护人员通道不交叉，且受检人员单向流动。受检人员从南侧入口进入核医学科 PET 中心场所控制区，核医学检查完毕后从西侧出口门离开，单向流动，并和医护人员通道不交叉。

（3）工作人员工作流程

- 高活室工作人员：

药物注射人员：护士从东侧工作人员专用入口进入更衣室，在此更换工作服和拖鞋→从缓冲间、更衣室进入高活室分装药物、给受检人员注射药物→离开时，在缓冲间更换工作服和拖鞋，然后离开缓冲间。

➢ 设备扫描操作人员：

PET/CT 操作技师：技师从东北角南侧工作人员专用入口进入→在更衣室更换工作服和拖鞋后进入控制室→在控制室操作设备、在机房内对受检人员进行摆位→工作完毕，在更衣室更换工作服和拖鞋，离开核医学科 PET 中心场所。

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

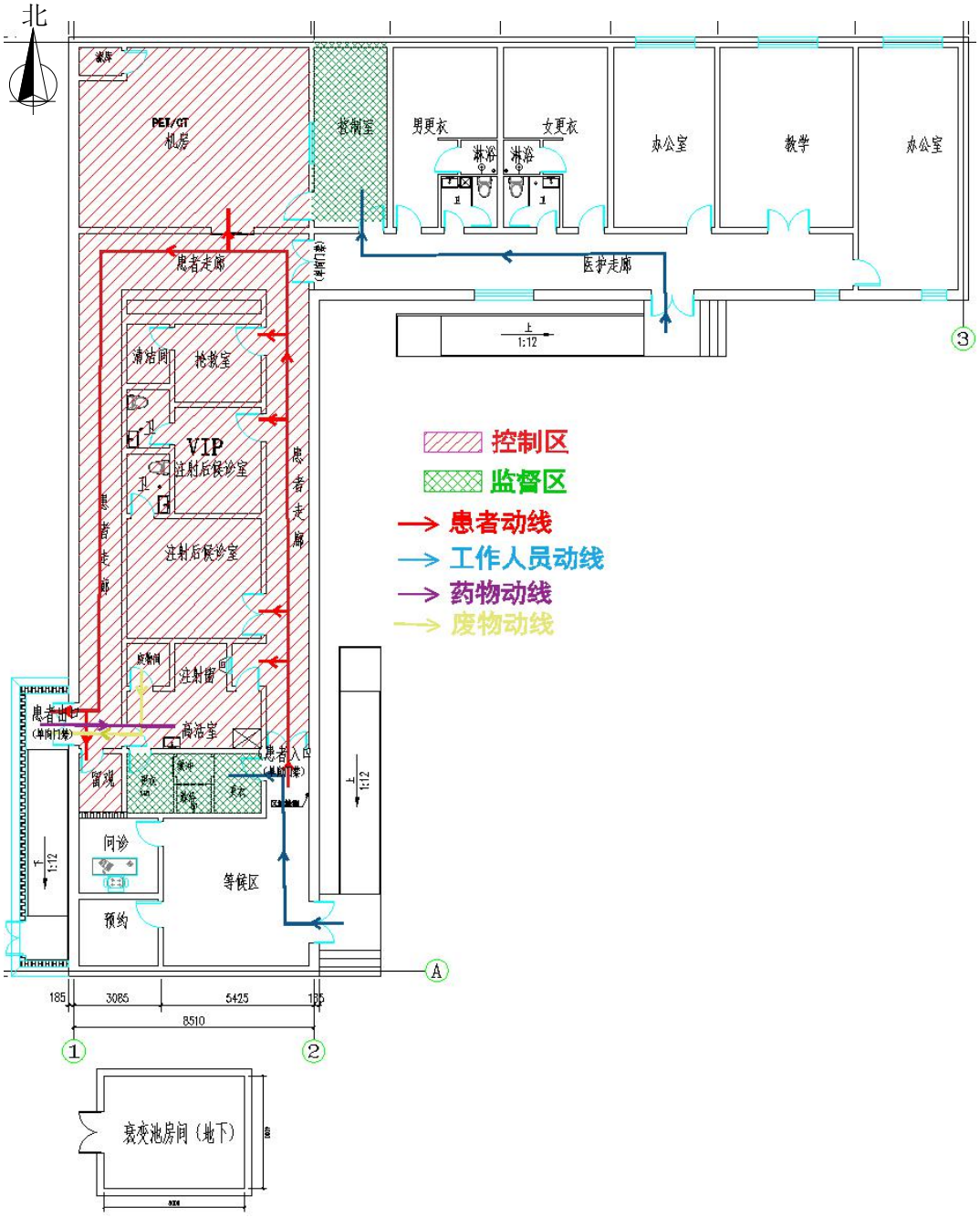

图 11-1　改建后新建核医学科 PET 中心平面布局图

（4）放射性物品流转过程

有资质的供货公司将放射性药物由运输车辆运至 PET 中心西侧，从受检者出口进入核医学科 PET 中心场所，送至高活室门口，进行“点对点”交接，核对放射性药物规格和数量，办理签收手续，然后将放射性药品暂存高活室备用，核医学科 PET 中心场所高活室内将安装监控装置，以满足生态环境和公安部门关于放射性物品存放的要求。

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

（5）放射性废物转移路线

注射窗旁设置一个含15mm铅的废物桶（5L），存放废弃的放射性药物、注射器、包装物、棉棒、一次性用品等，病人注射后候诊室各配备1个普通废物桶，内衬不易破损的塑料袋，收集病人候诊期间产生的放射性废物，次日早晨标注日期等转移至废物间。废物间设置4个含5mm铅的废物桶（10L），废物桶交替使用，一个废物桶储存满后更换另一个，待放射性固废放置一个月后，依照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》中A类固体废物管理要求，解控作为医疗废物处置，从控制区西侧出口运出，并记录“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）放射性废水暂存和排放

核医学 PET 中心产生的放射性废水为给药受检人员专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的洗涤废水、缓冲区淋浴水，放射性区域高活室、患者注射后专用卫生间等区域分别设置洗手池，洗手池的水龙头均设为手触感应式。这些放射性废水经独立的排水管道从地面下排入位于地下二层中部的放射性废水衰变池(槽式，总容积为 18m^3，6m^3/池×3 池，衰变池废水排放系统示意图见图 11-2），衰变池暂存后排出的废水，将经医院污水管网，最后排至市政污水处理厂。

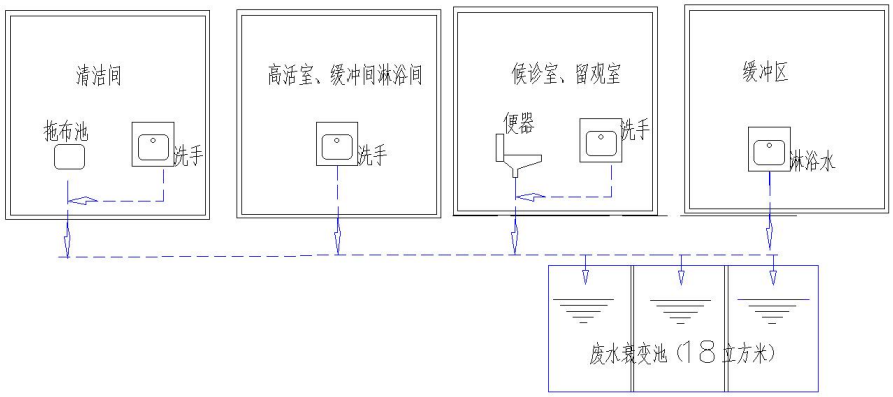

图 11-2　新建核医学科 PET 中心衰变池废水排放系统示意图

（7）放射性废气组织路径

配套建设两套放射性通风处理设施，其中通风橱设置专用排风管道，经排风管道由西侧延伸至楼顶，风口高于楼顶三米并安装活性炭过滤装置，设有双过滤装置（其中通风橱和排放口分别设置，风机位于楼顶，风速≥1m/s）；另外一套为控制区内 PET/CT 室、2 间注射后候诊室、高活室、留观室、患者通道、源库、废物间等放射性废气体统一后，经排风管道由西侧延伸至楼顶，风口高于楼顶三米并安装活性炭过滤装置，风机位于楼顶，风量为 3700m^3/h。活性炭过滤装置，更换周期一年。

改建核医学科 PET 中心按照规划开展诊疗项目的类别以及工作管理便捷性的原则进行布局设计。从功能分区来看，接诊等候、扫描前等候、工作人员操作、核素操作和扫描检查区域划分明确，相对隔离，满足了核医学诊疗管理要求，可以尽量避免公众和医护人员受到不必要的照射。同时考虑了放射性“三废”的收集、暂存、排放等措施。建议医院加强对核医学科诊疗工作秩序的管理，告诫注射药物后的待检者在规定的区域候诊，提醒陪护者和无关人员避免进入核素诊断工作区内。

（三）出入口控制

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

2） 医护人员出入口控制：在医务人员进入高活室、办公区的入口、医护走廊西侧防护门、高活室东侧防护门、高活室南侧防护门都拟设置门禁系统，

防止患者和其他无关人员误入高活室等工作人员操作区域。高活室西侧送药入口防护门拟设为常闭门。

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

11.2.2 贯穿辐射分析

11.2.2.1 估算方法

核医学科使用 F-18 正电子放射性药物进行 PET/CT 检查，根据表 9 污染源与污染途径分析，在进行药物交接、注射、观察病人和摆位等操作时，操作人员及注射区、注射后候诊区和扫描机房周围停留的公众可能受到核素药物释放出的γ射线的影响。在此主要分析上述药物对人员的贯穿辐射影响。

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

11.2.2.2 PET 检查辐射影响分析

（1）放射性同位素的工作负荷

开展 PET/CT 检查 30 例，全年开机 250 天，共检查 7500 人次，扫描时间不大于 20min/人次（平均按 15min/人次），则全年累计总扫描时间约 2000h/a；注射药物后单例平均候诊时间不超过 60min/人次，在核医学科内设置了注射后候诊室，PET 候诊室每年的候诊时间保守按 2400h 估算（每天 8h 估算）。

（2）辐射源项

1） 根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 F-18 的 K_γ常数为 0.143μSv·m^2/（h·MBq），给患者注射 370MBq F-18 后，距离患者 1m 处的剂量率为 34μSv/h（考虑患者自吸收因子 0.36），铅屏蔽的十值层 *TVL*=16.6mm，混凝土屏蔽的 *TVL*=176mm（ρ=2.35t/m^3），射线防护板的 *TVL*=165mm（ρ=2.5t/m^3，按密度换算）。

2）F-18 显像药物，需要在核医学科再次分装，故高活室需要考虑显像药

物分装环节对环境的影响。每次最大分装量为 200mCi（每次约 15 人次用药量），操作上述活度的溶液，1m 处的剂量率为 1058μSv/h，储存在通风橱内有 50mmPb 的铅罐和 50mmPb 通风橱屏蔽（100mmPb 的衰减因子为 9.46E-7），因此在储存状态对环境的影响可忽略。

3）注射后候诊室最多停留 2 名受检者。

4）参照《核医学辐射防护与安全要求》（报批稿）要求：放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 处（人员操作位）的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h（在北京肿瘤医院分装工作人员腹部位的实测值为 2.2μSv/h），保守取人员操作位的周围剂量当量率 5.0μSv/h。

（3）机房周围不同位置的附加剂量水平

根据 AAPM Task Group 108 报告，注射 F-18 核素后经过（60min、75min）后的活度衰减因子为 0.68、0.62，每人候诊或检查期间（60min、15min）平均活度相对检查初始的活度因子分别为 0.83、0.95。

注射核素后患者周围不同场所的最大附加剂量率见表 11-1，同时存在 2 名注射后患者情况下的剂量率叠加情况见表 11-2，核医学科 PET 中心相关场所估算点位置见图 11-3 和图 11-4。

表 11-1　注射核素后患者周围不同位置的剂量率

位置		距患者距离（m）	屏蔽材料与厚度	衰减因子	屏蔽后附加剂量率（μSv/h）	备注
PET/CT 室	东墙外控制室 A	5.7	加气混凝土砖 +104mm 射线防护板	2.34E-1	1.67E-1	工作人员
	南墙外患者通道 B	3.7	加气混凝土砖 +104mm 射线防护板	2.34E-1	3.96E-1	控制区
	西墙外太平间 C	3.6	370mm 红砖+39mm 射线防护板	2.12E-2	3.79E-2	公众
	北墙外院外铁路区域 D	3.8	370mm 红砖+39mm 射线防护板	2.12E-2	3.40E-2	公众
	控制室门 E	6.2	8mm 铅	3.30E-1	1.98E-1	工作人员
	观察窗外 F	5.7	8mm 铅当量	3.30E-1	2.35E-1	工作人员

	机房门外 G	4.6	8mm 铅	3.30E-1	3.60E-1	控制区
	楼上楼顶	4.5	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	5.85E-2	6.68E-2	无人区
VIP 注射后候诊室	东侧防护门外 H	3.3	8mm 铅	3.30E-1	1.03	控制区
	东侧楼外 I	4.2	加气混凝土砖+143mm 射线防护板+370mm 红砖	4.98E-3	9.59E-3	公众
	楼上楼顶	4.5	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	5.85E-2	9.82E-2	无人区
注射后候诊室	东墙外患者走廊 J	1.8	加气混凝土砖+104mm 射线防护板	2.34E-1	2.46	控制区
	南墙外注射窗 K	4.0	加气混凝土砖+104mm 射线防护板	2.34E-1	4.98E-1	工作人员
	西墙外患者走廊 L	1.4	加气混凝土砖+104mm 射线防护板	2.34E-1	4.06	控制区
	南墙外通风橱操作位 U	6.2	加气混凝土砖+104mm 射线防护板+8mm 铅	7.72E-2	6.83E-2	工作人员
	防护门外 N	2.9	8mm 铅	3.30E-1	1.33	控制区
	东侧楼外 O	3.7	加气混凝土砖+143mm 射线防护板+370mm 红砖	4.98E-3	1.24E-2	公众
	西侧楼外 M	3.3	加气混凝土砖+143mm 射线防护板+370mm 红砖	4.98E-3	1.55E-2	公众
	楼上楼顶	4.5	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	5.85E-2	9.82E-2	无人区
注射室	东侧楼外 P	3.6	370mm 红砖+39mm 射线防护板	2.12E-2	5.57E-2	公众
	楼上楼顶	4.5	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	5.85E-2	9.82E-2	公众
高活室	患者入口 V	2.2	50mm 铅+8mm 铅	3.21E-4	1.24E-3	公众

	南侧更衣室 W	0.9	50mm 铅+加气混凝土砖+104mm 射线防护板	2.28E-4	1.49E-2	工作人员
源库	西墙外太平间 Y	1.3	370mm 红砖+39mm 射线防护板	2.12E-2	1.76E-2	公众
	北墙外院外铁路区域 Z	1.1	370mm 红砖+39mm 射线防护板	2.12E-2	1.26E-2	公众
	楼上楼顶	4.5	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	5.85E-2	2.89E-3	无人区
留观室	东墙外更衣室 Q	1.1	240cm 水泥砖+130mm 射线防护板	9.78E-2	1.65E-1	工作人员
	南墙外问诊室 R	1.3	240cm 水泥砖+130mm 射线防护板	9.78E-2	1.99E-1	公众
	南墙外问诊室工作人员操作位 S	3.0	240cm 水泥砖+130mm 射线防护板	9.78E-2	3.46E-2	工作人员
	西墙外患者走廊 T	1.6	370mm红砖+39mm射线防护板	2.12E-2	1.69E-1	公众
	患者出口	3.2	16mm 铅	1.09E-1	2.17E-1	公众
	楼上楼顶	4.5	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	5.85E-2	5.89E-2	无人区

注：依据建设单位提供的资料，红砖密度为 1.6g/cm^3；水泥砖密度为 2.1g/cm^3，铅板的密度为 11.4g/cm^3；混凝土密度不低于 2.35g/cm^3；硫酸钡水泥的密度不低于 3.8/cm^3；射线防护板密度为 2.5g/cm^3。未提供加气混凝土砖的密度，故计算时未考虑其屏蔽。源库周围剂量以桶源活度（7.40E+6Bq，1m 处剂量率为 1.0μSv/h）不考虑铅桶屏蔽下估算所得。屏蔽后剂量率由公式 $D1=0.64\times K_{\gamma}\times A_0\times B\times R_{tU}/d^2$，$B=10^{-\frac{\chi}{TVT}}$ 算出，其中 A_0 为给患者注射活度，χ为墙体厚度，R_{tU}为注射后患者候诊期间和检查期间的衰减因子。上表估算的剂量率为初始的活度的剂量，PET/CT 室的剂量率考虑候诊期间和检查期间的衰减因子。

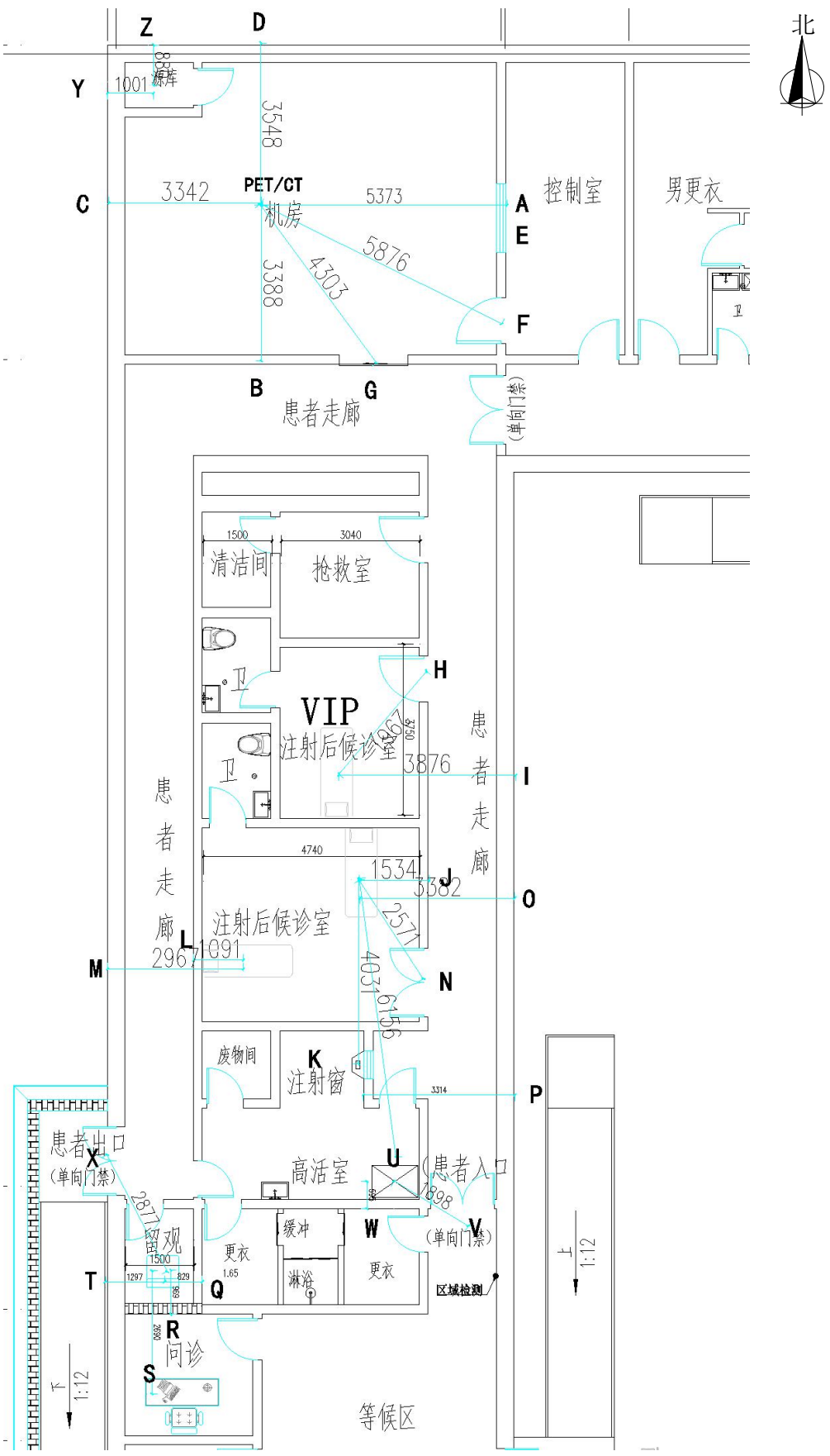

图 11-3　核医学科 PET 中心相关场所估算点位置图

表 11-2　主要位置剂量率叠加情况

位置	距离（m）	有效屏蔽材料与厚度	衰减因子	屏蔽后附加剂量率（μSv/h）	累加剂量率（μSv/h）
候诊室东侧楼外 O1（公众）	3.7	加气混凝土砖+143mm 射线防护板+370mm 红砖	4.98E-3	1.24E-2	1.63E-2
	6.6			3.88E-3	
候诊室西侧楼外 M1（公众）	3.3	加气混凝土砖+143mm 射线防护板+370mm 红砖	4.98E-3	1.55E-2	2.01E-2
	6.1			4.55E-3	
候诊室南侧注射窗 K1（工作人员）	4.0	加气混凝土砖+104mm 射线防护板	2.34E-1	4.98E-1	8.36E-1
	3.4	155mm 射线防护板*	1.15E-1	3.38E-1	
候诊室南侧通风橱位 U1（工作人员）	6.2	加气混凝土砖+104mm 射线防护板+8mm 铅	7.72E-2	6.83E-2	2.51E-1
	5.5	130mm 射线防护板*	1.63E-1	1.83E-1	

备注：表中标*为斜射有效厚度。

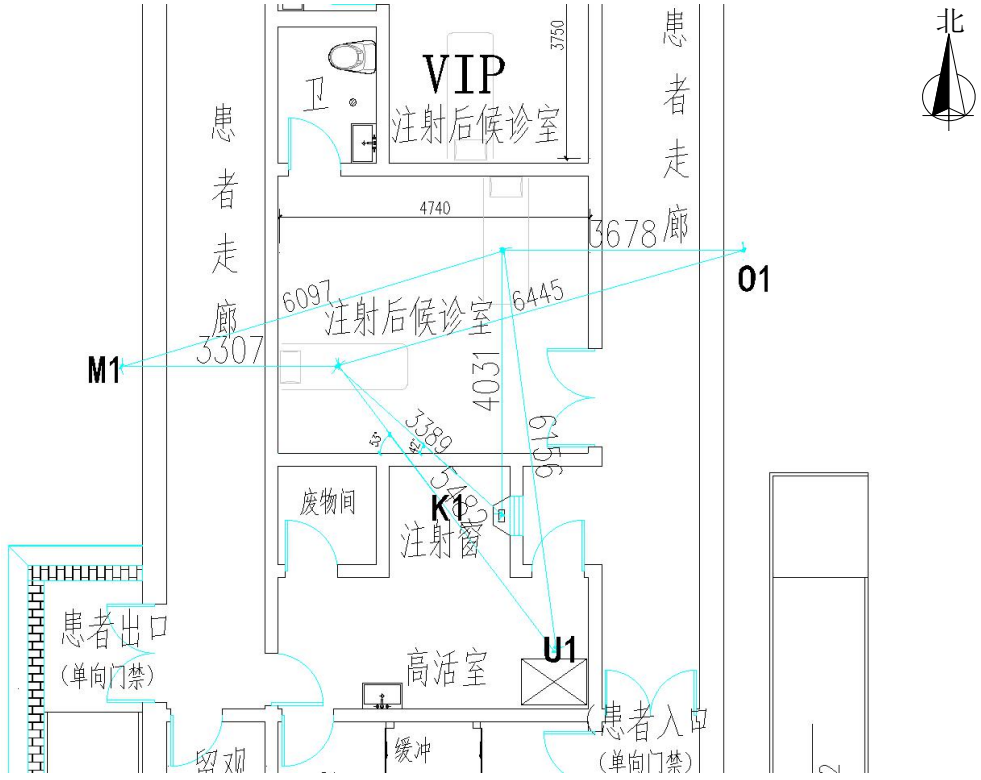

图 11-4　PET 候诊室估算点位置图（2 名患者同时候诊）

由表 11-1 和表 11-2 可见：控制区边界外的普通区域和监督区，如控制室、

缓冲间、患者出入口等位置，最大附加剂量率约为 0.22μSv/h（患者出口处），满足本项目辐射场所控制区边界辐射剂量率小于 2.5μSv/h 的要求。

（4）周围公众受照剂量估算

每个工作日开展 PET/CT 检查 30 例，全年开机 250 天，共检查 7500 人次，扫描时间不大于 20min/人次（平均按 15min/人次），则全年累计总扫描时间约 1875h/a；注射药物后单例候诊平均时间 60min/人次，在核医学科内设置了注射后候诊室，PET 候诊室每年的候诊时间保守按 2000h 估算（每天 8h 估算）。

以每年开展 7500 人次 PET/CT 检查，每次 PET/CT 总扫描时间为 15min 计，全年 PET/CT 机房内受检者停留总时间 1875h。给药后候诊室内受检者停留时间按 2000h/a，药物注射时间为 30s/人，注射区全年累计总注射时间 62.5h。药物分装时间 2min/人次，全年累计分装时间为 250h，留观室受检人员停留时间 1250h（100%受检人员留观 10min）。核医学科周围公众区域附加剂量率估算结果见表 11-3。

表 11-3 给出了公众可能受照剂量估算结果。可见，PET 检查对公众的辐射照射剂量最大不超过 67.5μSv/a（西墙外太平间，居留因子取 1），对医院其他工作人员的附加剂量贡献不大于 17μSv/a，均满足本项目设定的 100μSv/a 的剂量约束值要求。

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

表 11-3　PET 相关场所主要位置的年附加剂量估算

位置		屏蔽后附加剂量率（μSv/h）	居留因子	全居留时间（h/a）	年附加剂量（μSv/a）
PET/CT 室	西墙外太平间 C	3.79E-2	1	1875	6.75E+01
	北墙外院外铁路区域 D	3.40E-2	1/16	1875	3.79E+00
VIP 注射后候诊室	东侧楼外 I	9.59E-3	1/16	2000	9.95E-01
注射后候	东侧楼外 O	1.63E-2	1/16	2000	1.69E+00

诊室	西侧楼外 M	2.01E-2	1/16	2000	2.09E+00
注射室	东侧楼外 P	5.57E-2	1/16	62.5	2.18E-01
高活室	患者入口 V	1.24E-3	1/16	250	1.94E-02
源库	西墙外太平间 Y	1.76E-2	1	2000	3.52E+01
	北墙外院外铁路区域 Z	1.26E-2	1/16	2000	1.58E+00
留观室	南墙外问诊室 R	1.99E-1	1/16	1250	1.55E+01
	西墙外患者走廊 T	1.69E-1	1/16	1250	1.32E+01
	患者出口	2.17E-1	1/16	1250	1.70E+01

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

（5）工作人员年受照剂量

1）工作人员进行分装同位素环节时受照剂量

该场所只有注射 F-18 核素，直接送到 PET/CT 场所高活室（分装室），放置通风厨内，进行分装后提供给病人注射，工作量饱和时一天两次供药，F-18 核素在储存状态情况下对工作人员的附加剂量影响很小，参照在北京肿瘤医院分装工作人员腹部位的实测值为 2.2μSv/h（《核医学辐射防护与安全要求》（报批稿）要求：放射性药物分装的通风柜外表面 30cm 人员操作位处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h），保守取人员操作位的胸部位周围剂量当量率 5.0μSv/h（包括候诊室注射患者对分装位附加剂量 0.251μSv/h 的影响）。分装操作时间短，全年累计分装时间为 250h，则工作人员所受的年附加剂量为 1250μSv。

2）工作人员为患者进行药物注射环节的受照剂量

据《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radionuclide And Radiation Protection Data Handbook 2002]给出：距活度为 1MBq 的 F-18 药液时，对距 30cm 处人的深部当量剂量率为 1.81×10^{-3}mSv/h，注射 370MBq 的 F-18 距 30cm 处人的深部当量剂量率为 670μSv/h。分装时采用了具有 50mm 铅防护功能的铅玻璃进行防护，剂量率可以降低两个量级（在约 340MBq 的注射量情况下，北京肿

瘤医院工作人员腹部位的实测值为 6.6μSv/h），本项目衰减后值取 10μSv/h（包括候诊室注射患者对注射位附加剂量 0.836μSv/h 的影响）。注射操作时间短，每人次的注射时间为 30s，年总操作时间约 62.5h，则工作人员所受的年附加剂量为 625μSv；距注射器手指处的剂量率为 18mSv·min^{-1}/（370MBq），尽量减少手部直接接触，注射可采用“三通”装置或使用带有屏蔽套的注射器等措施。

3）工作人员在 PET/CT 室指导病人摆位环节的年受照剂量

考虑用药后候诊期间药物活度的衰减和患者的自吸收，注射 370MBq 的 F-18 患者到 PET/CT 检查时（经过了 60min 衰变），距患者 100cm 处摆位环节时人的深部当量剂量率为 23.1μSv/h（34μSv/h×0.68，在北京肿瘤医院工作人员摆位的实测值为 13.5μSv/h），全年进行检查人数 7500 人次，每个病人摆位 30s（1m 处），年总摆位时间约 62.5h，则工作人员共所受到的年附加剂量 1444μSv，核医学科制度规定患者主要以广播指导摆位为主，因此实际摆位环节的年附加剂量远低于 1444μSv。

4）PET/CT 室控制室内工作人员的年受照剂量

由表 11-1 可知，PET/CT 控制室内的工作人员的年附加剂量约为 441μSv（0.235μSv/h×1875h）。

PECTCT 中 CT 机为Ⅲ类射线装置，工作条件低于诊断用 CT 机，机房的防护能力和评价依据对照表见表 11-4 所示。PET/CT 机房的屏蔽设计满足标准（GBZ130-2013）的防护要求，且 CT 出束时工作人员都是隔室操作，因此隔室操作的工作人员附加剂量可忽略。

表 11-4　PET/CT 室的防护能力和评价依据对照情况

场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽材料及厚度	等效铅当量	标准要求	是否符合标准要求
PET/CT 室	东、南墙	200mm 加气混凝土砖+104mm 射线防护板	8.0mm	一般工作量：≥2mmPb；较大工作量≥2.5mmPb	是
	西、北墙	370mm 红砖+39mm 射线防护板	6.0mm		是
	顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡水泥	7.0mm		是
	控制室门	8mm 铅	8mm		是
	机房门	8mm 铅	8mm		是

5）质控时工作人员的年受照剂量

保守假设物理师使用 7.4MBq 桶源每周质控一回，根据 AAPM Task Group 108 报告，核素 Ga-68 的 K_γ常数为 0.134μSv·m^2/（h·MBq），距离质控源 1m 处的剂量率为 1.0μSv/h，每次接触时间 10min，物理师的年附加剂量约为 8.33μSv（1.0μSv/h×8.33h）。

11.2.2.3 核医学科工作人员受照剂量总结

根据以上估算，核医学科的附加有效剂量如表11-5。

表 11-5　核医学科工作人员各环节附加有效剂量（mSv/a）

环节	分装	注射	摆位	控制室	质控
F-18 核素	1.25	0.625	1.44	0.44	8.33μSv
合计	1.88		1.88		8.33μSv
备注	由护士完成		由两名技师完成		物理师完成

本项目每名护士、技师和物理师年受照附加剂量分别不大于 1.88mSv、1.88mSv、8.33μSv，由于 PET 中心启用后，现有核医学就办理退役处理，不存在辐射工作的累加情况，因此本项目工作人员和公众年受照总剂量分别不大于 1.88mSv 和 67.5μSv，低于本项目设定的年剂量约束值 5mSv/a 和 100μSv 要求。

11.2.3 放射性废物产生及排放情况

（1）放射性废气

核医学科高活室内设计有通风橱，安装独立的通风系统。高活室通风橱可能产生的废气通过排风管道引至楼顶排出。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。含 F-18 显像用药物药物物理性质稳定。静脉注射给药属很简单操作。本项目药物活度测定和抽取操作也属于很简单操作。正常工作情况下，活度测定和注射操作不会产生气溶胶和蒸汽等，不会造成工作环境的空气污染。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，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 30 天后并经检测，满足解控水平后按照普通医疗废物进行处置。

若操作放射性物质发生意外泼洒情况时，经过吸附收集处理后，可能有微量的放射性物质随挥发性废气，通过排风系统排放至周围环境空气中。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剂量贡献很小。

（2）放射性液体废物

核医学科位于医院东北角核医学楼（医工处）内，核医学科高活室内产生的废水、给药后患者专用卫生间产生的废水、控制区清洁废水、缓冲区淋浴水将通过专用管道一并汇入位于 PET 中心南侧地下放射性废水衰变池，废水通过衰变后排放至医院污水处理站进一步处理后，最终进入市政污水管网。

1） **衰变池结构**

- 箱体为 3 个 304 不锈钢箱体组成，箱体每个容积为 6m³，衰减箱结构焊接牢固，内设拉撑，保证衰减箱不因水压造成变形，衰减箱位于四周墙体厚度为 20cm 砼的衰变池室内。
- 总容积约为 18m³ (6m³/槽×3 槽）。衰变池平剖面图见附图 6 所示。

2）**衰变池控制和管理**

- 衰变池采用间歇式处理方式，配备系统一套，由程序式 PLC 系统控制，全程控制放射性废液流况，人机界面讯息显示，监视/显示/控制/报警，历史排放记录存档及查询。
- 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。
- 系统与每个箱体内设有液位传感器相连，达到液位上限后，该衰减池放射性专用阀会自动关闭，打开另外一个池体的电动阀开始存放放射性废液，每一步骤都是有程控式 PLC 控制系统来完成，无需人工清理，既环保又安全；本系统设有取样箱，监管人员取样时无需进入衰减池房间即可取样，避免取样时受到照射。
- 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”各衰变池循环运作。
- 内置设备泵体采用切割式潜水泵，可将固体杂质粉碎成颗粒排除，阀门采用电/手动双控制球阀，为后续设备维护检修提供保障。
- 放射性区域废水流入衰变区域，此时 A1 电动阀打开，废水流入 1#衰变池，其内置液位计检测经检测达到预设定高液位时经 PLC 处理信号此时关闭 A1 电动阀开始计时，同时开启 A2 电动阀，放射性废水流入 2#衰变池，当 2#衰变池达到高液位时关闭 A2 电动阀开始计时，同时开启 A3 电动阀，放射性废水流入 3#衰变池，当 3#衰变池达到高液位时关闭 A3 电动阀开始计时，再次开启 A1 电动阀，再次排入 1#衰变池（此时

为排空状态）完成进水一个循环。

- 池壁和池底接缝处采取防渗措施。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。

3）**废水产生排放情况预测**

核医学科 PET 中心场所设置给药受检人员专用卫生间。按照所有受检者每人次 1 次入厕，每次入厕产生放射性废水的总量为 6L，另外高活室（洗手池和拖布池）产生的废水也将排入衰变池，预计产生量为 100L/d，每月工作 23 天计，则放射性废水的月最大产生量约为 100L/d×23d/月+6L/人×1250 人=6.05m^3，衰变池的总容积约为 18m^3(6m^3/槽×3 槽），废水实际可暂存 2.0 个月，医疗机构核医学科工作人员一般不会发生污染需要缓冲淋浴的情况存在，即使偶尔发生一回，淋浴废水一次不超过 100L，加上这 100L 核医学科 PET 中心总放射性废水暂存衰变也超过 30 天，满足《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》中 A 类放射性废水暂存 30 天可直接排放的管理要求。排放时将在“放射性废水暂存、处置管理台帐”上详细记录解控排放废水所含核素、体积、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息。

由于本项目只使用非密封放射性核素 F-18，放射性半衰期较短，且废水排放量较少，废水中放射性核素的活度浓度也较低。因此，废水输送和贮存过程放射性核素衰变产生的辐射对周围环境的影响十分轻微。

（3）放射性固体废物

核医学科 PET 中心场所按需申请放射性药物，如有剩余的放射性药物，连同包装容器暂存于高活室自行衰变。高活室内配置 2 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，标注日期于次日早晨转移至废物间内的废物桶内。本场所按全年开展核素诊疗 7500 人次，平均每人次产生含放射性固体废物 0.01kg，则项目满负荷运行年产生量约 75kg。放射性废物暂存至少一个月，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。

核医学科 PET 中心场所每年更换通风橱活性炭过滤器，预计额外产生 15kg 固体废物（每个不大于 5kg），拆下的废弃滤材将妥善收集，密封包装暂存于废

物间，按照放射性固体废物进行暂存，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。

依据《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，本项目使用核素为 A 类，放射性固体废物在废物间内暂存衰变时间超过 30 天后，使用经检定或校准合格的监测仪器对废物逐袋进行表面巡测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且β表面污染水平小于 0.8Bq/cm^2，可对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。

11.3 异常事件分析与防范建议

（1）事件（故）分析

本项目只使用 F-18 作为显像药物，患者在医院的驻留时间短，在正常营运情况下对于公众和周围环境是安全的。但是，如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

1）放射性药物意外泼洒、泄漏、丢失

由于工作人员操作不熟练或其他原因造成工作时放射性药物撒漏以及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）建立放射性药物使用管理制度，制定放射性药物和放射源操作技术规程

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；

2）安保措施：核医学科 PET 中心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），墙体采用实心砖屏蔽，防护门采用铅屏蔽，注射窗口采取 50mm 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 6 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，定期进行清洁解控处置。设置放射性废水衰变池，将放射性废水暂存处置，符合清洁解控要求排放。活性炭过滤器一年更换一次，暂存后清洁解控处置。

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。

7）衰变池辐射防护与安全管理

本项目衰变池箱体为3个304不锈钢箱体组成，四周为20cm混泥土，特别关注池壁和池底的防渗处理。施工单位要进行严格的渗漏检测，确保放射性废水在暂存期间不发生渗漏，防止污染地下水。

放射性废水排入衰变池之前的管道路线都是地下无人区或者地下土层内，水管不设铅进行包裹。在放射性废水衰变池箱体上方距混混凝土约有 1.0m 距离，且 20cm 混凝土上方还有地面垫层，正常情况下地面的辐射水平预计为本

底水平，但进行排污管道维修施工和衰变池清淤施工时应采取先对管道进行检测等辐射防护措施（确保在环境本底水平下），以减少操作人员可能受到辐射照射。

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

医院设立了辐射防护领导小组，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-4 所示。辐射防护领导小组的职责：

（1）负责对本单位辐射安全管理制度编制、修订、完善，并组织实施；

（2）负责定期对辐射工作人员进行辐射安全相关法规及内部辐射安全规程的宣传、培训和考核；

（3）负责组织进行辐射应急预案的演练；当出现辐射事故或事件时，组织人员，启动应急响应，进行事故发生后的抢救工作；

（4）负责辐射安全设施和仪器的维护和管理，组织进行辐射工作场所和周边环境监测；

（5）负责对辐射工作人员进行个人剂量监测，并进行人员健康、保健管理。

（6）负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。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

首钢医院核医学科 PET 中心拟增配到至少 7 名辐射工作人员（至少新增 3 名），新增的 3 名辐射工作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，并制定了辐射工作人员考核计划。

12.2 辐射安全管理规章制度

首钢医院已制定多项辐射安全管理制度，包括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、辐射事故应急制度等，医院将针对新建核医学科 PET 中心制定有关的辐射安全管理制度，加强放射性同位素的管理，确保辐射工作安全受控。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

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

全院辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，医院严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

12.3.2 辐射监测仪器配备

首钢医院新建核医学科 PET 中心继续使用现有核医学科的 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染测量仪，能够满足医院辐射防护和环境保护的要求。**12.3.3 本项目工作场所自行监测方案**

首钢医院拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。本项目实施后，核医学科工作人员使用拟配备的 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染测量仪，对拟改建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

（1）监测项目：γ剂量率水平，表面污染水平

（2）检测设备：X-γ辐射剂量率仪，表面污染监测仪

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

（4）工作场所γ剂量率水平监测：点位包括 PET/CT 室四周，控制区边界外 30cm 处（东侧通道、西侧通道等）、衰变池上方的剂量率水平，以及核医学科 PET 中心内相关场所。监测数据记录存档，检测点位设置见表 12-1 所示，检测点位图见图 12-1~图 12-3。

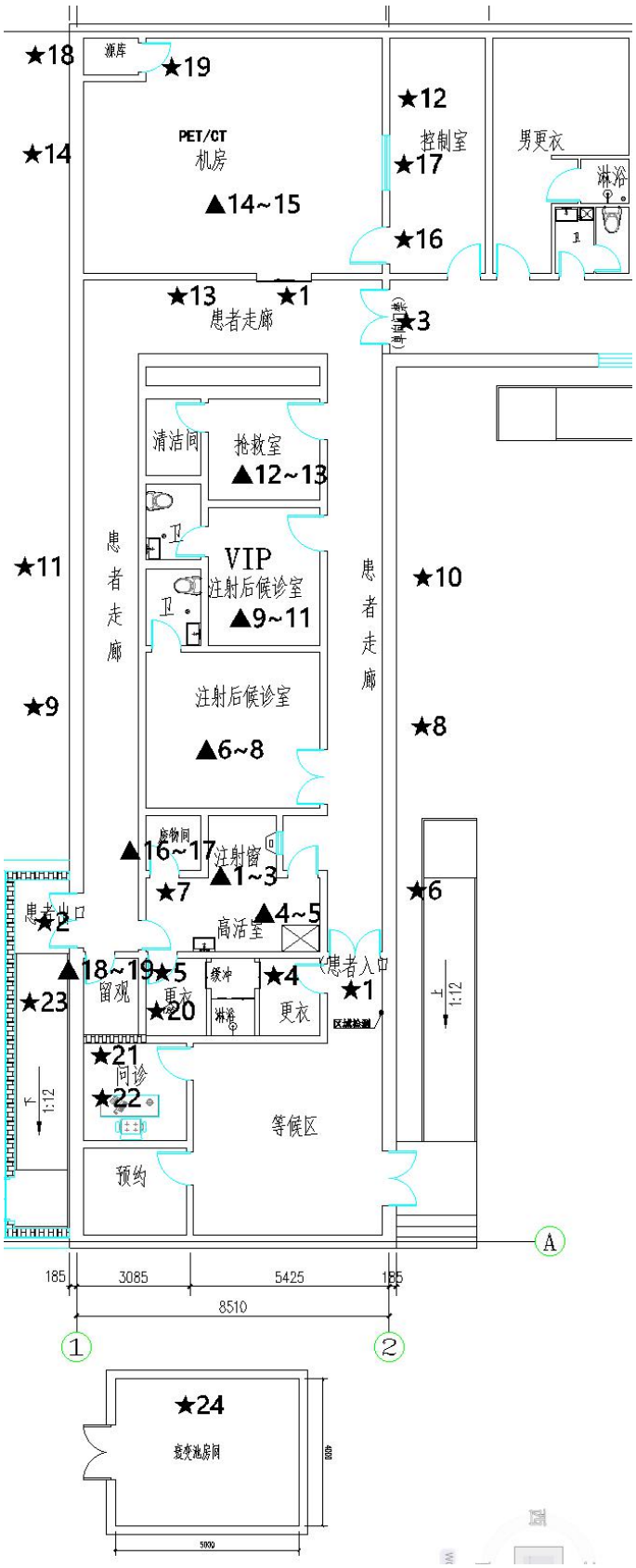

图 12-1　新建核医学科 PET 中心场所自行检测点位图

（标注★为剂量率检测位置，▲为表面污染水平检测位置）

表 12-1　新建核医学科 PET 中心场所γ辐射剂量率检测点位设置

编号	场所名称	监测点位置	剂量率（μSv/h）
1	控制区出入口处	东侧患者入口	
2		西侧患者出口	
3		东北侧医护走廊门	
4	高活室（注射室）	南侧更衣室	
5		南侧更衣室门	
6		东侧楼外通道	
7		废物间门口	
8	候诊室	东侧楼外通道	
9		西侧楼外通道	
10	VIP 候诊室	东侧楼外通道	
11		西侧楼外通道	
12	PET/CT 室	东墙外控制室	
13		南墙外患者走廊	
14		西墙外太平间	
15		机房门外	
16		控制室门	
17		观察窗外	
18	源库	西墙外太平间	
19		东侧防护门外	
20	留观室	东侧更衣室	
21		南侧问诊室	
22		南侧问诊室操作位	
23		西侧患者走廊	
24	衰变池	衰变池上方	

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

表 12-2　表面污染水平监测点位设置

编号	场所名称	监测点位置	β表面污染（Bq/cm²）
1	注射台	注射台面	
2		注射窗	
3		地面	
4	高活室	通风橱台面	
5		高活室地面	
6	候诊室	候诊室地面	
7		候诊椅	
8		卫生间	
9	VIP 候诊室	候诊室地面	
10		候诊椅	
11		卫生间	
12	抢救室	地面	
13		清洁间地面	
14	PET/CT 室	PET/CT 病人床	
15		PET/CT 室地面	
16	废物间	废物间地面	
17		废物桶表面	
18	留观室	候诊室地面	
19		候诊椅	

12.4 辐射事故应急管理

首钢医院拟制定《首钢医院辐射事故应急制度》。本项目实施后，医院将严格依据《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，制定核医学科有关的各项管理制度，确保运行过程中的辐射安全。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行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

12.5 项目环保验收内容建议

建议本项目的环保验收内容列于表 12-3 中。

表 12-3 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
剂量约束值和剂量率控制	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。辐射工作场所周围（控制区边界外）辐射剂量率不大于 2.5μSv/h；放射性表面污染控制水平满足 GB18871-2002 要求。
电离辐射标志和中文警示	在核医学科 PET 中心患者出入口、高活室、扫描机房、病人候诊区门外设置放射性警告标识和中文警示说明。
布局和屏蔽设计	核医学科 PET 中心工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。高活室通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	核医学科 PET 中心工作场所实行分区管理，在控制区出、入口分别安装单向门禁系统，限制无关人员出入。注射区、高活室、扫描室、源库、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、源库采用实体屏蔽措施，安装防盗门、电视监控系统和防盗窃报警装置，满足生态环境部门和公安部门有关安全保卫的要求。
辐射监测	有满足管理要求的辐射监测制度，每年委托有资质单位对核医学科进行一次辐射监测和开展自行监测，监测记录存档；配备 1 台辐射剂量巡测仪和 1 台表面污染测量仪。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	新建核医学科 PET 中心配置满足需要的放射性废物存贮设施，配备具有屏蔽功能的 6 个放射性固体废物桶；建造容积不小于 18m^3 的槽式放射性废水衰变池；药物标记间安装通风橱。高活室建设独立通风系统，排风速率满足辐射安全需要。
规章制度	制定有相应的辐射安全防护制度，从业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，并有效贯彻落实。
人员培训	本项目配备的 7 名辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	针对放射源丢失被盗、人员受照大剂量照射，以及导致环境污染后果等情景，建立有应急预案，并落实必要的应急装备，制定有辐射事故（件）应急演练计划。

表 13　结论与建议

13.1 结论

13.1.1 正当性分析

本项目首钢医院因临床诊疗工作需要，医院急需发展 PET/CT 诊断技术，现已取得 PET/CT 设备《乙类大型医用设备配置许可证》（乙 0101100009）。医院拟对医院东北角核医学楼（医工处）进行改造，新增 PET/CT 使用场所，使用 F-18 放射性药物开展核医学科诊断。根据《产业结构调整指导目录》（2019 年），本项目属于“第十三类医药类第 5 条：新型医用诊断设备”，本项目为核医学科诊疗设备的使用，符合国家产业政策。故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。

13.1.2 选址合理性分析

本项目核医学科 PET 中心工作场所独立设置，功能齐全；各功能区布局上按照放射性区域与非放射性区域分别布置；分别设置工作人员通道、患者通道、药物转运通道及放射性废物转运通道，医护人员进出放射性区域位置设置缓冲间、淋浴间、更衣室，患者通道防护门和医护人员通道防护门设置门禁系统，受检者或患者在放射性药物注射或检查后分别设有专用候诊室和卫生间，核医学工作场所内均设置抢救室、清洁间等。

本项目核医学区患者通道和医护通道相互独立，药物运输时间和诊疗时间严格错开；工作场所内设有患者专用卫生间和专用感应洗手池，高活室、注射室和废物间内分别设置废物铅桶。

将该核医学科 PET 中心辐射工作场所划分为控制区和监督区管理，辐射工作场所设计布局充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，其地址、建筑结构和布局设计基本合理，控制区和监督区划分明确，满足辐射工作场所安全使用的要求。

13.1.3 辐射防护屏蔽能力分析

在设置辐射工作场所时已充分考虑了其性能和特点、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原则符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

13.1.4 辐射环境评价

（1）根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目核医学科 PET 中心场所运行后，场所控制区周围附加辐射剂量率满足 2.5μSv/h 的控制要求，预计工作人员和公众的年受照剂量均低于相应剂量约束限值（5mSv/a、0.1mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

（2）放射性“三废”排放。预计新建核医学科 PET 中心场所运行后，放射性废水经暂存衰变后能够符合排放限值要求；工作场所运行每年产生放射性固体废物约 90kg（包含通风橱过滤器）。放射性沾染物品收集暂存衰变，符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置。将产生极少量的放射性废气从门诊楼楼顶排出，排放大气环境中会进一步稀释，远低于到处空气浓度限值。

（3）污染防治措施。拟采取的污染防治措施主要有：

核医学科 PET 中心场所检查工作区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。

注射区、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 PET 中心场所高活室设置通风橱，配套独立通风系统，设置放射性废水专用收集系统，设置废水贮存衰变池；设有放射性废物间。

（4）辐射安全防护管理：医院设有放射防护和辐射安全管理委员会，放射防护和辐射安全管理委员会下设放射防护和辐射安全管理工作执行组，负责全院的辐射安全管理和监督工作。按要求已制定的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员考核计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等并有效执行。

（5）与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定对照检查，满足要求。

13.1.5 结论

综上所述，首钢医院新建核医学科 PET 中心项目，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，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，首钢医院承诺：

（1）遵守有关法律、法规的规定，执行管理制度，落实管理责任。不违规操作和不弄虚作假。

（2）妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；

（3）配备满足工作需要且具备相应放射诊断资质的医技工作人员；

（4）辐射工作人员全部参加辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗，定期组织，在岗人员参加辐射安全知识继续教育。

（5）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；

（6）项目竣工后，及时自行组织开展竣工环境保护验收。运行期间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