

核技术利用建设项目

病房医技楼新增核技术利用项目
环境影响报告表

首都医科大学附属北京潞河医院

二〇一七年六月


环境保护部监制

核技术利用建设项目

病房医技楼新增核技术利用项目 环境影响报告表

建设单位名称：首都医科大学附属北京潞河医院

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：北京市通州区新华南路82号

邮政编码：101149

联系人：刘彤

电子邮箱：

联系电话：010-69543901

资质编号：

项目名称：病房医技楼新增核技术利用项目

文件类型：环境影响报告表

适用的评价范围：核与辐射项目

法定代表人：彭述明

主持编制机构：四川省科学城环境安全职业卫生检测与评价中心（中国工程物理研究院环境安全职业卫生检测与评价中心）

目录

表1 项目基本情况.....	1
表2 放射源.....	7
表3 非密封放射性物质.....	7
表4 射线装置.....	8
表5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	9
表6 评价依据.....	10
表7 保护目标与评价标准.....	11
表8 环境质量和辐射现状.....	16
表9 项目工程分析与源项.....	17
表10 辐射安全与防护.....	25
表11 环境影响分析.....	34
表12 辐射安全管理.....	41
表13 结论与建议.....	43
表14 审批.....	45
附图1 单位地理位置示意图.....	46
附图2 单位平面布局图.....	错误！未定义书签。
附图3 科研办公综合楼地下一层平面布局图.....	错误！未定义书签。
附图4 加速器工作场所平面布局图.....	错误！未定义书签。
附图5 加速器工作场所剖面示意图.....	错误！未定义书签。
附图6 CT 工作场所布局图.....	错误！未定义书签。
附件1 辐射安全许可证（正副本扫描件）.....	错误！未定义书签。
附件2 辐射工作人员培训情况.....	错误！未定义书签。
附件3 辐射工作人员个人剂量监测报告.....	错误！未定义书签。

表1 项目基本情况

建设项目名称	病房医技楼新增核技术利用项目				
建设单位	首都医科大学附属北京潞河医院				
法人代表	纪智礼	联系人	刘彤	联系电话	010-69543901
注册地址	北京市通州区新华南路 82 号				
项目建设地点	北京市通州区新华南路 82 号				
立项审批部门	无		批准文号	无	
建设项目总投资 (万元)		项目环保投资 (万元)		投资比例(环保 投资/总投资)	
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	
应用类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封 放射性 物质	<input type="checkbox"/> 生产	制备PET用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	射线装 置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其它					

1.1 单位概况

首都医科大学附属北京潞河医院（以下简称“潞河医院”）始建于1878年，是一家有着130余年历史的医院，随着时代变迁，潞河医院已经由最初简陋的教会诊所成为北京东部最大的综合性医院，承担着周边两百多万人口的医疗服务工作，现为首都医科大学附属北京潞河医院、潞河临床医学院。医院占地面积60亩，建筑面积11万多平方米；现有员工2400余人，开放床位1098张；2016年全年门诊量229.21万人次，日均（工作日）门诊量8135人次，出院人次4.13万人，手术量4.56万人。在北京市197家二级及以上医院医疗能力（DRGS）排名中，连续两年排在10名之内。医院现有35个学科，其中28个临床学科实现三级分科，脑血管溶栓介入、心肌梗塞介入治疗、快速康复外科技术、疑难危重症治疗技术、癫痫手术治疗、糖尿病手术治疗、个性化

关节置换等26项医疗技术项目达到国际先进水平，149项技术达到国内先进水平，95%的技术项目达到优秀三甲医院水平。自医院2015年启动“以器官系统为基础，以疾病为核心”的学科建设，医院打破内、外科界限，构建“医生围着病人转”的新型诊疗模式。2016年，我院消化中心、骨中心、神经中心、心血管中心、内分泌中心成为首都医科大学硕士研究生培养点。医院拥有中美神经研究所和首都医科大学糖尿病实验室两个北京市重点实验室，目前总在研项目182项，在研经费3000万，其中国家自然科学基金项目6项、北京市自然科学基金2项、国家卫计委项目2项、市局级以上课题75项。近五年，医院累计发表SCI文章82篇，共发表国内医学科研论文753篇。

随着城市副中心建设的推进，医院将继续秉承两个“以人为本”的办院宗旨，坚持“一体三翼”的发展战略和“六位一体”的发展模式，把医院打造成为大综合、突特色，在区域内、外有广泛影响力和核心竞争力的优秀学院型医院。

1.2 核技术及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

潞河医院现有核技术利用实践活动已获得北京市环保局行政许可，持有北京市环保局颁发的《辐射安全许可证》，证书编号为京环辐证[L0013]（见附件1），许可范围为：使用II类、III类射线装置，获证日期为2016年01月09日，有效期至2018年07月23日。

潞河医院现有放射科、门诊放射科、口腔科以及门诊综合楼 ERCP 室、碎石室、外科楼导管室等多个科室使用射线装置开展放射诊断工作，共计使用3台II类、18台III类射线装置。自从事辐射工作至今，未发生辐射安全事故。

潞河医院现已获许可使用射线装置具体情况见表1.1。

1.2.2 近几年履行环保审批情况

潞河医院近年开展核技术利用项目履行环保审批情况见表1.2。

表1.2 近年履行环保审批情况

序号	环评批复文号	项目名称	类别	竣工验收文号	备注
1	京环审[2013]112号	使用II类、III类射线装置	报告表	京环验[2014]0151号	
2	京环审[2014]153号	使用II类、III类射线装置	报告表	京环验[2015]0139号	
3	京环审[2015]61号	使用II类、III类射线装置	报告表		

1.2.3 辐射安全管理现状

(1) 辐射防护管理机构

医院设有辐射防护领导小组,组长由院长纪智礼担任,全面负责单位的辐射安全管理工作,辐射防护领导小组成员见表1.3。

(2) 规章制度建设及落实情况

潞河医院依照《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》,结合医院实际情况和实践经验,已制定相对完善的管理制度和操作规程,包括射线装置操作规程、设备使用与维护、质量控制和安全保卫制度、岗位职责、台账管理制度、个人剂量监测及健康管理制度、工作场所及辐射环境监测制度、放射性事故应急预案等制度,制定的各项规章制度已在日常工作中落实,可满足工作需要。

(3) 工作人员培训情况

潞河医院共计 136 名工作人员已通过辐射安全与防护培训,并取得培训合格证书,辐射工作人员情况见附件 2。所有辐射工作人员均需接受环保部门认可的培训机构组织的辐射防护与安全培训、取得合格证书后方可上岗,每四年进行一次复训。

(4) 个人剂量监测情况

潞河医院委托北京市疾病预防控制中心对所有辐射工作人员进行个人剂量监测,监测周期不超过三个月,并对个人剂量监测报告存档。

(5) 工作场所及辐射环境监测情况

潞河医院已制定工作场所监测方案,工作场所监测包括自检和委托有资质的监测机构监测,自检频次不低于 1 次/季度,委托有资质的监测机构进行监测的频次不低于 1 次/年,并对监测记录存档。

监测内容包括工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测,监测记录应包括监测位置、监测方法、监测设备、场所和环境剂量率水平、控制区和监督区边界的剂量率水平、监测频次及监测人员姓名等内容,监测记录随单位年度评估报告提交顺义区环保局。

工作场所监测点位包括机房四周墙外 30 cm 处和门缝四周、楼上、楼下,工作人员通道门和患者门外 30 cm 处,以及操作间控制位;环境辐射水平监测点位包括辐射工作场所所在

建筑四周及所在建筑外相对空旷的空地或绿地一个固定点位。

(6) 辐射事故应急管理情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和国家环境保护总局<2006>145号通知《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的规定，潞河医院制定《辐射安全事故应急预案》，一旦发生辐射事故，立即启动辐射事故应急预案，并采取必要的应急措施。

所有事故都应报告环境保护主管部门，如果发生人员受照剂量可能达到对人体产生危害时，应同时报告卫生主管部门。同时，须进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并作好详细的监测记录。

(7) 辐射监测仪器及防护用品

潞河医院配置一台 FLUKE 451P 型电离室巡测仪，并定期对工作场所进行监测。

1.3 本项目情况

1.3.1 项目建设背景

目前，潞河医院尚未配置电子直线加速器，无法为肿瘤患者提供放疗服务。医院所在区域顺义区结核病防治中心原有一台钴-60 治疗机，因该设备放射源需更换，且该设备不能满足区肿瘤患者治疗需求，经卫生局党组研究决定，该设备不再更新放射源，履行相关报废手续，原有放疗技术人员调入潞河医院继续从事放射诊疗工作；该设备报废后，患者需送至区外治疗，由于放射治疗疗程长，且大部分在门诊进行，患者需每天往返，给患者的放射治疗带来极大的不便，潞河医院配置电子直线加速器是极其必要的。

1.3.2 项目建设内容

本项目中，核医学科新增使用 PET/CT、SPECT/CT 开展放射性同位素显像诊断工作、开展 I-131 放射性核素治疗工作；新增使用瓦里安公司产 Clinac IX 型和 Vital Beam型电子直线加速器各一台、飞利浦公司产 Brilliance CT Big Bore 型 CT 一台，用于医院肿瘤患者放射治疗工作；新增使用一台后装治疗机，内装一枚 ^{192}Ir 密封源（III类）用于后装治疗机治疗；另，PET/CT 配备使用 V 类校准源一枚。本项目主要评价内容包括：

(1) 非密封放射性物质（核医学科）：

使用放射性同位素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分别用于开展 PET/CT 和 SPECT/CT 显像诊断工作，

使用放射性同位素 ^{131}I 开展核素治疗工作，患者服碘后至病房医技楼地下一层核医学科放射性病房；核医学科放射性同位素操作情况见表 1.4 所示

表1.4 核医学科一层放射性同位素诊疗情况汇总表

设备场所	核素	规划工作量	日等效最大操作量(Bq)	年最大操作量(Bq)	备注
PET/CT	^{18}F	药物外购，日接诊病人最多 10 例；全年2500例；12 mCi/人次	5.33E+06	1.33E+12	
SPECT/CT	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	药物外购，日接诊病人 30 例，全年7500例；最多25mCi/人；	2.75E+07	6.94E+12	
放射性病房	^{131}I	药物外购，接诊病人最多 5 例/周，全年最多250例，15mCi/人次	1.11E+08Bq		

注：1、参照“环办 辐射函[2016] 430 号”规定，放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”；使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 粒子源相关活动视为“很简单的操作”，对应操作修正因子分别取 1 和 10；2、本项目中，核素毒性因子取0.01（低毒）。

综合考虑核医学科放射性同位素使用情况，该场所日等效最大操作量不超过 $1.55 \text{ E}+09 \text{ Bq}$ ，参照 GB18871-2002 附录 C 表 C1 可知，该场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 射线装置

新增使用 2 台直线加速器、1 台 CT（模拟定位机）、1 台PET/CT 和 1 台SPECT/CT，射线装置参数见表 1.5 、表1.6 。

表1.5 新增使用电子直线加速器情况

设备名称	电子直线加速器	电子直线加速器
设备位置	病房医技楼地下一层中部	病房医技楼地下一层中部
厂家型号	瓦里安公司 Clinac IX	瓦里安公司 VitalBeam
加速器能量	X射线：6 MV/10 MV； 电子线：最大常规电子线能量22MeV (最大常规电子线剂量率1000cGy/min)	X射线：6 MV/10 MV； 电子线：最大常规电子线能量20MeV (最大常规电子线剂量率1000cGy/min)
输出量	正常运行情况下，有用束中心轴距靶1m处位置的输出量600 cGy/min	正常运行情况下，有用束中心轴距靶1m处位置的输出量2400 cGy/min
泄露率	$\leq 0.1\%$	
主射野扩散角度	$\pm 14^\circ$	

最大射野尺寸

X射线:40cm×40cm (SSD=100cm); 电子线: 25cm×25cm

表1.6 新增使用Ⅲ类射线装置

序号	名称	类别	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所
1	PET/CT	Ⅲ类	联影 uMI780	140	6~833	显像诊断	病房医技楼 地下一层
2	SPECT/CT	Ⅲ类	西门子 Symbia T16	130	20~345	显像诊断	病房医技楼 地下一层
3	CT	Ⅲ类	飞利浦 Brilliance CT Big Bore	140	20~500	放射诊断	病房医技楼 地下一层

(3) 密封源

新增使用一台后装治疗机，机内配备一枚 ^{192}Ir 密封源，初装源最大活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ，属于Ⅲ类密封源。预计后装治疗机年工作 250 天，每天最多接诊患者 6 人次，年最多接诊患者 1500 人次，每人治疗 20 min，年工作时间约 500 h；平均每人摆位时间约 5 min，年摆位时间约 125 h。

另，PET/CT 配套使用一枚密封源，用于校准。

表1.7 PET/CT 配套使用密封源情况

核素名称	放射性活度(Bq/a)	物理、化学性状	类别	贮存方式与地点	使用场所
^{68}Ge	$7.4 \text{ E}+07 \times 1$ 枚	固态	V类		

表2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	Ir-192	$3.7 \times 10^{11} \times 1$ 枚	III	使用	放射治疗	后装治疗机房		
2	⁶⁸ Ge	$1.11 \text{ E}+08 \times 1$ 枚	V	使用	校准	PET/CT机房		
3	⁶⁸ Ge	$5.55 \text{ E}+07 \times 4$ 枚	V	使用	校准			

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

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态针剂；半衰期： 110min；低毒	使用				显像诊断	很简单的操作		
2	^{99m} Tc	液态针剂；半衰期： 6.02h；低毒	使用				显像诊断	很简单的操作		
3	¹³¹ I	液态针剂；半衰期： 8.04d；中毒	使用				放射治疗	简单操作		

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》（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	能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子直线加速器	II类	1	瓦里安 Clinac IX	电子	6、10MV (X射线) ; /22MeV (电子线)	距靶1m处输出剂量率为 600cGy/min (X射线) ; 1000cGy/min (电子线)	放射治疗	病房医技楼	
2	电子直线加速器	II类	1	瓦里安 VitalBeam	电子	6、10MV (X射线) ; /20MeV (电子线)	距靶1m处输出剂量率为 2400cGy/min; 1000cGy/min (电子线)	放射治疗	病房医技楼	

(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/ (台)	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类	1	联影 uMI780	140	6~833	影像诊断	病房医技楼	
2	SPECT/CT	III类	1	西门子 Symbia T16	130	20~345	影像诊断	病房医技楼	
3	CT	III类	1	飞利浦 Brilliance CT Big Bore	140	20~500	放射诊断	病房医技楼	

(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 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况		备注
										活化度 (Bq)	贮存方式	

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废物、废过滤芯、废旧靶/活化废物/部件	固态	69.2kg	$<10^4\text{Bq/kg}$	门诊非住院病人平均按79人/天计算,平均排放量按0.02kg/病人,每年工作250天,年排放约395kg;住院病人按10人/天,每人排放0.1kg,年最多治疗患者500人,年排放约50kg;制备FDG药物(包括合成及分装),每天产生的固体废弃物的量约为0.2kg,每年按250个工作日计算,年排放量约50kg,年共计495kg	放射性废物暂存间内	经审管部门确认符合清洁解控要求后,按医疗废物处理
废旧密封源	固态	-	-	-	放射性废物暂存间	送交有资质的放射性废物处理机构
放射性废液	液态	50.3m ³	总 $\alpha<1\text{Bq/L}$; 总 $\beta<10\text{Bq/L}$	核医学科每天最多接待非住院患者79人,按每人产生放射性废液5L,日产生废液395L; ¹³¹ I治疗患者最多可同时收治患者10人,每位患者日产生废液80L,共计800L;接触放射性药物医护人员,每日产生刷洗废液不超过800L;总计1995L/日	暂存在核医学科衰变池内	经有资质单位监测、审管部门确认达标后,排入医院的统一污水处理站,最终排入市政管网
核医学科废气	气态		$<1.6\times 10^4\text{Bq/m}^3$	-	净化过滤后排放	环境大气
加速器废靶(包括更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶)	固体	通常可以使用5-7a			送至北京市放射性废物库	
加速器机房有害气体(O ₃)	气体	1.66g	0.012mg/m ³	直接排放	经通风系统直接排气大气环境	

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

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

表6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014年修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年；</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2016年修订版；</p> <p>(4) 《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，2005年；</p> <p>(5) 《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》，环保部令第3号，2008年；</p> <p>(6) 《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，2011年；</p> <p>(7) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院1998年第253号令；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，原国家环保总局公告第26号，2006。</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>(4) 《放射工作人员健康标准》（GBZ98-2002）；</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2002）；</p> <p>(6) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；</p> <p>(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）；</p> <p>(9) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；</p> <p>(10) 《医用放射性废物管理卫生防护标准》（GBZ133-2009）；</p> <p>(11) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；</p> <p>(13) 《医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T 180-2006）；</p> <p>(14) 《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；</p> <p>(15) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）；</p> <p>(16) 《职业照射个人监测规范外照射监测》（GB5294-2001）。</p>
其他	NCRP No.151；潞河医院和设备厂家提供的资料及产品相关技术资料。

表7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目主要就射线装置使用过程中对周围环境以及工作人员、公众等产生的影响进行分析。

7.1.2 评价因子

主要评价因子为射线装置使用过程中产生的透射、漏射及散射X射线，以及机房内产生的有害气体O₃等。

7.1.3 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 规定，以及本项目的辐射环境影响特点，本项目评价范围为辐射工作场所屏蔽墙为边界、半径 50 m 范围内的区域，即核医学科监督区边界，直线加速器、后装治疗机、CT机房屏蔽墙为边界。

7.2 保护目标

本项目建设地点位于新建病房医技楼，直线加速器机房、后装治疗机房和 CT 机房均位于地下一层中部；核医学科及放射性病房位于地下一层东南侧。环境保护目标为从事本项目的辐射工作人员和周围其他公众，主要考虑运行过程中对控制间以及核医学科的工作人员和在机房周围停留或途经的公众的影响，使其受照剂量低于本报告提出的剂量约束值，确保射线装置运行时工作人员和公众的安全。

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

(1) 职业照射

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

(a) 由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量， 20 mSv ；

(b) 任何一年中的有效剂量， 50 mSv 。

(2) 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

(a) 年有效剂量， 1 mSv ；

(b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1 mSv ，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5 mSv 。

7.3.2 年剂量约束值

本项目中，新增电子直线加速器共配置 8 名工作人员，包括 6 名医师、1 名物理师和 1 名技师，其中 4 名工作人员从现有辐射工作人员中抽调，另新增 4 名辐射工作人员，辐射工作人员不存在剂量叠加情况。

根据潞河医院的实际情况，为方便统一管理，本项目实施后，医院所有辐射工作人员的年受照剂量约束值统一为 5 mSv/a ；公众人员受照剂量约束值设定为 0.1 mSv/a 。

7.3.3 放射工作场所周围剂量率控制水平

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）有关规定，本项目电子直线加速器机房、后装治疗机房周围辐射剂量率控制水平为：对人员全居留场所（ $T > 1/2$ ），机房墙体及门外 30 cm 处辐射剂量不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；对人员部分或偶然居留场所（ $T \leq 1/2$ ），不大于 10 $\mu\text{Sv/h}$ 。

核医学科监督区边界外 30 cm 处剂量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

参照《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）有关规定，CT 机房墙体外 30 cm 处剂量率不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.4 放射性表面污染控制水平

根据 GB18871-2002 的有关规定，放射性表面污染控制水平见表 7.1 。

表7.1 工作场所放射性表面污染控制水平（单位Bq/cm²）

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

7.3.5 放射性“三废”的排放

7.3.5.1 放射性废液排放

根据GB18871-2002规定，放射性废液的排放必须采用槽式排放，排放是受监控的。《医用放射性废物管理卫生防护标准》（GBZ133-2009）对放射性废液的管理规定，“使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10^7 Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放”。

放射性废液暂存在放射性废液衰变间的衰变池内，经衰变一定时间后，经审管监测，达到以下标准后方可排放：

(1) 根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的规定，排入城镇污水处理厂的水污染物的总 β 排放限值为 10 Bq/L ；

(2) 根据 GB18871 - 2002 的有关规定，每月排放的总活度不超过 10 ALI_{min}（ALI 为放射性核素的年摄入量限值，ALI_{min} 是相应于职业照射的吸入和食入值中的较小者）；每次排放的活度不超过 1 ALI_{min}，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗；不得将放射性废液排入普通下水道，如经审管部门确认满足上述条件，可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并作好每次排放记录。

本项目中，产生的放射性废液经衰变后排入医院统一的污水处理站，放射性废液中放射性核素排放导出限值见表 7.2 。

表7.2 放射性核素排放导出限值

序号	核素名称	月排放限值(Bq)	一次排放限值(Bq)
1	¹⁸ F	4.1×10^9	4.1×10^8
2	^{99m} Tc	9.1×10^9	9.1×10^8
3	¹³¹ I	1.0×10^7	1.0×10^6

注：参照 GB18871-2002 附录 B 计算得到。

7.3.5.2 放射性废气排放管理

《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 1 m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。本项目中，核医学科诊断场所排气口设置执行上述要求。

本项目运行后经废气排放的主要放射性核素是 ¹⁸F，按全年操作并排放气态放射性核素累积时间可达 2000 h，“参考人”平均每分钟呼吸空气的体积取 0.02 m³，参照 GB18871-2002 中表 B3、B6 和 B7 相关数据，可导出公众剂量约束值取 0.1 mSv/a 情况下，公众吸入 ¹⁸F

和 ^{131}I 的 ALI 值分别为 $1.69\text{E}+06 \text{ Bq/a}$ 和 $1.35\text{E}+04\text{Bq/a}$ ，DAC 值分别为 706 Bq/m^3 和 5.6Bq/m^3 。

7.3.5.3 放射性固体废物的排放管理

将放射性废物收集暂存在放射性废物暂存间铅容器内，待衰变时间超过所含半衰期最长核素的 10 个半衰期后，委托有资质的单位进行辐射水平检测，如符合清洁解控水平，经审管部门确认或批准后，按普通医疗垃圾管理要求，委托有资质的单位进行无害化处理。

参照《医用放射性废物管理卫生防护标准》（GBZ133-2009）：放射性固体废物每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1 mSv/h ，重量不超过 20 kg ，暂存并经审管部门确认或批准，放射性核素活度浓度小于或等于清洁解控水平推荐值，可按免管废物处理；含多种核素的放射性废物，可由式（7-1）判断是否容许被免管。

$$\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{C_{j,h}} \leq 1 \quad (7-1)$$

式中：

C_j ——放射性核素j在该废物中的活度浓度（Bq/g）；

$C_{j,h}$ ——放射性核素j的清洁解控水平推荐值（Bq/g）；

n ——该废物中所含放射性核素的种类数。

表7.3 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度/(Bq/g)	活度/Bq
^{18}F	$1\text{E}+01$	$1\text{E}+06$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1\text{E}+02$	$1\text{E}+07$
^{131}I	$1\text{E}+02$	$1\text{E}+06$

注：本表数值取自GB 18871-2002 附录 A。

7.3.6 非密封放射性工作场所分级

参照《电离辐射防护与辐射源安全防护基本标准》，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，分级情况见表 7.4。

表7.4 非密封源工作场所的分级

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

7.3.7 非放射性控制值

本项目运行过程中，将会产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），其中氮氧化物以二氧化氮（NO₂）为主，根据《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ 2.1-2007），工作场空气中 O₃ 和 NO₂ 的浓度限值分别为 0.3 mg/m³ 和 5 mg/m³。

7.4 评价目的

（1）对建设项目环境辐射现状进行调查或监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平；

（2）评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

（3）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门的管理提供依据；

（4）通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；

（5）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

（6）评价项目的可行性，从环境保护角度为主管部门和首都医科大学附属北京潞河医院进行辐射环境管理提供依据。

7.5 评价原则

依据国家相关法律、法规及部门规章展开评价，严格执行国家和北京市的有关标准。要求辐射防护设计和安全措施必须满足相关标准的规定，并保证各类人员受照剂量在规定的限值以内，满足辐射实践的正当性、辐射防护与安全的最优化原则。

表8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

潞河医院注册地址位于北京市通州区新华南路82号，医院东侧是工地和中西医骨伤医院；南侧是玉带河东街；北侧是居民区；西侧是新华南路。潞河医院地理位置示意图、以及单位平面布局图见附图 1、附图 2。

本项目建设地址位于医院新建病房医技楼地下一层，两间加速器机房、后装治疗机房、CT机房位于地下一层中部，核医学科位于地下一层东南区，放射性病房位于核医学科东侧。地下一层平面布局图见附图 3，辐射工作场所布局图见附图 4~附图 6。

8.2 辐射环境现状监测

环评单位于 2017 年 6 月 7 日对本项目建设地点及其周边进行了环境辐射水平现状监测，测量仪器为Inspector Exp+ 辐射监测仪（检定有效期至 2017 年 5 月 2 日），各监测点位现状监测结果见表 8.1，监测场所布点情况见附图 3 所示。

表8.1 机房及其周边环境本底的空气比释动能率监测结果

监测点位	监测点位置说明	空气比释动能率 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	病房医技楼东侧，离地面1m	0.10~0.11
2	病房医技楼南侧，离地面1m	0.09~0.11
3	病房医技楼西侧，离地面1m	0.09~0.10
4	病房医技楼北侧，离地面1m	0.08~0.09

由表 8.1 可知，监测点 X- γ 辐射剂量率与北京市天然本底范围接近，未发现环境辐射水平异常。

表9 项目工程分析与源项

9.1 核医学科开展放射性同位素诊疗

9.1.1 工作原理

(1) PET/CT

PET 全称为正电子发射计算机断层显像 (Positron Emission Tomography)，其显像的基本原理是正电子放射核素发射出的正电子在体内移动大约 1 mm 后和负电子结合发生湮灭，正负电子消失的同时产生一对能量相等 (511 keV)、方向相反的 γ 光子。PET 利用正电子发射体的核素标记一些生理需要的化合物或代谢底物如葡萄糖、脂肪酸、氨基酸、受体的配体及水等，引入体内后，应用正电子扫描机而获得的体内化学影像。目前最常用的 PET 显像剂为¹⁸F 标记的 FDG (¹⁸F-FDG 氟化脱氧葡萄糖)，是一种葡萄糖的类似物。

PET/CT 是把 PET 和 CT 整合在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机的融合在一起，组成一个完整的显像系统，称作 PET/CT 系统，如图 5.1 所示。病人在检查时经过快速的全身扫描，可以同时获得 CT 解剖图像和 PET 功能代谢图像，两种图像优势互补，使医生在了解生物代谢信息的同时获得精准的解剖定位，从而对疾病做出全面、准确的判断。

(2) SPECT/CT

(3) ¹³¹I核素治疗

9.1.2 工作流程

本项目中，工作人员根据预约诊疗的人数，提前一天向供药单位订购诊疗用核素标记的放射性药物，供药单位将药物送至储源间，在摄像头监控下工作人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药单位办理交接手续并存档；工作人员将药物暂存在储源药物间专用容器内。

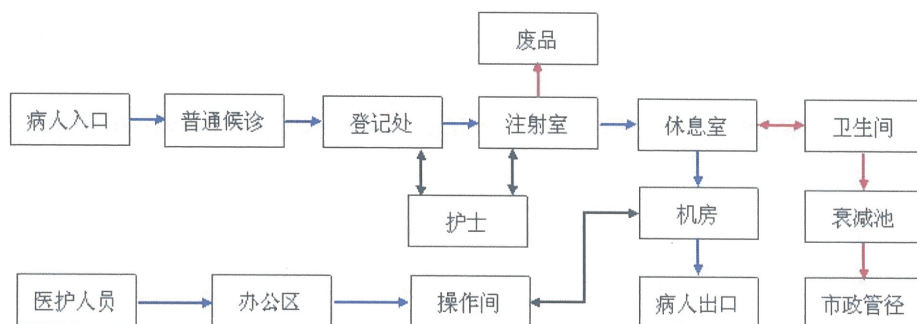


图9.2 核医学科核素诊断工作流程图

9.1.3 工作场所定级

本项目中，使用放射性同位素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展显像诊断，使用放射性同位素 ^{131}I 开展治疗，日接诊量最大不超过 45 例，由于核素需向供药单位订购，按两倍临床裕量订购、并暂存，该场所放射性同位素日等效最大操作量预计为 $2.664 \text{ E}+07 \text{ Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

9.1.4 污染源项分析

9.1.4.1 正常工况下的污染途径

本项目中，开展核素诊疗过程中污染途径包括：

- ① 贯穿辐射：进行药物接收、活度检查、注射药物、巡视病人和处理放射性废物等操作时，工作人员及病区周围停留的公众可能受到放射性核素产生的 β 射线和 γ 射线的影响；
- ② 放射性废液：主要来自卫生间冲洗用药患者的排泄物产生的废水，以及冲洗沾有放射性核素的器皿、局部去污及洗手时产生的废水；患者在接受核素治疗后，放射性核素特别是 ^{131}I 主要通过尿液排出（住院一周，从尿中排出 ^{131}I 量约为给药量的 85%），唾液、汗液和粪便中的排出量较少，呼出量也较少。
- ③ 放射性固体废物：主要来自注射药物使用的注射器、放射性药物包装物、棉棒，操作过程中使用的防护服、手套、吸水纸等；住院患者用过的各类物品等；以及过滤装置更换下来的废过滤滤芯、废旧的校准源。
- ④ 放射性废气： ^{131}I 药物为离子型溶液， ^{131}I 易氧化析出。碘在常温下易挥发，在进行药物操作（检验）过程中，将有少量 ^{131}I 进入空气中。

9.1.4.2 事故工况下的污染途径

在使用放射性同位素的过程中如操作管理不善或发生异常情况，会对公众和环境造成辐射

危害，可能出现的情况有：

① 操作放射性同位素针剂时，不小心跌落或泼洒药物，污染工作台、地面、墙壁、设备等；注射人员在为患者注射药物时，每次操作量较小（最多 20 mCi），操作时间短，且注射放射性药品的针筒采用专门设计，并由专业人员实施注射，因此，发生注射器跌落或注射不当导致药液溢出事故的概率较低，发生异常事故时对环境及公众的影响较小；

② 放射性药物保管不当，本项目中，密封源失控可能造成环境放射性污染，设置储源室，将密封源暂存在储源室，并进行专人管理，执行使用登记管理制度，有效防止同位素被盗和丢失事件发生；

③ 放射性废水和固体废物未经足够时间的衰变排放或处置，造成环境放射性污染；

④ 注射药物患者体内核素活度未降至 400 MBq 以下离开病房。

9.1.4.3 主要放射性废物

本项目中放射性同位素使用过程中产生的放射性废液、放射性固体废物以及放射性废气。

（1）放射性液体废物

按照门诊非住院病人平均按 40 人/天计算，平均排放量估算为 5 L /人，每年 250 个工作日，日排放 200 L，年排放量 50000 L。另外考虑到应急排放，如紧急情况处理等年排放量 1000 L；病房最多可容纳住院患者 6 人，平均排放量取 50 L /人，日排放 300 L，每年 250 个工作日，年排放量 120000 L。另外考虑到应急排放，如紧急情况处理等年排放量 1000 L；综合考虑估计病房楼放射性病房放射性废液年总排放量为 121000 L。

放射性废液经专用通道排入衰变池，每个衰变池尺寸为（ 2.966 m × 2.85 m × 1.28 m），衰变池总容积为 32.5 m³，¹⁸F 半衰期为 110 min，以暂存 10 个半衰期 18.3 计，衰变池可容纳该期间产生的放射性废液；另，衰变池设计容量为核医学科将来可能使用的其他核素留有空间。放射性废液暂存衰变后，经有资质的单位监测达到排放标准、审管部门确认后，排入医院统一的污水处理站，最终排入市政管网。

（2）放射性固体废物

本项目中，核医学科产生的放射性固体废物主要有一次性注射器、棉签、以及一次性手套、口罩等个人防护用品；不固定的废弃物有表面擦拭布、废旧校准源、更换的过滤装置滤材等。

门诊非住院病人按 40 例/天计算，平均排放量估算 0.02 kg /病人，每年按 250 个工作日计算，年排放约 200 kg；放射性病房最多可容纳住院患者 6 例/天、年工作 250 天计算，年

最多治疗患者按 500 例，每人产生固体废物 0.1 kg，年排放约 50 kg；此外，定期更换排风过滤滤芯按 50 kg/年计，则核医学科年产生放射性固体废物约 300 kg。产生的放射性固体废物暂存于废物间专用铅制废物桶内，待监测达标并经审管部门确认或批准后，按普通医疗垃圾处理。

废旧的校准源送贮地方有资质的放射性废物处理机构；外购药物配套针管等退回厂家。

(3) 放射性废气

放射性废气经专用的独立放射性废气管道排入大气环境，排气管道安装有过滤装置，一般情况下可忽略不计。含 ^{131}I 放射性药物操作区和病房均设置独立的通风系统，最小换气次数不低于 4 次/小时，并在排气系统末端安装过滤滤芯，排气口设置在楼顶，经过滤后排气环境空气的废气对环境的影响轻微。医护人员定期在走廊巡视病区，并尽量避免进入到病房内。如患者出现病情变化，医护人员需佩戴防护口罩进入病房检查处置，并尽可能减少停留时间。

9.2 直线加速器

9.2.1 工作原理

医用直线加速器主要包括主机、水冷温控系统、电源和高压脉冲调制器、多页准直器以及实时影像系统部分组成，其中主机包括等中心旋转机架、基座、辐射头、治疗床、控制台，结构示意图见图 9.1 所示。当注入系统的电子枪发射电子，在由磁控管或调速管控制的加速管中加速，当达到所需能量时，经散射箔和准直器得到治疗电子束。医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 射线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。在 X 射线治疗时，电子束射到金属靶上产生韧致辐射，经准直得到治疗 X 射线。

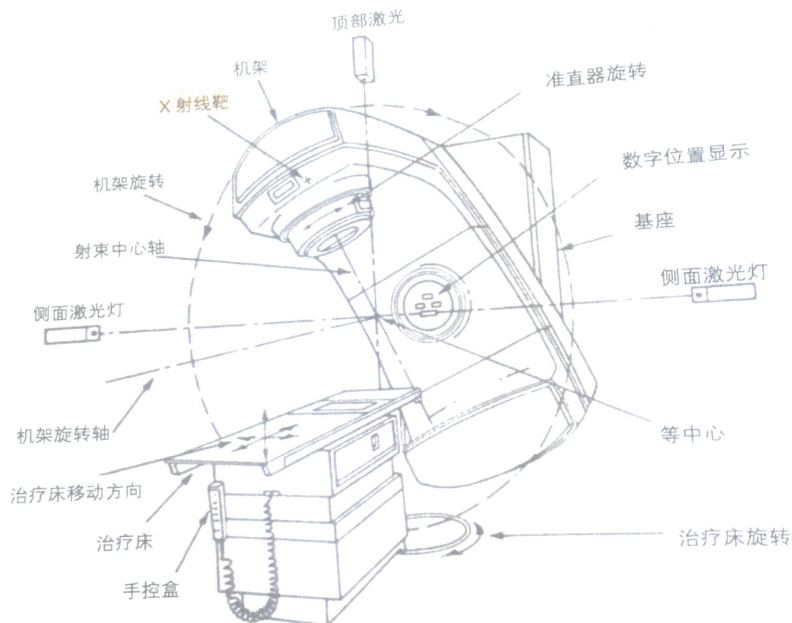


图9.1 医用直线加速器结构示意图



图9.2 瓦里安电子直线加速器示意图

9.2.2 检测流程

典型的放射治疗工作流程如下：

适应症患者→ CT 模拟定位→制定治疗计划→工作人员引导患者躺在治疗床上、摆位，离开治疗室→放射治疗→协助患者下床离开。

9.2.3 污染源项描述

(1) 污染物

由射线装置的工作原理可知，X射线是随系统开、关而产生和消失的。本项目电子直线加速器运行时最高输出能量为10MeV的X射线，主要考虑的污染因子为产生的X射线，无需考虑中子及中子产生的感生放射性和活化气溶胶问题；CT运行主要考虑的污染因子为

X 射线。

射线装置运行时产生的非放射性污染包括臭氧和氮氧化物。本项目中，加速器运行过程中主要污染物为X射线贯穿辐射，产生的放射性固废主要是更换下来的废靶，基本不产生其他放射性废物。加速器运行产生的废靶主要是更换下来的或退役时拆卸下来的，以及使用不合理打穿的钨靶，废靶作为放射性废物最终送交城市放射性废物库处理。另外，加速器运行过程中，空气在 X 射线的辐射作用下，吸收能量并通过电离作用产生少量的臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）等有害气体。

加速器使用的磁控管、射频分离器、射频腔和波导传输系统等微波组件处于工作状态时，工作人员可能受到泄露的少量微波危害。考虑到有效利用微波能，要求电子传输系统密封性能好、呈真空状态，微波能被束缚在波导管内，其泄露可忽略不计，因而微波辐射对环境和工作人员的影响可忽略。

（2）污染途径分析

正常工况下，加速器及 CT 运行过程中产生的 X 射线、 γ 射线贯穿机房进入外环境。事故工况下的污染途径包括：

- ① 射线装置发生控制系统故障或人员疏忽，造成工作人员收到误照射；
- ② 射线装置发生控制系统故障或辐照参数设置错误，使得受检者受到超剂量照射；
- ③ 机房门机联锁装置故障，人员误入机房受到辐射照射。

9.3 后装治疗机

9.3.1 工作原理

后装机采用近距离后装治疗方式，利用 ¹⁹²Ir 放射源发出的 γ 射线束形成一高剂量率的靶区，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。可通过腔内、管内、鼻咽、支气管、前列腺、胸部等体内肿瘤和皮肤浅表肿瘤进行近距离放射治疗。整机由后装机及控制操作软件、放疗计划系统软件构成，可由治疗计划系统给出治疗方案，也可由医生对病变部位和体内器官的剂量要求，通过人机对话的方式输入各通道的驻留点位及各点的驻留时间，从而精确的控制照射剂量，把对相邻正常组织的影响限制到最低水平，得到最佳的治疗效果。

¹⁹²Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，其防护性能良好。¹⁹²Ir 放射源源罐结构示意图见图 3.4.1。

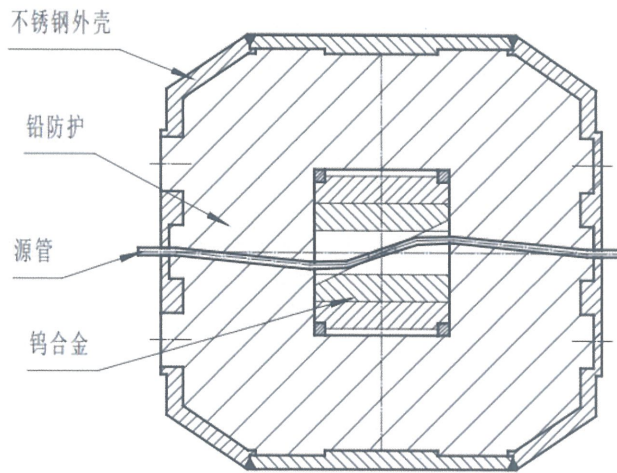


图3.4.1 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图

9.3.2 工作流程

CT 模拟定位 → 治疗计划系统 (TPS) 制定治疗计划并传输给治疗控制系统 → 医生根据诊断结果, 将施源器插入治疗部位并固定好 → 采用治疗控制系统实施治疗计划, 对患者进行治疗 → 治疗结束后, 医生帮助患者离开治疗床, 退出病房, 关闭防护门。

9.3.3 污染源项分析

^{192}Ir 半衰期为 74 天, 其衰变方式为 β^- , 发射的 X 射线份额较少, γ 射线能量为 0.316 MeV。 β 射线穿透能力很弱, 设备的外包装可以完全屏蔽; γ 射线穿透能力较强, 有可能对环境产生辐射影响。

空气在 X 射线的强辐射作用下产生臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO_x) 等有害气体, 并通过治疗室通风排入大气环境。

正常工况下, 不产生放射性废气、放射性废水, 退役或废旧的放射源由原厂家回收处理。

9.4 III类射线装置

X射线诊断设备由 X 射线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置和影像采集装置, 以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置组成, 见图 9.3 所示。

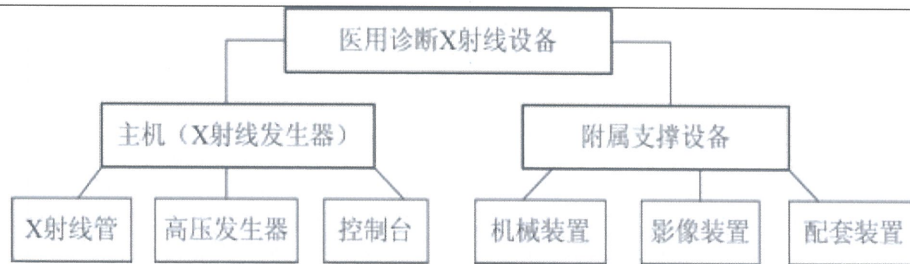


图9.3 X射线诊断设备基本结构框图

III 类射线装置，其放射性污染主要来自开机工作过程中产生的贯穿辐射及泄露、散射辐射，关机状态下不产生 X 射线。

（一）正常工况下污染途径

正常工况下，X 射线能量较低，在摄片过程中更不会产生感生放射性物质，产生的臭氧和氮氧化物也较少，且均为隔室操作，操作人员在控制室内操作，正常工况下对工作人员及环境的辐射影响较小。

（二）事故工况下污染途径

事故工况下，如射线装置发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽，造成设备参数设置错误，使得受检者或工作人员收到超剂量照射；设备出束时人员误入机房收到辐射照射。

表10 辐射安全与防护

10.1 核医学科项目安全设施

10.1.1 工作场所布局分区情况

核医学科位于病房医技楼地下一层，该场所主要使用放射性同位素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 开展诊疗工作，辐射工作场所包括高活室、储源间、废物间、注射室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、控制间、PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室、注射后候诊室（VIP），放射性病房及其配套房间，以及衰变池（地下二层）。

核医学科设有独立的工作人员通道、患者通道，按照使用功能区划，包括控制区、监督区，具体分区情况见图10.1所示。

图10.1 核医学科分区布局示意图

10.1.2 辐射安全与防护设施

(1) 核医学科工作场所辐射屏蔽设计

核医学科工作场所中 PET/CT（SPECT/CT）机房、注射室、注射后候诊室、注射后候诊室（VIP）、储源间、废物间等场所均采用砖墙+铅板结构进行防护，防护厚度为 24 cm 砖加 3 mm 铅；防护门防护厚度不低于 5 mm 铅；配套建设放射性废液收集排放设施，用于收集含核素的放射性废液。另外，配备可移动式铅屏风、铅罐、注射器铅盒、铅桶等防护用具，以及铅衣、铅手套等工作人员个人防护用品。

核医学科工作场所辐射屏蔽设计见表 10.1。

表10.1 核医学科工作场所辐射屏蔽设计情况

序号	工作场所	位置	周围关系	屏蔽材料及厚度
1	PET/CT机房	北墙	预留机房/报告间	24cm砖墙+3mm铅
		西墙	患者专用通道	24cm砖墙+3mm铅
		南墙	PET/CT注射后候诊室	24cm砖墙+3mm铅
		东墙	控制间	24cm砖墙+3mm铅
		顶棚	走廊/出入院结账	15cm混凝土+2.5mm铅
		防护门	患者专用通道	5mm铅
		观察窗	控制间	5mm铅
2	PET/CT注射后候诊室	北墙	PET/CT机房	24cm砖墙+3mm铅
		西墙	患者专用通道	24cm砖墙+3mm铅
		南墙	受药患者卫生间	24cm砖墙+3mm铅
		东墙	机房/仪器科	24cm砖墙+3mm铅

		顶棚	出入院大厅	15cm混凝土+2.5mm铅
		防护门	患者专用通道	5mm铅
3	PET/CT注射后 候诊室（VIP）	北墙	受药患者卫生间	24cm砖墙+3mm铅
		西墙	患者专用通道	24cm砖墙+3mm铅
		南墙	走廊	24cm砖墙+3mm铅
		东墙	仪器科	24cm砖墙+3mm铅
		顶棚	通道	15cm混凝土+2.5mm铅
		防护门	患者专用通道	5mm铅
4	注射室	北墙	预留房间	24cm砖墙+3mm铅
		西墙	储源药物间	24cm砖墙+3mm铅
		南墙	登记室	24cm砖墙+3mm铅
		东墙	预留房间（注射后候诊）	24cm砖墙+3mm铅
		顶棚	空地	15cm混凝土+2.5mm铅

（2）警告标识

控制区：安装门禁系统及警告标识，限制无关人员出入，防止无关人员借受检人员离开之际进入核医学科工作场所控制区；同时，在出入口处防护门外设置警告标识，提醒无关人员不要在此区域停留，并在控制区内设置提示下标识，告诫给药患者在规定区域内候诊；工作人员出入控制区缓冲区设置防护衣具、监测设备等；

监督区：醒目位置设立明确电离辐射警告标识；

（3）高活室、储源间、废物间安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等，确保符合安保要求；

（4）设置废物间，并在注射室内配备一个贮存放射性废物的暂存桶；

（5）本项目所需药物如需进行药物分装需在高活室具有防护措施的通风柜内进行；

（6）从功能分区来看，工作人员办公区域、核素操作、患者等候区和扫描检查区划分明确，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射。

10.1.3 人流、物理通道设置

核医学科设置独立的人流通道和物流通道，其中人流通道包括患者专用通道和工作人员专用通道，核医学科人流、物流通道示意图见图 10.2，图中绿色显示为工作人员路径，红色显示为患者就诊路径，橙色显示为药物接收、放射性废物处理的物流通道。

（1）患者检查路径

患者由核医学科患者入口处进入—→经工作人员确认后，经门禁系统进入控制区，在注射室接受注射—→给药后在 PET/CT（SPECT/CT）注射后候诊室候诊—→ PET/CT（SPECT/CT）

机房扫描检查—→检查结束后，患者由位于患者专用通道东侧带有门禁系统的出口处离开核医学科工作场所；

(2) 药物流转路径

放射性药物由供货公司专人负责运送至核医学科物流通道出入口处，核医学科安排专人与送货人员在摄像头下办理“点对点”验收交接手续，记录药品规格、批次、数量以及收货时间；药品暂存于储源间内；剩余的放射性药物连同包装容器由供货公司在下次送药时收回。

(3) 废物转移路线

核医学科工作场设置废物间，在出入口处设电离辐射标志，房间设有通风设备。注射室内设置放射性废物桶，废物桶贴有电离辐射标志，并避开工作人员作业和经常走动的地方。废弃的放射性药物注射器、包装物、棉棒、一次性用品等物品先暂存在专用放射性废物储存箱，待收集满后将放射性废物由废物桶内取出，标明核素类别、日期，转移至废物暂存间，衰变至达到清洁解控水平，经审管部门确认后，作普通医疗垃圾处理。

图10.2 核医学科人流、物流通道示意图

(4) 放射性废液组织路径

核医学科设有衰变池，收集 PET/CT 受药患者专用卫生间产生的放射性废液，放射性废液经专用排水管道汇入地下二层核医学科配套的放射性废液衰变池内，暂存一段时间后，经审管部门检测合格并确认后，排入医院统一的污水处理站处理后，最终排入市政管网。

(5) 放射性废气组织路径

在注射室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室（VIP）、PET/CT 扫描间以及储源药物间（高活室）、污物间（放射性废物暂存间）、患者通道等场所设置独立的通风系统，废气经过滤后由专用烟囱排入大气环境。

10.2 直线加速器项目安全设施

10.2.1 机房布局及辐射屏蔽情况

本项目中，两间加速器机房均位于地下一层放疗中心，机房四面墙体及顶棚均为混凝土结构，加速器机房内部南北长均为 11.6 m、东西宽分别为 9.95 m（西侧）、9.55 m（东侧），

层高 3.7 m，机房设有迷路、迷路口设铅防护门，机房南侧为控制间、设备间，东侧加速器机房以东为候诊区、后装治疗机房，西侧加速器机房以西为弱电机房、走廊，北侧为走廊，上层为科研办公入口门厅，下层为土层，机房周围布局见图 10.1（平面图）、图 10.2（剖面图），机房屏蔽设计及周围环境见表 10.1。

表10.1 加速器机房屏蔽设计方案及周围环境

设备	位置	屏蔽设计	周围环境
直线 加速器	北墙	1.5 m 厚混凝土	控制室/设备间
	南墙	1.3 m 厚混凝土	土层
	东墙	主屏蔽墙：2.7 m 厚混凝土；次屏蔽墙 1.5 m 厚混凝土	候诊区
	西墙(迷路内墙)	主屏蔽墙：2 m 厚混凝土；次屏蔽墙 1.5m 厚混凝土	迷路
	西墙(迷路外墙)	1.2 m 厚混凝土	加速器机房(规划)
	顶棚	主屏蔽墙：2.7 m 厚混凝土；次屏蔽墙1.5 m 厚混凝土	科研办公入口门厅
	防护门	12 mm 铅	走廊

10.2.2 辐射安全与防护措施

(1) 工作场所分区

辐射工作场所实行分区管理，加速器治疗机房内为控制区，控制室和加速器治疗机房门口为监督区，工作场所布局示意图见图 10.1。

(2) 安全联锁

机房安装有门机联锁安全装置，防护门与设备控制端相连，防护门常开按钮闭合、设备启动按钮按下，此时设备方能启动；当防护门常闭按钮断开或设备停止按钮按下，设备均不能正常工作。

(3) 警示标志

加速器机房门外醒目位置处设置电离辐射警告标识及中文警示说明；机房门口上方安装工作状态警示灯，设备正常工作时，警示灯亮，告诫无关人员远离机房；

(4) 紧急按钮

加速器控制台（1个）、机房内（4个）设置紧急停机按钮，出口处（门内1个）设置紧急开门按钮（只具有开门功能，无关门功能），以免人员误留在机房内受到误照射，紧急按钮位置示意图见图 10.1；

(5) 防护门具有防挤压功能，如在防护门关闭过程中遇到人员意外通过时，将自动终

止关门运行；只有防护门关闭到位，加速器才能出束，如出束状态下以外开启防护门，加速器自动停束、并贮存已完成的治疗剂量；

(6) 工作人员进行辐射工作时需佩戴个人剂量报警仪，实时显示剂量率，一旦超标，可进行声音报警（阈值为 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ）；

(7) 加速器机房内设置固定式剂量监测报警装置，以判断加速器是否处于工作状态；

(8) 加速器机房内安装监视系统和对讲系统；

(9) 加速器机房安装通风系统，排风次数不少于 4 次/小时；

(10) 配备必要的辐射防护用品、辐射监测仪器以及灭火器材。

10.3 后装治疗机

10.3.1 场所布局与屏蔽

后装治疗机位于地下一层中部，北侧为走廊，西侧为后装治疗机配套机房、控制室，东侧为直线加速器机房，南侧为治疗准备间，顶板上方为 1.5 m 厚土层，土层上方为空地。后装治疗机工作场所分区管理，其中防护门内区域为控制区，控制室以及防护门外区域为监督区，机房平面布局图见图10.1。

后装机机房墙体和顶板、地板均为混凝土，防护门为铅钢复合门。机房南北长 8 m（含迷道），东西宽 6.9 m，高 4.5 m，面积 55.2 m^2 。迷道长 6.9 m，宽 2.2 m，迷道内墙长 4.9 m，机房屏蔽设计情况见表10.1。

表4.3.1 后装治疗机机房屏蔽设计情况

位置	屏蔽材质及设计厚度	周围情况说明
南墙	迷路内墙 0.6 m 混凝土；迷路外墙 0.6 m混凝土	治疗准备间
北墙	0.6 m 混凝土	走廊
东墙	北段 1.5 m 混凝土，南段 2.8 m混凝土	直线加速器机房
西墙	0.6 m 混凝土	控制室/设备机房
顶棚	0.6 m混凝土（上方为 1.5 m厚土层）	
底板	0.6 m混凝土	
防护门	12 mm 铅	治疗准备间

注：混凝土密度为 2.35 g/cm^3 。

图4.4.1 后装治疗机平面布局图

10.3.2 辐射安全与防护措施

后装治疗机房采取的辐射安全与防护措施包括：

- (1) 机房设置门-机联锁，治疗期间防护门无法打开；如强制开启，则迫使放射源回到贮源罐内；防护门未关闭，不能出源；
- (2) 控制台上设置放射源迅速返回贮源器的应急按钮，紧急情况下按下按钮，可使源退回贮源罐内；
- (3) 防护门上设置电离辐射警告标志及中文说明，设置声、光报警；
- (4) 设备自带自检系统，包括机器自检、复位自检和通道自检；治疗前，先进行自检和模拟治疗，确保密封源通道通畅后再开始治疗；
- (5) 治疗过程中，若出现故障或意外情况，利用设备自带安全系统，密封源可自动退回贮存位；
- (6) 通往后装机房内的电缆沟从机房地平以下呈“U”型越过屏蔽墙；
- (7) 机房与控制室间安装监控设备、对讲装置；
- (8) 安装通风系统，进风口与排风口对角设置，通风次数达到3~4次/h；
- (9) 机房内安装固定式辐射剂量率监测仪器，配备便携式辐射监测仪，并为工作人员配备个人剂量报警仪和个人剂量计。

10.4 III 类射线装置

本项目中，CT 机房采取以下辐射防护措施：

- (1) CT 机房位于科研办公综合楼地下一层放疗中心，机房长 7.6 m 、宽 6.1 m ，机房面积约为 46.4 m²，机房北侧为补风机房/通道，南侧为设备机房，西侧为控制间，东侧、地下均为土层，楼上为放疗中心门厅，工作场所平面布局图见附图6；
- (2) 辐射工作场所采取分区管理，其中机房为控制区，控制室及机房门外区域为监督区；
- (3) 机房采取实体屏蔽措施，屏蔽厚度不低于 2 mm 铅当量，保证人员全居留场所、机房墙外及防护门外 30 cm 处辐射剂量率不大于 2.5 μSv/h ，工作人员和公众的受照剂量满足本评价提出的剂量约束要求；机房面积满足 GBZ 130-2013 中对射线机房使用面积的要求；

- (4) 机房门口设有工作状态指示灯和电离辐射警告标志；机房门外工作状态指示灯电路与X射线机低压供电线路连接，指示灯开关与控制室门连接，不设独立控制开关；
- (5) 控制台电源钥匙由专人保管，机房和控制室之间设观察窗，配置对讲系统；
- (6) 机房内配置通风系统、火灾报警系统及灭火用品；
- (7) 辐射工作人员需佩戴个人剂量计，并限制非接受检查者进入。

10.5 工作场所辐射安全与防护设施管理

工作场所辐射安全与防护设施设计要求及医院建造情况见表 10.2 。

表10.2 辐射安全与防护设施设计要求（加速器）

序号	项目	检查内容	设计建造	运行状态	备注
1*	A控制台及安全连锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√		
2*		控制台有紧急停机按钮	√		1 个
3*		电视监控与对讲系统	√		
4*		治疗室门与束流连锁	√		
5		束流与辐照参数预选值连锁	√		
6		治疗室内准备出束音响提示	√		
7*	B警示装置	出入口电离辐射警示标志	√		
8*		出入口有加速器工作状态显示	√		
9	C照射室紧急设施	紧急开门按钮	√		1 个
10		紧急照明或独立通道照明系统	√		
11*		治疗室内有紧急停机按钮	√		4 个
12*		治疗床有紧急停机按钮	√		
13*	D监测设备	便携式辐射监测仪器仪表	√		便携式、固定式各 1 台
14*		个人剂量报警仪	√		2 台
15*		个人剂量计	√		8 台
16	E其他	治疗室门防夹人装置	√		
17		通风系统	√		
18		火灾报警仪	√		
19		灭火器材	√		

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×；“运行状态”正常的划√，不正常的没有的×；不适用的均划/。不能详尽的在备注中说明。

10.6 本项目法规符合情况

10.6.1 与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的符合情况

环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》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，本项目与“18 号令”要求的对照情况见表

10.3。

表10.3 安全和防护能力对照检查情况

安全和防护管理办法要求	潞河医院情况	符合情况
<p>第五条 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。</p>	<p>射线装置机房设置门机连锁；机房外设置电离辐射警告标识和中文警示说明；设置控制区和监督区；加速器控制台设置 1 个紧急停机按钮、机房内设置 4 个紧急停机按钮、1 个紧急开门按钮，机房防护门具有防夹人装置；配置 2 台个人剂量报警仪和监测仪器（固定式、便携式各 1 台）。</p>	<p>符合</p>
<p>第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。</p>	<p>每年委托有资质的监测单位进行监测，监测频次为 1 次/年。</p>	<p>符合</p>
<p>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的评估报告。</p>	<p>每年 1 月 31 日前向环保部门提交上一年的辐射防护与防护状况评估报告。</p>	<p>符合</p>
<p>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。</p>	<p>辐射防护负责人和辐射工作人员通过环保部门认可的培训机构组织的辐射安全和防护培训，并取得合格证书；新增辐射工作人员需经培训并取得合格证书后方可上岗。</p>	<p>符合</p>
<p>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。</p>	<p>所有从事辐射工作的人员均配备个人剂量计，并委托有资质的的监测机构进行个人剂量监测，每季度送检 1 次。</p>	<p>符合</p>
<p>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。</p>	<p>委托有资质的单位进行辐射工作人员个人剂量检查。</p>	<p>符合</p>

10.6.2 对《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》要求满足情况

依据《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》（国家环保部第 3 号令，2008 年 11 月修正）第十六条的规定，对使用射线装置提出了具体条件，本项目具备的

条件与法规要求的对照检查见表 10.4。

表10.4 与“3号令”要求对照检查情况

3 号令要求	潞河医院落实情况	是否 符合
设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。	有专门的辐射安全与环境保护管理机构，医院院长任辐射防护负责人，全面负责的辐射安全管理工作。	符合
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。	辐射工作人员均已参加“辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训”，并取得合格证书；新增辐射工作人员需经培训并取得合格证书后方可上岗。	符合
使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素的使用。	本项目 不涉及 该内容
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	射线装置机房设置门机连锁；机房外设置电离辐射警告标识；设置控制区和监督区；加速器机房内设置 4 个紧急停机按钮、1 个紧急开门按钮；配置 2 台个人剂量报警仪。	符合
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	从事放射性和在放射性场所工作的工作人员均配备了个人剂量计，配置 1 台固定式剂量监测报警装置、1 台便携式辐射监测仪器和 2 台个人剂量报警仪。	符合
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、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	制定了操作规程、设备维修维护制度、辐射监测计划、辐射工作人员培训管理制度、台账管理制度、辐射事故应急预案等辐射安全管理制度。	符合
有完善的辐射事故应急措施。	在原措施基础上，制定满足本项目需要的辐射事故应急措施。	符合
产生放射性废气、废液、固体废物的，应具有确保放射性废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目中的射线装置使用过程中不产生放射性废水、废气和固体废物。	本项目 不涉及 该内容

表11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

本项目过程中，施工活动对环境的影响主要是产生的噪声、粉尘以及振动等，为降低对周围环境的影响，在施工过程中将采取降噪、防尘措施，如设置隔离带、设立声障，可有效的减少扬尘的污染，同时降低噪声；另外，合理安排施工时间，尽量将产生振动较大的工程安排在下班或节假日进行。本项目系统安装由设备厂家专业安装人员完成，安装过程十分简单，设备安装过程中严格限制无关人员停留，该活动室内安装活动，对公众和周围环境的影响极小，此处不做详细评价。

11.2 核医学科运行后对环境的影响

11.3 加速器运行（使用）后对环境的影响

11.3.1 设备技术参数

本项目使用电子直线加速器可开展X射线和电子线两种治疗，X射线治疗能量为 6 MV 和 10 MV 两档，距等中心1m处X射线的最大剂量率为 600 cGy/min ，常用剂量率为 400 cGy/min ，最大射野尺寸为 40 cm × 40 cm ，X射线泄露辐射 $\leq 10^{-3}$ ，主射野扩散角度为 $\pm 10^\circ$ ；电子线为 4 ~ 18 MeV 六档可选，常用剂量率为 600 cGy/min ，最大射野尺寸为 25cm×25cm 。

11.3.2 使用规划

加速器主要使用能量为 6 MV 和 10 MV 的两档 X 射线开展治疗，其中 80% 情况下使用能量 6 MV 的 X 射线，20% 情况下使用能量为 10 MV 的 X 射线，使用电子线开展治疗情况较少。预计项目运行后，加速器每天治疗 40 人次，日工作时间 8 小时，年工作天数 250 天；在 400 cGy/min 照射条件下，平均每人所需治疗剂量为 2 Gy ，治疗照射时间为 0.5 min/ 人次，加速器日治疗照射时间为 20 min ，年总照射时间为 83.3 h 。

11.3.3 评价内容

本项目主要从以下几方面分析项目运行对周围环境及人员的影响：

(1) 射线类型（ X 射线/电子线）

本项目中加速器可使用X射线和电子线进行治疗，且主要以使用 X 射线为主，考虑到电

子束使用次数有限，且电子束调试过程中，电子线与机头、床、人体组织等作用产生韧致辐射的能量和强度均低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，因而，加速器机房及其防护门如满足 X 治疗束的屏蔽防护要求，则一定能够满足电子束治疗中产生的韧致辐射的防护要求，故本评价主要对X射线的环境影响进行评价，对电子束的环境影响不做具体评价。

(2) 射线能量 (6MV / 10MV)

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)第 4.7.4 条款，对于大于 10MV 的 X 射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑 X 射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获 γ 射线。

本项目中加速器可产生能量为 6 MV 和 10 MV 的 X 射线，因此主要考虑X射线对环境的影响，不需考虑中子的辐射防护问题。

(3) 治疗模式 (常规治疗/调强治疗)

X射线治疗包括常规治疗和调强治疗，且以调强治疗为主，调强治疗情况下 X 射线泄露辐射 $\leq 5 \times 10^{-3}$ 。

(4) 辐射影响分析

分析项目运行期间，机房及防护门对有用束直接照射、泄露辐射、散射辐射的屏蔽效果，以及对工作人员、公众的辐射影响分析，并分析主屏蔽墙宽度是否满足要求。

11.3.4 运行过程中对周围环境的辐射影响分析

11.3.4.1 周围环境辐射影响分析

本项目中，主要评价加速器运行过程中，关注点处的瞬时剂量率对机房外周围环境影响是否满足剂量率控制要求。本项目中，加速器 X 射线能量为 6 MV 和 10 MV 进行放射治疗时距靶 1 m 处最高输出剂量率为 600 cGy/min ，加速器机房为混凝土结构， X 射线能量为 6 MV 对应的初级辐射和泄露辐射的 TVL 值低于 10 MV 所对应的值，本评价主要考虑 X 射线能量为 10 MV 、距靶 1 m 处最高输出剂量率为 600 cGy/min ，常规治疗和调强治疗两种治疗模式下对周围环境的影响。本项目依据设备厂家提供的直线加速器系统机房布局图（明确加速器安装位置）对加速器机房外环境辐射影响进行评价，结合机房外场所功能设置关注点，并以加速器最高输出剂量率（ 600 cGy/min @ 1m ）进行保守估算。

(1) 主屏蔽墙 (A、B、H)

参考 NCRP REPORT NO.151 中式 2.1 ~ 2.4 , 初级X射线屏蔽可由式 (11-1)、式 (11-2) 计算得到。

表11.1 X 射线对应不同材料的 TVL 值

射线类型		TVL值	混凝土 (cm)		铅 (cm)	
			TVL1	TLVe	TVL1	TLVe
初级束	6MV		37	33	5.7	5.7
	10MV		41	37	5.7	5.7
泄露辐射	6MV		34	29	5.7	5.7
	10MV		35	31	5.7	5.7
患者散射	6MV		26 (TVL)		/	/
	10MV		28 (TVL)			

注:参照NCRP REPORT NO.151 附录表B.2 、 B.7、 B.5a。

(2) 次屏蔽墙 (C、D、E、I)

次屏蔽墙屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄露辐射和来自患者体表的散射辐射。

① 泄漏辐射

参考 NCRP NO.151 中式 2.8 , 泄露辐射屏蔽可由式 (11-3) 和式 (11-4) 计算得到。

② 患者体表的散射辐射

参考 NCRP NO.151 中式 2.7 , 散射辐射屏蔽可由式 (11-5) 和式 (11-6) 计算得到。

主屏蔽墙、次屏蔽墙屏蔽防护关注点示意图 (平面/剖面) 见图 11.1, 关注点处瞬时剂量率汇总见表 11.2。

点位	射线束	距离	混凝土最小屏蔽厚度	透射因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
A (东墙外候诊区)	主束	7.5 m	270 cm	6.47E-08	4.14E-01	2.5
B (西墙外机房迷道)	主束	10 m	320 cm	2.88E-09	1.04E-02	10
C (东墙外候诊区)	泄露辐射	9.18 m	164 cm	6.90E-06	2.95E-02/ 1.47E-01 (调强)	2.5
	患者30° 散射 (3.18E-03)	7.45 m	173 cm	6.63E-07	5.47E-02	
D (西墙外机房迷路)	泄露辐射	11.15 m	317 cm	8.0E-11	2.32E-07 /1.16E-06(调强)	10

	患者30° 散射	10.6 m	288 cm	5.18E-11	2.11E-06	
D' (西墙外机房迷路)	泄露辐射	10.85 m	220 cm	1.08E-07	3.29E-04 /1.65E-03(调强)	10
	患者30° 散射	9.94 m	280 cm	1.00E-10	4.63E-06	
E (北墙外控制间)	泄露辐射	5.5 m	150 cm	1.95E-05	2.32E-01 /1.16 (调强)	2.5
	患者90° 散射 (3.81E-04)	5.5 m	150 cm	4.39E-06	6.65E-01	
H(上层科研办公入口 门厅)	主束	6.46 m	270 cm	6.47E-08	5.58E-01	10
I (上层科研办公入口 门厅)	泄露辐射	5.64 m	162 cm	8.0E-06	9.06E-02 /4.53E-01(调强)	10
	患者20° 散射 (5.79E-03)	4.73 m	168 cm	1.0E-06	3.73E-01	

由表 11.2 可知，加速器运行期间，主、次屏蔽墙外剂量率最大不超过 1.825 $\mu\text{Sv/h}$ (10MV/调强)，满足本评价提出的剂量率控制水平：对人员全居留场所 ($T > 1/2$)，机房墙体及门外 30 cm 处辐射剂量不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；对人员部分或偶然居留场所 ($T \leq 1/2$)，不大于 10 $\mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 迷路入口处辐射剂量率

本项目中加速器有用束可照向迷路内墙，加速器迷路入口处 g 的剂量率主要包括：

- ① 加速器机头泄露辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 $H_{LS} (o_2-i-g)$ ；
- ② 主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 $H_{ps} (o_2-o-i-g)$ ；
- ③ 主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射的剂量率贡献 $H_{ss} (o_1-h-i-g)$ ；
- ④ 泄露辐射穿过迷路内墙的剂量率贡献 $H_{LT} (o_1-g)$ ；
- ⑤ 有用束穿过迷路内墙经迷路外墙一次散射的剂量率贡献 $H_s (o_2-j-g)$ ；
- ⑥ 患者散射穿过迷路内墙的剂量率贡献 $H_{ST} (o_2-o-g)$ 。

表11.3 迷路入口 g 处剂量率贡献值汇总表

序号	迷路入口处剂量贡献来源	屏蔽前剂量率贡献值 ($\mu\text{Sv/h}$)	
		6 MV	10 MV
a	加速器机头泄露辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}	0.77 3.85 (调强)	0.61 3.07 (调强)
b	主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{ps}	28.47	32.68
c	主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射的剂量率贡献 H_{ss}	2.13	1.68
d	泄露辐射穿过迷路内墙的剂量率贡献 H_{LT}	2.69E-04	6.78E-04

		1.34E-03 (调强)	3.39E-03 (调强)
e	有用束穿过迷路内墙经迷路外墙一次散射的剂量率贡献H _s	1.27E-03	4.53E-03
f	患者散射穿过迷路内墙的剂量率贡献H _{ST}	4.55E-03	1.66E-02

参考 NCRP No.151 可知，有用束和泄露射线的散射辐射能量较低，迷路入口处散射辐射平均值约为 0.2 MeV，在铅中的 TVL 值为 6 mm。本项目中，加速器机房防护门防护厚度为 12 mm 铅当量（衰减倍数为 100），则加速器运行时防护门外的剂量率不超过 0.33 μSv/h（10 MV），低于本评价设定的剂量率控制值 2.5 μSv/h。

(4) 机房屏蔽效果评价

由以上估算可知，加速器运行过程中对周围环境辐射影响较低，低于本评价提出的剂量率控制水平：对人员全居留场所（T>1/2），机房墙体及门外 30 cm 处辐射剂量不大于 2.5 μSv/h；对人员部分或偶然居留场所（T≤1/2），不大于 10 μSv/h。

(5) 主屏蔽墙宽度分析

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），加速器主屏蔽墙宽度应满足：

$$d \geq 2[(1+R) \times \tan 14^\circ + 0.3] \quad (11-13)$$

本项目中，加速器最大照射野为（40×40）cm²，主射野扩散角度为 ±14°，等中心点到主屏蔽墙内侧的最大距离为 3.5 m，由式(11-13)计算可得主屏蔽墙宽度应不少于 2.84 m。本项目加速器主屏蔽墙为内凸形式，西侧主屏蔽墙宽 4.3 m，东侧主屏蔽墙宽 4 m，满足主屏蔽墙宽度要求。

11.3.4.2 职业人员、公众受照剂量估算

本项目中，关注点处剂量率参照表 11.2 和 表 11.3 中较高剂量率（10 MV /调强）进行估算，则加速器运行过程中对工作人员、周围公众的受照影响见表 11.4 所示。

表 11.4 加速器运行时工作人员年受照最大剂量

受照人员	场所位置	T	年受照时间 (t)	附加剂量率 (μSv/h)	年受照剂量 (μSv)
工作人员	B (西墙外机房迷道)	1/16	83.3	1.04E-02	0.05
	E (北墙外控制间)	1	83.3	1.24	103.3
	E (北墙外设备间)	1/16	83.3	1.24	6.46

	g防护门	1/8	83.3	0.33	3.44
公众	A(东墙外候诊区)	1/16	83.3	4.14E-01	2.16
	H(上层科研办公入口门厅)	1/16	83.3	5.58E-01	2.91
	g防护门	1/16	83.3	0.33	1.72

参照表 11.4 可知，加速器运行所致工作人员最大受照剂量不超过 $103.3 \mu\text{Sv/a}$ ，公众人员受照剂量不超过 $2.91 \mu\text{Sv/a}$ ，均低于本评价设定的剂量约束值 5 mSv/a 和 0.1 mSv/a 。

11.3.4.3 有害气体的环境影响

① 臭氧的危害影响

臭氧来源包括有用线束的臭氧产额和泄露辐射的臭氧产额两部分。

将泄露辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑加速器室墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%，泄露辐射的臭氧产额可由式（11-15）计算得到。

根据计算式（11-16）可得，泄露辐射 O_3 产额 1.34 mg/h 。

则加速器运行时臭氧的总产率为： $18.6 \text{ mg/h} + 1.34 \text{ mg/h} = 19.9 \text{ mg/h}$ 。

考虑连续排风和臭氧的分解时，治疗室空气中臭氧的平均浓度可由式（11-16）计算：

当 $t \gg T$ 时，臭氧达饱和浓度，由式（11-17）可得，在正常排风时辐照室内的臭氧浓度为 0.012 mg/m^3 ，约为《环境空气环境质量标准》（GB3095-1996）中规定的臭氧小时平均最大容许浓度（ 0.2 mg/m^3 ）限值的 6%。

② 氮氧化物对环境的影响

同理，设备运行时产生各种氮氧化物（ NO_x ）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半，约为《环境空气质量标准》（GB3095-1996）中氮氧化物限值的 0.24 mg/m^3 的 2.5%。

可见，加速器运行使用时，治疗室内产生的臭氧和氮氧化物有害气体通过排风系统排放，有害气体浓度均远低于相关标准限值，且对周围大气环境的影响也十分轻微。

11.4 后装治疗机运行后对环境的影响

11.5 III类射线装置环境影响分析

本项目中，CT 机房各向墙壁、防护门、观察窗防护厚度将严格按照《医用 X 射线诊断卫生防护标准》（GBZ130-2013）标准设计，防护厚度不低于 3 mm 铅当量，实体屏蔽材料和厚度完全可以满足标准的屏蔽要求，机房投入使用后 X 射线诊断装置产生的 X 射线贯穿辐射对周围环境的影响十分轻微，机房周围的辐射水平维持在本底水平。

11.6 异常事件分析与防范建议

11.6.1 事件（故）分析

本项目中，射线装置在异常和事故状态下可能出现的情况有：

（1） 加速器可能出现的情况有：人员在加速器机房工作或人员误入加速器机房时，控制室内操作人员误开机出束，人员受到的误照射，对这种事故，加速器机房设有门机联锁系统防止其发生，事故本身不会对环境造成任何影响；

（2） CT 机房：人员误入受到不必要的照射；工作状态下机房门未关闭，对机房门外人员产生误照射。

11.6.2 事件（故）防范措施建议

（1） 加速器设备、机房和控制室具有良好的屏蔽设计和联锁系统，以保证正常的运行安全，但仍不能排除可能发生的紧急情况，为防止人员误留受到照射，工作人员在每次进入加速器室时携带个人剂量报警仪；出束前应有声音报警，提醒工作人员及时从加速器室撤出；

（2） 机房门外设置电离辐射警告标识和工作状态指示灯，提醒无关人员不要靠近或误入；

（3） 辐射工作人员须经环保部门认可的培训机构组织的辐射安全培训，并取得合格证书；

（4） 制定严格的使用管理规定和操作规程，禁止违章操作，并做好日常维护保养、定期检查，保证系统始终处于正常状态；

（5） 定期检查设备门机联锁等安全联锁装置，确保处于正常状态。

表12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构

本项目实施后，潞河医院在现有辐射防护领导小组成员基础上，新增肿瘤科主任为辐射防护领导小组成员，调整后辐射防护领导小组可满足要求，调整后辐射防护领导小组成员情况见表 12.1。

表12.1 辐射防护领导小组成员

12.2 辐射安全管理规章制度

本项目实施后，潞河医院将在现有辐射安全管理制度基础上，新增加速器操作规程等加速器相关制度，并结合医院日常实践进一步完善辐射安全管理制度，确保辐射防护工作按照规章制度进行。

12.3 工作人员培训情况

本项目共配置 8 名辐射工作人员，包括 6 名医师、1 名物理师和 1 名技师，从现有 137 名辐射工作人员中抽调 4 名辐射工作人员（陈晓燕/许秀玲/董明星/孙媛媛），另将新增 4 名辐射工作人员（设备到位启用前落实）。

现有 4 名辐射工作人员已参加北京化工冶金研究院组织的辐射防护与安全培训，并取得合格证书，工作人员培训情况见附件 2（表 134~137）。潞河医院将严格按照要求安排工作人员定期进行复训，新增辐射工作人员需经培训后持证上岗。

12.4 个人剂量监测

辐射工作人员依据制定的个人剂量监测方案进行个人剂量监测，进行辐射工作时必须随身佩戴个人剂量仪，并配备个人剂量报警仪。潞河医院将委托北京市疾病预防控制中心承担承担辐射工作人员个人剂量监测工作，监测周期不超过三个月。

定期安排工作人员进行健康检查，建立个人剂量档案和健康管理档案，做好工作人员的剂量数据登记和汇总工作。

12.5 工作场所及辐射环境监测辐射监测

（1）工作场所监测

辐射工作人员对辐射工作场所周围进行常规辐射水平监测并做好监测记录，监测记录应包括监测位置、监测方法、监测设备、场所和环境剂量率水平、监测频次及监测人员姓名等内容，

监测记录随单位年度评估报告提交北京市环保局；监测内容包括工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测点位包括工作场所墙外 30 cm 处和门缝四周、操作间控制位，监测点位见附图 3；同时委托有资质的单位进行工作场所监测，监测频次不少于 1 次/年。

(2) 环境辐射水平监测

委托有资质的单位进行环境辐射水平监测，监测频次不低于1次/年，监测点位包括机房所在建筑物四周，另外包含一个固定环境监测点位（周围相对空旷的空地或者绿地）。

(3) 监测仪器情况

潞河医院现已配置一台手持多功能辐射仪(Alert) 和一台散漏射线巡测仪 (RTI SM)，本项目新增 1 台固定式剂量监测报警装置、 1 台辐射监测仪器和 2 台个人剂量报警仪，并定期对工作场所进行监测，可以满足辐射工作需要。

12.6 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》第四十二条和国家环境保护总局<2006>145号通知《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的规定，潞河医院制定《辐射安全防护应急预案》，一旦发生辐射事故，立即启动辐射事故应急预案，并采取必要的应急措施。

所有事故都应报告环境保护主管部门，如果发生人员受照剂量可能达到对人体产生危害时，应同时报告卫生主管部门。同时，须进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并作好详细的监测记录。

潞河医院自从事辐射工作以来，未发生过辐射安全事故，并将根据实践情况不断加强和完善应急管理。

表13 结论与建议

13.1 结论

(1) 项目概况

本项目建设地点位于首都医科大学附属北京潞河医院新建科研综合楼地下一层放疗中心，新增使用一台电子直线加速器和一台 CT ；

(2) 实践的正当性

潞河医院使用电子直线加速器和 CT 为所在区患者提供放疗服务，解决当前所在区无放疗设备、患者无法就近就医的需要，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“实践正当性”的要求；

(3) 辐射环境影响评价

本项目实施后，加速器运行时主、次屏蔽墙外剂量率最大不超过 1.825 $\mu\text{Sv/h}$ (10 MV / 调强)，防护门外的剂量率不超过 0.33 $\mu\text{Sv/h}$ (10 MV)，满足本评价提出的剂量率控制水平，即对人员全居留场所 ($T > 1/2$)，机房墙体及门外 30 cm 处辐射剂量不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；对人员部分或偶然居留场所 ($T \leq 1/2$)，不大于 10 $\mu\text{Sv/h}$ ，机房辐射屏蔽满足要求；加速器运行所致工作人员最大受照剂量不超过 103.3 $\mu\text{Sv/a}$ ，公众人员受照剂量不超过 2.91 $\mu\text{Sv/a}$ ，均低于本评价设定的剂量约束值 5 mSv/a 和 0.1 mSv/a。

CT 机房各向墙壁、防护门、观察窗防护厚度将严格按照《医用 X 射线诊断卫生防护标准》(GBZ130-2013)标准设计，实体屏蔽材料和厚度完全可以满足标准的屏蔽要求，机房投入使用后 X 射线诊断装置产生的 X 射线贯穿辐射对周围环境的影响十分轻微。

(4) 本项目运行过程中，正常情况下不产生放射性废水、废气和固体废物，更换和退役时拆卸下来的加速器废靶送至北京市放射性废物库；设备运行过程中会产生少量的臭氧和氮氧化物，通风系统正常工作情况下，产生的有害气体对周围环境的影响十分轻微；

(5) 具备从事辐射工作的人员和经费条件，制定的操作规程、岗位职责、人员培训计划、设备检修维护制度、辐射事故应急方案、监测计划等可行，并将根据日常工作不断完善；

(6) 与国家环保部 2008 年第 3 号令《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》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，满足运行要求。

综上所述，首都医科大学附属北京潞河医院使用医用电子直线加速器和 CT 开展放疗工

作，制定的辐射安全制度和采取的辐射防护措施可行，落实项目实施方案及污染防治措施后，项目运行对周围环境和公众的影响是可以接受的，从辐射环境保护角度考虑，本项目的建设和运行都是可行的。

13.2 建议和承诺

为保护环境，促进射线装置的安全应用，保障公众和工作人员身体健康，预防事故发生，建议加强辐射安全管理，落实辐射安全与防护设施，确保辐射工作人员持证上岗，并做好日常监测工作。同时，首都医科大学附属北京潞河医院郑重承诺：

(1) 加强放射工作人员辐射防护与安全培训学习，承诺辐射工作人员必须经过环保部门组织和认可的培训且考核合格后方可从事辐射工作；

(2) 项目建成后，加强安全措施的检查维护，加强对各放射性工作场所工作人员的个人剂量监测及周围环境辐射水平巡测；

(3) 严格执行日常监测计划和事故情况下的应急预案，积极采取有效措施，预防事故的发生，如发生事故及时向有关部门报告；

(4) 如新增其他射线装置将及时向环保部门申报审批；

(5) 项目运行过程中，不弄虚作假、不违规操作，严格遵守辐射安全管理规定；

(6) 接受环保等其他部门的管理、监督及指导。

表14 审批

下一级环保部门预审意见:

经办人

公章

年 月 日

审批意见:

经办人

公章

年 月 日

附图1 单位地理位置示意图

