

编号：ZFHK-FB 22220079-3

核技术利用建设项目

首都儿科研究所附属儿童医院通州院区

新建核医学科工作场所项目

环境影响报告表

首都儿科研究所附属儿童医院

2024年4月

表 1 项目基本情况

建设项目名称		首都儿科研究所附属儿童医院通州院区新建核医学科工作场所项目			
建设单位		首都儿科研究所附属儿童医院			
法人代表		张建	联系人	杨晓倩	联系电话
注册地址		北京市朝阳区雅宝路 2 号			
项目建设地点		北京市通州区宋庄镇，北京城市副中心 0704 街区			
立项审批部门		北京市发展和改革委员会	批准文号	京发改（审）〔2023〕636 号	
建设项目总投资（万元）		项目环保投资（万元）	195	投资比例（环保投资/总投资）	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积(m ²)	590
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☐ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			

1.1 建设单位概况

首都儿科研究所是新中国第一家儿科医学研究所，前身是中国医学科学院儿科研究所，成立于 1958 年。1983 年归属北京市卫生局，正式更名为首都儿科研究所，1986 年附属儿童医院正式成立。附属儿童医院（以下简称“医院”）为三级甲等医院，属于公立非营利性医疗机构，是集儿科基础研究、临床、高等教育、预防保健为一体的儿科医学机构，是北京协和医学院联合申报儿科学博士、硕士学位授权点，国务院学位办批准的临床医学一级学科硕士学位授权点，北京大学医学部博士、硕士培养点。

医院技术实力领先，拥有呼吸内科、重症医学科 2 个国家临床重点专科，国家卫计委卫生行业专项课题先天重大畸形治疗技术科技攻关牵头单位、中国出生缺陷救助“示范基地”、全科联盟联合诊疗中心成员单位、中国儿童糖尿病管理中心、中华医学会新生儿学组委员单位 5 个国家级平台，爱婴医院、北京市/朝阳区危重新生儿转会诊指定医院、儿科学科协同发展中心（东区）牵头单位、呼吸道疾病诊断治疗中心、北京市级危重新生儿救治中心、北京市新生儿学组组长单位 6 个北京市级平台。

首都儿科研究所附属儿童医院位于北京市朝阳区雅宝路 2 号，编制床位 400 张。医院面向 0 至 18 岁儿童提供预防保健和医学诊疗服务，设有 26 个临床科室，6 个医技科室。2023 年门诊量 257 万余人次，出院病人 4.1 万余人次，住院手术病人 1.2 万余人次。

首都儿科研究所附属儿童医院通州院区建设项目（以下简称“首儿所通州院区项目”）是落实北京城市总体规划，有序推进医疗卫生功能疏解转移，促进医疗卫生资源均衡布局的重点工程项目，是完善副中心公共服务体系的重点项目。首儿所通州院区项目位于北京市通州区宋庄镇，规划北京城市副中心 0704 街区内，用地面积约 91524 平方米，设置床位 800 张，总建筑面积约 18.6 万平米，其中，地上建筑面积 113300 平方米，地下建筑面积为 73100 平方米，主要功能为门（急）诊、住院、医技、传染性疾病预防、教学科研、办公等，配套建设给水、排水、通风、热力、气体供应等辅助工程。

2022 年 11 月 4 日，首儿所通州院区项目（不含核技术利用建设内容）取得了《北京市通州区生态环境局关于对首都儿科研究所附属儿童医院通州院区建设工程项目环境影响报告书的批复》（通环审〔2022〕0046 号）。批复内容具体见附件 2。首儿所通州院区建设工程项目计划于 2024 年上半年开工建设。

首都儿科研究所附属儿童医院院本部和规划的通州院区建设项目地理位置见附图 1 所示。

首儿所通州院区项目用地规划情况见附图 2 所示，项目建筑设计布局情况见附图 3 所示，主要建筑设计鸟瞰图见图 1-1 所示。

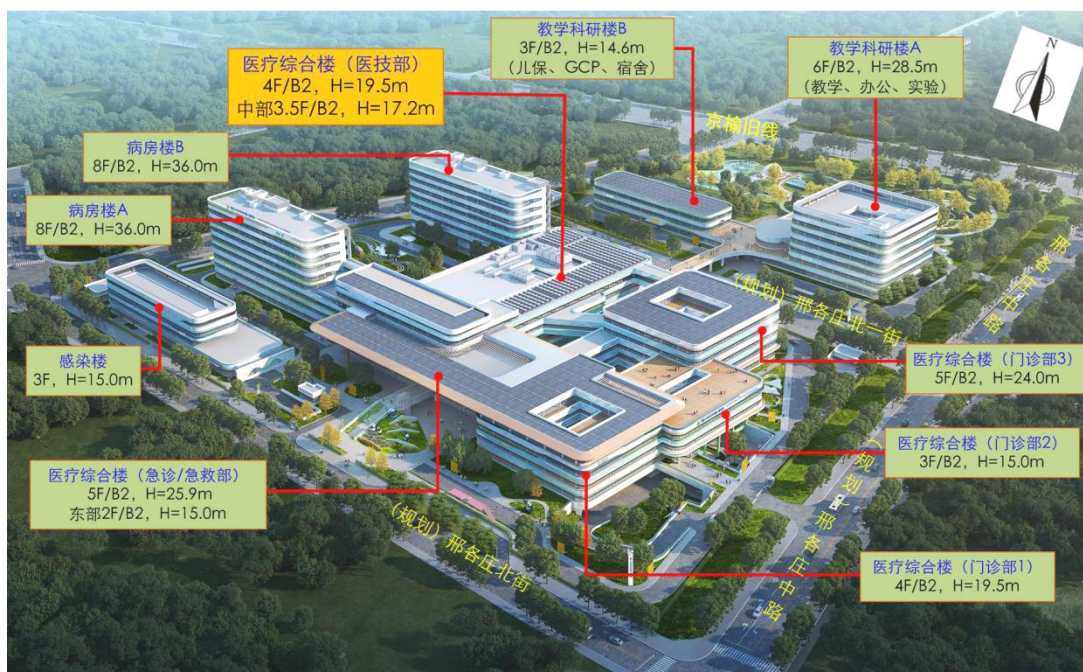


图 1-1 首儿所通州院区项目建筑设计鸟瞰图

1.2 本报告评价内容

首儿所通州院区规划开展放射诊断、核医学诊疗和放射治疗项目，按照工程建设安排，与整体工程同期建设，同步投入使用。

本报告评价内容为在通州院区建设核医学科，配套建设一处核医学诊断工作场所，属于丙级非密封放射性物质工作场所，核技术利用内容为：①使用含放射性核素 ^{18}F 药物开展 PET 显像检查应用；②使用含核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物开展 SPECT 显像检查应用；③配置使用 1 台 PET-CT 设备，属于 III 类射线装置。

由于暂未确定 PET/CT 设备和 SPECT 设备的厂家和型号，后续将根据所选定设备配置的质控校验放射源（属于 V 类放射源）情况，按照有关管理规定另行办理环境影响登记备案手续，不列入本次环评内容。

根据《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》《建设项目环境保护管理条例》等法律、法规有关规定和要求，本项目需进行环境影响评价。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用丙级非密封放射性物质工作场所”，需编制环境影响评价报告表，在项目建设前报生态环境管理部门审批。

1.3 实践正当性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

核医学显像检查是首都儿科研究所附属儿童医院新增医疗服务项目。放射性同位素与射线装置应用于放射诊断、放射治疗和核医学诊疗是临床医学的重要而又先进的技术手段，对于保障人体健康，诊断和治疗疾病有着十分重要的作用。本项目建设运营以后，将为北京市城市副中心及周边区域居民提供优质的核技术应用医疗服务，具有明显的社会效益，同时将提高医院的医学诊疗技术和服务水平，吸引更多的就诊人员，在服务保障儿童健康的同时也将为医院创造经济效益。

综合分析，本项目的实施对受照患者和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，对工作人员和公众的辐射影响完全满足国家相关标准要求，项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》有关辐射防护“实践的正当性”原则要求。

1.4 产业政策与规划符合性分析

1.4.1 产业政策符合性分析

首儿所通州院区项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录(2022 年版)》(京政办发〔2022〕5 号)规定的禁止和限制范围。2023 年 11 月，项目取得《北京市发展和改革委员会关于批准首都儿科研究所附属儿童医院通州院区项目建议书(代可行性研究报告)的函》批复文件。根据《产业结构调整指导目录(2024 年本)》，医院的建设属于“鼓励类”中“三十七、卫生健康，1.医疗服务设施建设”；放射介入用 DSA 设备属于“鼓励类”中“十三、医药，4.高端医疗器械创新发展：高性能医学影像设备”。因此，本项目属于政策鼓励类产业，符合国家和北京市产业政策。

1.4.2 规划符合性分析

本项目符合《北京市城市副中心(通州区)“十四五”时期卫生健康事业发展规划》(北京市通州区卫生健康委员会，通卫健发〔2021〕15 号)提出的建设与城市副中心功能定位相适应的、优质高效的医疗服务体系，建设首都儿科研究所附属儿童医院通州院区，承担辐射全区及(河北省廊坊市)北三县的儿科疑难重症诊疗职能的

规划任务要求。

本建设项目符合《北京城市副中心控制性详细规划（街区层面）（2016年—2035年）》提出的提供基本民生服务保障，坚持病有所医，建立覆盖城乡、服务均等的医疗服务体系的规划目标要求。本项目规划建设用地位于该规划 0704 街区范围内，属于“医疗卫生用地”。

1.5 本项目位置及选址情况

首儿所通州院区项目位于北京市通州区宋庄镇，京榆旧线道路南侧，规划北京城市副中心 0704 街区内，其东侧为规划邢各庄中路，南侧为规划邢各庄北街，西侧为规划辛庄中路，院区中部有规划邢各庄北一街穿过。项目建设用地位置和周围环境情况见附图 1、附图 2 和附图 3 所示。本建设项目场址原为农田和林地等开发利用的土地。

拟建核医学工作场所设置于医疗综合楼（医技部）地下一层，其东侧隔公共通道为放疗科工作场所；南侧隔公共通道为影像中心核磁检查工作区；西侧和北侧为住院药房药品库；上部是住院药房和门诊化疗病区；下方是大楼制冷机房及地下车库。本工作场所选址为相对独立区域，远离儿科病房等特殊人群及人员密集区域。因此，核医学科选址较为合理。

1.6 核技术利用及辐射安全管理现状

1.6.1 核技术利用现状

首都儿科研究所附属儿童医院目前在放射科、骨科、口腔科配置使用 CT 机、DR 机、X 射线 C 形臂机等设备开展放射诊断应用，配置 1 台 DSA 设备在心血管内科、介入血管瘤科开展介入放射诊断和治疗应用。

医院现有核技术利用已获得北京市生态环境局行政许可。医院持有的辐射安全许可证有效期为：2022 年 6 月 27 日至 2025 年 8 月 11 日，获得许可的种类和范围是：使用 II 类、III 类射线装置。已获许可使用的射线装置情况见表 1-2。

表 1-2 现状使用射线装置情况表

序号	装置名称	类别	数量	用途	使用场所
1	数字血管造影机（DSA）	II	1	介入诊疗	心血管内科
2	CT 机	III	2	放射诊断	放射科（门诊楼）
3	CT 机	III	1	放射诊断	放射科（发热门诊楼）
4	DR 机	III	3	放射诊断	放射科（门诊楼）
5	床旁机	III	4	放射诊断	放射科（病房楼）
6	床旁机	III	1	放射诊断	放射科（发热门诊楼）
7	双能骨密度仪	III	1	放射诊断	放射科（门诊楼）
8	数字胃肠机	III	1	放射诊断	放射科（门诊楼）
9	口腔 CT 机	III	1	放射诊断	口腔科
10	牙片机	III	1	放射诊断	口腔科
11	医用 X 射线 C 型臂	III	1	放射诊断	骨科
说明：共计 17 台，其中，1 台 II 类射线装置，16 台 III 类射线装置					

1.6.2 履行环保审批情况

近 5 年来办理的建设项目环保审批及环保验收的情况表 1-3。

表 1-3 建设项目履行环保审批情况

序号	环评批复文号 /备案号	项目名称	类 别	备 注
1	201911010500 001458	新建射线装置应用项目	登记表	新增 1 台口腔 CT 机。 已登记入证
2	201911010500 008113	新建射线装置应用项目	登记表	新增 1 台牙科 CR X 射线 机。已登记入证
3	202011010500 004925	新建射线装置应用项目	登记表	发热门诊新增 1 台 CT 机、1 台 DR 机、1 台床旁 DR 机。已登记入证
4	202111010500 000064	新建射线装置应用项目	登记表	新增 1 台床旁 DR 机。 已登记入证
5	2206-110105- 04-01-944434	新建 III 类射线装置应用场所建 设项目	登记表	骨科新增 1 台 C 形臂 X 射 线机。已登记入证
6	221011010500 000064	更新 III 类射线装置并改建应用 场所建设项目	登记表	更新 1 台 DR
7	京环审 (2024) 2 号	新增使用血管造影机项目	报告表	新增 1 台 DSA。 建设中，未登证
8	通环审 (2022) 0046 号	首都儿科研究所附属儿童医院 通州院区建设工程项目	报告书	评价内容不含核技术利用 内容
9	202411010500 003158	新增医用 C 形臂并改建机房建 设项目	登记表	院本部新增 1 台 C 形臂 X 线机（2024 年 3 月备案）

1.6.3 辐射安全管理现状

(1) 设置辐射安全与防护管理机构

首都儿科研究所附属儿童医院成立医院辐射安全防护小组负责全院辐射安全与防护监督管理工作，划定职责与分工，保障医院辐射工作人员、非放射工作岗位工作人员和社会公众的健康与安全。由院长任组长，主管院领导任副组长，医务处、医学工程处、总务处、保卫处、放射科、心血管内科、介入血管瘤科、口腔科和骨科等负责人担任小组成员，负责管理全院辐射安全管理工作。院部办公室、有关职能部门和科室人员，要求按照辐射安全责任制的相关要求，履行各自辐射安全工作职责，分管负责人对职责范围内的辐射安全工作负责。医务处负责管理全院辐射安全工作，内设专人承办医院辐射安全日常事务工作。

(2) 建立辐射防护规章制度

医院根据放射诊疗应用实际情况，已制定了相对完善的管理制度和操作规程，包括辐射安全防护小组及岗位职责、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、辐射安全事故应急预案等，并严格按照规章制度执行。

(3) 辐射工作人员管理

医院现有从事辐射工作的人员共 84 人，均已通过了辐射防护与安全培训考核，并取得合格证书持证上岗。医院现有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。评价期间评价单位调阅了医院 2022 年度工作人员个人剂量监测报告，全部辐射工作人员年受照剂量监测结果均不超过 0.136mSv，说明医院辐射安全与防护措施可行。

(4) 辐射环境监测管理

医院已制定辐射工作场所监测制度和监测方案，每年一次委托专业检测机构实施监测，检测内容包含工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测记录和监测报告存档。辐射环境监测报告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。2023 年 4 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

了检测，检测评价结果为：机房屏蔽体外周围剂量当量率均不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130—2020）相关规定要求。

（5）辐射安全管理年度报告

医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，未发生辐射安全事故（件），依据法律法规每年对本单位射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，已编写并上报了2023年度评估报告。

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；半衰期 109.8min；低毒	使用	2.59E+10	2.59E+07	6.48E+12	PET 显像诊断	很简单操作	医疗综合楼（医技部）地下一层核医学科	放射性药物准备室
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态；半衰期 6.02h；低毒，注射	使用	5.55E+10	5.55E+07	1.39E+13	SPECT 显像诊断	很简单操作	同上	放射性药物准备室
	—									

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—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	额定流强 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
	-									

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大管电 流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	待定	140	800	放射诊断	医疗综合楼（医技部）地下一层 核医学科	新增
	(以下空白)								

(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	
	-												

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
放射性废水： 核医学科工作场所	液体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		10.4m ³	125m ³	总 β <10Bq/L	槽式衰变池 （衰变贮存超过30天）	经监测满足相关标准规定的排放限值，排入医院污水处理站。最终排市政污水管网
核医学科诊疗工作区放射性废气	气态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F		—	—		不暂存	专用排风管道送至屋顶，经过高效过滤器吸附处理处理后排放
核医学科放射性固体废物：注射器、针头、手套、棉签	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		14kg	173kg	—	核医学科放射性废物库（衰变贮存超过30天）	贮存期满足 HJ1188-2020 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的期限后，经监测满足清洁解控要求，作为普通医疗废物处理
核医学科产生的非医疗类放射性废弃物：尿不湿、尿布、纸巾等	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		14kg	173kg		核医学科放射性废物库（衰变贮存超过30天）	贮存期满足 HJ1188-2020 和《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》规定的期限后，经监测满足清洁解控要求，作为普通生活垃圾处理。
放射性废气过滤装置废弃活性炭滤材	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		—	100kg		不暂存	交城市放射性废物库，或经监测满足清洁解控要求，作为普通医疗废物处理。

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/k 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》（2015 年 1 月 1 日实施）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订施行）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）； (4) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院 682 号令）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日国务院第 449 号令发布，2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令 第 709 号）修改，施行）； (6) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）； (7) 《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 第 31 号公布，2017 年 12 月 12 日《环境保护部关于修改部分规章的决定》（部令 第 47 号）对其进行了修改，2019 年 8 月 22 日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令 第 7 号）对其进行了修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 第 20 号修改）； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）； (9) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号）； (10) 《建设项目环境影响评价分类管理目录（2021 版）》（生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）； (11) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环境保护部办公厅环办辐射函〔2016〕430 号文）； (12) 《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，2020 年 1 月 1 日实施）； (13) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 2021 年第 9 号公告，2021 年 3 月 15 日起实施）； (14) 《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，自 2019 年 11 月 1 日起施行）；
------	---

	(15) 《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》，京环办 [2018] 13 号， 2018 年 12 月 6 日； (16) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，北京市环境保护局文件，京环发 [2011] 347 号； (17) 《北京市环境保护局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办 [2018]24 号， 2018 年 1 月 25 日。
技术标准	(1) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1—2016）； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ/T10.1—2016）； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）； (4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157—2021）； (5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61—2021）； (6) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930—2010）； (7) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466—2005）； (8) 《放射性废物管理规定》（GB14500—2002）； (9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）； (10) 《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）； (11) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (12) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128—2019）； (13) 北京市《核技术利用放射性废物、废放射源收贮准则》（DB11/693-2009）。
其他	(1) 首都儿科研究所附属儿童医院通州院区建设工程核技术利用项目环境影响评价委托服务合同书； (2) 首都儿科研究所附属儿童医院提供的与本项目环评相关的资料； (3) 首都儿科研究所附属儿童医院通州院区建设工程核技术利用项目防护设计图纸及方案； (4) 生态环境部发布《2022 年全国辐射环境质量报告》； (5) 李亚明，核医学教程（第 3 版）．北京：科学出版社，2003。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

拟建核医学科位于医疗综合楼地下一层。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）要求，并结合本项目具体情况，确定评价范围为：以辐射工作场所控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域。本项目评价范围包括：（1）医疗综合楼医技部部分建筑和相邻的门诊部部分建筑；（2）病房楼部分建筑；（3）医院南区和北区之间的规划市政道路——邢各庄北一街。

7.2 保护目标

本项目环境保护目标主要为辐射工作人员和公众，包括：（1）核医学科辐射工作人员；（2）公众，包括：① 辐射工作场所所在建筑及周围相邻建筑内的非放射性岗位工作人员、患者及其陪护人员、来访者等；② 评价范围内经过或停留的其他人员。具体列于表 7-1。

表 7-1 环境保护目标调查情况表

核医学科诊断工作区 / 医疗综合楼医技部地下一层				
周围 50m 范围内建筑物	方位	距离（m）	环境保护目标	规模
核医学诊断工作区	场所内	-	辐射工作人员	12 人
核医学科门诊工作区	东侧	紧邻至 8m	辐射工作人员、公众	12 人
公共通道	南侧	紧邻至 3m	公众	流动人员
影像中心工作区	南侧	3m 至 50m	辐射工作人员、公众	30 人
核医学科办公区	东侧	紧邻至 16m	辐射工作人员、公众	12 人
住院药房药品库	北侧	紧邻至 16m	公众	5 人
住院药房工作区、化疗病区	上方	紧邻	公众	45 人
制冷机房、地下车库	下方	紧邻	公众	流动人员
医疗综合楼医技部、急诊部；病房楼 A、病房楼 B	周围	紧邻至 50m	公众	200 人

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）有关辐射工作人员

职业照射和公众照射的剂量限值规定。摘录列于表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

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。
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。

注：表中剂量限值不包括医疗照射和天然环境辐射照射。

7.3.2 剂量约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 11.4.3.2 款，规定了个人受照射剂量约束值管理要求，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。

综合考虑本项目使用放射性同位素和射线装置规划，并为将来扩大核技术应用实践规模留出余地，建议本项目取年有效剂量限值的 1/4 作为职业照射个人有效剂量约束值，即 5mSv/a；公众受照剂量约束值取 0.1mSv/a。

7.3.3 放射工作场所周围剂量率控制水平

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）有关规定，在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h。

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）第 6.1.5 款规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。第 6.1.6 款规定，放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

建议本项目核医学科工作场所屏蔽结构外表面 0.3m 处周围剂量当量率控制目标值应

不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.4 表面放射性污染的控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）中表B11的规定，对于工作场所的放射性表面污染，工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录B所规定的限值要求。有关要求摘录见表7-3。

表 7-3 工作场所放射性表面污染控制水平（ Bq/cm^2 ）

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4
说明：该区内的污染子区除外		

本项目操作非密封放射性物质场所辐射管理控制区及监督区房间、工作台（面）和工作人员手、皮肤、工作服、鞋袜等放射性表面污染控制执行表 7-3 要求，其它区域参考采用控制区污染水平的 1/50 进行安全管理。

7.3.5 放射性物质向环境排放的控制

《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466—2005）规定排放放射性污水，在衰变池排放口执行总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 的要求。

本项目采用储槽式衰变池贮存方式，放射性废水排放管理依据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）和《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办〔2018〕13 号）规定，放射性废水所含核素半衰期小于 24h 的，衰变暂存时间超过 30 天后，可直接解控排放。

7.3.6 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录C（标准GB18871的附录）的规定进行。第C1款规定，将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进行分级。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理及场所位置

首都儿科研究所附属儿童医院通州院区建设项目位于北京市通州区宋庄镇，京榆旧线道路南侧，规划北京城市副中心 0704 街区内。本建设项目场址原为农田和林地等开发利用土地。根据现场踏勘，目前项目所在地为施工工地，已开挖建筑基坑，拟用场地周围主要为道路、预留建设空地、施工营地、物料堆场等。拟建地周围评价范围内没有发现电离辐射源，与周围辐射环境趋于一致。

核医学科工作区位于医疗综合楼地下一层北区。

8.2 环境质量和辐射现状

8.2.1 项目所在区域辐射环境质量调查

生态环境部发布的《2022 年全国辐射环境质量报告》监测数据显示，北京市环境 γ 辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线响应值）自动监测结果：年均值范围在 61.0~90.0nGy/h，累积剂量监测结果：年均值范围在 64.7~83.0nGy/h。

根据《北京市环境天然贯穿辐射水平调查研究》（《辐射防护》，1992 年 11 月刊）调查结果，北京市宇宙射线电离成分所致室外环境空气吸收剂量率范围在 30.5~38.1nGy/h；通州区原野 γ 辐射空气吸收剂量率（扣除宇宙射线响应值）范围在 44.0~65.8nGy/h，道路 γ 辐射空气吸收剂量率（扣除宇宙射线响应值）范围在 25.0~76.2nGy/h。

8.2.2 项目场址辐射环境质量监测结果

（1）环境现状监测情况

评价单位委托浙江建安检测研究院有限公司对建设项目场地及周围环境辐射水平进行了检测。监测因子为环境 γ 辐射空气吸收剂量率。

监测日期：2022 年 6 月 30 日。天气情况：晴，温度 22℃，相对湿度 49%。

（2）监测技术方法及监测仪器

依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）进行现场检测。

监测设备型号及技术指标列于表 8-1 内。

表 8-1 X-γ辐射剂量当量率仪技术参数表

仪器名称	X-γ 辐射剂量率仪
仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H
生产厂家	automess
仪器编号	05037405
能量范围	20keV-7MeV
量 程	模拟量程：10nSv/h-100 μ Sv/h； 数字量程：1nSv/h-99.9 μ Sv/h
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLj12021-16347
检定有效期	2021 年 07 月 30 日~2022 年 07 月 29 日

(4) 监测质量保证措施

- ① 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的代表性和可比性；
- ② 监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- ③ 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- ④ 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验；
- ⑤ 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

(5) 辐射环境现状监测结果及评价

本建设工程项目场址环境辐射环境监测结果见表 8-2，监测布点图见图 8-1 所示。

表 8-2 建设项目场址环境辐射监测结果表

监测点编号	监测点位置描述	监测结果 (nGy/h)
1	场地东北角点位①	28±2.8
2	场地东侧点位②	28±2.1
3	场地东侧点位③	30±1.8
4	场地东南角点位④	32±1.4
5	场地南侧点位⑤	37±2.1
6	场地南侧点位⑥	38±1.9
7	场地西南角点位⑦	35±1.1
8	场地西侧点位⑧	33±1.6
9	场地中部点位⑨	38±2.0
10	场地西侧点位⑩	41±2.2
11	场地中部点位⑪	38±1.9
12	场地中心点位⑫	36±1.7
13	场地西北角点位⑬	31±2.0

说明：监测结果已扣除宇宙射线响应值。



图 8-12 建设场地环境监测布点位置示意图

8.2.3 项目场址辐射环境质量评价

从辐射环境监测结果可知，拟建项目场址环境 γ 辐射水平与北京市及通州区环境天然贯穿辐射剂量率调查结果相比较，属于正常本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染源项分析

本项目主体工程的环境影响工作已另行委托环境影响咨询服务机构承担。本项目建设施工主要包括：工作用房建筑主体结构施工，电气、供排水、通风等工程施工，装修施工、设备安装、调试等施工。建设单位在工程建设过程中落实项目管理工作，监督施工方遵守文明施工、合理施工的原则，严格执行各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线。本项目所有设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行。建设单位应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过机房屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。

9.2 核医学诊疗应用污染源项分析

9.2.1 基本情况分析

（一）核医学诊疗应用规划

本项目规划建设核医学科开展核医学诊断应用，计划配置 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT 设备，使用含放射性核素 ^{18}F 药物开展 PET 显像检查，预计每年检查患者数量不超过 1000 人次；使用含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素药物开展 SPECT 显像检查，预计每年检查患者数量不超过 3750 人次。

（二）拟使用放射性核素辐射特性

核医学显像检查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^+ ）；核素主要产生 β 射线。拟使用放射性核素物理化学参数列于表 9-1。

表 9-1 拟用放射性核素主要参数表

序号	核素名称	理化性质	衰变类型	β 射线最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	用途
1	^{18}F	液态针剂；低毒，半衰期 110min	β^+	0.634 (100%)	0.511	PET/CT 检查示踪剂
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态针剂；低毒，半衰期 6.02h	IT	-	0.141	SPECT 显像

（三）工作场所划分和等级

本项目核医学科规划开展核医学显像诊断检查项目。按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）和《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）有关规定，分析本项目使用放射性药物的化学状态和操作方式，以及所含放射性核素毒性和操作量，计算辐射工作场所操作放射性核素日等效数量，确定工作场所等级。

① 核医学科诊疗工作场所

核医学科诊疗工作场所使用放射性核素规划见表 9-2。由表内分析内容可见，该辐射工作场所操作非密封放射性物质日等效最大操作量不超过 $1.35 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于丙级场所。工作场所平面布局及人流、物流路径规划情况见本报告“表 10 辐射安全与防护”有关内容。

表 9-2 核医学科诊疗场所使用非密封放射性核素分析表

序号	核素	用途	日最大操作量*, Bq	日等效最大操作量, Bq	规划年用量, Bq	诊疗工作规划
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	诊断	1.11E+10	1.11E+07	2.78E+12	静注 20mCi(740MBq)/人, ≤ 15 人/天, 250 天/年, 3750 人次/年
2	^{18}F	诊断	2.37E+09	2.37E+06	5.92E+11	静注 8mCi (296MBq) /人, ≤ 8 人/天, 250 天/年, 2000 人次/年
合计				1.35E+07		
说明： 关于儿科核医学检查给药量。在儿科核医学检查应用中，放射性药物的给药量通常按照患者体重或体表面积核算给药数量，考虑儿童医院患者包含婴幼儿、学龄前儿童、青少年不同分期，临床用药数据针对不同患儿差异较大。本评价以 16 岁男性标准体重 59.3kg 为例，核算检查用药量。						

9.2.2 核医学诊疗应用源项分析

（一）核医学显像诊断

本项目规划核医学科使用使用含放射性核素 ^{18}F 药物开展 PET 显像检查，使用含核 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物开展 SPECT 显像检查。

（1）PET 显像工作原理

PET 即正电子扫描仪（Positron Emission Tomography）分子影像设备。其原理是通

过标记参与人体代谢的某些化合物的元素，把含正电子核素药物注入人体后成为稳定的化合物，在活体内参与细胞代谢。用这种正电子发射体取代正常和稳定元素，即形成了此类元素的化合物，此类化合物也是半衰期适合的天然化合物，当此类化合物的正电子与人体内的电子结合时，发生湮灭效应，产生两个能量彼此运动相反的 γ 射线。根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭反应产生光子的强度也不同。用环绕人体的 γ 射线检测器环列，用符合探测的方法能探测到随位置变化的符合计数，再经过符合计数技术，即可判定这一对 γ 光子辐射的轨迹线，该线经过湮灭源或确定了这种多次蜕变作用的路径，按照一定规律被计算机采集。

PET/CT 的工作原理是把 PET 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三维解剖图像的断层成像技术，通过 PET 和 CT 联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

(2) SPECT 显像工作原理

SPECT 显像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的一个有力工具。SPECT 显像检查在癌症骨转移、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。

SPECT 即单光子发射计算机断层成像术。SPECT 设备的基本结构分三部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT 除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，如：化疗后左心功能、肾功能的改变等。本项目 SPECT 显像检查使用锝-99m 放射性核素，将放射性药物锝-99m 引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。SPECT 的基本成像原理是 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。

(4) 核医学显像检查工作流程

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。

核医学诊断具体工作流程如下：

- ① 预约患者：提前制定核素诊断工作计划，通知患者。
- ② 定购药物：按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 接收放射性药物：外购药物由药品公司负责把药品送至核医学科放射性药物准备室。
- ④ 药物质检：药品管理人员核对放射性药物名称和活度，检查药品包装和外观质量，在摄像头监控下，“点对点”办理交接手续，然后暂存于储源间内。
- ⑤ 药物分装：对需要分装的药物在放射性药物准备室通风柜内进行分装。
- ⑥ 注射给药：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。SPECT 动态显像检查需要使用药物注射车在扫描床旁进行注射操作。
- ⑦ 患者候诊：患者注射显像药物后，在 PET 检查候诊室或 SPECT 检查候诊室等候（ ^{18}F 候诊约 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 扫描检查：待放射性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（检查时间一般约 20min~30min）。扫描检查前通常排尿以减少下腹部显像的放射性干扰。
- ⑨ 扫描检查后留观：显像检查患者在扫描后，通常留观 30min 左右。如显像结果符合诊断要求，即离开核医学科。

PET/CT 显像检查工作流程及产污环节分析如图 9.3-1。

SPECT 显像检查工作流程及产污环节分析如图 9.3-2。

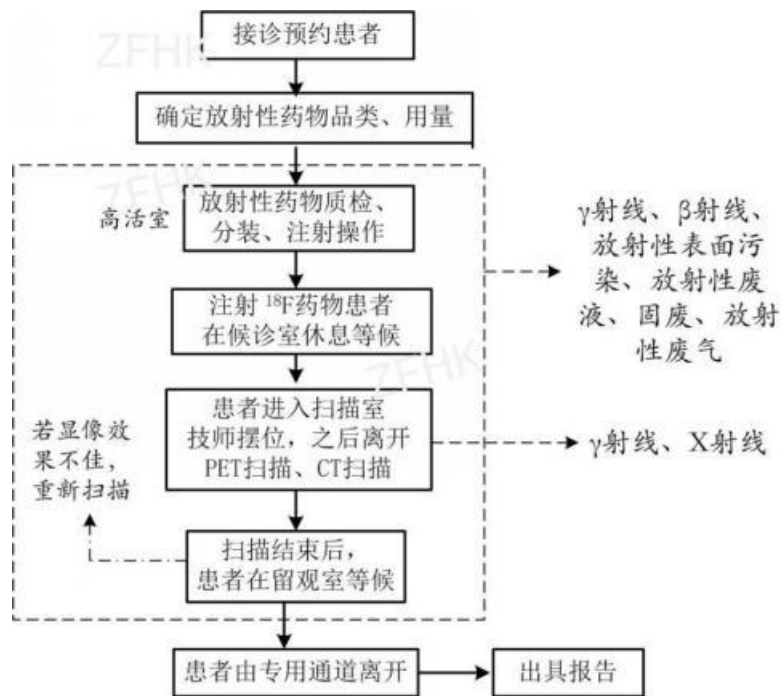


图 9.3-1 PET/CT 显像检查工作流程及产污环节分析图

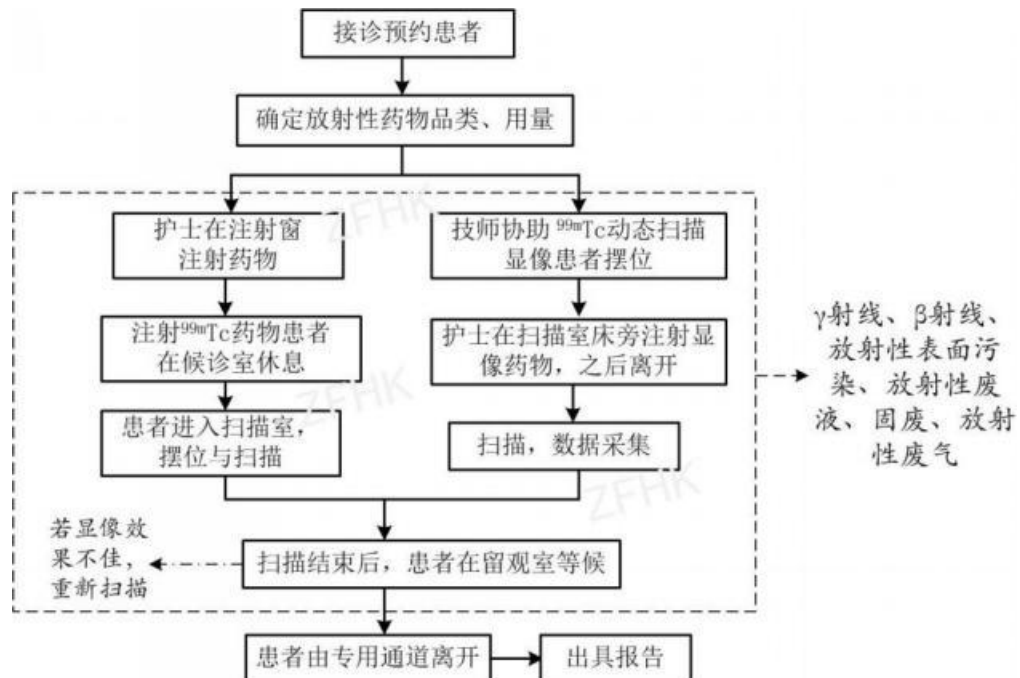


图 9.3-2 SPECT 显像检查工作流程及产污环节分析图

（二）放射性污染分析

A. 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，分布到特定组织、器官并释放 β 射线、 γ 射线。

2) 使用放射性物质可能造成放射性物质表面污染，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候诊室卫生间冲厕废水，放射性药物准备室清洁和洗手废水，冲洗拖布等废水。放射性固体废物主要来源于患者使用的注射器、废弃的放射性药物包装物、棉棒、一次性个人防护用品等，婴幼儿使用的被放射性物质污染的垫布、小儿尿不湿等物品。

本项目规划开展 PET 显像检查 ≤ 2000 人次/a；SPECT 显像检查 ≤ 3750 人次/a。核医学科放射性废水主要包括注射药物后患者候诊室卫生间排水，以及工作场所清洗保洁废水等。根据综合性医院核医学科类比调查数据，核医学诊断检查按每人产生放射性废水 10L 系数计算，以每年最多开展核医学诊断检查 5750 人次，合计产生放射性废水约 $57.5\text{m}^3/\text{a}$ 。放射性药物准备室工作人员卫生清洁和洗浴排水按 3 人 $\times 90\text{L}/\text{d}$ 计，则全年合计排放量约 67.5m^3 。以上两项合计约为 $125\text{m}^3/\text{a}$ ，折算为全年（365d）的日平均排放量为 $0.342\text{m}^3/\text{d}$ 。

根据综合性医院核医学科类比调查数据，按产生医疗类放射性固体废物 $0.03\text{kg}/\text{人}$ 的系数计算，则核医学科放射性废物产生量合计为 $173\text{kg}/\text{a}$ ，折算为每月平均产生量为 $14\text{kg}/\text{d}$ 。按 20% 的就诊患者可能产生非医疗类放射性废物，每人检查产生量预计 0.15kg ，全年预计产生量约 173kg ，平均每月产生量约 14kg 。另外，核医学科通风系统每年检修更换通风橱和管道中气体过滤器，预计额外产生 100kg 放射性固体废物

3) 本项目使用放射性药物为液体剂型，不易挥发，质检、分装、注射操作时间较短，使用过程中产生的放射性气体十分微量。放射性药物质检和分装操作在通风柜内进行，柜体排气经排风竖井引至建筑物楼顶，通过高效过滤器和活性炭过滤后排放。

4) PET-CT 设备在扫描采集 CT 数据时产生 X 射线。在操作非密封放射性物质时，操作不熟练、误操作等原因造成放射性核素洒漏，引起工作台、地面、衣物、身体等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

B. 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，给药后患者小便不入便池，或者呕吐也可能导致局部环境的放射性污染。

放射性药物保管不当，发生遗失或被盜。放射性物质失控可能造成环境放射性污染。放射性废物（废水或固体废物）处置或管理不当，可能造成环境放射性污染。

（三）非放射性污染分析

γ 射线和 X 射线辐解空气组分产生臭氧和氮氧化合物。由于操作放射性核素活度较小，PET/CT 设备的 X 射线能量较低，CT 出束时间短，臭氧等有害气体产额低。扫描检查室均设置有通排风系统，产生的臭氧经通排风系统排至邻近高层建筑顶部排放，经自然稀释后对环境影响较小。

9.3 放射诊断设备污染源项分析

9.3.1 放射性污染分析

X 射线诊断设备利用 X 射线进行影象辅助诊断，X 射线是其主要的放射污染。X 射线管电压决定了 X 射线束的光子最大能量，管电流决定了 X 射线束光子的数量。射线装置只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。在开机出束时，有用束和漏射、散射的 X 射线对周围环境造成辐射污染。X 射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境中，将对操作人员及机房周围人员生产造成辐射外照射。

计算机 X 线断层扫描(简称 CT)，是利用 X 射线对人体进行扫描，用计算机对扫描结果进行处理而得到人体组织断层图像的技术。X 线管和探测器安装于机架内环形导轨上，可围绕人体某一部位做同步旋转运动采集数据。CT 机有用束被机架内探测器和数据采集系统等部件屏蔽，对于 CT 成像系统机房防护，主要考虑次级辐射。

9.3.2 其他污染

X 射线与空气作用产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。由于诊断用 X 射线设备出束时间较短，远远少于设备待机时间，设备运行所产生有害气体的量很小，对此不再做具体分析。

9.3.3 放射诊断过程可能发生的辐射事故分析

在非正常情况下，使用 X 射线诊断设备过程可能发生放射性污染的途径，包括：

(1) X 射线装置发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽，造成管电流、管电压设置错误，使得受检者或工作人员受到超剂量照射。

(2) 设备出束时人员误留或误入机房受到辐射照射。

转运核医学诊断所需物品、放射性药物、清洁解控废物和其他物料，接受检查后的患者也可以较便捷地离开。因此，核医学科选址较为合理。

本工作区按使用功能划分，设计为3个区域：（1）门诊工作区，包括：接（候）诊大厅、护士站、门诊诊室、预约登记室等；（2）核医学诊断检查工作区，包括：放射性药物准备室、储源间、放射性废物间、运动负荷兼抢救室（麻醉室）、患者注射药物后候诊室（含卫生间）、PET-CT扫描室、PET-CT控制室及设备间、SPECT扫描室及控制室、PET-CT检查后患者留观室、SPECT检查后患者留观室、患者通道、卫生通过间等；（3）医护办公区，包括：医生办、主任办、示教室、通道等。

本工作场所将非放射性工作区、核医学诊断工作区和办公区相对分开布置，操作放射性物质工作区患者通道和工作人员分开设置；工作人员进出操作放射性药物房间的通道设有缓冲间，放射性药物准备室、储源室、放废间集中在工作区一端，防止交叉污染，尽量减少放射性药物、放射性废物的存放范围；分别设置PET显像和SPECT显像检查给药后患者候诊室及留观室，并设有患者专用卫生间。

综合分析，本工作场所选址相对独立，建筑空间布局紧凑节约用地，既方便核医学诊断工作，又能满足辐射安全管理与防护要求，基本符合《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930—2010）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）相关技术要求。

参考《核医学放射防护要求》和《核医学辐射防护与安全要求》相关规定，结合本项目平面布置实际情况，本工作场所辐射安全管理划分控制区和监督区情况见表10-1，并见图10-1所示。

表 10-1 核医学工作场所辐射安全分区

控制区	监督区
放射性药物准备室、储源间、放射性废物间、运动负荷兼抢救室（麻醉室）、患者注射药物后候诊室（含卫生间）、PET-CT扫描室、SPECT扫描室、PET-CT检查后患者留观室、SPECT检查后患者留观室、患者通道等。放射性废水污泵间、衰变池。	PET-CT扫描和SPECT扫描控制廊；PET-CT附属设备间；卫生通过间、卫浴间；与控制区相邻的核医学科工作场所，包括：PET检查后留观室东侧诊室；运动负荷兼抢救室东侧诊室。

控制区管控要求：①控制区禁止无关人员进入，职业人员工作时尽量不在控制区内长

久停留，以减小不必要的照射；②在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合 GB18871-2002 附录 F 规定的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示，并以红色地标线警示控制区的边界；③制定辐射防护与安全措施，包括适用于控制区的规则和程序；④运用行政管理程序（如进入控制区持工作牌证制度）和实体屏障（包括门锁、门禁和联锁装置）限制进出控制区；⑤规定进入控制区穿戴个人防护用品、工作服，携带个人剂量报警仪等；⑥定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

监督区管控要求：①监督区范围内尽量限值无关人员进入；②以黄线地标线警示监督区的边界；③在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；④定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

工作人员流动路线、放射性药物和放射性废物运输路线见图 10-1 所示，说明如下：

A. PET-CT 显像检查路线规划

预约检查的患者由核医学科候诊大厅进入诊断检查工作区—→在放射性药物准备室注射窗接受注射给药，如有需要麻醉检查的患者，先在运动负荷室实施麻醉操作—→PET-CT 检查候诊室等候—→PET-CT 扫描室检查—→PET-CT 检查留观室等候，待显像结果满足检查要求，观察无异常后—→由患者通道北侧出口离开。

B. SPECT 显像检查路线规划

静态显像检查：

预约检查的患者由核医学科候诊大厅进入诊断检查工作区—→在放射性药物准备室注射窗接受注射给药；如有需要麻醉检查的患者，先在运动负荷室实施麻醉操作—→SPECT 检查候诊室等候—→SPECT 扫描室检查—→SPECT 检查留观室等候，待显像结果满足检查要求，观察无异常后—→由患者通道北侧出口离开。

动态显像检查：

预约检查的患者由核医学科候诊大厅进入诊断检查工作区—→SPECT 扫描室摆位，床旁注射放射性药物；如有需要麻醉检查的患者，先在运动负荷室实施麻醉操作—→SPECT 扫描检查—→SPECT 检查留观室等候，待显像结果满足检查要求，观察无异常后—→由患者通道北侧出口离开。

C. 放射性药物运输路线规划:

外购放射性药物运输路线: 院外—→医技综合楼医技部(楼)北侧次出入口—→大楼一层公共通道—→核医学科/放疗科专用电梯—→地下一层, 核医学科诊断工作区北侧出入口进入—→放射性药物准备室—→储源间暂存。

D. 放射性废物运输路线规划:

核医学科诊断工作区设置医疗类放射性废物暂存间和非医疗类放射性废物暂存间。放射性废物暂存满足清洁解控管理要求的, 定期运出。

运输路线规划为: 放废间—→患者通道北侧出口—→核医学科/放疗科专用电梯—→医技综合楼医技部(楼)一层, 医疗类废物送至医院医疗废物暂存库; 非医疗类废物准运至医院生活垃圾站。

10.1.2 辐射安全与防护措施

(一) 建筑屏蔽设计

核医学科诊断检查工作区采用重晶石砌块砖(密度 3.20t/m^3)墙设计; 楼板采用钢筋混凝土结构(密度 2.35t/m^3)附加铅板设计; 安装铅钢复合防护门, 观察窗安装铅玻璃; 配备防护注射窗、防护注射车、铅屏风、防护操作柜等设施。屏蔽方案见表 10-2 所示。

表 10-2 核医学科诊断检查工作场所屏蔽设计方案

功能用房	名称	屏蔽材料及厚度
放射性药物准备工作区		
放射性药物准备室	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	防护门	8mmPb 铅钢复合板
	注射窗	40mmPb 铅钢复合板或 40mmPb 铅当量玻璃
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+2mmPb 当量钡水泥
	顶棚	300mm 钢筋混凝土楼板
储源间、 放废间 1 (医疗类)	墙体	250mm 重晶石砌块砖
	通道门	4mmPb 铅钢复合板
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+2mmPb 当量钡水泥
	顶棚	300mm 混凝土楼板
卫生通过间	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	防护门	4mmPb 铅钢复合板

患者通道、运动负荷室		
运动负荷室（兼抢救室 兼麻醉室）	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	防护门	8mmPb 铅钢复合板
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+2mmPb 当量钡水泥
	顶棚	300mm 钢筋混凝土楼板
患者通道	墙体	250mm 重晶石砌块砖
	入口防护门	8mmPb 铅钢复合板
	出口防护门	8mmPb 铅钢复合板
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+3mmP 当量钡水泥
	顶棚	300mm 钢筋混凝土楼板
放废间 2 （非医疗类）	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	防护门	4mmPb 铅钢复合板
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+2mmPb 当量钡水泥
	顶棚	300mm 钢筋混凝土楼板
PET-CT 显像检查区		
PET-CT 扫描室	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	患者通道 防护门	8mmPb 铅钢复合板
	工作人员通 道防护门	8mmPb 铅钢复合板
	观察窗	8mmPb 铅当量玻璃
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+3mmPb 当量钡水泥
	顶棚	300mm 钢筋混凝土楼板
PET 显像候诊室、PET 检查留观室	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	房间门	8mmPb 铅钢复合板，或 8mmPb 铅当量玻璃
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+3mmPb 当量钡水泥
	顶棚	300mm 钢筋混凝土楼板
SPECT 显像检查区		
SPECT 检查候诊室、 SPECT 检查留观室	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	房间门	8mmPb 铅钢复合板，或者 8mmPb 铅当量玻璃
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+2mmPb 钡水泥
	顶棚	200mm 钢筋混凝土楼板+2mmPb 板

SPECT 扫描室	四侧墙体	250mm 重晶石砌块砖
	患者通道防护门	8mmPb 铅钢复合板
	工作人员通道防护门	4mmPb 铅钢复合板
	观察窗	4mmPb 铅当量玻璃
	地面	200mm 钢筋混凝土楼板+2mmPb 当量钡水泥
	顶棚	300mm 钢筋混凝土楼板

（二） 辐射安全与防护措施

（1） 辐射安全措施

①电离辐射标志和电离辐射警告标志。放射性物质外包装或存放容器外应有电离辐射标志。辐射工作场所的醒目位置悬挂（张贴）电离辐射警告标志。本项目拟在核医学诊断工作区出入口通道门外、放射性药物准备室、患者给药后候诊室、扫描室、留观室、放废间、储源间等房间门外设置电离辐射警告标志，在放射性废物桶表面、操作柜表面、放射性废气过滤器表面、放射性废水污泵间和衰变池检查井内设置电离辐射警告标志，用于警示人员注意安全。电离辐射标志和电离辐射警告标志样式如图 10-2。



图 10-2 电离辐射标志（左）和电离辐射警告标志（右）样式

②工作状态指示灯及闭门装置。各扫描检查室门口均拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如射线有害、灯亮勿入的可视警示语句，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态。

各扫描检查室医护人员进出门拟设置为平开门，拟设置闭门装置；各扫描检查室患者进出门拟设置为电动推拉门，拟设置防夹装置，门关闭后方开机曝光，避免射线装置开机时防护门未关闭造成门外人员受照。

控制区内患者进出通道门，放废间、储源室、注射后患者候诊室、留观室等房间门均拟设置闭门装置，确保防护门处于常闭状态，避免室外人员受到不必要的照射。

③视频监控和对讲装置。在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口和各通道情况；各扫描检查室和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于受检者联系。

（2）辐射防护设施、用品

为减少 γ 射线和 β 射线对人体的外照射危害，医院拟配置放射防护通风橱、移动注射车、铅防护屏风、注射器铅防护套、注射器防护铅盒、药瓶屏蔽容器、铅废物桶等防护设施用具。另外，为防止表面污染以及放射性气溶胶由呼吸道进入人体，医院拟为相关人员配备放射性污染防护服、工作帽、工作鞋、手套、口罩、铅防护眼镜、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、铅橡胶帽子等个人防护用品，拟配置的个人防护用品能够满足相关人员的放射防护需求。医院拟配置的个人防护用品见表 10-3。

表 10-3 核医学科拟配置防护用品/设施一览表

序号	防护用品和设备名称	规格	数量	备注
1	SPECT 显像药物操作柜	10mmPb	1	^{99m}Tc 药物分装、质控用
2	PET 显像药物分装柜	50mmPb	1	^{18}F 药物分装、质控用
3	PET 药物注射器转运箱	10mmPb	1	转移分装后的 ^{18}F 药物至注射窗口用
4	SPECT 药物注射器转运箱	5mmPb	2	转移 ^{99m}Tc 药物至注射窗口、SPECT 扫描室和运动负荷室用
5	立式药物注射防护车 1	5mmPb	1	运动负荷室和 SPECT 扫描床旁注射用
6	立式药物注射防护车 2	40mmPb	1	候诊室床旁注射 ^{18}F 药物用
7	放射性废物桶	20mmPb	2	存放 PET/CT 显像检查过程的放射性废物
		5mmPb	2	存放 SPECT 显像检查过程的放射性废物
8	放射性废物衰变箱	20mmPb	6	放废间内贮存放射性废物用
9	钨合金注射器防护套	15mmPb	3	注射 ^{18}F 药物用
10	铅注射器防护套	5mmPb	3	注射 ^{99m}Tc 药物用
11	移动铅防护屏风	10mmPb	2	PET/CT 注射后休息室患者候诊使用
		2mmPb	4	SPECT 注射后休息室患者候诊使用
12	铅橡胶帽子	0.5mmPb	2	护士给药及技师摆位时用
13	铅橡胶颈套	0.5mmPb	2	护士给药及技师摆位时用
14	铅防护眼镜	0.5mmPb	2	护士给药及技师摆位时用
15	铅橡胶防护衣	0.5mmPb	2	护士给药及技师摆位时用
16	放射性污染防护服	/	若干	—
17	一次性手套、口罩、鞋套、帽子	/	若干	—

18	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	/	若干	放射性污染处置备用物品
----	--	---	----	-------------

（3）放射性药物存放安全措施

编制核医学检查工作计划，根据预约检查项目确定所需放射性药物种类和数量，提前一天以上向供药单位订购。供药方在约定的时间，将预约用量的药物送至放射性药物准备室。核医学科安排专人接收放射性药物，经核实品类和数量，确认无误后完成相关交接手续后暂存在储源间。

医院配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存帐、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火、防盗、放水淹等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起，不对外转让放射性药品。

（4）表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，执行以下管理措施：

- ①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；
- ②操作放射性药物时，须在有负压的通风橱内进行，防止放射性物质撒漏；
- ③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。
- ④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去

污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

（5）人员防护措施

①辐射工作人员防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

a. 屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

b. 时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

c. 距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

②其他人员防护

屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

（6）操作过程中的防护措施

工作人员在进行放射性药品分装、测活、注射操作时，首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽、放射性防护服等。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。通风橱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射药物推车采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。遇不配合患者，或者静脉通道难以建立者，预埋静脉留置针，以减少注射药物操作时间。注射操作时，医生与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射后候诊室候诊。

（7）对注射后患者及陪护者的防护措施

在患者候诊室和留观室配备可移动铅屏风，放置于患者之间，避免相互间不必要的照射。告知患者及家属核医学检查可能带来的电离辐射危害性，倡导患者要与陪护人员实行隔离，尽量避免陪护或减少陪护人员。检查期间如果患者必须有人陪护时，事先告知陪护者注意事项，采取屏蔽防护、时间防护、距离防护、注意个人卫生等防护措施，同时要求患者在候诊室或留观室静候，不要随意走出房间。产生的呕吐物和排泄物要排入候诊室专用厕所，告知工作人员及时清理或更换被污染物品。被放射性物质污染的废弃物置入指定废物桶，定期转运至放废间暂存。医院需划定专门的陪护人员等候区，并尽量远离非密封源工作场所。

10.1.3 三废治理

（一）放射性废气治理措施

核医学诊断工作区放射性废气来源于放射性药物准备室、PET 显像区、SPECT 显像区等使用放射性药物诊断过程产生的放射性气溶胶。本工作区设计通排风系统采用独立设计，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉。整个核医学科气流流向为：非辐射区→监督区→控制区，防止放射性气溶胶向周围非辐射工作区域扩散，尽量减小公众及职业人员吸入内照射。

放射性药物准备室操作柜设置 1 套独立排风系统，分装、质检操作在操作柜内进行。操作柜正常运行状态下进口风速大于 0.5m/s，出风口安装 HEPA 高效过滤及活性炭吸附装置，废气通过独立管道引至楼顶排放。排放口后置高效过滤器和活性炭过滤器（两级气体净化装置总过滤效率不低于 99%）。排放口设置在邻近的病房楼 B 建筑顶部（建筑高度 36m），高于本院区周围建筑。

根据设计单位提供的通风设计方案，放射性废气净化吸附系统分为两级，前置高效空气过滤器用于去除空气中的灰尘、气溶胶以及细菌等，过滤效率不低于 99.5%，后置活性炭高效过滤器主要是用于去除放射性气溶胶颗粒，过滤效率不低于 99%。应保持工作区良好的通风条件，合理组织气流遵循自非放射性工作区向监督区再向控制区的设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所空气质量。

为保证放射性废气处理设施正常安全运行，建设单位还需采取如下措施：①定期对通排风系统管道及过滤系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中活性

炭过滤器需根据设备要求进行过滤效率检定和更换，每半年至少进行一次维护和校正；②更换下的活性炭过滤器应按放射性固体废物进行管理和处置。③为防止公众进到楼顶，避免不必要的误照射，要求建设单位将楼顶废气排风口周围一定区域划为安全管控区域，设置电离辐射警告标志和废气排污口标志，并进行封闭管理。

（二）固体废弃物处理措施

核医学诊断工作区产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、静脉留置针、棉签、手套、口罩、空药瓶、擦拭纸巾、被放射性物质污染的生活垃圾等，涉及的放射性核素为 Tc-99m 和 F-18。本项目放射性药物准备室、给药后患者候诊室及留观室、运动负荷室、放射性药物注射车设置有放射性固废收集桶，用于分核素种类收集放射性固废，每天收集后转入放射性废物间进行暂存衰变。工作区通风系统气体净化过滤装置定期更换下的过滤器作为放射性固废进行收集处理。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

（1）放射性固体废物收集

①医疗类放射性废物和非医疗类放射性废物区分收集；②放射性固废收集桶内应放置于专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转运至放射性废物间进行衰变处置；③对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其它包装材料中，然后在装入专用塑料袋内；④每袋废物的表面剂量不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

（2）放射性固废临时贮存和最终处理

①建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，主要记录信息内容包括：核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果信息等，并安排专人负责管理，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；②放射性固废进行分类收集，分阶段集中打包收贮。含 F-18 和 Tc-99m 的放射性固废暂存衰变 30 天以上，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 可进行清洁解控。解控的医疗废物转运医院医疗废物站由有资质单位统一回收处理。解控的非医疗类废物按照生活垃圾进行处理。③放射性固废暂存间应安装通风换气装置，地面进行防渗处理，墙角边缘应进行圆角处理，并在

门口同时张贴电离辐射警告标示和医疗废物警示标识。

（二）放射性废水处置措施

（1）集水坑和排水管道

在地下二层设置专用的放射性废水污泵间（汇水路径见附图13），周围30cm混凝土防护。核医学科产生的放射性废水先排入污泵间集水坑，然后通过潜污泵排至室外的衰变池。集水坑盖板采用“三防”铸铁井盖，“三防”井盖的外井盖为铸铁材质，内部的盖板为玻璃钢或PE材质，包裹5mm铅板进行屏蔽。放射性污水排水竖管用实心砖或混凝土包管屏蔽，排水横管用5mm铅皮包裹并加固的方式屏蔽。排水管道采用不锈钢管道，防止核医学科运行过程中，因排水管道腐蚀泄漏导致周围场所发生放射性污染。

（2）衰变池设置

核医学诊断工作区设置有独立的给药后患者专用卫生间，且设置有独立的下水系统，与放射性药物准备室水槽排水、卫生通过间卫浴室排水、工作区卫生保洁排水合并汇入放射性废水衰变池。本项目建设1处埋地式衰变池，有效容积为 $3 \times 15.0 \text{ m}^3$ ，位于医疗综合楼（门诊部3建筑）北侧院内道路下方（衰变池位置示意图见附图3所示），已避开人员可能较长停留时间区域。衰变池池体采用300mm混凝土浇筑，顶板为300mm混凝土浇筑，池体内部铺设防水涂层，防渗系数 $\leq 10^{-10} \text{ cm/s}$ ，检修井内设置防水、防护双层井盖，防护井盖不低于4mm铅当量屏蔽。满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中8.3“放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施”的要求。

3个衰变池采用并联设置，每个衰变池均设有水位检测装置、电动蝶阀、手动蝶阀、压力传感器溢流口和预留检修口。当衰变池1废水水位达到设置最高水位后，则衰变池1进水阀门自动关闭，打开衰变池2进水阀，使废水流入衰变池2，依次类推3池轮替循环进水贮存放射性废水。当衰变池3废水水位达到设置最高水位时，衰变池1中废水贮存期满排放，拟排衰变池废水满足解控排放要求（总 $\beta < 10 \text{ Bq/L}$ ，总 $\alpha < 1 \text{ Bq/L}$ ），排入医院污水处理站进一步处理，经处理后应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2要求，方能排入城市污水管网。

本项目废水排放采用PLC自控系统，在核医学科工作区设置工作管理终端。前级集水坑做过滤池使用。集水坑和衰变池的进水阀和排水泵均自动控制和手动控制两种模式。衰变

池水泵（2套，一备一用）要求建立巡查制度及台账制度，以保证其正常运行。排放放射性废水衰变池建筑设计简图见图10-3和图10-4。

图10-3 废水衰变池建筑平面设计简图

图10-4 废水衰变池建筑剖面设计简图

(3) 废水处置合理性分析

根据本报告源项分析内容，在正常情况下：核医学科工作区放射性废水每日平均排放



根据本报告源项分析内容，在正常情况下：核医学科工作区放射性废水每日平均排放

量为 0.342m^3 。衰变池有效容积为 $3 \times 15.0\text{m}^3$ ，注满 1 池大约需要 43 天，注满 2 池用时约 88 天。衰变池 3 池轮替循环进水，贮存放射性废水，废水贮存衰变时间可达 88 天。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于所含核素半衰期小于 24h 的放射性废液暂存时间需超过 30 天。因此，本项目放射性废水衰变池容积设计较合理。

（4）放射性废水收集排放管控措施

为保障该衰变池的长效可靠运行，建设单位还需采取如下管理措施：①医院需建立放射性废水暂存和处理台账排放台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人、排放时间、监测结果等信息，并由专人负责管理记录。②衰变池作为控制区管理，建立衰变池检修安全管理制度和操作规程，落实检修过程辐射监测制度和个人防护制度。③雨季来临前检查衰变池检修口井盖防水效能，防止地面积水倒灌进入衰变池导致贮水溢出外排。④在诊疗过程中若出现剩余放射性药物，考虑其活度较大，禁止将其直接排入下水管网或衰变池，应先采用单独的收集容器收集，转入放射性废物间暂存容器内进行暂存，贮存超过10个半衰期后，再通过放射性废水下水口排入对应的衰变池。

10.2 III类射线装置放射诊断

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定，本项目 PET-CT 设备机房应采取以下管理措施：

①将 PET-CT 检查室划分出控制区，禁止无关人员进入；检查室相邻的控制室、更衣间、通道（候诊区）作为监督区。②机房设有观察窗，设置在便于观察到患者和受检者状态的位置。③合理布局机房，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不堆放与机房设备诊断工作无关的杂物。④机房门外设电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处设“射线有害，灯亮勿入”等类似警示语句。机房门设闭门装置，且工作状态指示灯与机房相通的门能有效联动。⑤加强患者和受检者管理，不让其在机房内候诊。除特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。⑥配备符合工作需要的辅助防护用品，为不同年龄的儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量不低于 0.5mmPb 。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物、设备安装及调试过程可能产生的放射性污染。本项目非辐射内容已另行委托环境影响评价，在此不再分析施工期的影响。设备安装及调试过程会产生放射性污染，因此。射线装置安装应由专业人员进行，医院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

环评建议在设备安装调试阶段，医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在门上粘贴电离辐射警告标志，采取管控措施，禁止无关人员靠近。由于设备安装调试时间用时短，而且均在放射工作场所内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

11.2 核医学诊断应用环境影响分析

11.3.1 贯穿辐射环境影响预测分析

(1) 使用放射性核素辐射剂量率估算

① 估算模式及参数

工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，则要考虑来自病人身体的射线辐射。

将注射后的患者视为“点状辐射源”，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，操作放射性核素工作场所的屏蔽计算，可采用瞬时剂量率计算方法，计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-x/TVL} \quad \dots\dots\dots \text{（公式 11.3-1）}$$

式中：

$\dot{H}$ ——关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) ;

A——操作核素的活度或受检者给药的最大活度 (MBq) ;

Γ ——距源1m 处的周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}^{-1}$) ;

r——关注点与放射源间的距离 (m) ;

x——屏蔽厚度 (mm) ;

TVL—— γ 射线的十分之一值层厚度 (mm) 。

参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录I, 本项目使用的放射性核素相关参数见表 11-1。

表 11-1 操作放射性药物工作场所屏蔽计算参数

序号	核素	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$)	TVL (mm)	
			铅	混凝土
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	1	110
2	^{18}F	0.143	16.6	176

注: (1) 铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$, 混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。(2) 本项目采用重晶石砖砌墙, 密度为 $3.2\text{g}/\text{cm}^3$ 。

② 估算源强

a) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查成人患者每人每次用量 185MBq (5mCi) $\sim 925\text{MBq}$ (25mCi), 其中心肌扫描和骨扫描最大用量为 $9.25 \times 10^8\text{Bq}$ (25mCi), 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)。儿科核医学显像检查保守按静脉注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物最大给药量 20mCi (740MBq) 来估算工作场所屏蔽体外的辐射影响, 距离裸源1m处剂量率为 $22.4 \mu\text{Sv/h}$ 。注射 20mCi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 操作时药物置于 5mmPb 防护套内。距离注射 740MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物患者1m处的辐射剂量率为 $15.3 \mu\text{Sv/h}$ (考虑患者身体屏蔽因素, 参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录L, 表L.1数据计算得出)。分析工作人员扫描摆位时辐射剂量贡献时考虑患者身体的屏蔽因素。

b) 儿科核医学检查 ^{18}F 最大使用量按 296MBq (8mCi)/人次。注射 296MBq 药物操作时, 距离裸源1m处剂量率为 $42.3 \mu\text{Sv/h}$ 。患者注射 8mCi 的 ^{18}F 后, 距离患者1m处的剂量率为 $27.2 \mu\text{Sv/h}$ (参考《核医学放射防护要求》表L.1数据计算得出)。

d) ^{18}F 显像药物, 有时需要在使用前分装。操作人员需在通风橱内进行药物的手动分

装，每人次最大用药量为296MBq，单只针剂外置5mmPb防护套。

e) 假设PET/CT候诊室最多停留2名给药后受检者；PET检查留观室最多同时停留2名检查后留观受检者。SPECT候诊室最多停留3名给药后受检者；SPECT检查留观室最多同时停留3名检查后留观受检者。

f) 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ11188-2021）要求：放射性药物合成、分装通风柜、注射窗屏蔽体外表面30cm处（工作人员操作位）的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

③ 核医学科场所周围辐射附加剂量率水平计算

本项目四周屏蔽墙关注点为墙外 30cm 处，上部房间关注点位置为楼板地面上方 1.0m 处，楼下关注点在房间距地面 1.7m 处。

核医学科诊断工作场所周围评价关注点辐射附加剂量率计算参数及计算结果见表 11-2 和表 11-3 所示。

11-2 SPECT 显像检查工作场所辐射水平估算分析表

关注点位置			源项 A (^{99m}Tc , MBq)	距离 r (m)	屏蔽防护措施	透射系数 B	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
药物操作	SPECT 药物操作柜表面 30cm		740	0.5	10mmPb 通风橱	1.0×10^{-10}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	药物质检、分装
	SPECT 药物转移至注射窗		740	0.5	5mmPb 注射器防护套	1.0×10^{-5}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	药物转移
	SPECT 药物注射窗操作位		740	0.5	40mmPb 注射窗 +5mmPb 注射器防护套	1.0×10^{-45}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	窗口注射
	SPECT 药物注射车操作位		740	0.5	5mmPb 注射车防护围挡 +5mmPb 注射器防护套	1.0×10^{-10}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	床旁注射
SPECT 扫描操作	SPECT 操作室观察窗 30cm		740	3.6	4mmPb 观察窗	1.0×10^{-4}	1.73×10^{-4}	摆位考虑患者身体自吸收屏蔽因素
	扫描检查室内指导摆位处		740	1.0	0.5mmPb 铅服	0.316	4.84	
放射性药物准备室	控制区内	北墙外 30cm (工作区患者通道)	740	4.6	5mmPb 注射器防护套 +25cm 重晶石砖	1.0×10^{-5} 8.11×10^{-4}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	药物操作
	控制区外	南墙外 30cm (公共通道)		1.0	5mmPb 注射器防护套 +25cm 重晶石砖	1.0×10^{-5} 8.11×10^{-4}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
		上部房间 (住院药房)		5.8	5mmPb 注射器防护套 +30cm 厚混凝土	1.0×10^{-5} 1.87×10^{-3}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	药物位置： 距离地面约 1.1m
		下方房间 (地下车库，层高 4.8m)		4.0	5mmPb 注射器防护套+20cm 厚混凝土+2mm 铅当量钡水泥	1.0×10^{-7} 1.52×10^{-2}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
SPECT 检查候诊室	控制区内	西墙外 (患者通道)	1480	2.0	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	3 位患者分散就坐候诊。按 2 位患者辐射剂量叠加贡献考虑。不考虑患者自吸收因素
		防护门外 (患者通道)		3.0	8mmPb 防护门	1.0×10^{-8}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
	控制区外	东墙外 (核医学诊室)		1.2	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	2.70×10^{-3}	
		东墙外 (楼梯间)		2.0	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	9.00×10^{-3}	
		上部房间 (住院药房)		6.3	30cm 厚混凝土	1.87×10^{-3}	2.11×10^{-3}	
		下方房间 (地下车库，层高 4.8m)		4.0	20cm 厚混凝土+2mm 铅当量钡水泥	1.0×10^{-2} 1.52×10^{-2}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
SPECT 检查留观室	控制区内	西墙外 (患者通道)	1480	2.0	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	3 位患者同时候诊。按 2 位患者辐射
		防护门外 (患者通道)		2.0	8mmPb 防护门	1.0×10^{-8}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
	控制	东侧专用电梯前室		2.0	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	9.00×10^{-3}	

	区外	上部房间（住院药房、化疗病区诊室）		6.3	30cm 厚混凝土	1.87×10^{-3}	2.11×10^{-3}	剂量叠加贡献考虑。不考虑候诊期间核素衰减因素。
		下方房间（制冷机房，层高 5.9m）		5.2	20cm 厚混凝土+2mm 铅当量钡水泥	1.0×10^{-2} 1.52×10^{-2}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
运动负荷室兼抢救室	控制区内	北墙外 30cm（患者通道）	740	1.5	8mmPb 防护门	1.0×10^{-8}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	1 位注射 ^{99m}Tc 药物的患者就诊。不考虑患者自吸收因素
	工作区内	北侧候诊大厅		1.5	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	8.07×10^{-3}	
		东墙外 30cm（核医学科诊室）		3.0	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	2.02×10^{-3}	
	控制区外	下方房间（地下车库，层高 4.8m）		5.8	30cm 厚混凝土	1.87×10^{-3}	1.25×10^{-3}	
		下方房间（地下车库，层高 4.8m）		4.0	20cm 厚混凝土+2mm 铅当量钡水泥	1.0×10^{-2} 1.52×10^{-2}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
SPECT 扫描检查室	工作区内	东墙外（患者通道）	740	3.5	8mmPb 防护门	1.0×10^{-8}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	源项计算时不考虑患者自吸收因素
		控制室操作位		3.5	4mmPb 观察窗	1.0×10^{-4}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	
	控制区外	北墙外（药品库）		3.5	25cm 重晶石砖	8.11×10^{-4}	1.48×10^{-3}	
		上部房间（住院药房）		5.8	30cm 厚混凝土	1.87×10^{-3}	1.25×10^{-3}	
		下方房间（制冷机房，层高 5.9m）		5.7	20cm 厚混凝土+2mmPb 当量钡水泥	1.0×10^{-2} 1.52×10^{-2}	$< 1.0 \times 10^{-3}$	

表 11-3 PET 显像检查工作场所辐射水平估算分析表

关注点位置		源项 A (^{18}F , MBq)	距离 r (m)	屏蔽防护措施	透射系数 B	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
药物操作	PET 药物操作柜表面 30cm	296	0.5	50mmPb 通风橱	9.73×10^{-4}	1.65×10^{-1}	药 物 质 检、分装
	PET 药物转移至注射窗	296	0.5	10mmPb 转运箱 +15mmPb 注射器防护套	0.031	5.28	药物转移
	PET 药物注射窗操作位	296	0.5	40mmPb 注射窗 +15mmPb 注射器防护套	3.89×10^{-3} 0.125	8.23×10^{-2}	窗口注射
PET 扫描操	PET-CT 操作室观察窗 30cm	296	3.6	8mmPb 观察窗	0.330	6.93×10^{-1}	考虑患者身

作	扫描检查室内指导摆位处		296	1.0	-	-	27.2	体自吸收屏蔽因素
放射性药物准备室	控制区内	北墙外 30cm (工作区患者通道)	296	4.6	15mmPb 注射器防护套 +25cm 重晶石砖	0.125 1.17×10^{-2}	2.92×10^{-3}	药物操作
	控制区外	南墙外 30cm (公共通道)		1.0	15mmPb 注射器防护套 +25cm 重晶石砖	0.125 1.17×10^{-2}	6.19×10^{-2}	
		上部房间 (住院药房)		5.8	15mmPb 注射器防护套 +30cm 厚混凝土	0.125 1.97×10^{-2}	3.10×10^{-3}	药物位置： 距离地面约 1.1m
		下方房间 (地下车库)		4.4	15mmPb 注射器防护套+20cm 厚混凝土+3mm 铅当量钡水泥	0.125 0.07×0.660	1.26×10^{-2}	
PET 检查留观室	控制区内	西墙外 (患者通道)	592	1.5	25cm 重晶石砖	1.17×10^{-2}	4.40×10^{-1}	按 2 位患者候 诊, 辐射剂量 叠加贡献考 虑。不考虑患 者自吸收因素 和候诊期间核 素衰减核。
		防护门外 (患者通道)		1.5	8mmPb 防护门	0.330	12.4	
	控制区外	东墙外 (核医学诊室)		1.5	25cm 重晶石砖	1.17×10^{-2}	4.40×10^{-1}	
		上部房间 (住院药房)		6.3	30cm 厚混凝土	1.97×10^{-2}	4.20×10^{-2}	
		下方房间 (制冷机房)		5.2	20cm 厚混凝土 +3mm 铅当量钡水泥	0.07 0.660	1.45×10^{-1}	
PET 检查候诊室	控制区内	墙外 (患者通道)	592	1.5	25cm 重晶石砖	1.17×10^{-2}	4.40×10^{-1}	按 2 位患者候 诊, 辐射剂量 叠加贡献考 虑。不考虑患 者自吸收因素 和候诊期间核 素衰减核。
		防护门外 (患者通道)		1.5	8mmPb 防护门	3.30×10^{-1}	12.4	
	控制区外	东侧候诊大厅		3.0	25cm 重晶石砖	1.17×10^{-2}	1.10×10^{-1}	
		上部房间 (住院药房、化疗病区诊室)		6.3	30cm 厚混凝土	1.97×10^{-2}	4.20×10^{-2}	
		下方房间 (制冷机房)		5.2	20cm 厚混凝土 +3mm 铅当量钡水泥	0.07 0.660	1.45×10^{-1}	
PET-CT 扫描检查室	工作区内	东墙外 (患者通道)	296	3.5	8mmPb 防护门	0.330	6.93×10^{-1}	考虑患者身体 自吸收屏蔽因 素。不考虑患 者候诊期间核 素衰减核。
		控制室操作位		3.5	8mmPb 观察窗	0.330	6.93×10^{-1}	
	控制区外	北墙外 (药品库)		3.5	25cm 重晶石砖	1.17×10^{-2}	2.60×10^{-2}	
		上部房间 (住院药房)		5.8	30cm 厚混凝土	1.97×10^{-2}	1.59×10^{-2}	
		下方房间 (地下车库)		4.5	20cm 厚混凝土 +3mmPb 当量钡水泥	0.07 0.660	6.21×10^{-2}	

根据上述表格内容及估算结果可知：

① ^{99m}Tc 药物质检、分装和注射操作位置，以及控制室SPECT设备控制室操作位辐射剂量率较低，对工作人员的辐射影响较小；扫描室医技人员指导受检者摆位时，距离受检者1m处辐射剂量率为 $4.84\mu\text{Sv/h}$ ，是SPECT检查岗位医护人员主要的辐射暴露途径。

② ^{18}F 药物质检、分装和注射操作，以及PET设备控制室操作位，上述操作过程关注点辐射剂量率最大值预计为 $0.636\mu\text{Sv/h}$ ，对工作人员有一定的辐射影响。 ^{18}F 药物由通风柜移运至注射窗时，采取10mmPb当量转运箱及15mmPb当量注射器防护套屏蔽，人员受到辐射剂量率预计不超过 $5.28\mu\text{Sv/h}$ 。PET扫描室医护人员指导受检者摆位时，距离受检者1m处辐射剂量率为 $27.2\mu\text{Sv/h}$ ，是PET显像检查岗位中医护人员主要的辐射暴露途径之一。

③ 假设PET检查候诊室和PET检查留观室内各有2位患者候诊，预计东侧墙外（患者通道）附加剂量率不超过 $0.440\mu\text{Sv/h}$ ，防护门外剂量率不超过 $12.4\mu\text{Sv/h}$ ；西侧相邻的核医学诊室和候诊大厅剂量率不超过 $0.440\mu\text{Sv/h}$ ；上部相邻楼层房间剂量率不超过 $0.042\mu\text{Sv/h}$ ，楼下相邻的制冷机房剂量率不超过 $0.145\mu\text{Sv/h}$ 。

④ SPECT检查候诊室和SPECT检查留观室周围区域辐射附加剂量率很小，预计不超过 $0.009\mu\text{Sv/h}$ ，东侧相邻的核医学科诊室剂量率预计不超过 $0.003\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）CT扫描出束时X射线辐射影响分析

本项目PET-CT在诊断过程中CT运行时产生X射线。本项目PET-CT扫描室机房墙体、顶棚、地板、观察窗和防护门采取的辐射屏蔽措施均不低于3.5mm铅当量（对140kV管电压运行工况的CT杂散射线，屏蔽透射系数 $\leq 2.5 \times 10^{-5}$ ），满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130—2020）给出的2.5mm铅当量防护要求，机房面积和单边长度也分别满足 30m^2 和4.5m的要求。

PET-CT中CT运行时工作条件类似于常规放射诊断用CT机，采取隔室操作。预计PET/CT设备的CT装置运行时，机房周围泄漏X射线的附加辐射剂量率很小，相对于给药患者发射的 γ 射线叠加效果可以忽略。因此，CT运行的辐射影响很小。

（3）PET-CT设备质控检测使用密封放射源环境影响分析

医院需定期质控对PET-CT设备进行检测，故需对进行质控检测的工作人员进行附加剂量估算。本项目暂未确定设备型号及拟配置密封校验源种类及活度，本评价以常用Ge-68

放射源的最大使用活度进行预测分析。

工作人员至少每周使用1次密封源进行均匀度等质控检测，该环节需将带有铅屏蔽的刻度源从储源间转移到扫描室，取出源放于PET-CT扫描床检测支架上，然后在控制室启动质控程序，检测完成将密封源置于铅屏蔽盒放回储源间。Ge-68质控源产生光子平均能量仅约9.2keV，但其子体Ga-68可发生正电子衰变产生湮灭辐射并发射511keV光子，故该环节主要考虑Ga-68的影响。核素Ga-68在距离源1米处周围剂量当量率常数为 $0.134 \mu \text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ，保守按初始活度111MBq考虑，操作距离取50cm，操作位剂量率为 $59.5 \mu \text{Sv/h}$ ，每次操作时间约2min，全年累计1.7h，则工作人员附加剂量约为 $101 \mu \text{Sv/a}$ 。

11.3.2 工作人员及公众附加剂量估算

核医学科实行每日一班制，全年工作 250d。结合本项目工作人员配备及工作负荷，考虑以下假设：

（1）每年 SPECT 检查 3750 人次，扫描时间平均为 20min/人次，总共扫描时间为 1250h。SPECT 检查候诊室和留观室有患者停留总时间保守按 1500h（附加剂量率贡献值按 2 人给药量叠加估算）。

（2）每年 PET-CT 检查最大人数为 2000 人次。PET-CT 扫描检查时间平均按 20min/人次，则 PET-CT 机房内患者停留时间约为 667h/a。PET-CT 检查候诊室和留观室有患者停留总时间保守按 1000h（附加剂量率贡献值按 2 人给药量叠加估算）。

（3）注射放射性药物直接静脉注射或静脉预置针方式注射，每人次注射时间平均为 30s/人。

SPECT检查应用辐射工作人员和公众受照剂量估算参数及结果见表11-4；

PET检查应用辐射工作人员和公众受照剂量估算参数及结果见表11-5；

核医学科辐射工作人员受照剂量小节分析，见表11-6所示。

核医学辐射工作场所周围公众受照剂量小节分析，见表11-7。

表 11-4 SPECT 检查应用辐射工作人员和公众受照剂量估算表

关注点位		关注点 辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	运行时间 (h/a)	居留 因子	受照剂量 (mSv/a) (低于 0.001 计为 1.0×10^{-3})	受照剂量 小计 (mSv/a)	保护目标
放射性药 物准备室	通风橱操作位	$<1.0\times 10^{-3}$	83h ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物质检、分装 20min/d, 全年 250d)	1	1.0×10^{-3}	$<3.0\times 10^{-3}$ (两人分担)	辐射工作 人员
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物转移	$<1.0\times 10^{-3}$	10h (单次 10s, 3750 人次/年)		1.0×10^{-3}		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射位	$<1.0\times 10^{-3}$	31h (单次 30s, 3750 人次/年)		1.0×10^{-3}		
	南墙外公共通道	$<1.0\times 10^{-3}$	83h ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物质检、分装 20min/d, 全年 250d)	1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	公众
	上部房间 (住院药房)	$<1.0\times 10^{-3}$		1	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
	下方房间 (地下车库)	$<1.0\times 10^{-3}$		1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
SPECT 扫描室	SPECT 控制室操作位	1.73×10^{-4}	$\leq 1250\text{h}$ (SPECT 扫描 10~20min/次; 全年 3750 人次)	1	1.0×10^{-3}	0.305 (两人分担)	辐射工作 人员
	扫描床旁摆位	4.84	63h (每次摆位约 1min, 全年 3750 人次)	1	0.305		
	北侧药品库	1.48×10^{-3}	$\leq 1250\text{h}$	1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	公众
	上部房间 (住院药房)	1.25×10^{-3}		1	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	
	下方房间 (制冷机房)	$<1.0\times 10^{-3}$		1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
SPECT 检查候诊 室	东墙外 (核医学诊室)	2.70×10^{-3}	1500h (每日累计 6h 有患者候诊, 全 年 250d)	1	4.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}	辐射工作 人员
	东墙外 (楼梯间)	9.00×10^{-3}		1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	公众
	上部房间 (住院药房)	2.11×10^{-3}		1	3.2×10^{-3}	3.2×10^{-3}	
	下方房间 (地下车库)	$<1.0\times 10^{-3}$		1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
SPECT 检查留观 室	东侧专用电梯前室	9.00×10^{-3}	1250h (每日累计 5h 有患者候诊, 全 年 250d)	1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	公众
	上部房间 (住院药房)	2.11×10^{-3}		1	2.6×10^{-3}	2.6×10^{-3}	
	下方房间 (制冷机 房)	$<1.0\times 10^{-3}$		1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
运动负荷 室兼抢救 室	北侧候诊大厅	8.07×10^{-3}	500h (每日累计 2h 有患者候诊, 全 年 250d)	1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	射工作人 员、公众
	东侧核医学科诊室	2.02×10^{-3}		1	4.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}	
	上部房间 (住院药房)	1.25×10^{-3}		1	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	公众
	下方房间 (地下车库)	$<1.0\times 10^{-3}$		1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	

表 11-5 PET 检查应用辐射工作人员和公众受照剂量估算表

关注点位		关注点 辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	运行时间 (h/a)	居留 因子	受照剂量 (mSv/a) (低于 0.001 计为 1.0×10^{-3})	受照剂量 小计 (mSv/a)	保护目标
放射性药 物准备室	通风橱操作位	1.65×10^{-1}	42h (^{18}F 药物质检、分装 10min/d, 全年 250d)	1	6.9×10^{-3}	4.0×10^{-2} (两人分担)	辐射工作 人员
	^{18}F 药物药物转移	5.28	6h (单次 10s, 2000 人次/年)		3.2×10^{-2}		
	^{18}F 药物注射位	8.23×10^{-2}	17h (单次 30s, 2000 人次/年)		1.4×10^{-3}		
	南墙外公共通道	6.19×10^{-2}	42h (^{18}F 药物质检、分装 10min/d, 全年 250d)	1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	公众
	上部房间 (住院药房)	3.10×10^{-3}		1	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
	下方房间 (地下车库)	1.26×10^{-2}		1/16	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	
PET 扫描室	PET 控制室操作位	6.93×10^{-1}	$\leq 667\text{h}$ (PET-CT 扫描 10~20min/次; 全年 2000 人次)	1	0.462	1.36 (两人分担)	辐射工作 人员
	扫描床旁摆位	27.2	33h (每次摆位约 1min, 全年 2000 人次)	1	0.898		
	上部房间 (住院药房)	1.59×10^{-2}	$\leq 667\text{h}$	1	1.1×10^{-2}	1.1×10^{-2}	公众
	下方房间 (地下车库)	6.21×10^{-2}		1/16	2.6×10^{-3}	2.6×10^{-3}	
PET 检查候诊 室	东侧候诊大厅	1.10×10^{-1}	1000h (每日累计 4h 有患者候诊, 全 年 250d)	1/16	6.9×10^{-3}	6.9×10^{-3}	射工作人 员、公众
	上部房间 (住院药 房、化疗病区诊室)	4.20×10^{-2}		1	4.2×10^{-2}	4.2×10^{-2}	公众
	下方房间 (地下车库)	1.45×10^{-1}		1/16	9.1×10^{-3}	9.1×10^{-3}	
PET 检查 留观室	东墙外 (核医学诊室)	2.60×10^{-2}	1000h (每日累计 4h 有患者候诊, 全 年 250d)	1	2.6×10^{-2}	2.6×10^{-2}	辐射工作 人员
	上部房间 (住院药 房、化疗病区)	1.59×10^{-2}		1	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	公众
	下方房间 (地下车库)	6.21×10^{-2}		1/16	3.9×10^{-3}	3.9×10^{-3}	

表11-6 核医学科辐射工作人员受照剂量分析表（单位：mSv/a）

SPECT显像药物操作	PET显像药物操作	SPECT显像扫描检查	PET显像扫描检查	候诊大厅 护士站	门诊诊室	PET-CT 质控检测
0.003	0.040	0.305	1.36	0.008	0.026	0.101

由表11.3-7可知，核医学科操作放射性药物岗位人员年受照剂量预计不超过0.02mSv；PET-CT显像检查和SPECT显像检查岗位工作人员年受照剂量预计不超过0.83mSv，满足本项目建议的职业人员年有效剂量不超过5mSv的管理目标值要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）中对职业人员受照剂量限值要求。

表11-7 核医学辐射工作场所周围公众受照剂量分析表（剂量单位：mSv/a）

本楼层控制区外围区域				
南侧相邻公共通道	候诊大厅	北侧相邻药品库	东侧相邻 楼梯间	东侧相邻 电梯前室
0.001	0.007	0.001	0.001	0.001
楼上相邻楼层区域				
住院药房 （下方：PET 检查 候诊、留观室）	住院药房 （下方：放射性 药物准备室、运 动负荷室）	住院药房 （下方：PET-CT 扫描室、SPECT 扫描室）	住院药房 （下方：SP ECT检查候 诊室、留观 室）	化疗病区 （下方：SPE CT检查留观 室）
0.042	0.001	0.001	0.003	0.003
楼下相邻楼层区域				
地下车库 （上部 PET 检查候 诊、留观室）	地下车库 （上部：放射性 药物准备室、运 动负荷室）	制冷机房 （上部：SPECT 检查候诊室、留 观室、SPECT 扫 描室）	-	-
0.004	0.001	0.015		

由表11.3-8可知，核医学科工作场所运行所致周围公众辐射照射最大年有效剂量预计为0.04mSv，满足本项目建议的公众年有效剂量不超过0.1mSv的管理目标值要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）中关于公众辐射照射剂量限值要求。

核医学科场所分区管理，核医学诊断工作区内病人给药、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，仅在陪护期间短时

停留，他们不是核医学诊断工作区主要防护对象。

11.3.3 放射性废物环境影响分析

(1) 放射性废水影响分析

SPECT 诊断项目废水核素排放导出限值主要考虑 ^{99m}Tc ；PET 诊断项目废水核素排放导出限值主要考虑 ^{18}F 。查 GB18871-2002 附录表 B3，根据工作人员吸入 $e(g)1\mu\text{m}$ 、吸入 $e(g)5\mu\text{m}$ 和食入 $e(g)$ ，取工作人员吸入或食入的待积有效剂量的最大值 E_j 计算 $ALI_{\min}$ ： $ALI_{\min}=20\text{mSv}/E_j$ ，计算结果见表 11-8。

表 11-8 废水中各核素排放导出限值

核素	E_j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
^{18}F	9.3×10^{-11}	2.15×10^9	2.15×10^8
^{99m}Tc	2.9×10^{-11}	6.90×10^9	6.90×10^8

① 放射性废水衰变池容积合理性分析

根据本报告源项分析内容，在正常情况下：核医学诊疗工作区放射性废水每日平均排放量为 0.342m^3 。衰变池有效容积为 $3\times 15.0\text{m}^3$ ，注满 1 池大约需要 43 天，注满 2 池用时约 88 天。衰变池 3 池轮替循环进水，贮存放射性废水，废水贮存衰变时间可达 88 天。

本项目规划使用放射性核素为 ^{18}F 和 ^{99m}Tc ，其半衰期均小于 24h。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于所含核素半衰期小于 24h 的放射性废液暂存时间需超过 30 天，可直接解控排放。因此，本项目衰变池容积设计合理。

② 衰变池的衰变时间以及排放浓度的计算

衰变池废水贮存及排放情况分析情况表 11-9。

表 11-9 衰变池废水核素排放情况分析表

核素	核素单日最大使用量 (Bq)	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	半衰期	贮存时间	排放活度 (Bq)	排放浓度 (Bq/L)
^{99m}Tc	1.11×10^{10}	1.67×10^9	6.02h	88d	<0.1	$<6.7\times 10^{-6}$
^{18}F	2.37×10^9	3.56×10^8	110min	88d	<0.1	$<6.7\times 10^{-6}$

经计算可见，PET诊断和SPECT诊断项目排放放射性废水经衰变后核素排放活度远小于单次排放的活度 $1ALI_{\min}$ 和单月排放活度 $10ALI_{\min}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全

基本标准》（GB18871-2002）规定的废水排放限值规定。排放废水的核素活度浓度小于 $<6.7\times 10^{-6}\text{Bq/L}$ ，满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466—2005）规定的衰变池排放口废水放射性活度浓度总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 要求。

（2）放射性固体废物影响分析

根据综合性医院核医学科类比调查数据，按产生医疗类放射性固体废物 0.03kg/人的系数计算，则核医学科放射性废物产生量合计为 173kg/a，折算为每月平均产生量为 14kg/d。按 20%的就诊患者可能产生非医疗类放射性废物，每人次检查产生量预计 0.15kg，全年预计产生量约 173kg，平均每月产生量约 14kg。

核医学科工作场所每年更换通风橱和管道中气体过滤器，预计额外产生 100kg 放射性固体废物，拆下的废弃滤材将妥善收集，密封包装按照放射性固体废物进行暂存，待满足清洁解控水平后作为一般医疗废物处理。

依据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），本项目使用核半衰期小于 24 小时，暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 ， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的可对废物清洁解控，依照医疗废物和生活垃圾分类处理。同时详细记录“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。

固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。经分析，上述措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）关于固体放射性废物处理的管理要求，项目运行期放射性废物按要求进行收集、暂存和处理后不会对环境造成影响。

（3）放射性废气影响分析

核医学科工作场所各功能区及高活室通风橱均设有通风系统，通风系统均经高效过滤器+活性炭过滤器吸附过滤后在病房楼 B 建筑顶部排放。本项目使用的含放射性核素显像药物物理性质稳定，正常工况下，活度测定和注射操作不会产生气溶胶和蒸汽，不会造成

环境空气得放射性污染；若操作发生意外洒落情况时，及时使用擦拭物品进行擦拭清洗（擦拭物品作为放射性固体废物处理），仍会有微量放射性物质挥发，但经过相应的过滤装置后只有极少量的放射性物质排放，经大气扩散后浓度会更低，且偶发排放对周围公众剂量贡献极小。因此，本场所排放放射性废气对周围环境的影响极小。

11.3.8 事故影响分析

（1）事件（故）分析

本项目主要使用 F-18 和 Tc-99m 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。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物丢失或失控，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设施设备损坏或者不正确使用，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：核医学科场所储源室拟安装防盗门，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：辐射工作场所采取有效屏蔽措施，正确使用屏蔽设施设备和个人防护用品，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：在通风柜内分装放射性药物，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，直至表面污染水平控制要求。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：收集各个房间产生的放射性废物，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。定期检查放射性废气排放系统，及时更换处理效率不达标的气体过滤器滤材。

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。

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

首都儿科研究所附属儿童医院成立医院辐射安全防护小组负责全院辐射安全与防护监督管理工作，划定职责与分工，保障医院辐射工作人员、非放射工作岗位工作人员和社会公众的健康与安全。由院长任组长，主管院领导任副组长，医务处、医学工程处、总务处、保卫处、放射科、心血管内科、介入血管瘤科、口腔科和骨科等负责人担任小组成员，负责管理全院辐射安全管理工作。院部办公室、有关职能部门和科室人员，要求按照辐射安全责任制的相关要求，履行各自辐射安全工作职责，分管负责人对职责范围内的辐射安全工作负责。医务处负责管理全院辐射安全工作，内设专人承办医院辐射安全日常事务工作。

在首都儿科研究所附属儿童医院通州院区组建完成及人员配备到位，开展医疗服务工作之前，将根据医院组织机构编设，临床和医技科室设置情况，调整医院辐射安全防护小组人员组成和职责分工。

根据首儿所通州院区核技术利用内容，医院辐射安全防和环境保护工作领导小组职责应包括：

- 1) 贯彻落实国家和北京市生态环境管理部门有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策、法规及管理要求。
- 2) 负责建立和完善医院放射性药物及放射治疗射线装置的安全管理和辐射防护，放射性药物的订购和安全使用、保护，放射性废物、废水的处理、辐射监测等制度。
- 3) 负责协调和检查本单位辐射安全与辐射保护工作情况，掌握动态管理情况。
- 4) 修订完善辐射事故应急预案，开展事故应急救援物质贮备和应急救援演练，参与辐射事故的调查和处理。
- 5) 负责组织新上岗和复训辐射工作岗位人员参加辐射安全与防护培训。
- 6) 负责辐射防护管理制度的落实情况进行监督检查。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《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》相关要求，使用放

射性同位素和射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

首都儿科研究所附属儿童医院目前使用 DSA、CT、DR 等放射诊断设备开展临床应用，已取得使用 II 类、III 类射线装置辐射安全许可证，已经制定有相应的辐射安全防护制度、操作规程、人员培训计划、辐射监测方案、设备检修维护制度、辐射事故应急方案等。医院现有的辐射安全管理制度，包括：《射线装置安全与防护管理制度总则》《辐射安全管理组织》《辐射安全防护管理制度》《射线装置检修维护管理制度》《设备台账管理制度》《工作场所和辐射环境监测管理制度》《辐射工作人员辐射安全培训管理制度》《辐射工作人员个人剂量计管理制度》《辐射事故应急制度》；现有的放射诊断设备安全操作规程，包括：《数字减影血管造影机操作规程》《CT 机操作规程》《X 线机操作规程》《床旁机操作规程》《C 形臂操作规程》等。

首儿所通州院区建成后，医院将增加直线加速器和核医学诊断核技术利用种类，医院将建立有关直线加速器放射治疗和核医学诊断方面的辐射安全管理规章制度、岗位职责和操作规程，补充完善辐射环境监测方案、人员培训计划、辐射事故应急预案，以适应辐射安全管理工作需要。

建设单位承诺在项目建成投入使用之前，建立本项目相关的辐射安全管理规章制度，同时在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

本项目应用辐射安全管理规章制度内容要点建议如下：

操作规程：针对拟开展的核技术利用项目，制定详细的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。

岗位职责：明确辐射工作人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

②辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护，并建立个人剂量档案；③指定专人负责放射性药物的交接工作，防止放射性药物被盗、丢失；④做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

设备检修维护制度：制定设备检修维护制度，明确辐射安全与防护设施以及辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全与防护设施以及剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目放射性同位素、射线装置制定使用登记制度，规范放射性同位素、射线装置购买台帐和使用登记记录，对购入的放射性同位素、射线装置的使用情况进行登记和跟踪记录，确保正确无误，帐物相符。

辐射工作人员培训计划：制定人员培训计划，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测方案：制定个人剂量监测方案，明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，医院明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，医院建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：制定辐射环境监测方案，针对本项目辐射监测需要，购置辐射巡测仪、表面沾污仪等监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果应妥善保存并记录档案，同时应定期上报生态环境主管部门。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，使用射线装置和放射源的单位，应当对本单位的射线装置和放射源的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前提交上一年度的评估报告。

放射性三废管理制度：针对本项目可能产生的放射性三废，制定放射性三废管理制度，重点是：①应针对放射性固废，制定废物档案与出入登记管理制度；②明确退役放射源安全处置管理制度；③明确核医学放射性三废的收集、暂存、处理等应严格按照《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）等相关要求进行。

事故应急预案：针对本项目核医学诊断应用过程可能产生的辐射污染情况，医院应

对事故应急预案进行补充完善，制度要明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，防止事故恶化。每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故（事件）情景、演练参与人员等。

12.3 辐射工作人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，使用射线装置、密封源、非密封放射性物质操作人员与辐射防护负责人应进行辐射安全培训，并持证上岗。生态环境部第 57 号公告(2019 年)要求，通过生态环境部平台报名学习，并在通过辐射安全防护网上考核取得合格证书后方可上岗。

核医学显像诊断是儿童医院新增治疗项目。医院计划采取内部医务工作人员调岗和社会招录适岗人员的方式，配备核医学科工作人员，拟配备人员计划见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射工作人员配备计划

科室名称	工作人员配备计划
核医学科	最终配备工作人员 12 名，其中 6 名医师，3 名技师，3 名护师。

建设单位承诺待辐射工作人员配备到位后，医院将及时安排辐射工作人员和辐射防护负责人在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习本项目相关岗位科目知识，并在辐射安全与防护培训平台上网络报名参加本项目相关考核，考核合格后持证上岗。已取得的原培训合格证书人员及时参加复训。

12.4 辐射监测

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，医院应制定相应的辐射监测计划，包括：

- ①项目投用后 3 个月内委托有资质的单位对项目周围环境辐射水平进行验收监测。
- ②委托有资质的单位定期对项目周围环境辐射水平进行监测，周期为 1 次/年。
- ③医院定期（1 次/半年）自行对全院辐射工作场所周围环境辐射水平进行监测，并作好监测记录，监测数据存档。

④所有辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，并定期（每3个月1次）送有检测资质机构进行监测，建立个人剂量监测档案。

⑤所有辐射工作人员上岗前均应进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，应定期开展职业健康体检（不少于1次/2年），并建立个人职业健康档案。

本项目辐射监测计划见表12-2。监测点位可参考本报告辐射工作场所辐射剂量率预测关注点进行布设。

表 12-2 本项目辐射监测计划

监测类别	监测项目	监测频次	备注
场所监测	β 表面沾污	工作日监测工作场所	自行监测。配备2台放射性表面污染检测仪，1台X- γ 辐射剂量率仪
	X- γ 剂量当量率	工作场所以及周围环境监测，每半年一次	
环境监测	X- γ 剂量当量率 β 表面沾污	工作场所以及周围环境监测，每年一次	委托有资质的检测机构
个人剂量监测	个人外照射剂量	定期监测，监测周期不超过90d	委托有资质的检测机构
竣工环保验收监测	X- γ 剂量当量率 β 表面沾污	工作场所及周围环境辐射监测。竣工后检测一次	委托有资质的检测机构
放射性固废	γ 辐射剂量当量率； β 表面沾污	每次处置前	自行监测
说明： （1）委托监测由医务处组织实施。 （2）自行监测由核医学科实施。科室配备2台放射性表面污染检测仪，1台X- γ 辐射剂量率仪。 （3）辐射监测点位：核医学操作使用放射性核素显像检查工作区建筑屏蔽体外30cm处，防护门外30cm处；工作区相邻楼层正上方区域距地100cm处，下部区域距地170cm处；废水衰变池上方区域地面距地100cm处。			

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第18号）等有关规定，建设单位应制定辐射事故应急预案，辐射事故应急预案应包括下列内容：

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急人员的组织、培训以及应急；

- ③可能发生辐射事故类别与应急响应措施；
- ④应急方案已明确应急的具体人员和联系电话；
- ⑤辐射事故应急措施和处理程序；
- ⑥辐射事故的调查和报告；
- ⑦人员培训和演习计划；
- ⑧预案发布；
- ⑨应急联系电话；
- ⑩应急响应流程图。

一旦发生辐射事故时，须立即启动本单位的辐射事故应急预案，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》，向通州区生态环境局和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫健部门报告。

为使事故发生时能有效应对，医院每年至少须进行一次应急人员的演习培训，模拟事故发生时应进行的流程和应采取的措施，当辐射事故发生时能熟练、沉着、有效应对，将事故的危害降到最低。

12.6 项目环境保护竣工验收内容建议

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建议表

验收内容	验收要求
剂量限值和剂量约束值	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，本项目所有辐射工作人员年受照剂量约束值均取 5mSv；公众均取 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、楼下 170cm）处剂量率水平不大于 2.5 μ Sv/h。PET/CT 机房周围的剂量率水平不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	辐射工作场所出入通道安装防护门。防护门外设置放射性警告标志和中文警示说明，设置工作状态指示灯。
场所布局和屏蔽设计	核医学诊断工作区辐射安全管理控制区墙体、顶棚、地板和防护门屏蔽 X- γ 射线的能力满足辐射防护的要求。
辐射安全与防护措施	放射性工作场所实行分区管理、实体屏蔽、放射性警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯、急停按钮、门灯安全联锁系统等，可有效防止职业和公众受到意外照射。

规章制度	针对本项目核医学诊断应用工作内容，制定有关辐射安全管理规章制度，符合医院实际，满足辐射安全管理基本要求。
辐射检测仪器 和个人防护用品	核医学科 1 台 X- γ 辐射剂量率仪，2 台表面污染检测仪。 核医学科个人和场所防护用品见表 10-3。
人员培训	本项目辐射工作人员配备计划见表 12-3，辐射工作人员将在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。
应急预案	本项目使用核医学科场所属于新增核技术利用类别。因此，医院将对《辐射事故应急预案》进行补充和完善，将使用非密封放射性物质工作场所有关应急内容纳入医院应急预案中。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 核技术应用内容

首都儿科研究所附属儿童医院位于北京市朝阳区雅宝路 2 号，目前在放射科、骨科、口腔科配置使用 CT 机、DR 机、X 射线 C 形臂机等设备开展放射诊断应用，配置 2 台（含计划新增 1 台）DSA 设备在心血管内科、介入血管瘤科开展介入放射诊断和治疗应用。医院现有核技术利用已获得北京市生态环境局辐射安全管理许可。许可的种类和范围是：使用 II 类、III 类射线装置。

首儿所通州院区建设项目位于北京市通州区宋庄镇，北京城市副中心 0704 街区内，规划用地面积约 91524 平方米，800 张床位，总建筑面积约 18.8 万平米，主要功能为门（急）诊、住院、医技、传染性疾病预防、教学科研、办公等。通州院区规划开展放射诊断、核医学诊疗和放射治疗项目，按照工程建设安排，与整体工程同期建设，同步投入使用。

本项目环评内容为通州院区新建核医学科。核医学工作场所位于医疗综合楼医技部地下一层，属于丙级非密封放射性物质场所，应用内容为：①使用含放射性核素 ^{18}F 药物开展 PET 显像检查应用；②使用含核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物开展 SPECT 显像检查应用；③配置使用 1 台 PET-CT 设备，属于 III 类射线装置。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（一）辐射防护结论

本项目核医学科各屏蔽防护墙及防护门的屏蔽防护设计，室内表面及装备结构设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）的相关要求。PET-CT 检查室建筑屏蔽防护设计方案均能达到《放射诊断放射防护要求》（GBZ130—2020）要求。

（二）放射性三废的治理和控制结论

（1）放射性固体废物。本项目使用非密封放射性物质场所通风系统废气吸附净化装置产生的废弃过滤材料以及核医学科产生的其他受放射性污染的物品作为放射性固体废物，在废物间存储，放射性固体废物暂存一定时间，经监测满足《核医学辐射防

护与安全要求》（HJ1188-2021）要求后，作为医疗废物处理，不会对周围环境产生污染。

（2）放射性废水。本项目使用非密封放射性物质场所产生的含放射性物质废水收集排入放射性废水衰变池。本项目建设 1 处地下储槽式衰变池，衰变池的运行方案及容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）对液体放射性废物收集、贮存和处理和排放的要求。经预测衰变池放射性废水贮存时间超过 30 天，排放活度能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）规定的废水排放限值规定，同时满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466—2005）规定的放射性物质活度浓度限值要求。因此，本项目放射性废水经衰变符合标准要求后排入医院医疗污水处理站做进一步处理，最终排入市政污水管网，不会对周围环境造成影响。

（3）放射性废气和其他废气。本项目使用非密封放射性物质场所产生的放射性废气采取独立的排放管道引至楼顶，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量；排气管出口高于所在建筑物屋顶，在排放前设计采用高效排风过滤器+活性炭吸附二级处理设施，更换下来的废活性炭按放射性固体废物处理，衰变达标后按普通医疗废物处理，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）的相关要求。PET-CT 扫描室设置机械通风系统，保证场所良好的通风效果。

（三）辐射环境影响分析结论

根据本报告表 11 对核医学工作场所周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常情况下，核医学显像诊断工作区周围辐射剂量率水平满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）有关控制要求，控制区建筑屏蔽体外周围辐射剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值的要求，即工作人员受照剂量不超过 5mSv/a ，公众总的受照剂量不超过 0.1mSv/a ，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）规定的剂量限值要求。

（四）辐射安全管理结论

医院设立辐射安全管理领导机构，制定有相应的辐射安全防护制度、操作规程、人员培训计划、辐射监测方案、设备检修维护制度、辐射事故应急方案。医院将针对本项目使用放射性同位素和射线装置的具体情况，健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案、放射性三废管理制度等，并制定辐射事故应急预案。

（五）可行性分析结论

（1）实践正当性符合性。放射性同位素与射线装置应用于放射诊断、放射治疗和核医学诊疗是临床医学的重要而又先进的技术手段，对于保障人体健康，诊断和治疗疾病有着十分重要的作用。本项目建设运营以后，将为北京市城市副中心及周边区域居民提供优质的核技术应用医疗服务，具有明显的社会效益，同时将提高医院的医学诊疗技术和服务水平，吸引更多的就诊人员，在服务保障儿童健康的同时也将为医院创造经济效益。本项目符合辐射实践正当性原则。

（2）产业政策符合性。本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》的“鼓励类”中“三十七、卫生健康中的 5、医疗卫生服务设施建设”；“鼓励类”中“六、核能中的 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”、“第十三项、医药中 5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备……”。因此，本项目建设符合国家产业政策。

（3）选址可行性。本建设项目符合北京城市副中心发展建设规划和医疗服务体系的规划目标要求。核医学科建设选址比较全面地考虑建设场地空间适用性和医院的整体医疗流程便利性，尽可能减少对周围环境的辐射影响，辐射工作场所周围相邻区域设计为公众人员较少居留的场所。综合分析，项目选址相对合理可行。

综上所述，首都儿科研究所附属儿童医院通州院区建设工程核医学科项目在落实本报告提出的各项污染防治、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运营期对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，对辐射工作人员及周围公众造成的影响满足国家辐射防护标准的要求。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，该项目的建设是可行的。

13.2 承诺

首都儿科研究所附属儿童医院做出如下承诺：

（1）遵守有关放射性污染防治和放射诊疗的法律、法规和规定，执行管理制度，落实管理责任。在本项目投入使用之前，完善本单位辐射安全管理体系，制定相关管理制度和工作规程，完善辐射事故应急预案。

（2）配备满足工作需要的，具有相应放射诊疗资质的医、技、护岗位工作人员。组织从事辐射工作的人员参加辐射安全法律法规和放射防护知识培训，考核合格方安排上岗。定期组织在岗放射工作人员参加辐射安全知识继续教育。

（3）落实辐射监测制度，采购符合国家和行业技术标准的辐射监测设备，发现监测结果异常，及时查找原因，进行整改。

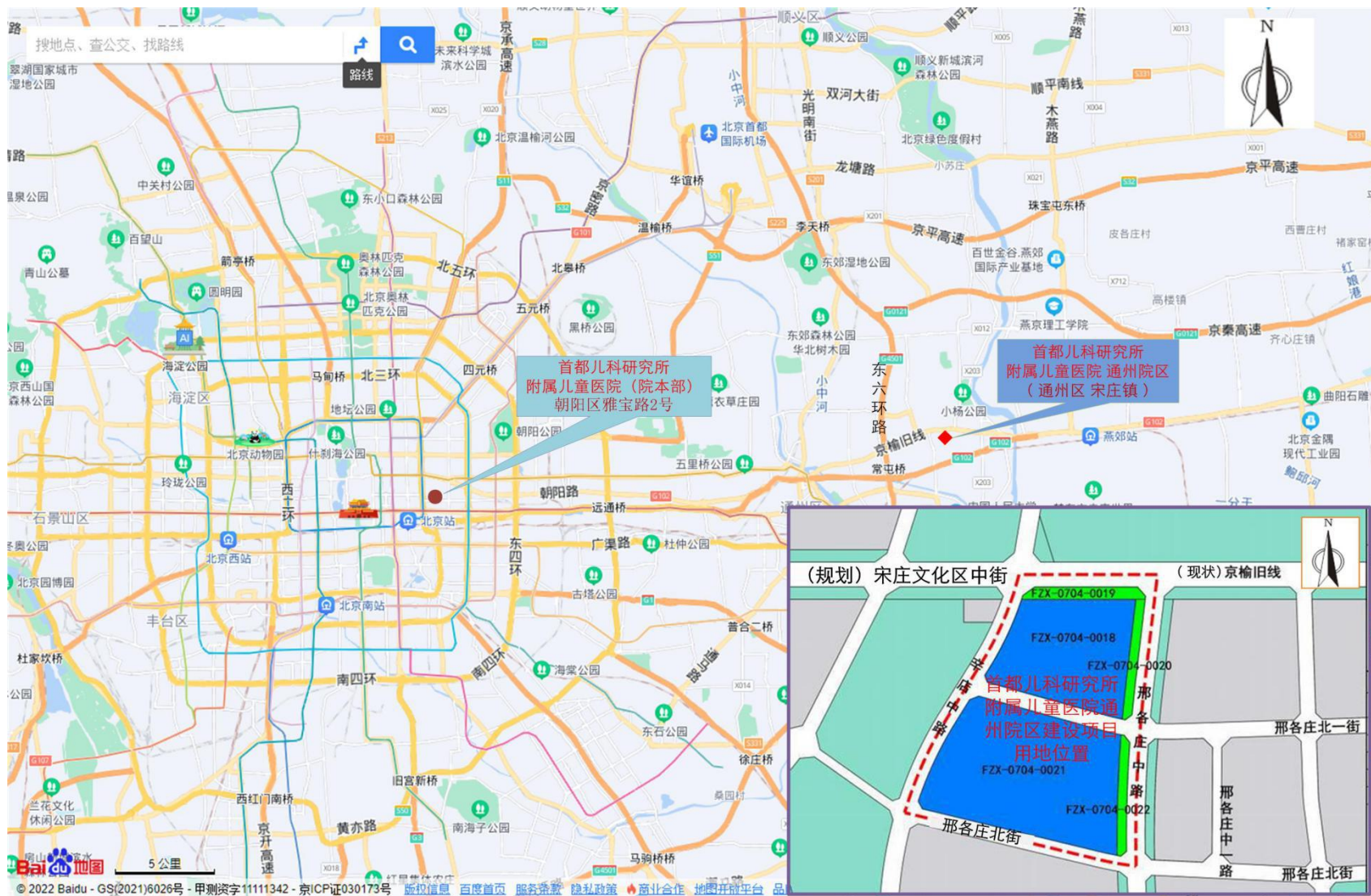
（4）在医院投入使用前申请办理辐射安全许可审批，按照辐射安全许可证登记的许可内容开展核技术利用项目。项目建成后及时组织竣工环境保护验收工作，若发现不合格项，立即查明原因及时整改。

（5）加强工程项目的建设施工质量，确保放射工作场所建设工程建筑质量。

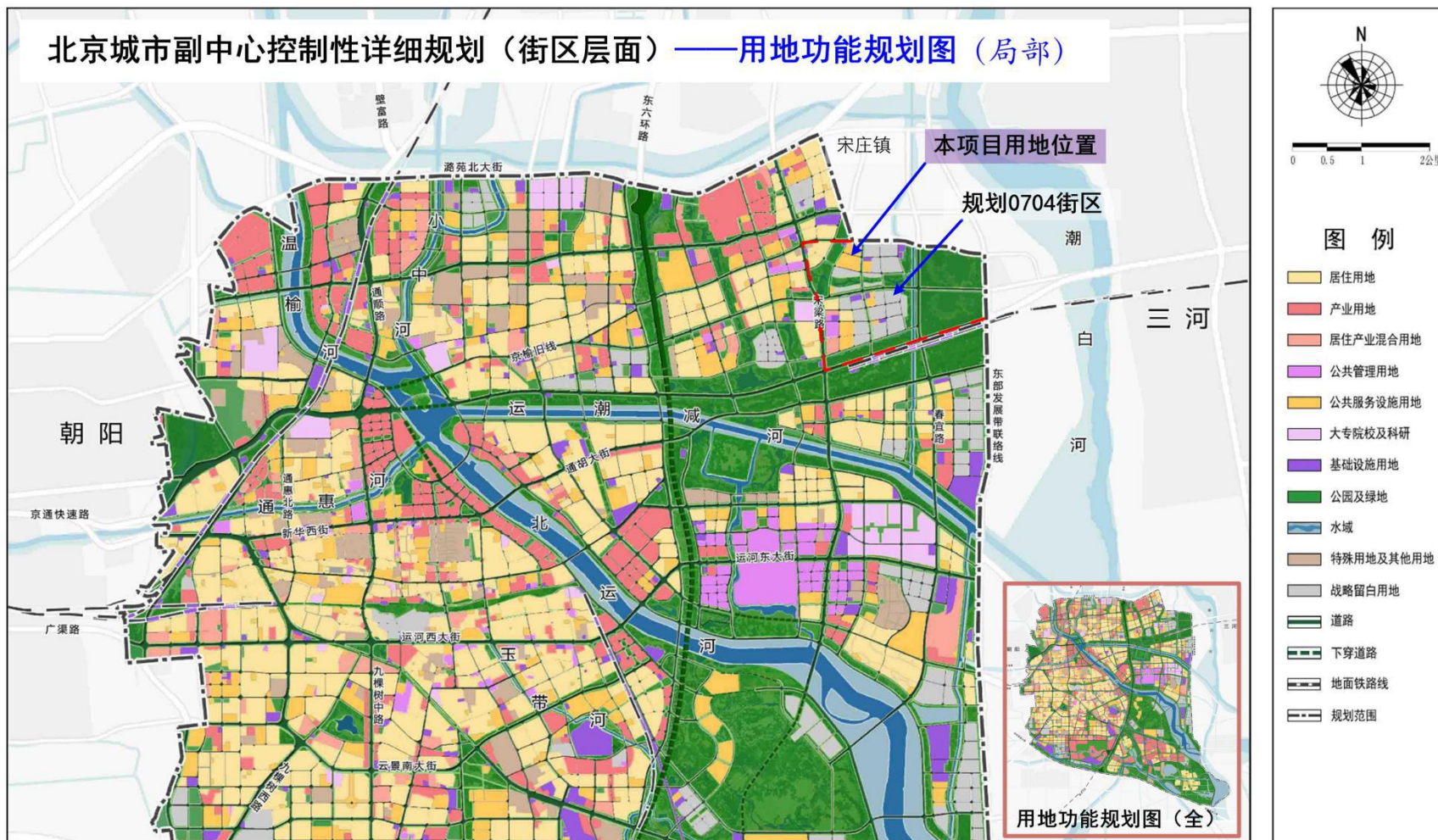
（6）采购符合国家和行业技术标准的医疗设备、放射性药品及辐射防护用品。

（7）在项目建设过程中，如发生涉及核技术应用内容的重大变动，按法律法规要求向有关生态环境主管部门进行申报，主动接受生态环境主管部门的监督管理。

（正文结束）



附图 1 首儿所通州院区建设项目地理位置示意图



附图2 首儿所通州院区建设项目用地区位图