

核技术利用建设项目

顺义院区使用 II 类射线装置项目

环境影响报告表

(送审稿)

建设单位：首都医科大学附属北京友谊医院 (公章)

2023 年 9 月

核技术利用建设项目
顺义院区使用 II 类射线装置项目
环境影响报告表

建设单位名称：首都医科大学附属北京友谊医院

建设单位法人代表（签名或签章）：辛有清

通讯地址：北京市西城区永安路 95 号

邮政编码：100050

联系人：郭泽

电子邮箱：3081202649@qq.com

联系电话：13522599863



表 1 项目基本情况

建设项目名称		顺义院区使用 II 类射线装置			
建设单位		首都医科大学附属北京友谊医院			
法人代表	辛有清	联系人	郭泽	联系电话	13522599863
注册地址	北京市西城区永安路95号，北京市通州区潞苑东路101号院，通州区运河东大街57号院3号楼				
项目建设地点	北京市顺义区后沙峪镇				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资(万元)	30000	项目环保投资(万元)	2000	投资比例(环保投资/总投资)	6.67%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m ²)	8600
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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<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 type="checkbox"/> III 类		
其他					
1.1 项目概述					
<p>首都医科大学附属北京友谊医院(以下简称“北京友谊医院”或“医院”)始建于 1952 年。北京友谊医院是一所学科齐全、技术力量雄厚、集临床诊疗、科研、教学和保健为一体的大型三级甲等医院，是首都医科大学第二临床医学院。医院现设有西城院区和通州院区，其中西城院区位于首都核心区，通州院区位于城市副中心。全院现有职工 4400 余人，其中高级专业技术人员近 623 人。医院现设有临床及医技科室 54 个，目前两院区开放床位 2300 余张，年门诊量 336 万人次，年出院 9.3 万人次左右。医院是首批北京市基本医疗保险 A 类定点医疗机构，也是全国最早承担干部保健及外宾医疗任务的</p>					

医院之一。

医院落实北京新总规要求，按照北京市“一核两翼”的总体布局，以建设国家级医学中心为目标，努力做好首都健康的服务保障工作，现已形成“一院两区”的基本格局。西城院区位于首都核心区，将立足北京“四个中心”建设，提高“四个服务”水平；通州院区位于北京城市副中心，将服务于京津冀协同发展和非首都功能疏解；顺义院区主要服务于首都空港，面向空港组团中的中高端就业人群及国际人士，并辐射北京城市中心区内部分需求人群。顺义院区总建筑面积 24 万平方米，编制床位 1500 张，其中一期规划建设床位 1000 张。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

北京友谊医院持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》(京环辐证[D0019])，许可使用 V 类放射源，乙级、丙级非密封放射性工作场所，使用 II 类、III 类射线装置。有效期至 2027 年 9 月 14 日，见附件 1)。

表 1-1 已许可使用的放射源和相关信息

序号	核素名称	类别	总活度×枚数	活动种类
1	Se-75	V	1.48E+06×1	使用
2	Se-75	V	1.58E+08×1	使用
3	Co-57	V	1.17E+8Bq×1	使用
4	Ge-68	V	7.4E+7Bq×2	使用
5	Co-57	V	1.48E+6Bq×1	使用
6	Ge-68	V	9.25E+7Bq×1	使用

表 1-2 已许可使用的非密封放射性物质工作场所和相关情况

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
1	西城院区核医学科	乙	I-131	7.42E+8	1.48E+12	使用
2	西城院区核医学科	乙	Cu-64	3.7E+6	4.62E+10	使用
3	西城院区核医学科	乙	Ga-67	1.85E+7	1.85E+10	使用
4	西城院区核医学科	乙	Tc-99m	1.18E+9	3.55E+13	使用
5	西城院区核医学科	丙	I-125 粒子源	1.78E+7	3.33E+11	使用
6	西城院区核医学科	乙	Tl-201	1.85E+6	1.85E+10	使用
7	西城院区核医学科	乙	I-131	1.85E+6	3.7E+8	使用
8	西城院区核医学科	乙	F-18	2.96E+8	5.92E+12	使用
9	西城院区核医学科	乙	Ga-67	1.85E+7	1.85E+10	使用
10	西城院区手术室	丙	I-125 粒子源	1.78E+7	3.33E+11	使用
11	西城院区核医学科	乙	I-123	5.55E+7	9.25E+10	使用
12	西城院区核医学科	乙	Tl-201	1.85E+6	1.85E+10	使用
13	西城院区核医学科	乙	Ra-223	7.4E+7	2.25E+8	使用
14	西城院区核医学科	乙	Ga-68	3.7E+6	4.62E+10	使用
15	西城院区核医学科	乙	Sr-89	7.4E+7	1.48E+11	使用

16	西城院区核医学科	乙	Tc-99m	3.0E+8	3.55E+13	使用
17	西城院区内镜中心	丙	I-125 粒子源	1.78E+6	3.55E+11	使用

医院已获许可使用的射线装置见表 1-3。

表 1-3 已许可使用的射线装置相关情况

序号	装置名称	类别	数量	工作场所
1	CT 机	III	16	本院医技楼、门诊楼、内科楼、国际医学部、口腔楼、妇泌楼、干保楼同位素治疗中心、通州院区等
2	放射治疗CT 模拟定位机	III	1	
3	牙科X 射线机	III	9	
4	移动X 射线机	III	28	
5	乳腺X 射线机	III	3	
6	SPECT-CT	III	2	
7	医用加速器	II	1	
8	牙科CT 机	III	2	
9	骨密度机	III	7	
10	数字造影血管造影机	II	10	
11	PET-CT	III	1	
12	普通X 射线机	III	27	
	合计		107	

1.2.2 近几年履行环保审批手续情况

北京友谊医院近 5 年来核技术利用项目履行环保和验收手续情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目竣工环保验收落实情况

编号	项目名称	环评手续情况	竣工验收情况
1	通州院区新增使用 4 台 DSA 项目	京环审[2020]41 号	于 2021 年 8 月完成自主验收。
2	西城院区使用 2 台 II 类射线装置项目	京环审[2022]103 号	正在建设中
3	顺义院区新建核医学科	京环审[2023]0007 号	正在建设中

1.2.3 辐射安全管理情况

(一) 辐射安全与环境保护管理机构

为了加强辐射安全和防护管理工作，确保放射性同位素和射线装置的安全使用，北京友谊医院专门成立了辐射安全与防护委员会，由医院理事长担任主任委员，执行院长、副院长担任副主任委员，院办、疾病控制与预防感染管理处、医学工程处、人力资源处、规划建设处、核医学科、放射科、口腔科、神经外科、心脏中心等部门的相关人员担任成员，并指定疾病控制与预防感染管理处杨艳艳、朱晨笛专职负责辐射安全管理工作，辐射安全与防护委员会成员名单见表 1-5。

表 1-5 医院辐射安全与环境保护管理小组

职位	姓名	职务或职称	专业	工作部门	专/兼职
主任委员	辛有清	理事长	医院管理	院办	兼职
副主任委员	张澍田	执行院长	内科学	院办	兼职
辐射防护负	邓明卓	主管副院长	医院管理	院办	兼职

责人					
委员	王振常	副院长	医院管理	院办	兼职
	谢苗荣	副院长	医院管理	院办	兼职
	陈惠清	行政处室负责人	医院管理	疾病控制与预防 感染管理处	兼职
	尤红	院长助理	内科学	院办	兼职
	吴咏冬	临床科室负责人	内科学	消化科	兼职
	王菲	临床科室负责人	护理学	手术部	兼职
	杨正汉	临床科室负责人	医学影像与 放射治疗	放射科	兼职
	冯捷	行政处室负责人	医院管理	医学工程处	兼职
	李舒平	行政处室负责人	医院管理	人力资源处	兼职
	龚民	临床科室负责人	外科学	胸外科	兼职
	任军	放射组组长	医学工程	医学工程处	兼职
	贾继东	临床研究所负责人	内科学	临床研究中心	兼职
	黄晓峰	临床科室负责人	口腔科	口腔科	兼职
	王炳强	临床科室负责人	外科学	骨科	兼职
	朱晨笛	医师	医院管理	疾病控制与预防 感染管理处	专职
	王宾	行政处室负责人	医院管理	医务处	兼职
	郑京晶	行政处室正职	医院管理	人力资源处	兼职
	骆金凯	行政处室负责人	护理学	护理部	兼职
	杨艳艳	医师	劳动卫生与环 境卫生学	疾病控制与预防 感染管理处	专职
	田野	临床科室负责人	外科学	泌尿外科	兼职
	郑伟	行政处室正职	医院管理	规划建设处	兼职
	李丽	临床科室负责人	医院管理	国际医疗部	兼职
	刘藏	临床科室负责人	外科学	神经外科	兼职
李虹伟	临床科室负责人	内科学	心脏中心	兼职	

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

北京友谊医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射安全与防护管理工作制度及岗位职责、操作规程、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账管理制度、放射工作人员管理制度、辐射监测制度、废物处置制度、放射性突发事件（件）应急预案等，医院辐射安全管理严格遵循国家的各项相关规定，结合医院的具体情况，认真贯彻辐射安全和防护的相关制度，能够满足实际工作需要。

（三）辐射工作人员培训考核

北京友谊医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关工作人员约 402 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核，最早一批于 2019 年 6 月取得合格证书。

今后，医院将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

（四）个人剂量监测

北京友谊医院现有从事辐射工作的医护人员均佩带 TLD 个人剂量计，每季度 1 次监测一次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与

射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至北京市辐射安全监管系统中。

目前，个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每季度检测一次。评价期间查阅了医院 2021 年度和 2022 年度的个人剂量检测报告，结果表明，2021 年度受照剂量超出 1.0mSv 只有 1 名（心内科医生，1.06mSv），2022 年度全部辐射工作人员的受照剂量均低于 0.5mSv，说明北京友谊医院的辐射安全防护措施是可行的。

开展个人剂量检测的人员，包含新引进辐射工作人员、进修人员、学生等，所以开展个人检测的人数（468 名）多于辐射工作人员数量（408 名）。部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，所以出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射防护领导小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

（五）工作场所及辐射环境监测

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

工作场所辐射水平监测：医院每年委托有 CMA 资质的单位对医院已有的辐射场所防护和机器性能检测一次，且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

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

本项目运行后，周围场所的辐射水平监测工作，将纳入医院辐射工作场所的监测范围，按新标准要求开展自行监测

（六）放射性废物管理

北京友谊医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13号）对放射性废物进行管理。放射性固体废物分类收集于专用的废物库内，暂存时间分别超过30天、10倍最长半衰期，对表面污染和辐射剂量率水平自行监测无异常后做为医疗废物处置；对于槽式衰变池（罐）暂存方式，A类放射性废水注满后，暂存时间超过30天后可直接解控排放。医院按照要求对固体废物和液体废物进行了清洁解控，并进行了详细解控记录。

目前，北京友谊医院核医学只使用F-18、Tc-99m两种诊断核素和I-131、Sr-89两种治疗核素。医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》要求，对放射性废物进行管理：将放射性固体废物分类收集于专用的废物桶内，在废物衰变间内暂存。含A类Tc-99m和F-18的放射性废物暂存30天后，含B类I-131的放射性废物暂存180天后、Sr-89的放射性废物暂存505天后，使用经检定合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于200nSv/h且 β 表面污染水平小于0.8Bq/cm²，将废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账”。

医院显像核素目前只用F-18、Tc-99m两种核素，进行了自行清洁解控，并进行了详细解控记录。

（七）辐射事故应急管理

医院成立了辐射事故应急处理领导小组，制定有《辐射事故应急预案》，预案中明确了应急指挥机构、人员组成及分工、应急部门及人员职责、应急器材，发生辐射事故时的报告、通讯联络方式、应急处置方式等，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，即能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

2021年12月7日在放疗科地下一层进行了辐射安全防护的桌面演练，相关科室人员积极参加演练，整个过程紧张有序。通过演练，科室应对突发事件的能力得到进一步提高。

（八）其他情况

北京友谊医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2022 年度年度评估报告。

1.3 北京友谊医院顺义院区建设工程概况

1.3.1 北京友谊医院顺义院区建设背景

北京友谊医院是北京市属的大型综合三级甲等医院，医院经过 60 多年的发展，已形成了以胃肠疾病诊治、泌尿疾病诊治、肾内血液净化、普外肝移植、热带病诊治、中西医结合为专业特色的大型综合医院，综合实力达到国内先进水平，多项指标（如年门诊量、住院量、手术量及总收入）连续多年全市排名三甲。近年来医院诊疗人数逐年增加，给医院的基础设施带来了巨大压力，但因地处二环以内，医院发展受用地条件制约，矛盾凸显，急需寻求新的发展空间。与此同时，顺义区医疗卫生事业发展水平与人民群众日益增长的健康要求存在较大差距，已成为影响民生事业的短板。为缓解顺义区看病难的问题，提升新城承载力，加快中心城区功能疏解，北京市卫健委等主管部门提出了在顺义区建立北京友谊医院顺义院区。

顺义院区主要服务于首都空港，面向空港组团中的中高端就业人群及国际人士，并辐射北京城市中心区内部分需求人群。在疑难危重疾病诊治、重大新技术、临床研究创新及高层次人才培养方面发挥重大作用。北京友谊医院顺义院区将采用“专科优势明显的大型综合型医院”发展路线，完成本部医疗、科研和教学等非首都核心功能的疏解任务，打造首都东北部区域医疗中心和区域国际医疗中心，填补顺义地区优质医疗资源缺乏的空白，同时承担首都国际机场应急医疗任务。学科建设方面，在各专科综合均衡发展的前提下，顺义院区将集中综合优势，重新进行整合，建立消化系统外科（肿瘤）诊治中心、泌尿系统疾病诊治中心、淋巴瘤疾病诊治中心、头颈外科疾病诊治中心、神经疾病中心、血液净化中心、急危重症诊疗中心、医学影像中心（放射、超声、核医学）及医学检验中心，进一步扩展医院优势学科的发展空间，形成对整个系统疾病的全过程、全流程覆盖，避免患者因诊断、手术、术后诊治等医疗需求跑多家医院就诊的困难，切实解决顺义地区看病难的问题。

顺义院区项目选址于 2016 年 3 月 14 日经北京市规划委员会批准《北京市规划委员会建设项目选址意见书》（2016 规选字 0007 号）。2016 年 9 月 2 日取得北京市发改委核准立项《北京市发展和改革委员会关于首都医科大学附属北京友谊医院顺义院区项目核准的函》（京发改（核）[2016]238 号）。2016 年 8 月，北京市政府印发《北京市公共服务类建设项目投资审批改革试点实施方案》（京政发〔2016〕35 号），即“一

会三函”，适用范围包括城市副中心的道路、停车设施、垃圾和污水处理设施以及教育、医疗、养老等公共服务类建设项目。2016年11月8日，经市政府批准，本项目纳入“一会三函”改革试点范围。

顺义院区建设项目于2018年1月取得了顺义区生态环境局(原顺义区环境保护局)《关于首都医科大学附属北京友谊医院顺义院区建设项目环境影响报告书的批复》(顺环保审字[2018]0012号)等审批文件。

1.3.2 医院功能定位和多院区管理模式

(一) 医院功能定位

(1) 西城院区功能定位

承担着中央及北京市大量的干部保健任务，是北京市干部保健基地，也是唯一被纳入中央保健的市属综合医院，是北京市干部保健体系中规模最大、能力最强、水平最高的龙头单位。

医疗发展的重心逐渐转移到临床医学研究和高端人才培养，床位将随着核心区人口的逐渐减少和病人的逐渐下降，逐渐减少到1000张，保持三级甲等综合医院完整的学科配置，为干部保健提供学术和医疗支撑。西城院区将主要侧重于满足城南部地区的医疗服务需求，教学工作定位于高层次临床和科研人才培养，提高博士后、博士研究生培养能力和规模，建设成为国家级专科医师培训基地。

(2) 通州院区功能定位

通州院区将作为医院未来的医疗及医院管理中心，将发展成为疑难危重病诊治中心、临床医学研究中心、医院管理研究中心、副中心的干部保健基地，保证其医疗水平、设备、技术、质量全国一流，为副中心行政机关运行、通州区和北三县地区居民提供优质医疗卫生服务保障。

(3) 顺义院区功能定位

按照北京市城市规划的整体要求及市属医院在北京东北部地区的规划布局定位，未来将打造首都东北部区域医疗中心和区域国际医疗中心，为北京东北部地区群众及北京市引进国际人才服务。同时以临床创新技术、多层次教育为核心，承接北京市临床医学研究所、北京市热带病研究所、北京市泌尿外科研究所和北京市中西医结合研究所等各类研究所。通过建设完善的临床试验平台、样本库平台、数据平台及数据处理中心，承担国家级科研项目，开展临床研究、基础研究以及转化医学研究。大力发展以肿瘤外科、肿瘤精准医疗、热带病研究为特色的高端医疗技术和重点专科，成为北京市医学基础研究的新增长点，为医学科学的创新和引领做出贡献。顺义院区功能定位仍必须为专科特

色突出的创新型综合医院。

（二）多院区管理模式

北京友谊医院一院多址布局，符合北京市总体规划，弥补了部分地区优质医疗资源的不足，带动了北京非首都功能的疏解，解决了部分地区人民群众享受基本医疗服务的公平性和可及性的问题。

三个院区总体规模为 3000 张床位左右，每个单体规模 1000 张床左右。单体 1000 张床为管理、效率、成本的最佳规模，易于进行精细化管理，使之成为精品医院。

西城院区在核心区，服务于周边百姓及干部就医，以综合，消化，干保为主，注重博士培养。通州院区在行政办公区，配合副中心发展，以综合为主，带动周边社区发展。顺义院区在科技创新区，基于市区辐射全国各地，四个研究所均搬至顺义，在综合医院基础上发展肿瘤外科，热带病研究等。

1.3.3 顺义院区建筑布局

顺义院区的布局平面图见图 1-1 所示，主要建筑物为医疗综合体，门急诊医技区、住院一区、住院二区、科研教学区、行政办公区及地下室等），高度 45m（-3/9F）。总建筑面积约 24 万平方米。

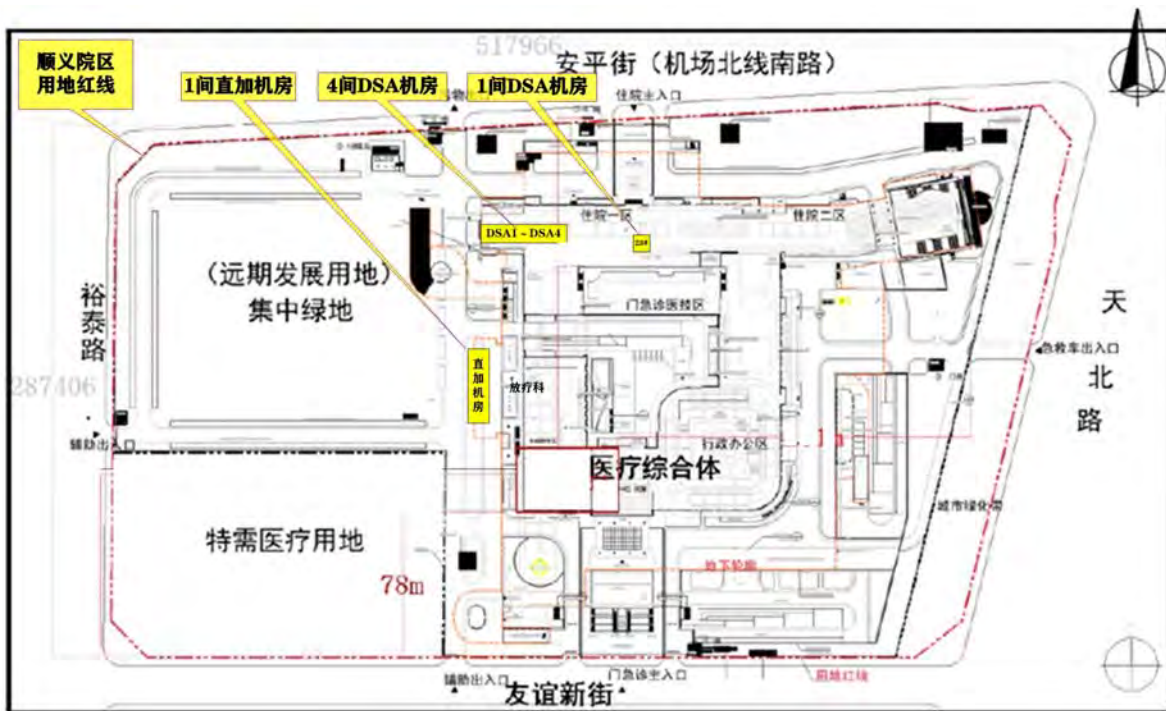


图 1-1 顺义院区布局和本项目位置示意图

顺义院区核技术利用项目多数集中在医疗综合体内，具体分布见表 1-6 所示：

表 1-6 顺义院区医疗综合体内核技术利用项目分布情况

楼层	层高 (m)	核技术利用建设内容
B3	4.8	生产正电子核素的回旋加速器相关区域、动物PET室和两个废水衰变池
B2	5.2	核素显像和核素治疗区域、放疗科是使用1台直线加速器机房
B1	6.0	放射科使用DR、CT，干保门诊使用CT、乳腺机、骨密度仪、碎石机，体检中心1台DR、感染科1台DR
1F	5.3	儿科DR、急诊科使用DR、CT、胃肠机
2F	4.1	手术室使用1台DSA（II类射线装置）。口腔科使用CBCT、口腔CT、牙片机、移动C形臂
3F	4.8	内镜中心使用胃肠机
4F	5.2	/
5F	4.0	导管中心使用4台DSA（II类射线装置）

1.3.4 顺义院区环境影响评价内容

北京友谊医院顺义院区的建设项目已于 2018 年 1 月取得了原北京市顺义区环保局同意建设的批复（顺环保审字〔2018〕0012 号）（见附件 5）。

北京友谊医院顺义院区新建核医学科项目已于 2023 年 2 月 22 日取得了北京市生态环境局的普通（京环审[2023]0007 号）。

本报告仅针对放射治疗和介入治疗涉及的 II 类射线装置内容进行评价，具体建设内容包括：

1. 在综合体地下二层西北侧新建 1 间加速器机房，使用 1 台医用电子直线加速器，X 射线最大能量 10MV，电子束最大能量 20MeV；
2. 在综合体二层手术区使用 1 台 DSA；
3. 在综合体五层导管中心使用 4 台 DSA。

根据《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，北京友谊医院委托北京科欣科技发展有限公司开展“顺义院区使用 II 类射线装置项目”的环境影响评价工作。评价单位在现场查看、调查、收集资料以及现场监测的基础上，编制了该建设项目的辐射环境影响报告表。

本项目还使用 CT、DR 和其它 III 类射线装置，将待设备具体型号确定后单独进行备案。

1.3.5 本项目产业政策符合性及实践正当性

本项目加速器和 DSA 均属于 II 类射线装置, DSA 属于《产业结构调整指导目录(2019 年本, 2021 年修订)》中第十三项第 5 条中 “数字化医学影像设备” 类别, 加速器属于 “高端放射治疗设备”, 均属于国家支持和鼓励类产业。

本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录(2022 年版)》中禁止和限制项目。因此, 本项目的建设符合国家及地方产业政策要求。

本项目的建设可以提高医院对疾病的诊治能力。加速器和 DSA 设备运行不产生放射性 “三废”, 对周围环境的辐射影响也很小, 对职业人员、公众以及环境带来的不利影响, 远低于其使用对社会带来的利益, 故该核技术应用项目具有正当性。

1.3.6 本项目机房位置及选址合理性分析

(1) 医用电子直线加速器

医用电子直线加速器机房设置在医疗综合体地下二层西侧, 放疗中心实体屏蔽体外围 50m 范围内, 北侧、南侧和西侧均为土层, 东侧为放疗科医疗用房, 东南侧为核医学科诊疗场所。机房毗邻环境: 北侧、南侧和西侧均为覆土层。东侧为设备间、控制室和洁具间。地下为土层, 顶部为室外土层。

可见, 加速器机房设在综合楼的西侧, 上、下为土层, 四周的三侧为土层, 东侧邻接放疗科。选址充分考虑了避让周围敏感目标, 位置合理。机房设在地下, 即减少了对环境的辐射影响, 又有效减少了辐射屏蔽投资。综合考虑, 加速器机房选址是合理的。

(2) DSA 设备

本项目 DSA 机房全部设在医疗综合体内, 分布于 2 处: 五层导管中心 (4 台)、二层综合手术部 (1 台)。DSA 实体屏蔽体外周围 50m 范围内, 全部是顺义院区的医疗用房。

本项目 DSA 设备均相对集中, 配套场所可以公用, 有效节约了所需空间。此外, DSA 设备相对集中在手术区域, 机房四周无普通公众, 减少了公众受辐射影响的程度。DSA 机房楼板设计相对较厚, 顶板和地板均大于 6mmPb, 可确保楼上和楼下场所的附加剂量率为本底水平。估算结果显示, 对楼上和楼下公众的辐射影响基本可以忽略。此外, DSA 照射区域为病床之间的区域, 综合考虑, DSA 机房选址是可行的。

1.3.7 顺义院区放疗科发展规划

(1) 放疗科现状

北京友谊医院西城院区现有 1 台直线加速器, 现有 10 名辐射工作人员, 其中 4 名医师、4 名技师、1 名物理师和 1 名护士从事放射治疗工作。

(2) 顺义院区新建放疗科规划

拟在顺义院区建设放疗科，为患者提供安全、高效的医疗服务。

工作负荷：参照北京市其它三级医院放疗科的平均工作负荷，结合北京友谊医院实际，保守按照每天治疗 80 人次的工作负荷进行评价。

人员配置：放疗科拟至少配置共计 8 名辐射工作人员，其中医生 3 名、物理师 2 名、技师 2 名和护士 1 名。

1.3.8 顺义院区介入治疗发展规划

北京友谊医院现有 10 台血管造影机投入运行，根据 2021 年度北京友谊医院的介入诊疗统计数据，全年开展介入诊疗手术 12000 例，平均每台 DSA 设备每年开展介入手术约 1200 台。

北京友谊医院现有 162 名辐射工作人员从事介入诊疗工作，平均 16 人使用 1 台 DSA 设备。按照“4 人一组”的工作模式，每组人员的年均手术量不足 500 例。

顺义院区建成后，床位数量为 1000 张，与西城院区目前的床位数量一致，故预计将来患者的数量也与目前西城院区相当。

人员配置：本项目 DSA 配置标准为：每台 DSA 设备至少配备 8 名辐射工作人员（4 名医生、2 名技师和 2 名护士）。

工作负荷：按照每台 DSA 设备年开展 1000 台手术考虑设备的工作负荷。每组操作人员年手术量按照 500 例进行人员受照剂量评价。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
无										

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子直线加速器	II	1	待定	电子	10MV (X 线) 20MeV(电子束)	X 线: 1400cGy/min@6MV; 2400cGy/min@10MV 电子束: 1000cGy/min	放射治疗	顺义院区医疗综合体地下二层加速器机房 2	

(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	血管造影机	II	1	待定	125	1250	介入诊疗	医疗综合体二层手术区23#	单管球
2	血管造影机	II	1	待定	125	1250	介入诊疗	医疗综合体五层DSA机房1	单管球
3	血管造影机	II	1	待定	125	1250	介入诊疗	医疗综合体五层 DSA 机房 2	单管球
4	血管造影机	II	1	待定	125	1250	介入诊疗	医疗综合体五层 DSA 机房 3	单管球
5	血管造影机	II	1	待定	125	1250	介入诊疗	医疗综合体五层 DSA 机房 4	单管球

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废靶	固体	活化成份			正常运行时无废靶产生		暂存	优先清洁解控处置，活化程度较高的废靶送北京市城市放射性废物库。
有害气体 O ₃ 等	气体				<10g		直接排放	经通风系统直接排入环境大气

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令[2014]第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施； 2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令[2003]第 6 号，2003 年 10 月 1 日起实施； 3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 1 月 1 日起施行； 2016 年 7 月 2 日第一次修正； 2018 年 12 月 29 日第二修正； 4. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日经国务院令 449 号公布；2014 年 7 月 29 日经国务院令 653 号修订；2019 年 3 月 2 日经国务院令 709 号修订； 5. 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日国务院令 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日国务院令 682 号修订， 2017 年 10 月 1 日起施行； 6. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2006 年 1 月 18 日，原国家环境保护总局令 31 号公布；2008 年 12 月 6 日经原环境保护部令 3 号修改；2017 年 12 月 20 日经原环境保护部令 47 号修改；2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 7 号修改；2021 年 1 月 4 号生态环境部令 20 号修订并实施； 7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； 8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令 16 号，2020 年 11 月 5 日，自 2021 年 1 月 1 日起施行； 9. 《关于发布射线装置分类》的公告，原环境保护部 原国家卫生和计划生育委员会公告[2017]第 66 号，2017 年 12 月 6 日起施行； 10. 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号； 11. 关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告，国环规环评〔2017〕4 号，2017 年 11 月 20 日； 12. 原北京市环境保护局办公室《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办〔2018〕24 号，2018 年 12 月 6 日； 13. 《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〕第 57 号，2019 年 12 月 23 日起施行；
------	---

	<p>14. 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 11 日；</p> <p>15. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 版；</p> <p>16. 《关于发布〈建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>17. 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》，国家发展和改革委员会令第 29 号，2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>18. 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 295 号令，2020 年 11 月 15 日实施。</p>
<p>技术标准</p>	<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》(HJ10.1-2016)；</p> <p>2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>3. 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>4. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>5. 《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>6. 《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/T201.2-2011)；</p> <p>7. 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)；</p> <p>8. 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)；</p> <p>9. 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>10. 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)；</p> <p>11. 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>12. 《医用常规 X 射线诊断设备质量控制检测规范》(WS76-2020)；</p> <p>13. 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS674-2020)</p> <p>14. 《医用电气设备 第 2-1 部分：能量为 1MeV 至 50MeV 电子加速器基本安全和基本性能专用要求》(GB 9706.201-2020)。</p>
<p>其他</p>	<p>1. 首都医科大学附属北京友谊医院:环境影响评价咨询协议书；</p> <p>2. 医院放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量检测报告等相关资</p>

料；

3. 原国家环境保护局监督管理司，《中国环境天然放射性水平》，1995年8月。

4. NCRP REPORT NO.151“Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities”(2005年)；

5. NCRP REPORT No.147 “Structural Shielding Design for medical X- ray imaging Facilitie” (2005年)；

6. 郑钧正，卢正福，李隆德译。医用外照射源的辐射防护，国际放射委员会第33号出版物，人民卫生出版社。1984李德平、潘自强《辐射防护手册（第三分册）辐射安全》，1990年3月第1版；

7. 李德平、潘自强《辐射防护手册（第一分册）辐射源与屏蔽》，原子能出版社，1987年8月第一版。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围、目的和评价因子

7.1.1 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，确定该项目辐射环境影响评价的范围：以医用电子直线加速器机房和 DSA 机房实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。

7.1.2 评价目的

通过对本项目内容进行分析和估算，以期达到以下目的：

1. 了解掌握建设项目周围地区环境辐射现状；
2. 评价项目在运行过程中对周围环境及公众成员造成的辐射影响；
3. 评价项目运行对周围环境的辐射影响；
4. 评价辐射防护措施效果，提出进一步减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门管理提供依据；
5. 通过该项目辐射环境影响评价，为营运单位保护环境和公众利益给予技术支持；
6. 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”。

7.1.3 评价原则

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

7.1.4 评价因子

本项目评价因子主要为 X 射线、电子线。

7.2 保护目标

本项目顺义院区位于顺义区后沙峪镇，机场北线南侧，具体为顺义新城第 18 街区北部（后沙峪组团）18-01-001 地块，“四至”范围：东至天北路，西至裕泰路，南至规划友谊新街，北至机场北线南侧规划安平街，东西方向约 520m，南北方向约 284m。

北京友谊医院顺义院区一期在院区东部新建医疗综合体，院区西部预留未来发展用地，隔天北路东侧为中国航信高科技产业园区，用地南侧规划为居住用地（现状为空地），用地西侧现状为中国残奥委员会体育训练中心，用地北侧现状为机场北线，隔机场北线

北侧为董各庄村。

顺义院区放疗和介入诊疗相关场所位于医疗综合体（地下 3 层，地上 9 层）的地下二层（1 台医用直线加速器）、二层手术区（1 台 DSA）和五层介入手术室（4 台 DSA），本项目评价范围和保护目标见图 7-1 和表 7-1。

表 7-1 顺义院区加速器和 DSA 场所周围 50m 范围内的保护目标

机房位置	保护目标	方位	最近距离(m) 或范围	常居留人数
地下二层 1 间加速器机房 2	预留加速器机房	北侧	相邻	/
	停车场	北侧	34	2
	药库	东北侧	13	6
	放疗科用房（控制室、设备间、 办公室、CT 模拟定位机、MRI 模拟定位机等）	东侧	0—48	10
	核医学科诊疗场所	东南侧	28	20
	土层	南侧	相邻	/
	集中绿地	西侧	相邻	/
	一层空地	机房上方	相邻	/
	土层	机房下面	相邻	/
二层 DSA (1 台)	设备间、库房、轨道物流	北侧	相邻	/
	ICU 病房	北侧	8.2	10
	清洁走廊	东侧	相邻	/
	手术室 26#、27#、麻醉/苏醒间、 谈话间	东侧	1.6-35	20
	耳鼻喉科	东侧	35	10
	手术室 24#、24#、电梯间、楼梯 间等	南侧	相邻-26	5
	手术室 3#—手术室 21#	西侧	2.5	50
	楼道、庭院	楼上	相邻	/
	楼道、仪器室	楼下	相邻	4
五层 DSA (4 台)	清洁走廊	北侧	相邻	/
	导管室更衣室、值班室、休息室、 示教室、库房等	北侧	2.5-17	6
	设备间、控制室	东侧	相邻	2
	恢复/抢救、谈话间、家属等候区、 CCU 病房、护士站、值班室等	东侧	2.3—50	15
	楼外	南侧	相邻	/
	楼外或 DSA 机房、控制室等	西侧	相邻	/
	心内科病房 (病床不在照射区域内)	上方	相邻	住院患者
	产科病房 (病床不在照射区域内)	下方	相邻	住院患者

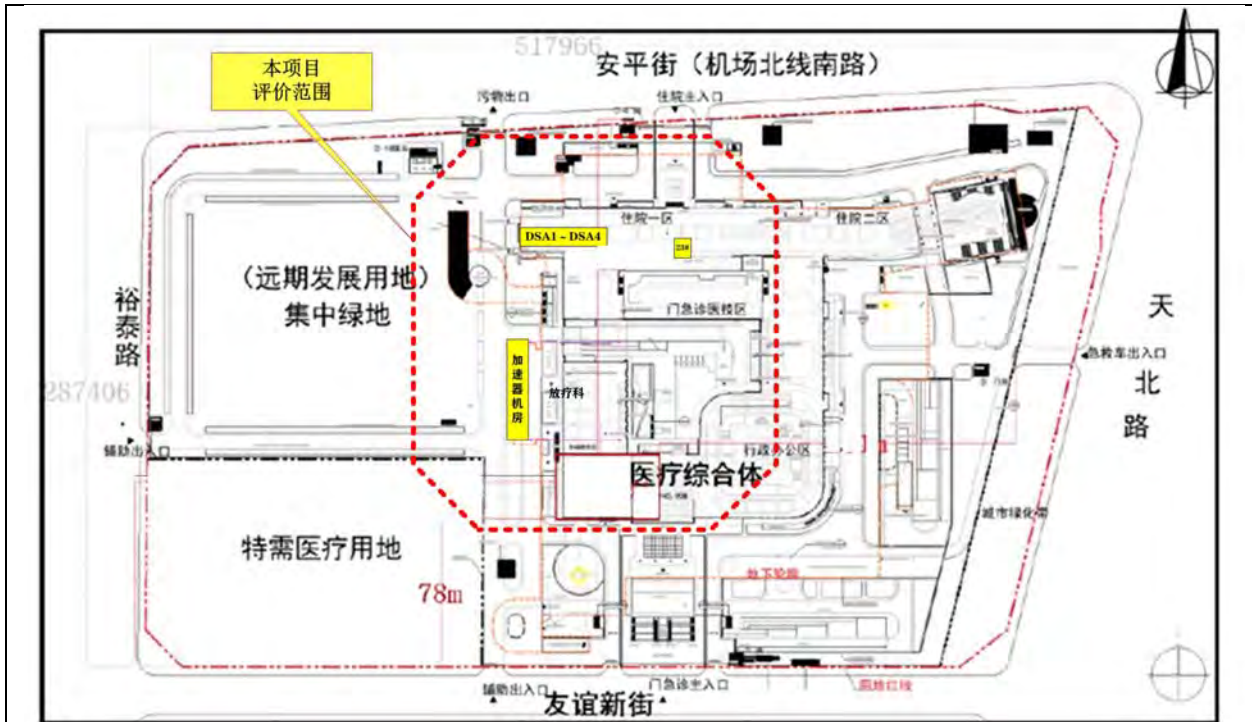


图 7-1 顺义院区布局和周围环境示意图



图 7-2 顺义院区鸟瞰图

本项目所涉及的 1 间直线加速器机房位于顺义院区医疗综合体地下二层西侧，1 台 DSA 位于医疗综合体二层手术区，4 台 DSA 位于医疗综合体五层导管中心。上述场所所在楼层的平面布局见图 7-3~图 7-6 所示。



图 7-3 医疗综合体地下二层放疗科位置及平面布局示意图

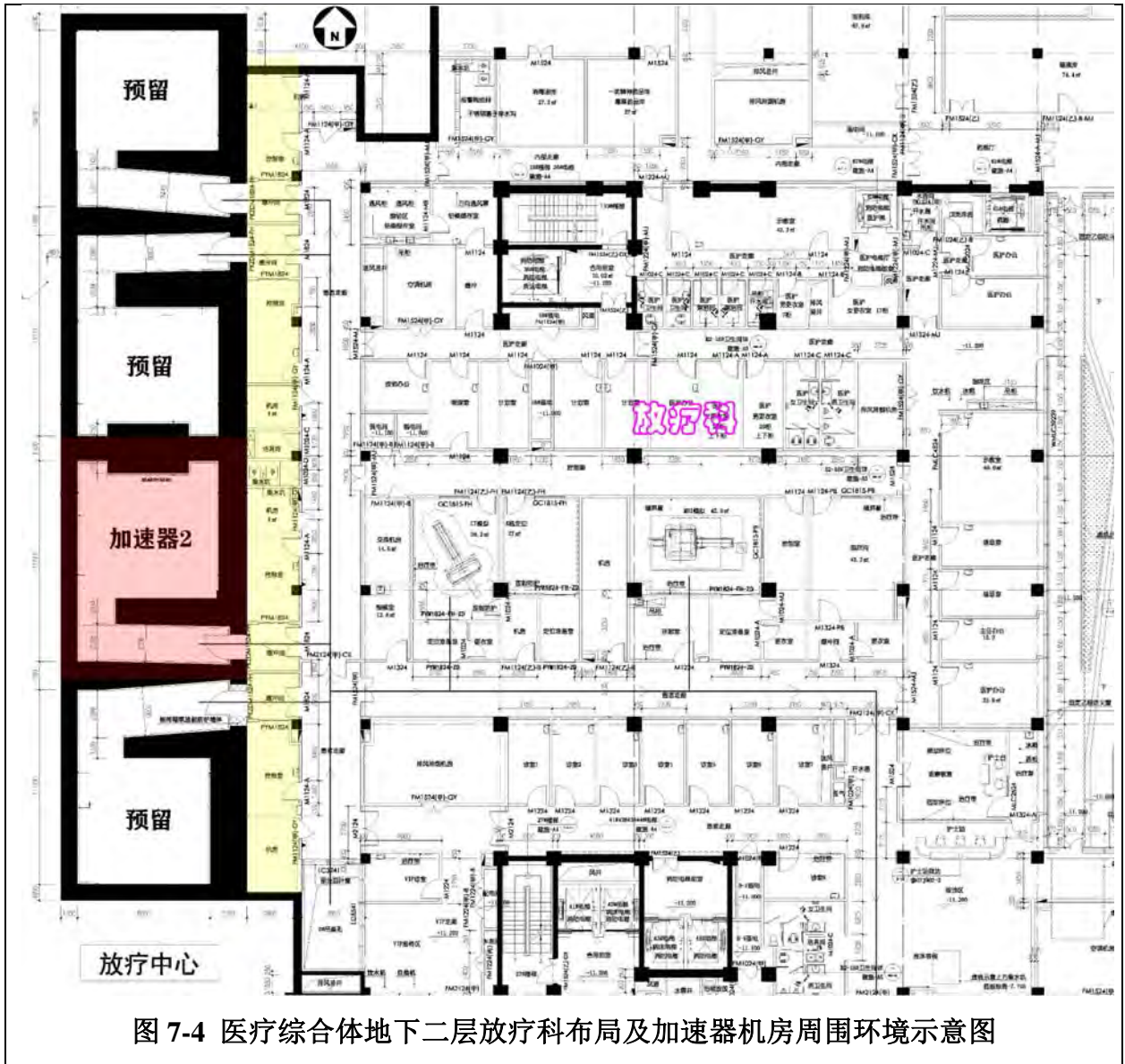


图 7-4 医疗综合体地下二层放疗科布局及加速器机房周围环境示意图

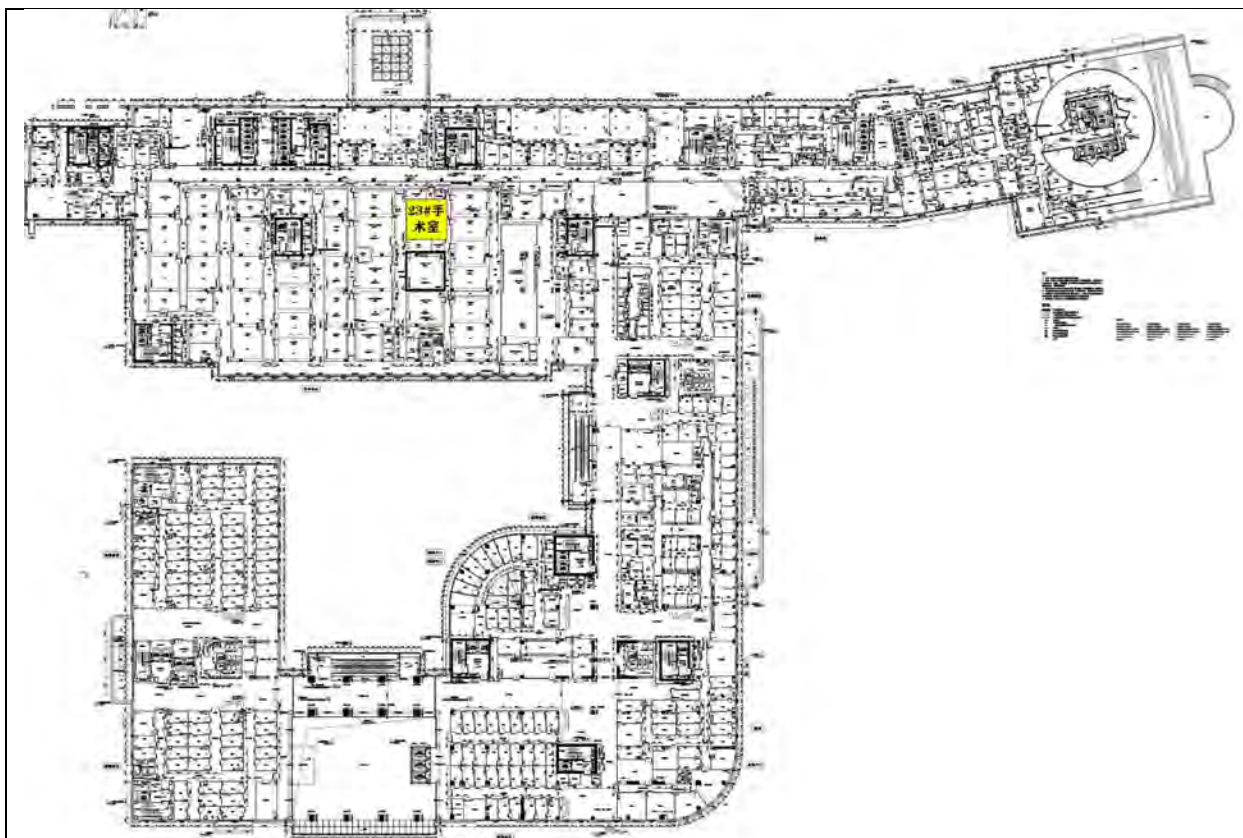
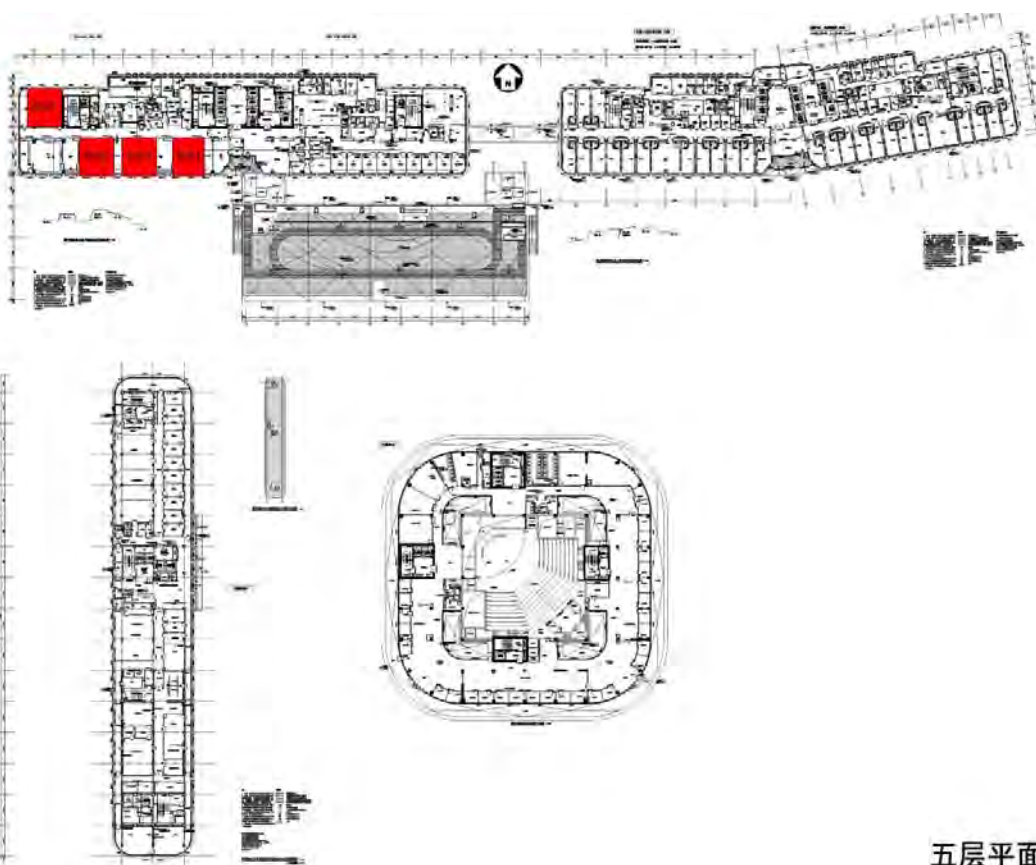


图 7-5 医疗综合体二层平面以及拟建 DSA 机房位置（黄色区域）示意图



五层平面

图 7-6 医疗综合体五层平面以及拟建 4 台 DSA 机房位置（红色区域）示意图

医疗综合体一层平面以及二层 DSA 机房对应位置（蓝色虚线区域）见图 7-7 所示，

医疗综合体三层平面以及二层 DSA 机房对应位置（蓝色虚线区域）见图 7-8 所示。

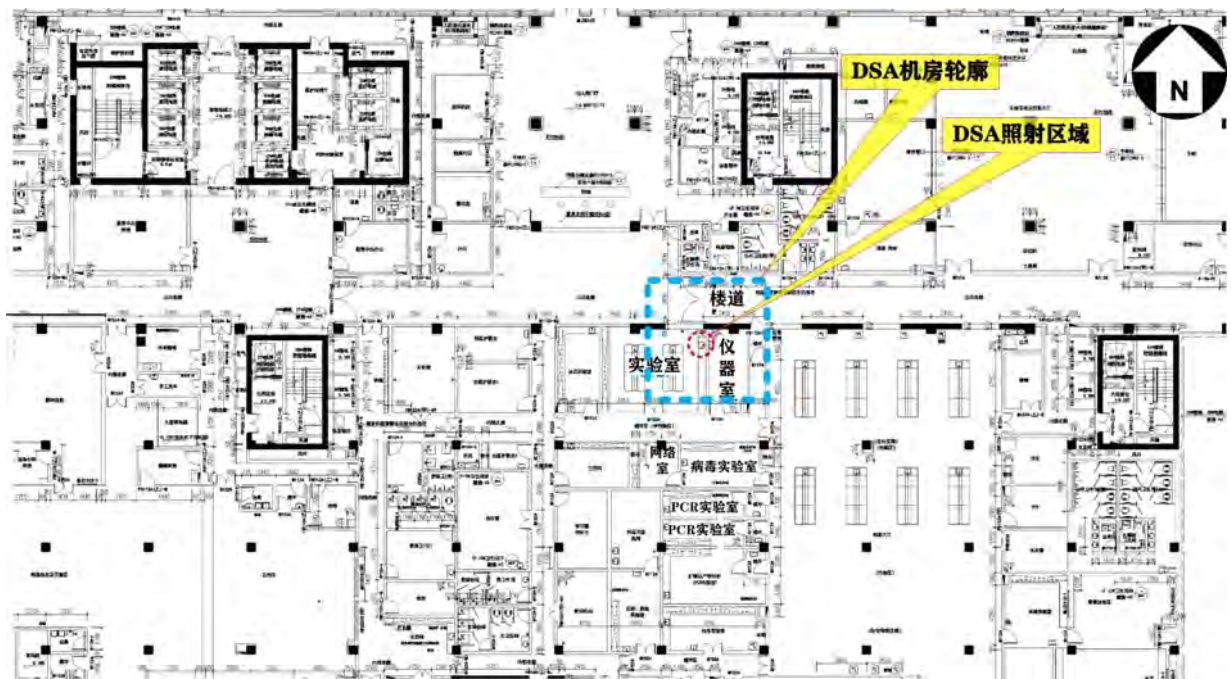


图 7-7 医疗综合体一层平面以及 DSA 对应位置（蓝色）示意图

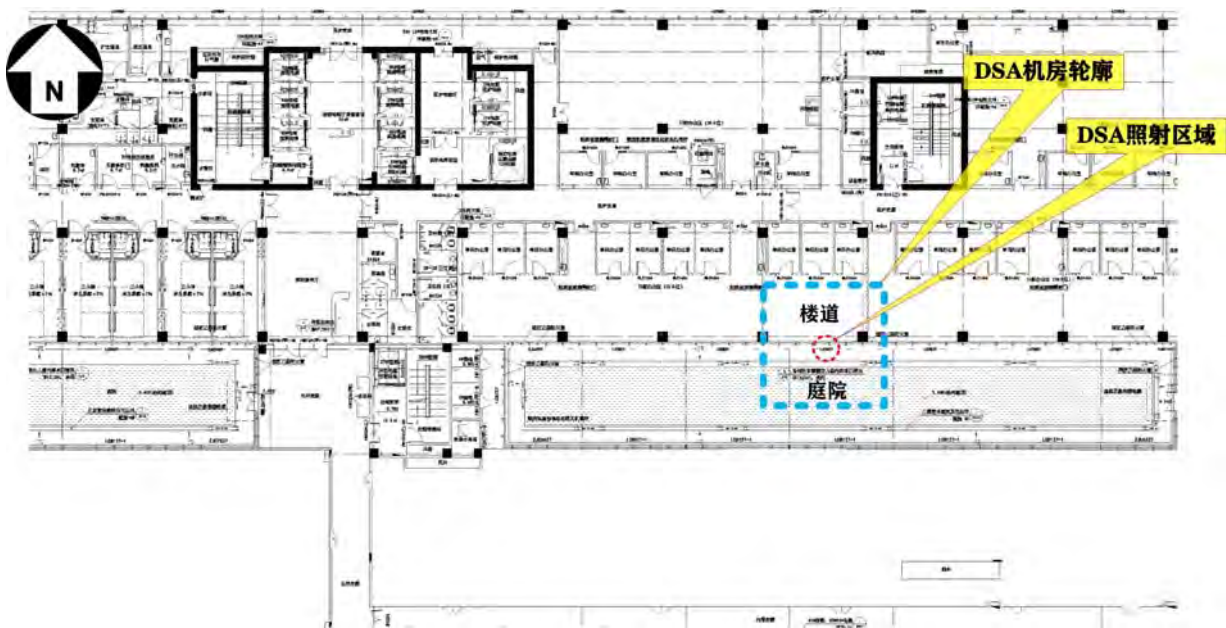


图 7-8 医疗综合体三层平面以及 DSA 对应位置（蓝色）示意图

医疗综合体四层平面以及五层 DSA 机房对应位置（蓝色虚线区域）见图 7-9 所示，
医疗综合体六层以及五层 DSA 机房对应位置（蓝色虚线区域）平面见图 7-10 所示。

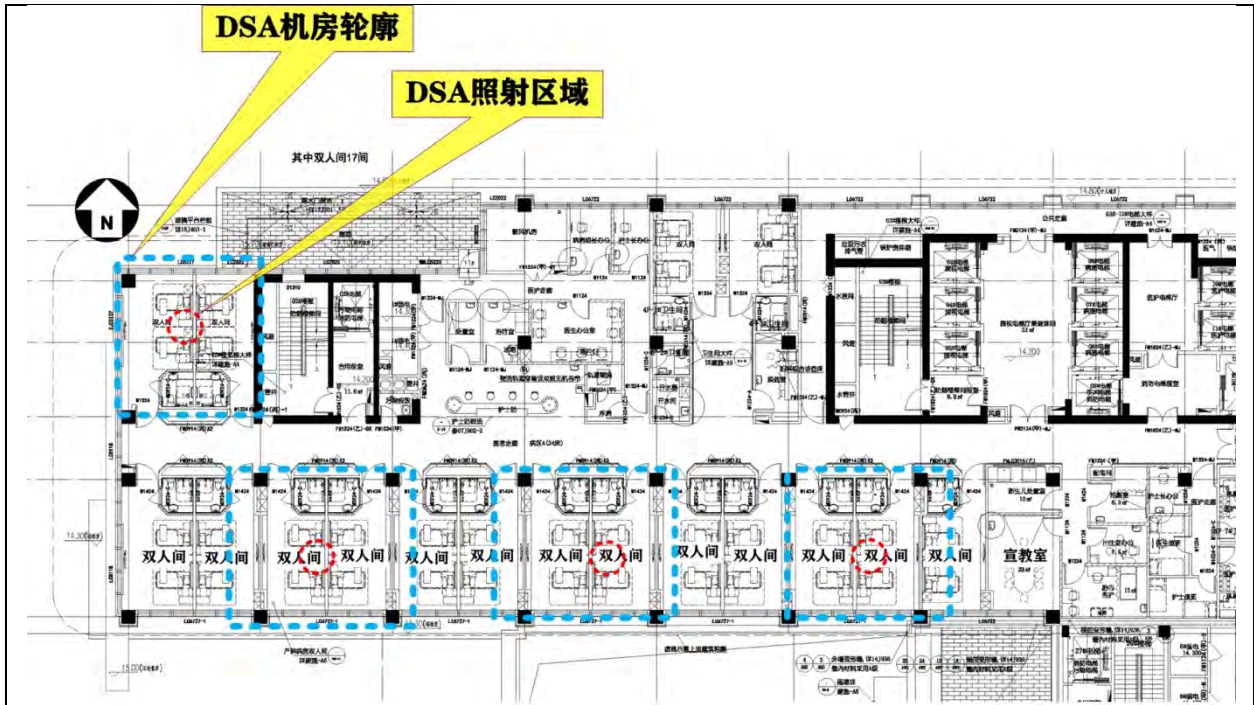


图 7-9 医疗综合体四层平面以及五层 DSA 机房对应位置（蓝色）示意图

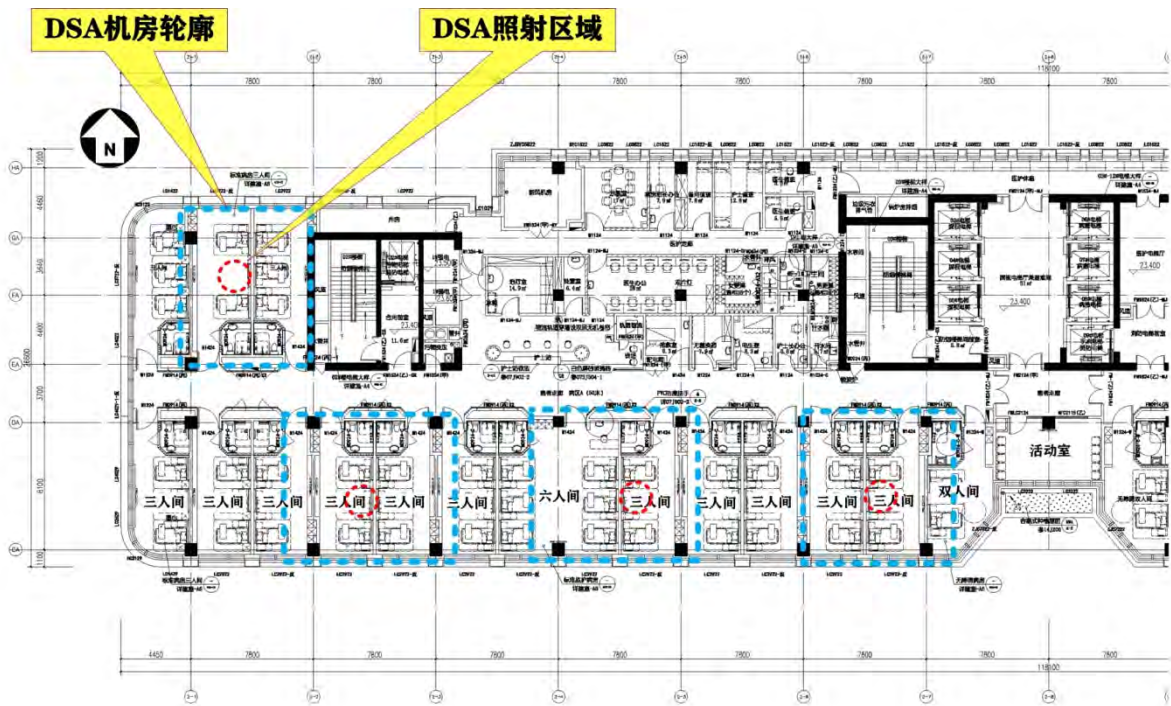


图 7-10 医疗综合体六层平面以及五层 DSA 机房对应位置（蓝色）示意图

DSA 机房周围相邻环境情况见表 7-2 所示。

表 7-2 DSA 机房毗邻场所

位置	机房名称	东	南	西	北	楼上	楼下
----	------	---	---	---	---	----	----

医疗综合体二层	手术室 23#	清洁走廊	控制室、设备间	洁净走廊	设备间、库房和轨道物流	楼道和庭院	检验中心实验室和仪器室
	手术室 24#	清洁走廊	手术室 25#	洁净走廊	控制室、设备间	设备机房	检验中心病毒实验室和PCR实验室
医疗综合体五层导管中心	DSA1	控制室	楼外	设备间	洁净走廊	心内科病房	产科病房
	DSA2	设备间	楼外	控制室	洁净走廊	心内科病房	产科病房
	DSA3	控制室	楼外	设备间	洁净走廊	心内科病房	产科病房
	DSA4	设备间	楼外	控制室	洁净走廊	心内科病房	产科病房

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值和剂量约束值

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

(1) 剂量限值

表 7-3 个人剂量限值

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

(2) 剂量约束值

综合考虑医院射线装置的使用现状, 并为其它辐射设施和实践活动留有余地, 本评价对职业照射和公众分别设定了年受照剂量约束值:

1) 本项目所有放射治疗辐射工作人员年受照剂量约束值取 2mSv。介入诊疗辐射工作人员年受照剂量约束值取 5mSv。

2) 本项目对周围公众的年受照剂量约束值取 0.1mSv。

7.3.2 剂量率控制水平

本项目对职业人员和公众的受照剂量除满足剂量约束值条件外, 还要符合:

1) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 规定, DSA 设备在透视时, 机房周围(含墙体、防护门、观察窗、楼上和楼下等)的剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$;

2) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)规定: DSA 设备在屏片摄影时, 机房周围(含墙体、防护门、观察窗、楼上和楼下等)的剂量当量率应不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。为了有效减少相邻场所医护人员和公众(特别是加强对楼上和楼下病房)的受照剂量, 医院拟进一步加强屏蔽(特别是顶部和底部)防护, 确保 DSA 在摄影工况下, 其机房四周剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$, 楼上距离地板 30cm 和楼下距离地板 170cm 处的附加剂量率不大于 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 。

3) 加速器机房周围 30cm 处(人员可达处)、顶部土层上方 30cm 处的辐射剂量率均不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.3 X 射线设备机房的屏蔽防护及空间要求

X 射线设备机房屏蔽防护要求: 本项目 X 射线设备机房屏蔽执行现行的《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)给出的不同类型 X 射线机房的屏蔽防护要求, 见表 7-4。

表 7-4 不同类型 X 射线机房的屏蔽防护要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
C形臂X射线设备机房	2	2

射线装置机房空间要求: 根据现行的《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)相关要求, 本项目 DSA 机房最小有效使用面积、最小单边长度应满足表 7-5 的要求。

表 7-5 X 射线设备机房(照射室)使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效 使用面积(m^2)	机房内最小单边 长度(m)
单管头X射线设备(含C形臂)	20	3.5

7.3.4 非放射性污染物控制值

(1) 室内空气质量

根据 GBZ 2.1-2019, 工作场所空气中 O_3 和 NO_2 的浓度限值分别为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行 GB 3095-2012《环境空气质量标准》中的二级浓度限值, 臭氧的 1 小时平均浓度 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$, NO_2 的 1 小时平均浓度 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

医院委托北京科环世纪电磁兼容技术有限责任公司于 2023 年 8 月 30 日对北京市顺义区后沙峪镇顺义院区内部辐射水平现状进行了检测，监测内容为 γ 剂量率，检测报告见附件 4。监测设备为国产 JW3104 型 X- γ 剂量率仪，在距地面 1m 高度进行 γ 辐射剂量率水平测量，其性能参数见表 8-1。

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

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

X、 γ 剂量率仪	JW-3104	剂量率范围：0~10 ⁵ ($\times 10^{-8}$ Gy/h)； 能量范围： 25keV-3MeV	STT-YQ-102	检定有效期至： 2022 年 4 月 14 日
------------------	---------	---	------------	----------------------------

表 8-2 评价区现状环境 γ 辐射剂量率水平监测结果

监测点位	监测点位置描述	γ 辐射剂量率*(nGy/h)
1	住院一区南侧空地	84.8 \pm 2.7
2	门急诊医技区西侧空地	84.2 \pm 2.6
3	加速器机房顶部空地	85.5 \pm 2.5
4	门急诊医技区西南侧空地	85.1 \pm 2.4
5	门急诊医技区东南侧空地	84.1 \pm 2.2
6	门急诊医技区东侧空地	85.4 \pm 2.3
7	门急诊医技区东北侧空地	86.4 \pm 2.91
8	门急诊医技区北侧空地	86.2 \pm 2.2

根据《北京市环境天然放射性水平调查研究》（1989），北京市天然辐射水平范围为 60-123nGy/h（室外，含宇宙射线）和 69.8-182 nGy/h（室内，含宇宙射线）。北京友谊医院顺义院区以及拟建项目场所内和周围的本底辐射水平监测结果表明，各测点 γ 辐射剂量率属于正常本底水平。

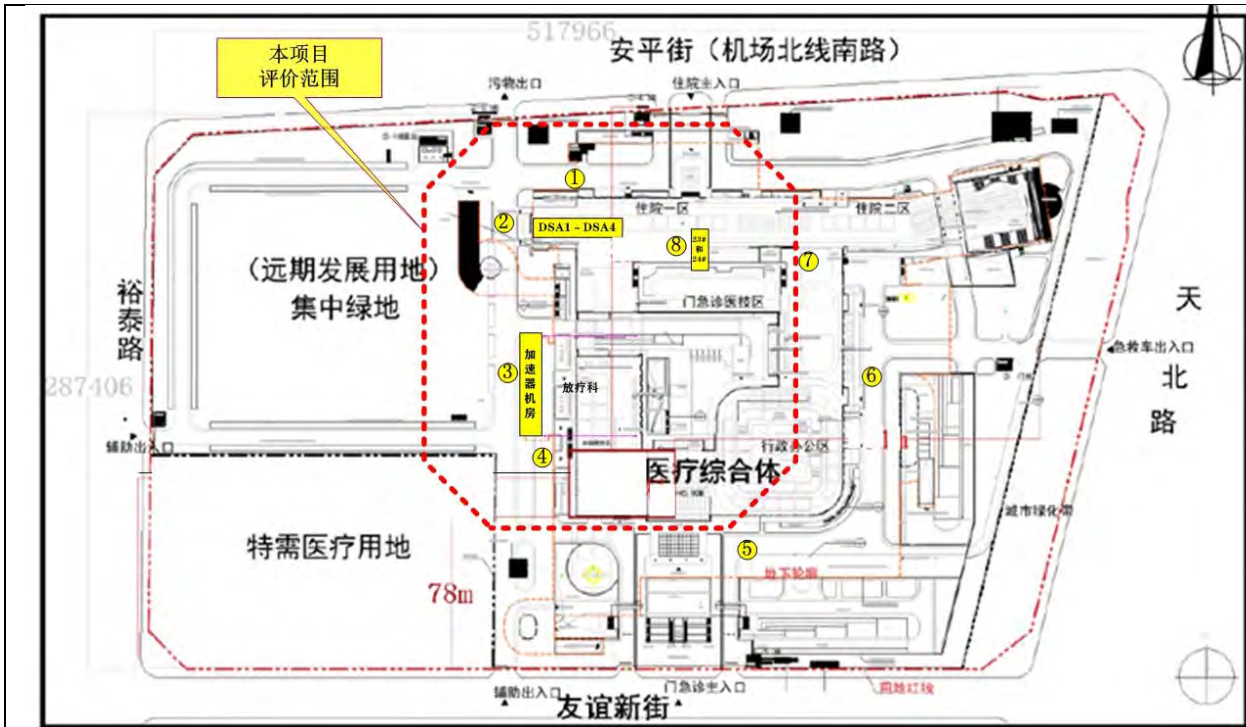


图 8-1 顺义院区内本底检测点位示意图（圆圈数字为 γ 剂量率监测点）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 医用电子直线加速器

9.1.1 工作原理

电子加速器核心部分的工作原理如图 9-1 所示。高压电源装置对交流电进行升压和整流滤波，向调制器提供直流电压；调制器的功能是向磁控管和电子枪提供具有特定宽度和幅度的高压脉冲。当加速器工作时，调制器主触发电路触发主闸流管按照所设定的脉冲重复频率(PRF)导通和关断，引起充、放电电路工作，在脉冲变压器次级产生磁控管和电子枪所要求的两路高压脉冲。其中一路高压脉冲加到磁控管阴极，引起磁控管震荡，产生微波脉冲；另一路脉冲高压脉冲加到电子枪的阴极，使电子射入加速管。与此同时，磁控管产生的微波脉冲经四端环流器馈入加速管，由于自动频率控制(AFC)使磁控管的工作频率与加速管的频率色散特性有最好的配合，在加速管内，前向微波和反射波代数相加形成驻波，这种波在空间上是恒定的，但在时间上是震荡的，即加速管的谐振腔内电场强度的大小和方向是变化的，但其位置不变，从而在加速管建立起电场梯度，使射入加速管的电子被逐级加速、聚焦，最后获得很高的能量；高速电子轰击位于加速管末端的钨靶而产生 X 射线。加速后的高速电子直接或经转换为 X 射线后供放射治疗使用。

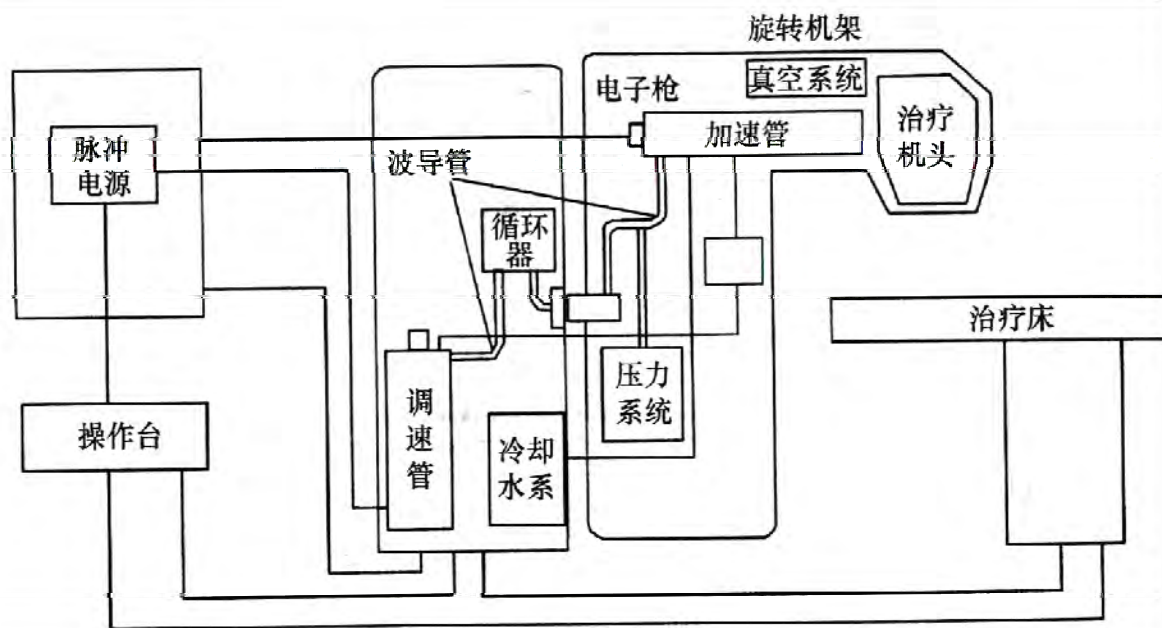
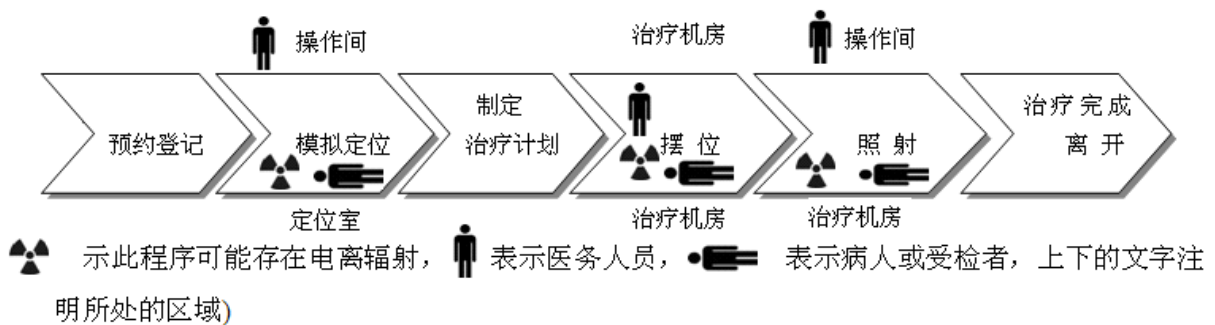


图 9-1 电子直线加速器结构示意图



图 9-2 医用电子直线加速器外观图

9.1.2 治疗流程



1. 工作负荷：参照北京友谊医院本部以及北京市其它三级医院放疗科的常规工作负荷，保守按照每天治疗 80 人次的工作负荷进行评价。每人“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 6-8 分钟，全天完成 80 人次治疗，所需治疗总时间约 8h-10.6h。

2. 出束时间：平均每人治疗照射 2Gy，等中心点最大剂量率为 1400cGy/min（治疗主要采用 6MV），加速器出束时间见表 9-1 所示。

表 9-1 加速器的出束时间预计

射线束	照射时间 (h) ^③	
	天	年
治疗束 ^①	0.19	47.62
泄漏辐射 ^②	0.95	238.09

注：① 有用线束照射时间是折算为最大剂量率进行治疗所用时间。② 开展调强和适型治疗时，有用束的总剂量不变，但是照射时间会显著增加。保守按照 5 倍于常规治疗时间考虑泄漏辐射的影响。③ 设备质控等出束时间相对较少，未列入。

3. 利用因子：常规治疗中，机头 90°、270°和 180°出束时间各占年工作量的 15%；机头向下(0°)出束时间占年工作量的 55%。考虑到将来调强治疗使用占绝大多数，且多为容积调强，故本项目将机头 90°、270°和 180°出束时间的占比均提高至 25%。

4. 不同能量使用因子：保守按照 6MV 的 X 线治疗的患者占比 $\geq 80\%$ ，10MV 治疗的患者占比 $\leq 20\%$ 。

(1) 加速器能量选择

本项目加速器选择双能量，6MV 和 10MV。10MV 射线针对体重较大的患者和腹部肿瘤治疗，6MV 射线用于普通体重的患者治疗和其它治疗。

(2) 加速器最大剂量率

医院根据加速器厂商反馈的信息，确定本项目拟购置加速器的技术指标如表 9-2 所示。目前 Varian 和医科达等厂家的加速器，6MV 最大剂量率为 1400cGy/min，10MV 能量时最大剂量率为 2400cGy/min，所以本项目以 1400cGy/min(6MV)，2400cGy/min(10MV) 进行评价，可以涵盖市场上现有的 10MV 加速器，具有代表性。

表 9-2 电子直线加速器性能参数

项目	设备名称及型号
X 射线	1) X 线能量：拟购加速器为双能，6MV 和 10MV。 2) X 线剂量率：1400cGy/min(6MV)，2400cGy/min(10MV)。 3) 出束张角：28° 4) 最大射野：40×40cm (SSD=100cm) 5) 辐射泄露率： $\leq 0.1\%$ 6) 等中心点高度：1.3m
电子线	1) 电子线能量：6、9、12、16、20 MeV 五档； 2) 最大照射野 40cm×40cm； 3) 最大输出剂量率 1000cGy/min。
CBCT	额定管电压 150kV，额定管电流 500mA。

9.1.3 污染源项描述

电子直线加速器运行时，电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。本项目加速器最大输出 X 射线辐射剂量率为 2400cGy/min。有用线束外泄漏辐射剂量为有用线束的 0.1%，X 射线照射至墙壁和患者身体将产生散射辐射。加速器运行产生的 X 射线贯穿辐射、泄露辐射和散射辐射进入外环境，对环境有一定的影响。

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）指出，能量大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽以及感生放射性问题。本项目加速器 X 线最大能量为 10MV，故不考虑中子以及感生放射性问题。

X 射线辐射只有在加速器运行时产生，停机后就消失。加速器运行产生的 X 射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境。本项目所涉及的加速器的 X 线最大能量为 10MV，长时间运行可能导致靶部件、机头部件有少许活化，故更换靶部件时需要关注其放射性水平。

关于电子束治疗所致中子问题：本项目加速器型号未定，故其电子束治疗的最大能量按照 20MeV 考虑。理论上讲，采用电子束治疗时会产生韧致辐射（X 射线）。当电子束治疗能量大于 10MeV 时，会产生少量的能量大于 10MV 的高能 X 射线，继而可能引发（ γ, n ）反应，产生少量的中子。

电子束治疗的病例十分有限（通常不足 1% 工作量），且电子束所致高能 X 射线的份额有限且剂量率较治疗 X 射线低几个量级，继而发生（ γ, n ）反应产生中子的份额更低。根据经验，能够满足 10MV 的 X 射线屏蔽防护的加速器机房，一定能够满足电子束治疗的防护需要，故本项目对电子束使用环节的辐射环境影响不再做具体评价。

9.1.4 正常工况的污染途径

(1) 当电子轰击靶时，与靶物质发生作用产生韧致辐射。

(2) 治疗室空气在射线的强辐射下，吸收能量并发生电离作用产生 O_3 、NO、 NO_2 、 NO_3 、 N_2O 、 N_2O_2 、 N_2O_4 、 N_2O_5 等有害气体。

9.1.5 非正常情况的污染途径

(1) 加速器发生控制系统故障或人员疏忽，使得辐射工作人员受到误照射。

(2) 加速器发生控制系统故障或放疗参数设置错误，使得受检者受到大剂量照射。

(3) 机房门机联锁装置故障，人员误入机房受到照射。

9.2 血管造影机及治疗

9.2.1 工作原理

X 射线是高速电子与靶物质相互作用产生的。医用 X 射线诊断设备是利用人体不同的组织或者组织与造影剂密度的差别，对 X 射线吸收能力不同的特点，透射人体的 X 射线使荧光屏、电子暗盒或感光胶片显影，来间接观察内脏形态的变化、器官活动情况等，辅助临床诊断。

数字血管减影造影（DSA）是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法。DSA 主要采用时间减影法，即将造影剂未达到欲检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度。

DSA 适用于心脏大血管的检查，对心内解剖结构异常、主动脉夹层、主动脉瘤、主动脉缩窄和分支狭窄以及主动脉发育异常等显示清楚。对冠状动脉也是最好的显示方法。此外，也可清楚显示颈段和颅内动脉，用于诊断颈段动脉狭窄或闭塞、颅内动脉瘤、动脉闭塞和血管发育异常，以及颅内肿瘤供血动脉的观察等。

DSA 设备在临床上可开展的介入手术类型包括外周血管类、脑神经和心血管介入

类等。北京友谊医院顺义院区开展的介入手术类型主要包括心脏造影、心脏支架、起搏器手术、脑血管造影、脊髓血管造影、脑血管支架、脑动脉瘤栓塞、脑血管畸形栓塞等。

本项目所用 6 台 DSA 设备的具体型号待定，均为单管球 DSA 设备。



图 9-3 单管球某型号 DSA 设备外观图

9.2.2 设备组成

DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或多幅照相机组成。

9.2.3 治疗流程

DSA 诊疗时患者仰卧并进行经皮静脉穿刺，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达检查治疗部位施行探查、治疗，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。



① 医生根据患者预约安排手术，并在手术前告知患者在手术过程中可能受到一定的辐射照射；

② 病人由专职人员通过受检者防护门进入 DSA 机房，在医生指导下进行摆位，在

确认机房内没有无关人员滞留后，关闭防护门；

③ 对患者进行无菌消毒、麻醉后，经穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，经鞘插入导管。医生利用脚踏板开关启动 X 射线系统进行透视，该过程中医生穿戴铅衣、铅围脖、佩带铅眼镜等个人防护用品进行防护。

出束时间与手术性质和医生手术水平有关，每台手术累计透视时间多为十几分钟；

④ 导管到位后，对患者注射造影剂，开启设备，摄影采集图像。此过程中，根据诊疗需要，医生多在操作室进行隔室摄影，偶然情况会在床旁进行摄影。每台介入手术的摄影时间约 2 分钟左右；

⑤ 介入手术完成后，拔管按压穿刺部位后包扎，关闭射线装置。

最大工作量预计：根据北京友谊医院本部每年开展介入诊疗统计结果，每台 DSA 设备每年开展完成介入诊疗 1000 例，每组医护人员最多完成 500 例次手术。

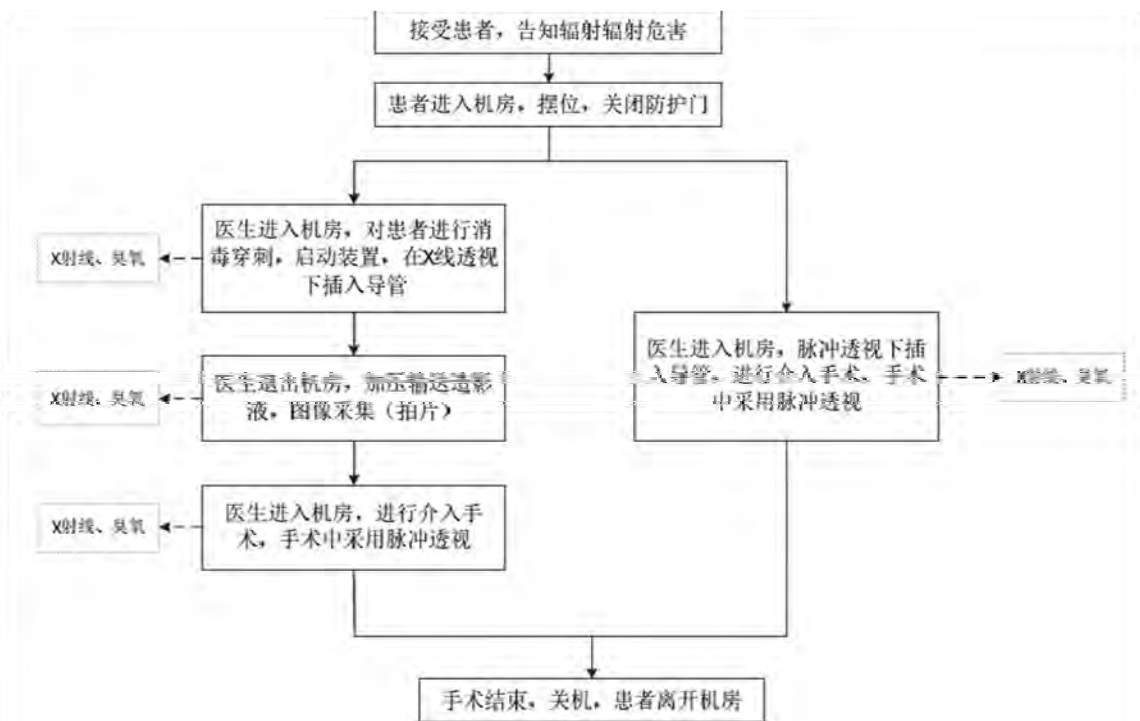


图9-4 手术流程及污染物产生环节示意图

9.2.4 污染源项描述

1. 主要的放射性污染物

DSA 的放射性污染物主要是设备进行透视和摄影时产生的 X 射线。

2. 正常工况的污染途径

X 射线装置主要的放射污染是 X 射线。X 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。在 X 线机使用过程中，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造成辐射影响。

介入手术需借助 X 射线影像检查系统引导操作，治疗过程中工作人员将暴露于 X 射线机附近，人员受照剂量较高。

此外，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，将在机房内累积。

3. 非正常情况的污染途径

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) 人员误入机房受到辐射照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目环保验收

加速器机房和血管造影机机房项目竣工后，应对辐射防护设施进行验收，其中包括辐射屏蔽、安全联锁和警示系统、通风系统等，这些项目依照设计标准验收合格后，方可正式投入运行。如上述设备的技术参数、机房位置和布局、辐射屏蔽状况发生变化，必须重新办理环保审批手续。

10.1.2 加速器机房拟采取的辐射安全与防护措施

1) 加速器机房(包括防护门)采用实体屏蔽措施，能够保证机房周围墙体、屋顶外和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

2) 加速器辐射工作场所实行分区管理：加速器机房防护门内区域为控制区，控制室和相邻的配套设备间等为监督区。

3) 在加速器防护门外设立电离辐射警告标志。安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

4) 安装视频监控和语音对讲系统。

5) 辐射工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量报警仪。

6) 电动防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使病人安全转移。

7) 治疗系统采用专用钥匙启动，有专人操作设备。

8) 设置门机安全联锁系统：只有当防护门关闭，设备才能出束；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动停止出束。

9) 紧急停机按钮：紧急停机按钮安装在控制室的操作台上（1 个）、加速器设备上（2 个）、加速器治疗室的墙壁上（3 个）和迷道内 1 个，并有明显的标志，当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备高压，停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位，复位后只有在控制台上启动才能再次出束照射。

10) 设置门控按钮：在防护门外旁侧安装关门按钮（无开门按钮），在防护门内侧迷道墙壁上安装开门按钮（无关门按钮），在控制室内设开、关门按钮。

11) 治疗室内安装通风换气系统。换气次数不低于 4 次/h。送风口设置在机房顶部迷道口一侧，排风口设置在机房墙体下侧 30cm 处，呈对角线布置。

12) 机房内安装固定式辐射剂量监测报警仪器，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断设备的工作状态。加速器机房配置 2 台个人剂量报警仪，进入机房时

携带。放疗科拟配备 1 台便携式剂量率仪，每半年自行开展一次场所的辐射水平监测。

13) 排风管道由迷道并在防护门上方采用“Z”方式穿出机房。线缆沟采用“U”型方式预埋穿过屏蔽墙。检测孔采用 45° 斜穿方式预埋。

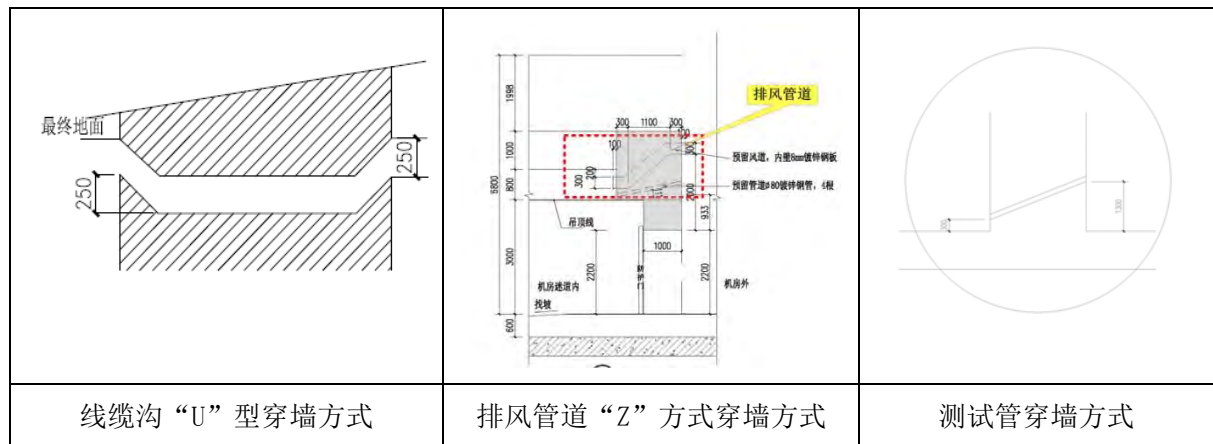


图 10-1 排风管、线缆和测试管穿墙示意图

14) 其他要求：治疗室安装应急照明装置和安全出口指示灯，箭头指向出口处，设火灾自动报警装置等。。

加速器机房联锁和警示系统逻辑图见图 10-2 所示。

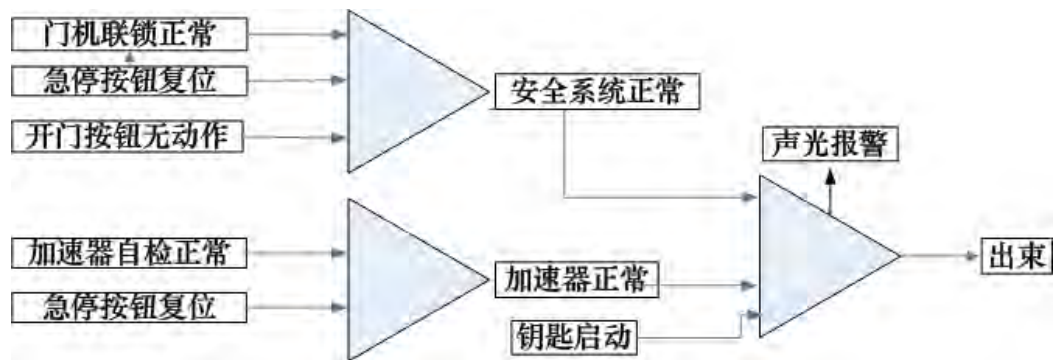


图 10-2 加速器机房联锁系统逻辑图

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序，表 10-1 列出了本项目加速器机房拟采取的安全与防护设施设计方案。

表 10-1 本项目加速器机房安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	本项目	备注
1*	A 控制台及 安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙或密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	1 个
3*		视频监控与对讲系统	√	1 套
4*		治疗室门与束流联锁	√	门机联锁
5*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
6*		入口有加速器工作状态显示	√	工作状态指示灯
7*		工作场所分区及标识	√	按照控制区和监督区管理
8*	C	屏蔽门内开门按钮	√	迷道门内侧

9	照射室	治疗室内放夹人装置		光电防夹人系统
10*	紧急设施	紧急照明或独立通道照明系统	√	应急灯
11*		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁至少3个、迷道1个
12*		治疗床有紧急停机按钮	√	治疗床2个, 机架上1个
13	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量报警仪	√	1台, 型号待定
14*		便携式辐射监测仪器仪表	√	1台, 型号待定
15*		个人剂量报警仪	√	2台, 型号待定
16*		个人剂量计	√	每人1个
17*	E	个人辐射防护用品	√	铅衣
18	其它	通风系统	√	屋顶设风机1台

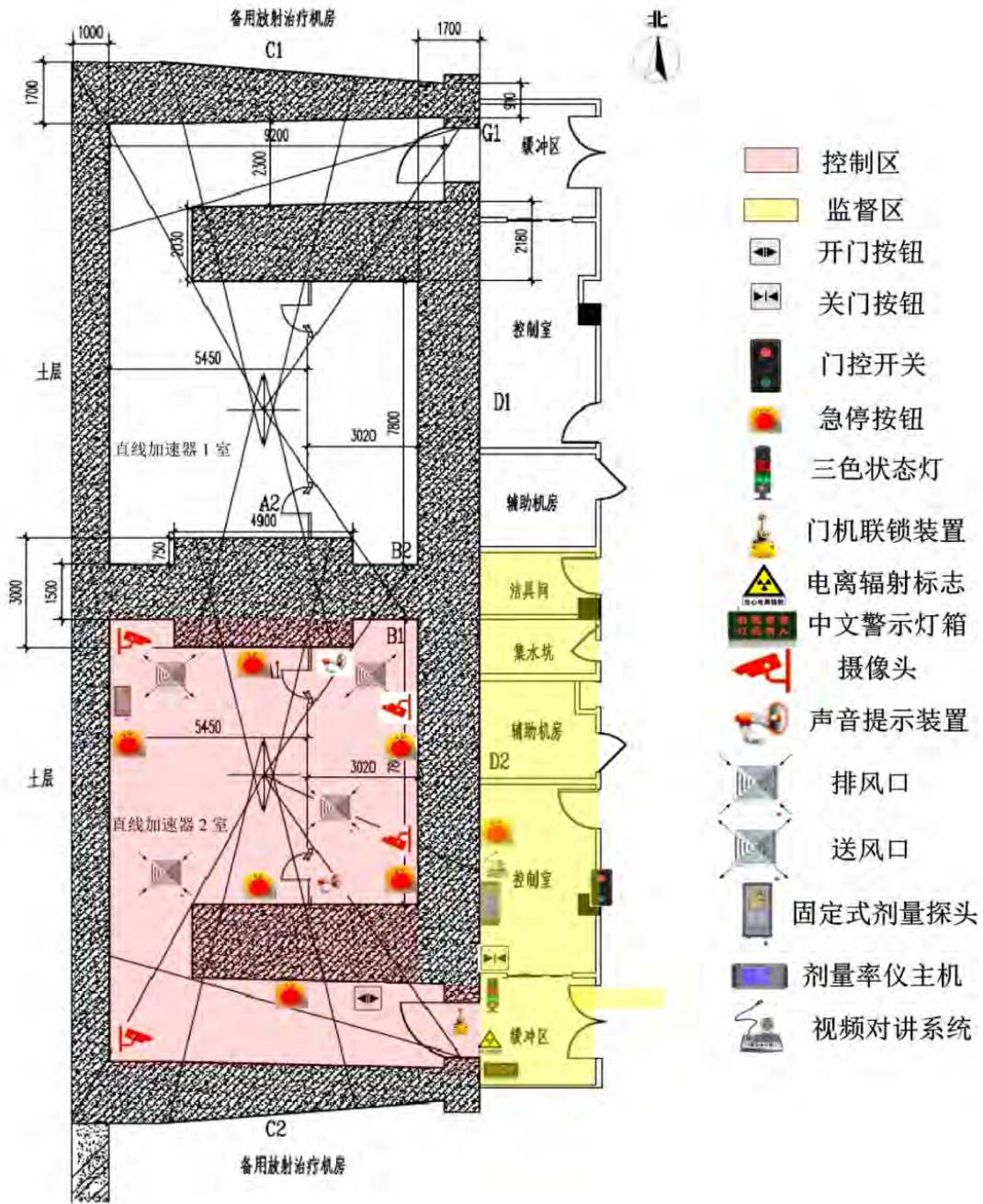


图 10-3 加速器机房联锁和安全措施布置图

10.1.3 DSA 项目辐射安全防护设施

1) 机房采取实体屏蔽措施, 保证机房周围(含墙外、防护门、观察窗) 剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$, 楼上距离地面 30cm 处和楼下距离地面 170cm 处附加剂量率不大于 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 。

2) DSA 机房内的所有区域为控制区, 与 DSA 机房毗邻区域(控制室、楼梯间、设备间、走廊等) 作为监督区。在 DSA 机房设有的各个防护门上设置明显的电离辐射警告标志。



图 10-4 电离辐射警告标志

3) 患者通道门上方设置工作状态指示灯, 灯箱上拟设有“射线有害, 灯亮勿入”的警示语句; 指示灯的控制开关拟与患者通道门关联。设备通电时, 只要患者通道门防护门关闭, 指示灯自动亮起。

4) 机房和控制台之间设有观察窗, 并配置对讲系统。

5) 二层手术区 DSA 机房各设 3 扇铅防护门。患者防护口为 1 扇 3mm 铅当量的自动平推门(具有防夹人和自动延时关闭功能), 安装非接触式门控开关。控制室医护通道门和污物通道门各为 1 扇含 3mmPb 的手动平开防护门, 并安装自闭器。防护门上均设置电离辐射警告标志和中文警示说明。五层导管中心 4 间 DSA 机房各设置 3 扇铅防护门。患者防护口为 1 扇 3mm 铅当量的自动平移门(具有防夹人和自动延时关闭功能), 安装非接触式门控开关。控制室医护通道门和设备间门各为 1 扇含 3mmPb 的手动平开防护门, 并安装自闭器。防护门上均设置电离辐射警告标志。

6) 设置紧急停止按钮。在控制台旁设置紧急停止按钮。DSA 出束过程中, 一旦按下该按钮, 可以停止 X 射线出束和设备运行。

7) 机房拟采用层流洁净通风系统进行通风, 可防止机房空气中臭氧和氮氧化物等有害气体累积。

8) 为减少非检查部位的不必要照射, 该项目拟配备个人防护用品。按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020), 每个 DSA 机房为工作人员至少配置: 0.5mmPb 铅

橡胶围裙 4 件, 0.5mmPb 铅橡胶颈套 4 件, 0.025mmPb 铅防护眼镜 4 副, 0.025mmPb 介入防护手套 2 副。同样, 为患者至少配备, 0.5mmPb 铅橡胶性腺防护围裙、0.5mmPb 铅橡胶颈套各 1 件。

9) 为每名辐射工作人员均佩带个人剂量计, 进行个人剂量监测。医院拟为本项目 DSA 场所配置 1 台便携式剂量率仪 (型号待定), 每半年对机房周围辐射水平进行一次监测。

10) 采取附加屏蔽 X 线措施: 每台 DSA 手术床沿悬挂含 0.5mmPb 的铅围帘, 阻挡散射 X 线对医生的照射。在床上悬挂 0.5mm 铅当量的铅玻璃吊屏 1 个, 用于阻挡散、漏射线对辐射工作人员的照射。

11) 除存在临床不可接受的情况外, 图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留。

12) 机房配备火灾报警系统, 配有灭火用品。

13) 电缆由机房地面管沟从观察窗一侧墙体下面通入控制室。空调管道从机房顶部东南侧墙角位置穿过墙体进入管井。地面电缆沟和风管外用 4mm 厚铅板进行覆盖或包裹防护, 确保不影响和不减弱屏蔽体对射线的屏蔽效果。

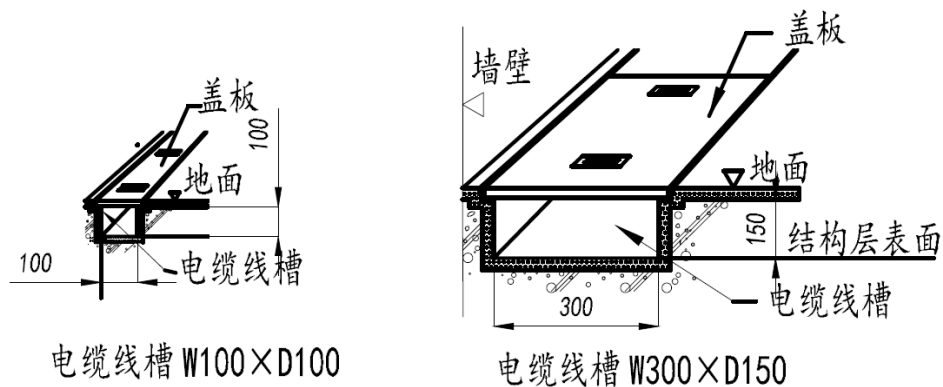


图 10-5 DSA 机房电缆穿墙方式示意图

表 10-2 血管造影机机房安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	备注
1*	A 场所设施	单独机房	√	设单独机房
2*		检查位局部屏蔽防护设施	√	配备床旁铅帘、铅玻璃吊屏等防护设施。
3*		医护人员的个人防护	√	配备铅衣、铅围脖、铅眼镜等局部个人防护用品。
4*		患者防护	√	为患者配备铅围裙、铅围脖等局部个人防护用品。
5*		机房门窗防护	√	每间机房设 3mm 铅当量铅玻璃观察窗, 3mm 铅当量防护门 3 扇。
6*		闭门装置	√	电动防护门设自动延时关闭系统, 手动防护门设闭门器。
7*		入口处电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志。
8*		入口处机器工作状态显示	√	工作状态警示灯。

9*	B	监测仪器	√	1台，型号待定。
10*	监测设备	个人剂量计	√	工作人员每人均配备个人剂量计。

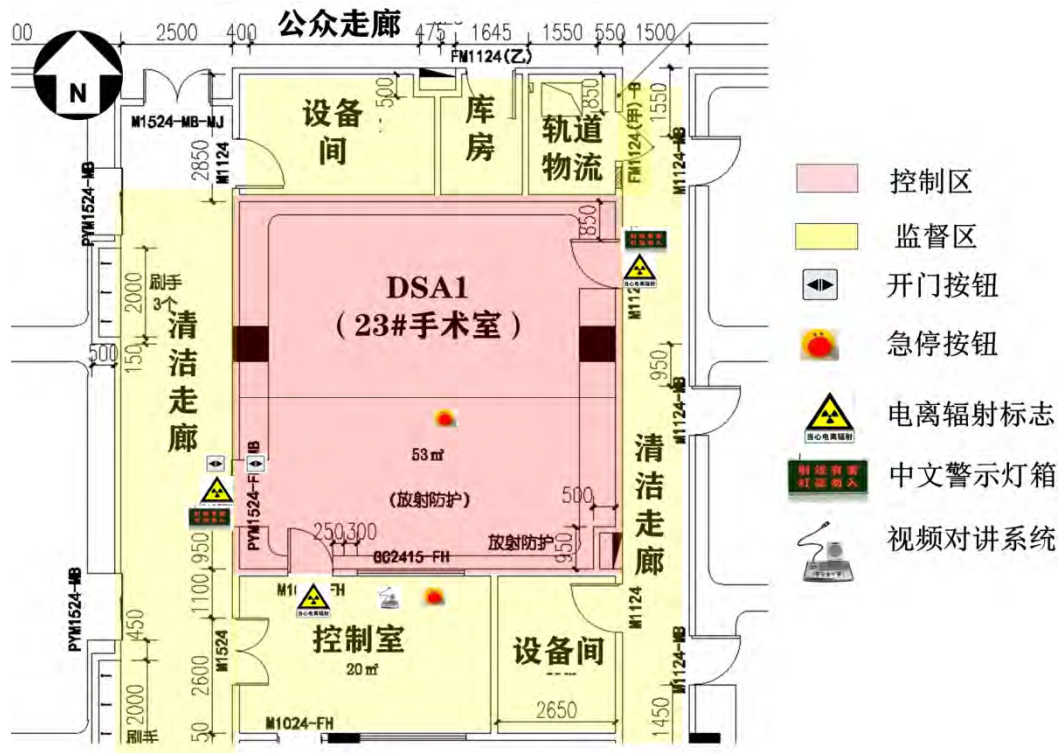


图 10-6 DSA 机房(以 23#DSA 机房为例)辐射安全与防护设施布置示意图

10.2 三废的治理

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)指出,能量大于10 MV的X射线放射治疗设备,须考虑中子屏蔽以及感生放射性问题。本项目使用的加速器最大能量为10MV,故无需考虑中子、放射性活化气体以及活化产物的环境影响。

电子直线加速器在开机时会产生电子线,电子线打靶后会产生X射线。加速器产生的X射线有用束,以及漏射和散射的X射线对周围环境可能造成辐射影响。加速器产生的X射线与空气作用会产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体,经加速器机房内的排风系统,排放到大气环境中

加速器正常运行时,无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障,可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况,产生废靶。随着加速器运行时间增加,废靶的放射性水平可能会增加,故废靶处置前要进行放射性水平的监测,如不满足清洁解控要求的废靶送交城市放射性废物库处置。

DSA 装置运行过程中,无放射性“三废”产生。

10.3 对比《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的满足情况

表 10-3 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对

使用放射性同位素和射线装置单位要求的满足情况。

表 10-3 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求	项目单位情况	符合情况
应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了由院长为组长的辐射防护和安全管理小组，全面负责医院的辐射防护监督和管理的工作，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确。顺义院区将设院区辐射防护负责人。	近期符合
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。	医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，全部从事辐射工作的职业人员和管理人员共计 402 名，均通过了辐射安全与防护考核，并取得合格证书。本项目将来拟新增的辐射工作人员在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。医院轮转人员要确保其合格证在有效期内。	近期符合
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。	不涉及
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	加速器机房和 DSA 门口显著位置处张贴有电离辐射警告标志，并在机房门口设置有工作状态指示灯。加速器机房设置门机联锁，急停按钮，门控按钮，对讲和视频系统，固定式剂量监测系统等，DSA 机房设观察窗、警示灯箱、急停按钮、门控按钮、对讲装置和个人防护用品等。	近期符合
配备必要的防护用品和监测仪器。	放疗科和介入科分别配备 1 台便携式剂量率仪。	近期符合
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	将制定辐射安全与防护规章制度，如辐射工作人员辐射安全与防护考核制度、各类设备操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度等。	近期符合
有辐射事故应急措施。	医院现制定有辐射事故应急处理预案。本项目批复后，医院将对现有的《辐射事故应急预案》进行相应的补充和完善。	近期符合
产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目实施后，加速器废靶申请清洁解控或送北京市放射性废物暂存库。	近期符合

10.4 对比《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的满足情况

原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用放射性同位素和射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照评估如表 10-4 所示。

表 10-4 安全和防护能力对照评估情况

18 号令要求	项目单位情况	符合情况
---------	--------	------

<p>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>本项目涉及的射线装置机房门口显著位置处均张贴有电离辐射警告标志，并在机房门口设置有工作状态指示灯或警示灯。加速器机房设置门机联锁、视频和对讲系统、紧急停止按钮、门控按钮等，DSA 机房设置对讲系统、观察窗、急停按钮和个人防护用品等。</p>	<p>近期符合</p>
<p>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>每年委托有资质单位进行 1 次射线装置工作场所和环境辐射水平监测，监测数据记录存档。每半年自行检测一次。</p>	<p>近期符合</p>
<p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。</p>	<p>医院将在每年 1 月 31 日前向北京市生态环境局提交年度评估报告。</p>	<p>近期符合</p>
<p>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>医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，全部从事辐射工作的职业人员和管理人员共计 402 名，均通过了辐射安全与防护培训考核，并取得合格证书。本项目将来拟新增的辐射工作人员都在通过辐射安全与防护培训考核后持证上岗。</p>	<p>近期符合</p>
<p>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>所有辐射工作人员均要求佩带 TLD 个人剂量计进行个人剂量检测，频度为每季度一次。</p>	<p>近期符合</p>

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期常规污染物对环境的影响已在《北京友谊医院顺义院区的建设项目环境影响报告书》中进行了评价，并取得了批复（通环审（2019）0020号）（见附件5），故本环评报告不再进行相关评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 医用电子直线加速器的环境影响

（一）机房所在位置和布局

本项目包含的1台医用电子加速器机房位于顺义院区医疗综合体地下二层西侧。机房（含预留3间）北侧、南侧和西侧均为覆土层，东侧为技师办公室、设备间、控制室和净化空调机房。下面为地下土层，顶部为室外土层。

加速器机房周围50m范围内，东侧为放疗科用房，南侧为核医学科用房，西侧为土层，北侧为预留机房，之外为药库。加速器机房周围环境和布局见附图3。

（二）机房屏蔽设计

加速器机房墙体结构采用容重不低于2.35t/m³混凝土浇筑建造。其屏蔽设计方案见示意图11-1、图11-2，以及表11-1所示。

表 11-1 加速器机房屏蔽设计方案一览表

机房名称	位置	机房屏蔽
加速器机房 2 8.4m×7.0m×3.7m (不含迷道)	东侧墙体	170cm混凝土
	南侧迷路内墙	203cm~218cm混凝土
	南侧迷路外墙	91cm~170cm混凝土
	西侧墙体	100cm混凝土和实土层
	北侧主束区	300cm混凝土（主束区宽490cm）
	北侧非主束区	150cm混凝土
	室顶主束区	300cm混凝土（主束宽490cm）
	室顶非主束区	180cm混凝土
	防护门	15mm铅

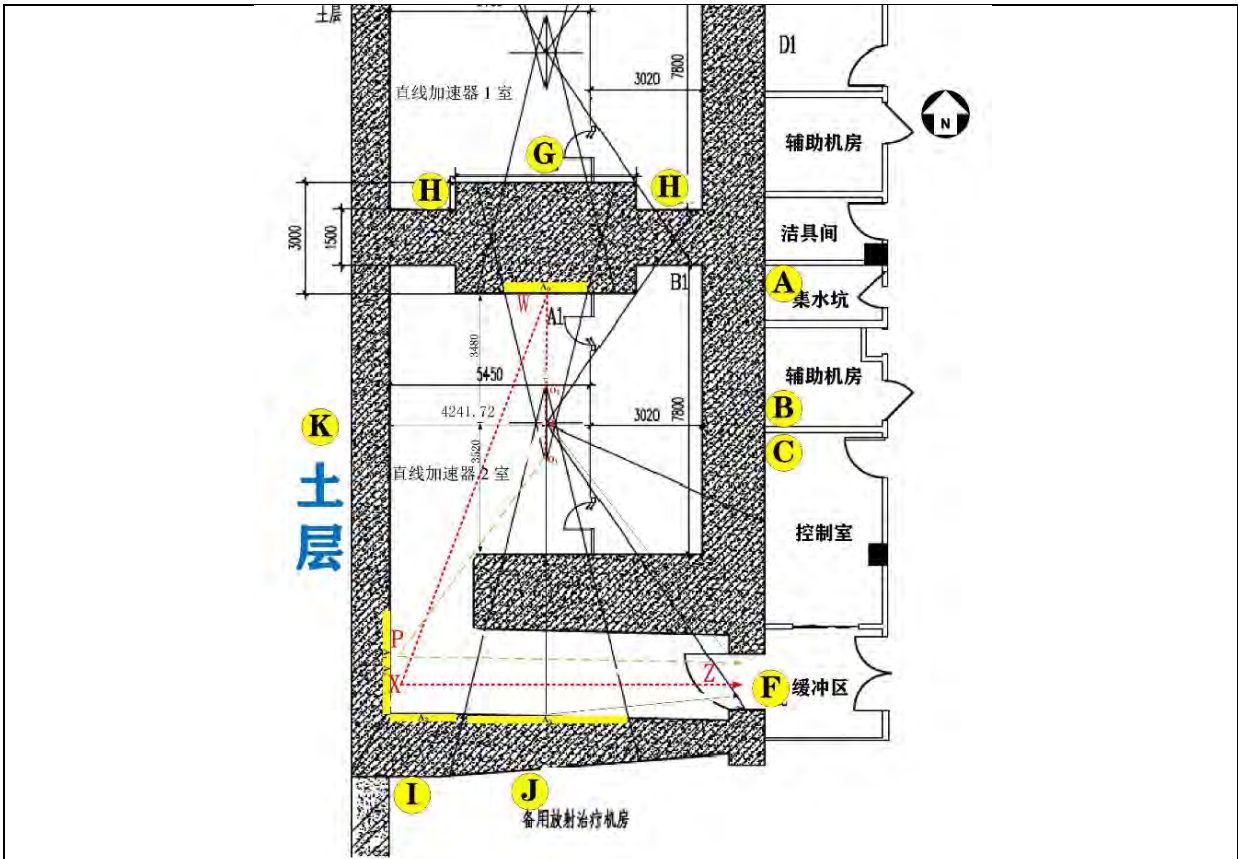


图 11-1 加速器机房平面布局示意图

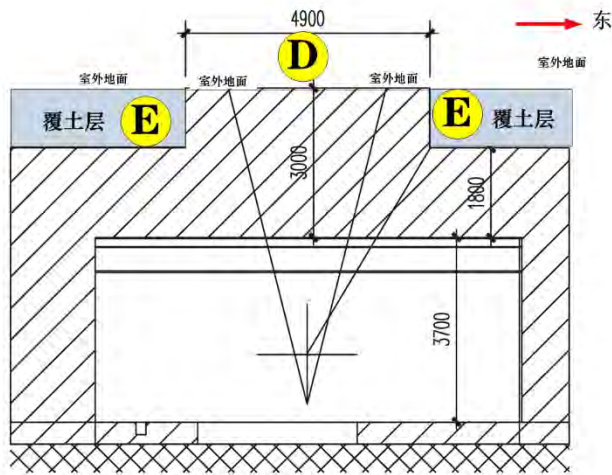


图 11-2 加速器机房剖面（西东方向）示意图

(三) 设备参数和使用规划

(1) 设备技术参数

电子直线加速器 X 射线最大能量为 10MV, 拟使用的电子直线加速器技术指标如表 11-2 所示。

表 11-2 拟使用的 1 台直线加速器技术指标一览表

生产厂家和型号	电子线能量 (MeV)	X 线能量和最大输出剂量率	SSD	照射野	机架旋转范围	泄漏率

型号待定	最大能量： 20MeV； 1000cGy/min	10MV： 2400cGy/min； 6MV： 1400cGy/min CBCT： 150kV/500mA	100cm	最大照射野 40cm×40cm； 等中心点高度 1.3m	360°，顺时 针和逆时 针方向	X 线：≤0.1%
------	--------------------------------	--	-------	---------------------------------------	------------------------	-----------

(2) 使用规划

1) 出束时间：按照 80 人次/d 工作负荷计算，治疗束和散射辐射照射时间（折算为 1400cGy/min 最大剂量率）47.62h/a，泄漏辐射照射时间为 238.09h/a。

2) 利用因子：机头 90°、270° 和 180° 出束时间各占年工作量的 25%；机头向下（0°）出束时间占年工作量的 55%。

3) 不同能量使用因子：6MV 的 X 线治疗的患者占比 80%，10MV 治疗的患者占比 20%。

(四) 辐射环境影响评价

(1) 加速器机房周围辐射水平的估算

加速器周围的辐射水平采用 NCRP 151 号报告“MV 水平 X 射线和 γ 射线治疗设备的屏蔽设计和评价”推荐的估算模式进行计算。具体做法：依据屏蔽参数估算模式，以等中心点的剂量率替代周工作负荷，转化为辐射剂量率水平估算模式，最终导出机房周围附加辐射水平。然后根据加速器出束时间、机头利用因子、人员居留因子，估算出职业人员和公众的受照剂量。

1. X 射线

1) 主束贯穿辐射对机房周围环境的剂量率贡献

主屏蔽墙的衰减系数 B_{pri} ，由公式 (11-1) 求出：

$$B_{pri} = (10^{-1})^{10 \left[\frac{(H-TVL_1)}{TVL_e} \right]} = 10^{-\left\{ 1 + \left[\frac{(H-TVL_1)}{TVL_e} \right] \right\}} \quad (11-1)$$

主束对相应关注点位的剂量率贡献 H_{pri} ，依据公式 (11-2) 进行估算：

$$H_{pri} = B_{pri} \cdot D_0 \cdot (1+d)^{-2} \quad (11-2)$$

式中， H 为主屏蔽墙的厚度，cm； TVL_1 为主束对混凝土的第一个十分之一值层， TVL_e 为主束对混凝土的平均十分之一值层，cm，具体数据见表 11-3； d 为等中心点至关注点的距离，m。 D_0 为等中心处 X 射线的吸收剂量率，本报告所评价加速器等中心处 X 射线的治疗剂量率取 2400cGy·min⁻¹（10MV）和 1400 cGy·min⁻¹（6MV）。

表 11-3 普通混凝土对 6MV/10MV X 射线束的 TVL

TVL 类型	TVL 值 (cm)
--------	------------

	主束		泄漏辐射	
	6MV	10MV	6MV	10MV
TVL_1	37	41	34	35
TVL_e	33	37	29	31

2) 泄漏射线对机房周围环境的剂量率贡献

泄漏射线的衰减系数 B_L ，由公式 (11-3) 求出：

$$B_L = 10^{-\{1 + [\frac{h/\cos\theta - TVL_1^L}{TVL_e^L}]\}} \quad (11-3)$$

泄漏射线对相应关注点位的剂量率贡献 H_L ，依据公式 (11-4) 进行估算：

$$H_L = B_L \cdot L_r \cdot D_0 \cdot (d)^{-2} \quad (11-4)$$

式中， h 为屏蔽墙的厚度，cm； θ 为射线对屏蔽墙的入射角； TVL_1^L 为泄漏射线对混凝土的第一个十分之一值层， TVL_e^L 为泄漏射线对混凝土的平均十分之一值层，cm，具体数据见表 11-3； L_r 为主束的泄漏率，保守取 0.1%。符号 D_0 和 d 代表的意义同前文。

3) 病人散射线对机房周围环境的剂量率贡献

病人散射线的衰减系数 B_{ps} ，由公式 (11-5) 求出：

$$B_{ps} = 10^{-\left(\frac{h/\cos\theta}{TVL_{sca}}\right)} \quad (11-5)$$

病人散射线对相应关注点位的剂量率贡献 H_{sca} ，依据公式(11-6)进行估算：

$$H_{sca} = B_{ps} \cdot \alpha \cdot F \cdot D_0 \cdot (d)^{-2} \cdot (d_{sca})^{-2} \cdot (400)^{-1} \quad (11-6)$$

式中， TVL_{sca} 为病人散射线对混凝土的十分之一值层，cm，具体数据见表 11-4； α 为以不同角度散射时的散射系数； F 为病人治疗位置的射野面积， cm^2 ，保守取 40×40 ； d_{sca} 为靶点至病人的距离，m，取值为 1；400 是以射野面积 $20cm \times 20cm$ 为标准的散射系数。 h 、 θ 、 D_0 和 d 代表的意义同前文。

表 11-4 普通混凝土对病人散射线以不同角度散射所致的 TVL_{sca}

工况	TVL_{sca} (cm)					
	散射角度					
	15°	30°	45°	60°	90°	135°
6MV	34	26	23	21	17	15
10 MV	39	28	25	22	18	15

表 11-5 加速器机房周围附加剂量率水平

位置描述 (点位见图 11-1 和 11-2)	距离 (m)	等效普通混凝土厚度*(m)	主要 射线束	衰减系数	附加剂量率 ($\mu Sv/h$)
A 东侧集水坑	6.9	1.7	泄漏辐射 (30°斜射)	6MV: 2.53E-07 10MV: 6.26E-07	6MV: 4.47E-03 10MV: 1.89E-02

B 东侧辅助机房	6.3	1.7	泄漏辐射	6MV: 2.04E-06 10MV: 4.42E-06	6MV: 4.32E-02 10MV: 1.60E-01
C 东侧控制室	6.3	1.7	泄漏辐射	6MV: 2.04E-06 10MV: 4.42E-06	6MV: 4.32E-02 10MV: 1.60E-01
D 顶部混凝土上方 30cm 处 (主屏蔽)	5.6	3.0	主束	6MV: 1.07E-09 10MV: 1.00E-08	6MV: 2.07E-02 10MV: 3.31E-01
E 顶部混凝土上方 30cm 处 (非主屏蔽)	5.1	1.8 (不考虑顶部 0.8m 管沟土层)	泄漏辐射 (30°斜射)	6MV: 1.01E-07 10MV: 2.66E-07	6MV: 3.50E-03 10MV: 1.47E-02
F 防护门外**	8.0	2.1	泄漏辐射 (40°斜射)	6MV: 5.24E-10 10MV: 1.93E-09	6MV: 0.94 10MV: 1.54
G 北侧混凝土边界外 30cm 处 (主屏蔽区, 加速器 1 室)	6.8	3.0	主束	6MV: 1.07E-09 10MV: 1.00E-08	6MV: 1.48E-02 10MV: 2.37E-01
H 北侧混凝土边界外 30cm 处 (非主屏蔽, 加速器 1 室)	6.6	1.5	泄漏辐射 (35°斜射)	6MV: 7.21E-07 10MV: 1.67E-06	6MV: 1.39E-02 10MV: 5.51E-02
I 南侧 (非主束区域, 备用机房迷道内)	10.8	1.5	泄漏辐射 (20°斜射)	6MV: 4.66E-06 10MV: 9.55E-06	6MV: 3.35E-02 10MV: 1.18E-01
J 南侧 (主束区域, 备用机房迷道内)	9.6	3.0	主束	6MV: 1.07E-09 10MV: 1.00E-08	6MV: 8.02E-03 10MV: 1.28E-01
K 西侧 (土层)	5.6	1.0	泄漏辐射	6MV: 5.30E-04 10MV: 8.00E-04	6MV: 1.42E+01 10MV: 3.67E+01

注: *砼密度 2.35 t/m³。 **包含迷道散射辐射贡献。

根据表 11-5 的估算结果可知, 地下二层加速器以 6MV (1400cGy/min) 或 10MV (2400cGy/min) 工况开展放疗工作, 机房南北相邻布局, 东面是放疗科用房, 西面为土层, 其机房墙外 30cm 处人员可达处最大附加剂量率在东侧墙外设备间内, 为 0.16 μ Sv/h, 其顶部混凝土边界外 30cm 处的最大附加剂量率为 0.33 μ Sv/h, 均满足本报告设定的剂量率控制水平 2.5 μ Sv/h。加速器控制室内的附加剂量率为 1.60E-01 μ Sv/h, 维持在正常本底水平。

表 11-5 的估算结果也给出了机房墙外土层内的附加剂量率水平, 机房顶部区域均低于 2.5 μ Sv/h, 即使顶部覆土层不存在, 加速器的屏蔽防护依然满足标准要求。

4) 迷道口辐射水平的估算

加速器以 6MV 或 10MV 运行时, 迷道口的辐射水平主要考虑: ①主束经屏蔽墙 2

次散射所致的剂量率贡献， H_S ；②机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献， H_{LS} ；③主束经病人 1 次和屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献， H_{PS} ；④泄漏射线贯穿迷道内墙所致的剂量率贡献， H_{LT} 。⑤主束穿过迷道内墙后经迷道外墙散射至迷道口。

① 主束经屏蔽墙 2 次散射所致的剂量率贡献

对迷道口有剂量率贡献的上述四种主要成分的散射路径示意图见图 11-1。

$$H_S = \frac{D_0 \alpha_0 A_0 \alpha_2 A_2}{(d_{0w} d_{wx} d_{xz})^2} \quad (11-7)$$

式中， D_0 代表的意义同前文； α_0 为屏蔽墙对主束第一次散射系数； α_2 为屏蔽墙对主束第二次散射系数； A_0 为第一次散射区面积， m^2 ； A_2 为第二次散射区面积，其值为从第一散射区域观察“迷道内口”投影到迷道外墙的截面积， m^2 ； d_{0w} 为靶点至第一散射面中心点 W 的距离，m； d_{wx} 为第一散射面中心点 W 与经迷道内墙边缘到迷道中心线交点 X 的距离，m； d_{xz} 为点 X 至迷道外口中心点 Z 的距离，m。

$$H_S(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(2.7 \times 10^{-3})(8.3)(18 \times 10^{-3})(17)}{(4.4)^2(11.3)^2(9.3)^2} = 26.95 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_S(10MV) = \frac{(1440 \times 10^6)(2.1 \times 10^{-3})(8.3)(18 \times 10^{-3})(17)}{(4.4)^2(11.3)^2(9.3)^2} = 35.92 \mu\text{Sv/h}$$

② 机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射对迷道口的剂量率贡献

如图 11-1 所示，泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为机头 $O \rightarrow P \rightarrow Z$ 。泄漏辐射经屏蔽墙 1 次散射对迷道口的剂量率贡献估算模式 (11-8)：

$$H_{LS} = \frac{D_0 L_f \alpha_1 A_1}{(d_{op} d_{pz})^2} \quad (11-8)$$

式中， α_1 为屏蔽墙对泄漏射线的散射系数； A_1 为泄漏辐射 1 次散射区面积，其值为从迷道口处向机房内可观察到的对面屏蔽墙的截面积， m^2 ； d_{op} 为等中心点经迷道内墙边缘与迷道中心线的交点 P 的距离，m； d_{pz} 为点 P 至迷道口 Z 的距离，m。

$$H_{LS}(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(10^{-3})(10.4)(5.2 \times 10^{-3})}{(6.8)^2(9.4)^2} = 11.13 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_{LS}(10MV) = \frac{(1440 \times 10^6)(10^{-3})(10.4)(4.1 \times 10^{-3})}{(6.8)^2(9.4)^2} = 15.03 \mu\text{Sv/h}$$

③ 主束经病人和屏蔽墙各 1 次散射对迷道口的剂量率贡献

如图 11-1 所示，主束经病人后再经墙壁 1 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为 $O_1 \rightarrow O \rightarrow P \rightarrow Z$ 。主束经病人后再经墙壁 1 次散射对迷道口的剂量率估算模式 (11-9)：

$$H_{PS} = \frac{D_0 \alpha(\theta) \left(\frac{F}{400} \right) \alpha_1 A_1}{(d_{sca} d_{op} d_{pz})^2} \quad (11-9)$$

式中， D_0 、 F 、 A_1 和 d_{op} 、 d_{pz} 代表的意义同前文 d_{sca} 为靶点至病人的距离，m，取值为 1； $\alpha(\theta)$ 为病人散射线以散射角 θ 进行散射时的散射因子； α_1 为墙壁对病人散射线的散射系数，与 α_0 和 α_2 代表的意义完全相同。

$$H_{ps}(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(1.39 \times 10^{-3}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (22 \times 10^{-3})(10.4)}{(1)^2 (6.8)^2 (9.4)^2} = 261.54 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_{ps}(10MV) = \frac{(1440 \times 10^6)(1.35 \times 10^{-3}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (22 \times 10^{-3})(10.4)}{(1)^2 (6.8)^2 (9.4)^2} = 435.45 \mu\text{Sv/h}$$

④ 泄漏射线贯穿迷道内墙对迷道口的剂量率贡献

该部分的剂量率贡献见表 11-5 “F 防护门外” 的估算结果，具体为 6MV：6.88E-06 $\mu\text{Sv/h}$ ，10MV：4.35E-05 $\mu\text{Sv/h}$ 。

⑤ 主束穿过迷道内墙后经迷道外墙散射至迷道口

主束穿过迷道内墙后的剂量率分别为 10.1 $\mu\text{Sv/h}$ （6MV）和 75.6 $\mu\text{Sv/h}$ （10MV），再经一次散射后，到达防护门处的剂量率分别为：

$$H_{pris}(6MV) = \frac{10.1 \times 16.10 \times 5.3 \times 10^{-3}}{(5.2)^2} = 3.19\text{E-}2 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_{pris}(10MV) = \frac{75.6 \times 16.10 \times 4.3 \times 10^{-3}}{(5.2)^2} = 1.94 \text{E-}1 \mu\text{Sv/h}$$

⑥ 迷道防护门内 Z 点的剂量率水平

地下二层 10MV 加速器机房迷道口的剂量率水平如表 11-6 所示。

表 11-6 迷道口剂量率水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）

编号	剂量来源	辐射剂量率($\mu\text{Gy} \cdot \text{h-1}$)	
		6MV 运行	10MV 运行
1	主束经 2 次散射	26.95	35.92
2	泄漏辐射 1 次散射	11.13	15.03
3	主束经病人和墙壁散射	261.54	435.45
4	主束穿过迷道内墙后经迷道外墙散射至迷道口	3.19E-2	1.94E-1
	合计	299.65	522.51

⑦ 迷道防护门外 F 点的剂量率水平

泄漏散射和病人散射后的 X 射线较低，约为 0.25MeV，在 Pb 中的 TVL 为 3-6mm，本项目保守取 6mm。

加速器机房防护门采用 15mmPb 防护门。故加速器防护门外的 X- γ 射线附加剂量率为：

$$6\text{MV}: 299.65 \times 10^{-(15/6)} + 6.88\text{E-}06 = 0.948 \mu\text{Sv/h.}$$

$$10\text{MV}: 522.51 \times 10^{-(15/6)} + 4.35\text{E-}05 = 1.54 \mu\text{Sv/h}$$

可见，加速器机房防护门外的辐射附加剂量率低于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

(2) 主束屏蔽墙宽度分析

《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 4.3.3 条款给出了主束屏蔽层宽度的计算方法，有用束在机房屏蔽墙的投影区宽度的计算见公式 (11-11)。

$$Y_p = 2[(a + \text{SSD}) \tan \theta + 0.3] \quad (11-10)$$

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；SSD—等中心距靶点距离，1m； θ —治疗束的最大半张角（相对束中轴线），本项目为 14°； a —等中心点至与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙内表面或到外凸式主屏蔽墙外表面顶部的距离，m。见图 11-3 所示。

以地下二层加速器机房 2 室北侧主屏蔽墙为例估算主束屏蔽层的最小宽度。根据设计资料，加速器的等中心点到北侧主屏蔽外墙的垂直最大距离为 6.48m，等中心到机房顶部主屏蔽外层的垂直距离为 5.4m。有用射线束张角为 28°，据此计算主屏蔽墙的半宽度要求不少于 $[(6.48+1.0)\tan 14^\circ + 0.3] = 2.16\text{m}$ 。本项目加速器机房主屏蔽墙半宽度为 2.45m，满足屏蔽主束的要求。

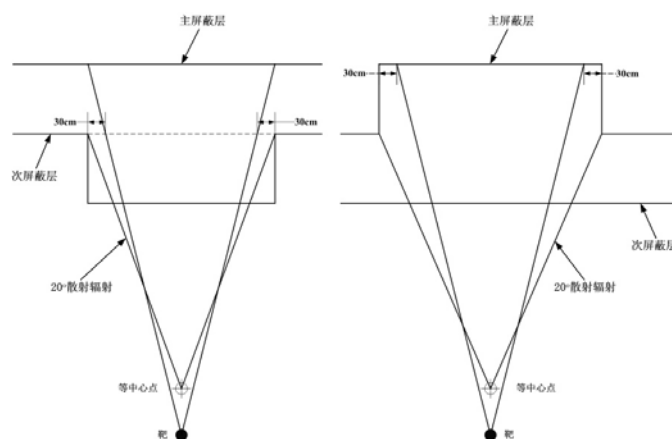


图 11-3 主束屏蔽宽度要求示意图

(3) 工作人员和公众附加受照剂量估算

根据放射治疗工作流程和设备运行产生电离辐射的情况分析，工作人员受到的辐射照射来自机房对周围控制室内的照射。

1. 辐射工作人员

保守假设加速器控制室内操作由 2 名工作人员承担。加速器治疗室工作人员受照情况估算结果见表 11-7。

表 11-7 加速器运行时工作人员年受照剂量估算

位置	6MV 运行		10MV 运行		居留因子	利用因子	年受照剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总出束时间 (h/a)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总出束时间 (h/a)			
控制室	4.32E-02	190.47	1.60E-01	47.62	1	1	15.8

综合考虑，本项目加速器治疗室工作人员年受照剂量为 0.0158mSv，低于 2mSv/a 的剂量约束值。

2. 周围公众

在加速器机房门口处、东侧设备间以及楼上地面停留的公众可能受到来自加速器的辐射照射。周围公众外照射受照情况估算结果见表 11-8。

表 11-8 地下二层加速器机房周围公众外受照情况估算结果

位置	6MV 运行		10MV 运行		居留因子	利用因子	年受照剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h/a)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h/a)			
B 设备间 (非主束区)	4.32E-02	190.47	1.60E-01	47.62	1/16	1	9.90E-01
D 顶部室外(主束区)	2.07E-02	38.19	3.31E-01	9.52	1/16	25%	6.16E-02
E 顶部室外(非主束区)	3.27E-03	190.47	1.47E-02	47.62	1/16	1	5.26E-02
F 防护门外(非主束区)	9.48E-01	190.47	1.54E+00	47.62	1/16	1	1.59E+01
G 北侧混凝土边界外 (主束区)	1.48E-02	38.19	2.37E-01	9.52	1/16	25%	4.41E-02
H 北侧混凝土边界外 (非主束区)	1.39E-02	190.47	5.51E-02	47.62	1/16	1	3.29E-01
I 南侧 (非主束区)	3.35E-02	190.47	1.18E-01	47.62	1/16	1	7.50E-01
J 南侧 (主束区)	8.02E-03	38.19	1.28E-01	9.52	1/16	25%	2.38E-02

由表 11-8 可见，加速器所致机房周围停留公众的年附加最大受照剂量 15.9 μSv (防护门旁停留)，顶部(室外地面)停留其他人员年附加受照剂量低于 9.90E-01 μSv ，周围任何位置停留人员的受照剂量均低于设定的 100 $\mu\text{Sv/a}$ 剂量约束值。

(4) CBCT 的环境影响分析

目前，市面上多数的医用直线加速器带有 CBCT 装置，加速器机房能够满足高能(6MV 和 10MV) X 线屏蔽，一定满足低能 X (150kV) 的屏蔽。本项目加速器机房面积和单边

长度分别满足 GBZ130-2020 中使用 CT 装置的面积 30m² 和单边最小长度 4.5m 的要求。

(4) 辐射照射所致有害气体的环境影响

加速器运行过程中，射线与空气发生电离作用，利用 X 先扫描进行患者定位确认。产生臭氧和氮氧化物等有害气体，其中臭氧的危害较氮氧化物大，且产额高，因此主要考虑臭氧的影响。

1. 臭氧

依据王时进等人发表的“辐射所致臭氧的估算与分析”(中华放射医学与防护杂志, 1994 年 4 月第 14 卷第 2 期)给出的公式, 估算加速器 X 射线所致臭氧的产额和浓度。

① 有用线束的 O₃ 产额

采用公式 (11-12) 计算有用射线束所致 O₃ 产额的公式:

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos\theta) R G \quad (11-11)$$

式中: P 为 O₃ 的产额, mg/h; \dot{D}_0 为有用线束在距 1m 处的输出量, Gy/min; R 为射线束等中心点到屏蔽物(墙)的距离, m; G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数, 文献估算时取值为 10; θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O₃ 产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源(包括有用束区限定的空间区), 并考虑治疗室墙壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%, O₃ 的产额 P (mg/h)为:

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 G V^{1/3} \quad (11-12)$$

本评价选取加速器有关参数如下: $\dot{D}_0 = 24$ Gy/min(最大值); $R = 4.2$ m(最大值); $\theta = +14^\circ/-14^\circ$; $G = 10$; 治疗室容积(不含迷道) $V \approx 218$ m³。

根据公式 (11-11) 得出有用线束 $P = 74$ mg/h。根据公式 (11-12) 得出泄漏辐射的 $P = 4.8$ mg/h。二项合计, $P_{\text{总}} = 80$ mg/h。保守估计加速器年出束时间 300h, 则臭氧的年产量约为 24g。

③ 臭氧浓度

治疗室内的产生臭氧一部分由通风系统排到室外, 另一部分自然分解。空气中臭氧的平均浓度可用式 (11-14) 计算。

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (11-13)$$

式中: $Q(t)$ 为治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度, mg/m³; Q_0 为臭氧的辐射化学产额,

mg/h; V 为治疗室的体积, m³; T 为有效清除时间, h。如果照射时间很长(t>>T), 则:

$$Q(t) = \frac{Q_0 \cdot T}{V} \quad (11-14)$$

若以 t_v 表示换气一次所需时间 h; t_d 表示臭氧的有效分解时间 (取 0.83h), 则有效清除时间为:

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (11-15)$$

正常通风时治疗室的换气次数至少 4 次/h, 即 t_v=0.25h/次。由式 (11-15) 计算得 T 为 0.19h。当 t>>T 时, 臭氧达饱和浓度, 由式 (11-14) 得到在正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 0.077mg/m³, 低于工作场所中 O₃ 浓度限值《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019), 浓度限值为 0.3mg/m³。

治疗室内产生的臭氧通过排风系统高空排放, 经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低, 远低于大气环境质量标准中 O₃ 浓度限值【《环境空气质量标准》(GB 3095-2012), 1h 平均浓度为 0.2mg/m³】, 对周围大气环境的影响十分轻微。

2. 氮氧化物

在多种氮氧化物 (NO_x) 中, 以 NO₂ 为主, 其产额约为 O₃ 的一半。工作场所中 NO₂ 的浓度限值(GBZ2.1-2019, 浓度限值为 5mg/m³)超出 O₃ 的 10 多倍, 环境空气中其浓度限值(《环境空气质量标准》GB 3095-2012), 1h 平均浓度为 0.2mg/m³)与 O₃ 的浓度限值相同。因而, NO_x 的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

3. 加速器机房排风系统设置要求

该项目直线加速器机房拟采用“上送下排”方式通风, 送风管道与排风管道拟由迷道经防护门上方采用“Z”字形式进出机房, 风管尺寸 400mm×300mm。机房 1 西北侧和机房 2 西南侧顶部设置 300mm×600mm 的送风口, 在加速器机房 1 东南侧和机房 2 东北侧设置尺寸为 400mm×400mm 的排风口, 排风口离地 30cm。机房的排风管道延至医疗综合体顶部 (高度 25m) 排放。

11.2.2 血管造影机环境影响分析

(一) DSA 机房所在位置

本项目 DSA 机房设置在医疗综合体内, 分布于 2 处: 二层手术区 1 台、五层导管中心 4 台。DSA 使用场所周围 50m 范围内, 全部是医院的医疗用房。DSA 周围环境见图 11-4 至图 11-7 所示。

(二) DSA 机房规格、屏蔽和周围环境

(1) DSA 机房规格

本项目 DSA 机房规格如表 11-9 所示。

表 11-9 本项目 DSA 机房使用面积、单边长度要求及符合情况

所在位置	机房名称	建筑尺寸 ^① (m)	有效尺寸 ^② (m)	有效使用面积 (m ²)	最小有效有效面积要求 (m ²)	最小有效单边长度要求 (m)
综合楼 二层急诊 区	手术室 23#	8.4×8.3	7.0×7.6	53.20	20	3.5
综合楼 五层导 管中心	1#DSA 机房	8.7×8.5	7.9×7.7	60.83	20	3.5
	2#DSA 机房	9.0×8.5	8.2×7.7	63.14	20	3.5
	3#DSA 机房	8.0×8.5	7.2×7.7	55.44	20	3.5
	4#DSA 机房	8.0×8.5	7.2×7.7	55.44	20	3.5

注：①建筑尺寸为机房实体屏蔽结构内的尺寸；②有效尺寸为机房装饰层内的尺寸。

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对 DSA 设备机房的面积和单边长度的要求，本项目 DSA 机房全部满足要求。

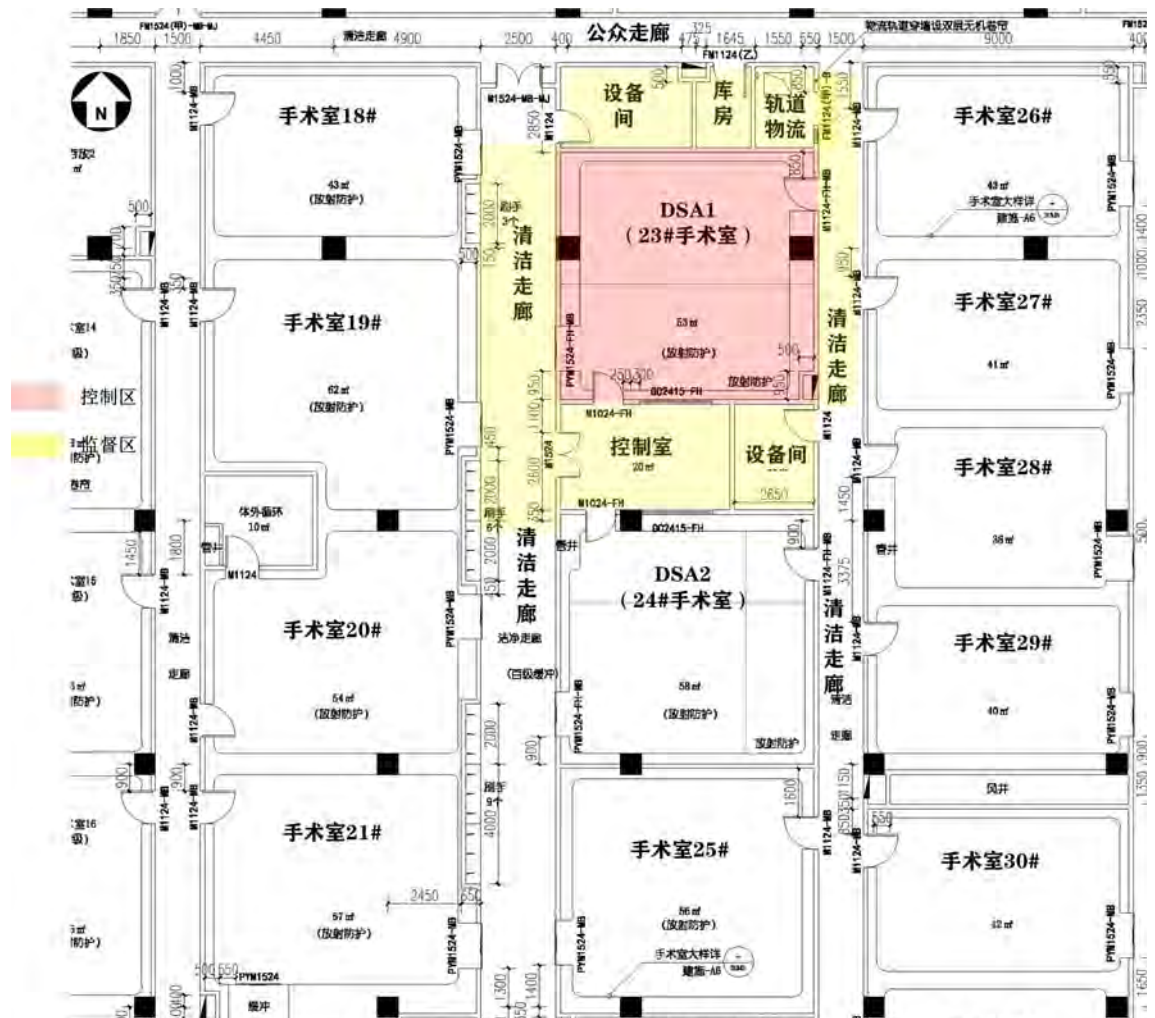


图 11-4 二层手术区 DSA 机房布局和周围环境示意图

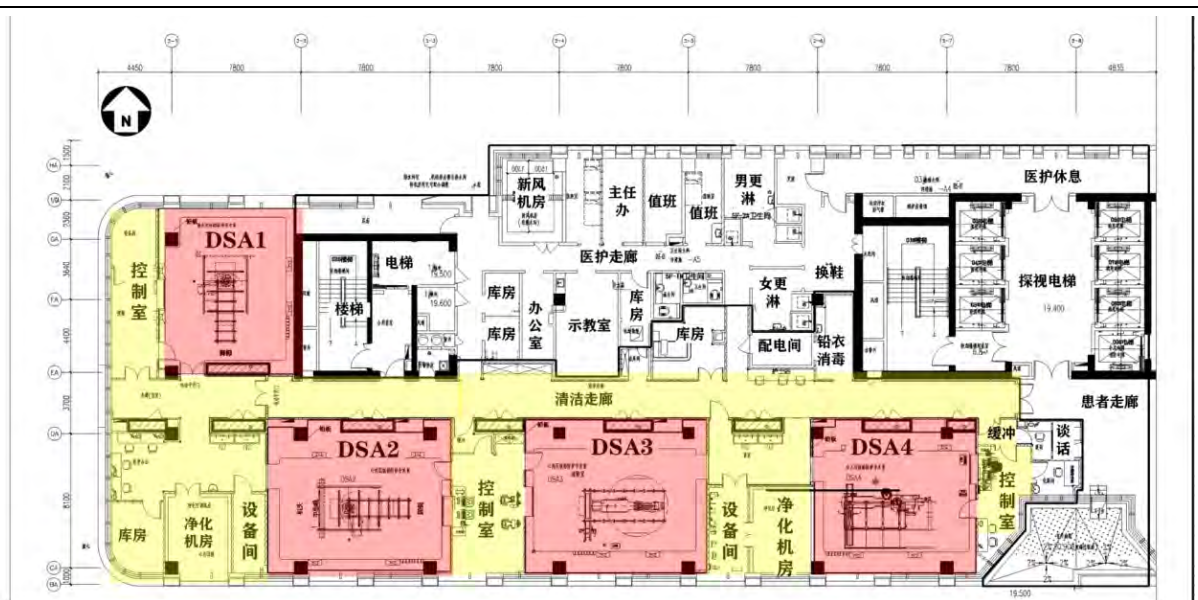


图 11-5 五层导管中心 4 台 DSA 机房布局和周围环境示意图

(2) 屏蔽材料和厚度

DSA 机房屏蔽材料和厚度如表 11-10 所示。

表 11-10 本项目 DSA 机房的屏蔽设计

机房类型	屏蔽体	屏蔽设计	铅当量折算值
手术区 23# DSA 机房	四周墙体	轻钢龙骨+3mm 铅板	3mm
	防护门	不锈钢门内夹 3mmPb	3mm
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃	3mm
	顶板	200mm 混凝土+3mm 铅	6mm
	地板	200mm 混凝土 45mm 硫酸钡水泥	7.5mm
注：1、机房层高 4.1 米，四周墙体屏蔽材料至顶棚，顶棚附加屏蔽位于吊项处。 2、铅当量依据 GBZ130-2020 附录 C 中 100kV 主束 X 射线相关参数进行折算。混凝土密度为 2.35g/cm ³ ，铅皮密度为 11.34 g/cm ³ ，硫酸钡水泥 3.2 g/cm ³ ，10mm 钡水泥相当于 1mmPb。			
机房类型	屏蔽体	屏蔽设计	铅当量折算值
DSA1~DSA4	四周墙体	轻钢龙骨+3mm 铅板	3mm
	防护门	不锈钢门内夹 3mmPb	3mm
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃	3mm
	顶板	200mm 混凝土+3mmPb	6mm
	地板	200mm 楼板+45mm 硫酸钡水泥	7.5mm
注：1、机房层高 4.0 米，四周墙体屏蔽材料至顶棚，顶棚附加屏蔽位于吊项处。 2、铅当量依据 GBZ130-2020 附录 C 中 100kV 主束 X 射线相关参数进行折算。 3、混凝土密度为 2.35g/cm ³ ，铅皮密度为 11.34 g/cm ³ 。硫酸钡水泥 3.2 g/cm ³ ，10mm 钡水泥相当于 1mmPb。			

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对 DSA 设备机房的防护要求，有用线束墙壁应有 2mm 铅当量，非用线束墙壁也应有 2mm 铅当量的防护。本项目 DSA

机房四周墙壁、底板和顶板均高于 2mm 铅当量，符合上述要求。

表 11-11 本项目 DSA 机房其它相关情况

机房名称	防护门	观察窗	通风	设备摆向	采光窗
二层手术区 23#DSA 机房	机房西侧设患者出入电动平移防护门，具有防夹和延时关闭功能，机房内和机房外均设门控按钮。机房南侧设控制室门，东侧设污物门，均为手动平开防护门。	南墙	层流 通风	南北	机房内 不设采 光窗。
五层 DSA1 机 房	机房南侧设患者出入电动平移防护门，具有防夹和延时关闭功能，机房内和机房外均设门控按钮。机房西侧与控制室之间设手动平开防护门。	东墙	层流 通风	南北	机房内 不设采 光窗。
五层 DSA2 机 房	机房北侧设患者出入电动平移防护门，具有防夹和延时关闭功能，机房内和机房外均设门控按钮。机房西侧与控制室之间设手动平开防护门，东侧与设备间之间设手动平开防护门。	西墙	层流 通风	东西	机房内 不设采 光窗。
五层 DSA3 机 房	机房北侧设患者出入电动平移防护门，具有防夹和延时关闭功能，机房内和机房外均设门控按钮。东侧与控制室之间设手动平开防护门，西侧与设备间之间设手动平开防护门。	东墙	层流 通风	东西	机房内 不设采 光窗。
五层 DSA4 机 房	机房北侧设患者出入电动平移防护门，具有防夹和延时关闭功能，机房内和机房外均设门控按钮。西侧与控制室之间设手动平开防护门，东侧与设备间之间设手动平开防护门。	西墙	层流 通风	东西	机房内 不设采 光窗。

(3) 平面布局合理性分析

二层手术区设 1 间 DSA 机房，机房周围均为手术室，外围设患者走廊和污物通道，这样可以将 DSA 对周围辅助用房的辐射影响降到最低，布局合理。

五层导管中心设 4 间 DSA 机房，DSA 机房 1 设在西北角，DSA2~DSA4 呈东西向布置。机房周围为清洁走廊、净化机房、设备间和控制室，一侧为楼外，这种布局可以将 DSA 对导管中心其它用房的辐射影响降到最低，布局合理。

DSA 机房和其周围的区域按照控制区和监督区进行管理。控制区为 DSA 机房，监督区为机房毗邻的控制室、设备间等房间和通道。场所分区合理，符合辐射防护要求。

导管中心 4 间 DSA 机房集中布设，对楼上和楼下毗邻房间可能存在叠加影响。为了减少叠加贡献的影响，在屏蔽设计时，加厚了楼板的屏蔽，顶部采用 200mm 混凝土加贴 3mm 铅板/底部 200mm 混凝土加 45mm 硫酸钡水泥屏蔽，铅当量等效厚度分别大于 6mm(顶部) /7.5mm (底部) 铅当量。

本项目 DSA 机房墙体均采用附加铅板防护，铅当量为 3mmPb，防护门、观察窗防护效果为 3mm 铅当量，能够有效降低电离辐射对工作人员和周围公众的辐射影响。

综合分析，本项目分区明确，平面布局既满足使用要求，又有利于辐射防护，评价

认为本项目平面布局合理。

(三) 设备参数和使用规划

(1) 设备技术参数

DSA 设备厂家和型号待定，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA。

(2) 使用规划

顺义院区介入手术量参照北京友谊医院本部西城院区，按照每台 DSA 设备年开展 1000 台手术考虑设备的工作负荷，每组操作人员年手术量按照 500 例进行人员受照剂量评价。

DSA 用于心脏造影、心脏支架、起搏器手术、脑血管造影、脊髓血管造影等。

表 11-12 DSA 手术类型、工作量、曝光时间预计

手术类型	每台手术透视累计曝光时间 (min)	每台手术摄影累计曝光时间 (min)
冠状动脉造影+PCI	10	2
心脏射频消融	5	0.5
心内起搏器植入	5	0.5
先心病介入治疗	5	1
外周介入治疗	6	2
神经介入手术(脑血管支架、脑动脉瘤栓塞、脑血管畸形栓塞)	8	2

根据美国 NCRP147 报告，心脏血管造影比外周血管造影和神经血管造影的工作负荷、泄漏辐射与侧向散射的空气比释动能都大，故保守按冠状动脉造影+PCI 手术的曝光时间计算 DSA 透视和摄影工作状态的累计出束时间。

根据北京友谊医院本部每年开展介入治疗统计结果，每台 DSA 设备出束时间见表 11-13。

表 11-13 血管造影机年出束时间

工作状态	平均出束时间/例	年治疗例数	累计出束时间
透视	10min	500	83.3h
摄影	2min	500	16.7h

(四) 辐射环境影响评价

(1) DSA 机房周围的辐射水平

手术中 DSA 设备运行分透视和摄影（采集）两种模式。设备具有自动调强功能，能根据患者条件等差异，自动调节曝光参数和 X 射线辐射剂量。即如果受检者体型偏瘦，管电流（功率）自动降低。反之管电流（功率）自动增强。

为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，DSA 实际使用时，管电压和管电流通常留有一定裕量，管电压通常控制在 100kV 以下，管电流通常控制 600mA 以下。

《医用常规 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）的“表 B.1 X 射线透视设备的检测项目与技术要求”规定，透视受检者入射体表空气比释动能率典型值 ≤25mGy/min。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）5.8.3 规定，X 射线设备的最小焦皮距为 20cm。由以上两个条件，可得出透视工况下，距离靶点 1 米处的 X 线辐射剂量率最大为 60mGy/h。

本项目保守以 60mGy/h 为透视工况下最大输出量率进行评价；摄影工况下，管电流约为透视工况的 50 倍，摄影采用脉冲模式，按照 15 帧/s 计算，最大输出量率约为透视的 7.5 倍，为 450mGy/h（具体计算见职业人员受照剂量估算部分）。

ICRP33 报告给出了 DSA 设备运行典型工况和相关参数，见表 11-14。

表 11-14 设备运行典型工况及相关参数

运行工况	DSA 典型工况	备注
摄影（脉冲）	90kV/500mA	备注：数据参考 ICRP REPORT NO.33
透视（连续）	90kV/10mA	

1. X 线泄漏辐射

$$H = \frac{H_0}{R^2} B \quad (11-16)$$

式中：H 为估算点的泄漏辐射剂量率，μSv/h；H₀ 为距 X 射线装置靶点 1m 处的泄漏辐射的最大剂量率，μSv/h，保守取初级辐射束的 0.1%。R 为 X 射线靶点到关注点的距离，m；B 为屏蔽墙厚度的衰减因子，可以依据 GBZ130-2020 附录 C 表 C.2 参数求得。

2. 患者的散射辐射

$$H = \frac{H_0}{R^2} \frac{F \times \alpha}{400 \cdot R_0^2} B \quad (11-17)$$

式中：H 为预测点位的散射辐射剂量率，μSv/h；H₀ 为距 DSA 设备靶点 1m 处的剂量率，μSv/h；R 为散射面中心点到关注点的距离，m；B 为屏蔽墙衰减因子，可根据 GBZ130-2020 附录 C 中表 C.2（90kV）计算得出。R₀ 为辐射源点（靶点）至散射体的距离，m；此处 R₀ 取最小值 0.60m（设备靶点至接收器最小距离多为 90cm，距离手术床的距离最小为 60cm）；F 为 R₀ 处的射野面积，m²（取 400cm²）；α 为散射因子，定义为入射辐射被面积为 400cm² 水模体散射至 1m 处的相对份额，根据《辐射防护手

册》（第一分册）表 10.1，100kV 的 X 线 90° 散射因子取为 1.5×10^{-3} 。

由上述公式计算患者散射辐射可知，1m 处的散射辐射水平约为靶点 1m 处剂量率的 0.41%。

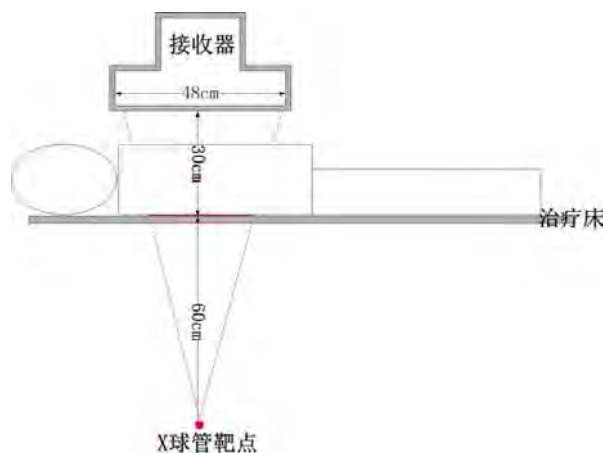


图 11-6 DSA 照射示意图

3. 泄漏辐射+散射辐射

DSA 机头的泄漏辐射水平通常低于靶点 1m 处剂量率的 0.1%。

患者散射计算得知，1m 处散射辐射水平约为靶点 1m 处剂量率的 0.41%。

实际上，散射辐射较泄漏辐射能量低，其透射能力低于泄漏辐射。故本项目在估算机房周围附加剂量率水平时，以 1m 处剂量率的 0.51%（散射+泄漏）作为源项，保守估算 DSA 机房周围的附加剂量率水平。

将 X 射线靶点视为点源，输出量率保守按实际使用的最大功率（透视 90kV/10mA、摄影 90kV/500mA），并根据 GBZ130-2020 附录 C 中最大管电压（90kV）相关参数计算混凝土和铅的衰减系数，依据再结合距离衰减，来估计算机房周围各关注点的剂量率水平。

$$D = D_0 \times B / R^2 \quad (11-18)$$

式中：D-估算点附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ； D_0 -距源 1m 处的剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；B-衰减因子， $B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{-\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-1}$ ，依据 GBZ130-2020 附录 C.1.2 计算；R—X 射线靶到计算点的距离，m。

DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6 节（P62）指出，DSA 屏蔽估算时因主束被图像接收器全部屏蔽，不需要考虑主束照射，故本项目重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

（2）DSA 机房的辐射影响评价

1. DSA 典型机房的选择

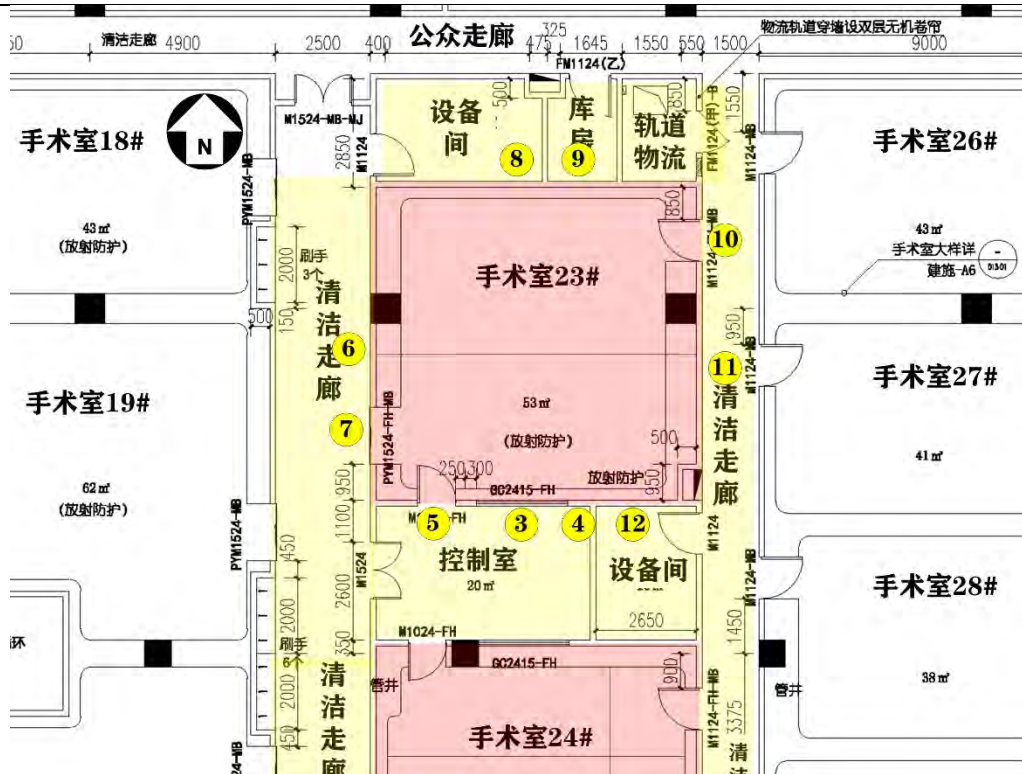


图 11-8 23#DSA 机房周围剂量估算点位置示意图

表 11-15 DSA 运行时 23#机房周围的附加剂量率估算结果

设备工况	使用工况	编号	计算点位置	等效屏蔽厚度 (mm铅当量)	衰减因子 (B)	设备1m处剂量率 (Gy/h)	射线束类型	距离 (m)	剂量率估算值* (μ Sv/h)
X线透视	最大管电压 90kV	1	楼上距地板30cm处	6	8.00E-10	0.06	泄漏+散射	4.1	1.46E-08
		2	楼下距地板170cm处	7.5	8.04E-12		泄漏+散射	2.7	3.37E-10
		3	南侧控制室观察窗外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	2.10E-04
		4	南墙外30cm处(控制室内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	2.10E-04
		5	南侧控制室防护门外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	2.10E-04
		6	西墙外30cm处(清洁走廊)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.98E-04
		7	西侧患者防护门外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.98E-04
		8	北墙外30cm处(设备间内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	2.10E-04
		9	北墙外30cm处(库房内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	2.10E-04
		10	北墙外30cm处(轨道物流)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.98E-04
		11	东侧污物通道防护门外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.98E-04
		12	东墙外30cm处(清洁走廊)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.98E-04
		13	南墙外30cm处(设备间内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	2.10E-04
X线	最	1	楼上距地板30cm处	6	8.00E-10	0.45	泄漏+散射	4.1	1.09E-07

摄影	大管电压 90kV	2	楼下距地板170cm处	7.5	8.04E-12		泄漏+散射	2.7	2.53E-09
		3	南侧控制室观察窗外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	1.57E-03
		4	南墙外30cm处(控制室内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	1.57E-03
		5	南侧控制室防护门外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	1.57E-03
		6	西墙外30cm处(清洁走廊)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.49E-03
		7	西侧患者防护门外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.49E-03
		8	北墙外30cm处(设备间内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	1.57E-03
		9	北墙外30cm处(库房内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	1.57E-03
		10	北墙外30cm处(轨道物流)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.49E-03
		11	东侧污物通道防护门外30cm处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.49E-03
		12	东墙外30cm处(清洁走廊)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.49E-03
		13	南墙外30cm处(设备间内)	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.4	1.57E-03

注：*保守以距靶点1m处剂量率的0.51%（散射+泄漏）作为源项。

从上述估算结果可知，在“透视”和“摄影”模式下，本项目二层 DSA 机房周围附加剂量率最大值约为 $1.57E-03 \mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目所设定的机房屏蔽体外剂量率 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平，对楼上（楼道和庭院，距地板 30cm 处）的剂量率贡献最大为 $1.09E-07 \mu\text{Sv/h}$ ，对楼下（实验室和仪器室，距地板 170cm 处）剂量率贡献最大为 $2.53E-09 \mu\text{Sv/h}$ ，均满足本项目设定的剂量率控制水平。

2) 综合楼五层 DSA 机房 (DSA3)

本项目综合楼五层 DSA3 机房建筑尺寸为：8.0m(东西)×8.5m(南北)×4.0m(高)。因 DSA 设备使用时，管球会在一定范围内（按 1m×1m 计）移动，故在屏蔽计算时，保守取设备靶点距离南墙和北墙外 30cm 处距离为 3.5m，距东墙和西墙外 30cm 处距离为 3.3m，距楼上 0.3m 处距离为 4.0m，距楼下地面 1.7m 处距离为 2.6m。

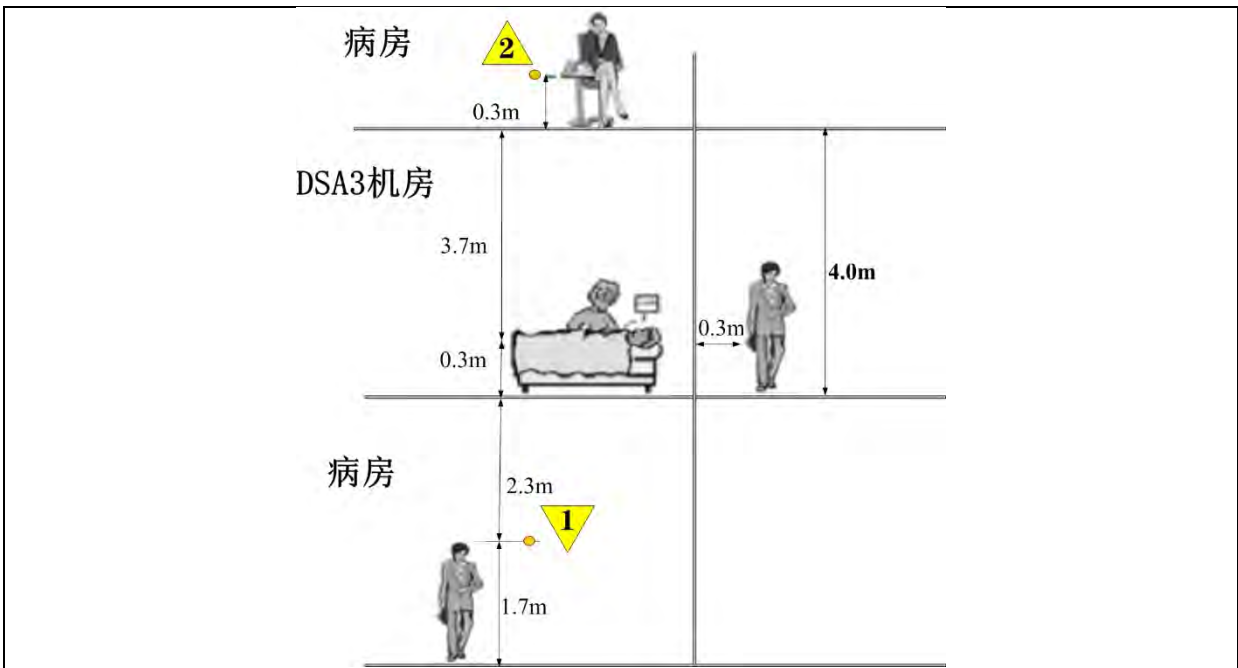
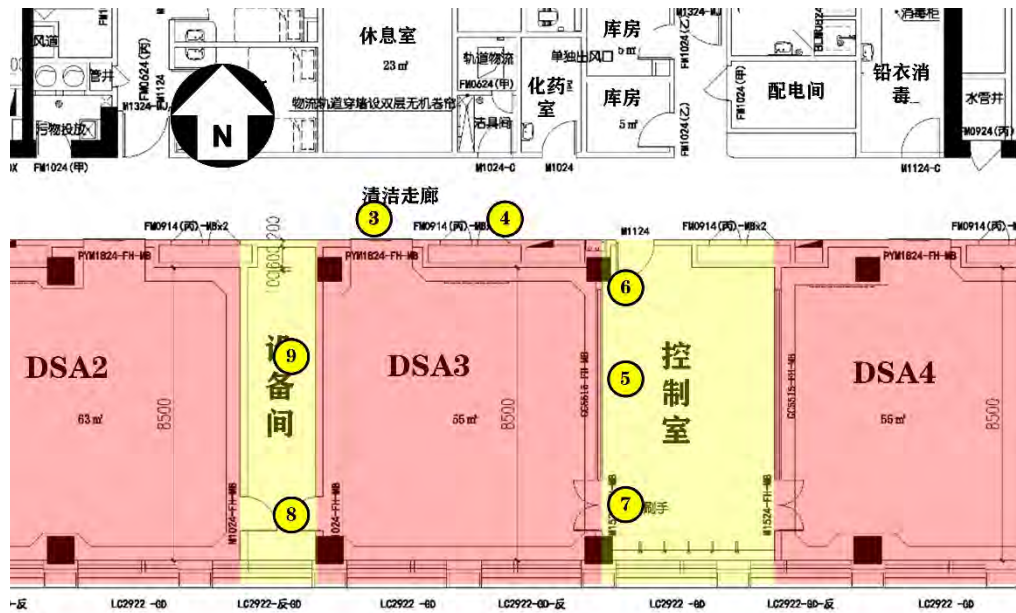


图 11-9 五层导管室（DSA3 机房）剖面示意图以及估算点位置示意图



室外

图 11-10 DSA3 机房周围剂量估算点位置示意图

表 11-16 DSA 运行时 DSA3 机房周围的附加剂量率估算结果

设备工况	使用工况	编号	计算点位置	等效屏蔽厚度 (mm 铅当量)	衰减因子 (B)	设备 1m 处剂量率 (Gy/h)	射线束类型	距离 (m)	剂量率估算值* (μ Sv/h)
X 线透视	最大管电	1	楼上距地板 30cm 处	6	8.00E-10	0.06	泄漏+散射	4.0	1.53E-08
		2	楼下距地板 170cm 处	7.5	8.04E-12		泄漏+散射	2.6	3.64E-10
		3	北侧患者防护门外 30cm 处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.5	1.98E-04

压 90k V	4	北墙外 30cm 处（清洁走廊）	3.0	7.93E-06	0.45	泄漏+散射	3.5	1.98E-04		
	5	东侧观察窗外 30cm 处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.3	2.23E-04		
	6	东墙外 30cm 处（控制室内）	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.3	2.23E-04		
	7	东侧控制室防护门外 30cm 处	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.3	2.23E-04		
	8	西侧设备间防护门外 30cm 处 （设备间内）	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.3	2.23E-04		
	9	西墙外 30cm 处（设备间内）	3.0	7.93E-06		泄漏+散射	3.3	2.23E-04		
	X 线 摄 影	最 大 管 电 压 90k V	1	楼上距地板 30cm 处		6	8.00E-10	泄漏+散射	4.0	1.15E-07
			2	楼下距地板 170cm 处		7.5	8.04E-12	泄漏+散射	2.6	2.73E-09
			3	北侧患者防护门外 30cm 处		3.0	7.93E-06	泄漏+散射	3.5	1.49E-03
4			北墙外 30cm 处（清洁走廊）	3.0	7.93E-06	泄漏+散射	3.5	1.49E-03		
5			东侧观察窗外 30cm 处	3.0	7.93E-06	泄漏+散射	3.3	1.67E-03		
6			东墙外 30cm 处（控制室内）	3.0	7.93E-06	泄漏+散射	3.3	1.67E-03		
7			东侧控制室防护门外 30cm 处	3.0	7.93E-06	泄漏+散射	3.3	1.67E-03		
8			西侧设备间防护门外 30cm 处 （设备间内）	3.0	7.93E-06	泄漏+散射	3.3	1.67E-03		
9			西墙外 30cm 处（设备间内）	3.0	7.93E-06	泄漏+散射	3.3	1.67E-03		

注：*保守以距靶点 1m 处剂量率的 0.51%（散射+泄漏）作为源项。

从上述估算结果可知，在“透视”和“摄影”模式下，本项目五层 DSA 机房周围附加剂量率最大值约为 $1.67E-03 \mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目所设定的机房屏蔽体外剂量率 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平，对楼上（病房，距地板 30cm 处）的剂量率贡献最大为 $1.15E-07 \mu\text{Sv/h}$ ，对楼下（病房，距地板 170cm 处）剂量率贡献最大为 $2.73E-09 \mu\text{Sv/h}$ ，均满足本项目设定的剂量率控制水平。

3. DSA 正常工况下所致医护人员的年受照剂量

本项目依照 GBZ128-2019 评价术者的受照剂量评价模式，考虑裸漏部位和屏蔽部位受照的综合剂量。

根据人员配置方案（每台 DSA 至少 8 名辐射工作人）和工作量（医生 500 例/a、护士和技师 1000 例/a）进行计算，辐射工作人员受照射线照射时间如表 11-17 所示。

表 11-17 DSA 工作人员年受照时间预测

人员	人数	工作模式	时间 (h/a)	居留因子	备注
医师	2	同室透视	83.3	1	
		同室采集	16.7	1/16	偶尔停留
护士	1	同室透视	166.7	1/16	偶尔停留
技师	1	隔室透视	166.7	1	
		隔室采集	33.3	1	

① 同室操作的术者位剂量率

依相关标准要求，工作人员在同室操作时，应合理穿戴个人防护用品、使用相关防护设施，并在满足诊疗要求的前提下尽量缩短曝光时间，对术者位剂量率的取值如下：

a) 透视模式

《医用常规 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）的“表 B.1 X 射线透视设备的检测项目与技术要求”规定：非直接荧光屏透视设备，在透视防护区测试平面上围剂量当量率应不大于 400 μ Gy/h。

本评价取标准要求的上限值保守考虑，医生手术位置的附加剂量率水平为 400 μ Gy/h，居留因子为 1（全部居留）。

b) 采集模式

只有在临床不可接受的情况下，医护人员在摄影时才在机房内停留。做心脏介入手术时，医生偶尔会在摄影图像采集时在机房内停留，故居留因子保守取 1/16。

采集模式时，采用脉冲模式，剂量率与帧数成正比。参考帧数较高的心脏模式条件：15 帧/s、10ms/帧，采集时电流与透视时电流之比取 50（500mA/10mA），假设采集与透视时 kV 相同（按 90kV 考虑），则采集产生的剂量率与透视产生的剂量率之比为 7.5（（500mA \times 15 帧 \times 10ms/帧）/（10mA \times 1s）），故本评价采用标准要求的透视时术者位剂量率上限值保守考虑，即处于同室状态的工作人员在采集时（摄影模式）术者位剂量率为 3000 μ Sv/h。

c) 防护用品透射因子 B

根据标准要求的防护用品配置方案，工作人员穿戴的个人躯干防护用品（铅橡胶围裙和铅橡胶颈套）为 0.5mmPb，按 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》附录 C 中的方法，计算在 90kV 进行透视和摄影时，衰减系数为 0.025。

② 年附加剂量计算公式

a) 同室操作

根据 GBZ128-2019《职业性外照射个人监测规范》中第 6.2.3 条，外照射致有效剂量计算公式为：

$$E_{\text{同室}} = \alpha \cdot H_u + \beta \cdot H_o$$

式中： $E_{\text{同室}}$ ——同室操作外照射致年有效剂量，单位为 mSv； α ——系数，取 0.79（有甲状腺屏蔽）； H_u ——铅围裙内佩戴个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。 β ——系数，取 0.051（有甲状腺屏蔽）； H_o ——铅围裙外锁骨对应衣领位置佩戴个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。

根据 GBZ130-2020，工作人员采取铅衣（0.5mm 铅当量）屏蔽措施，在 90kV 进行

透视和摄影时，衰减系数为 0.025， H_0 和 H_u 本次均采用剂量率乘以年受照时长计算，其中 H_0 对应剂量率为术者位剂量率上限值， H_u 对应剂量率为经过个人防护用品屏蔽后的（0.5mmPb 铅衣、铅颈套等）术者位剂量率估算值，即计算 H_0 时，透视模式和采集模式对应剂量率为 400 μ Sv/h 和 3000 μ Sv/h，计算 H_u 时，透视模式和采集模式对应剂量率为 10 μ Sv/h 和 75 μ Sv/h。

$$E_{\text{透视}} = (0.79 \times 10 + 0.051 \times 400) \times t_{\text{透视}} = 28.3 \times t_{\text{透视}}$$

$$E_{\text{采集}} = (0.79 \times 75 + 0.051 \times 3000) \times t_{\text{采集}} = 212.25 \times t_{\text{采集}}$$

b) 隔室操作

操作技师在控制室内隔室操作，取观察窗外 30cm 处剂量率，保守按 1 名技师完成全年 1000 例手术进行年受照剂量估算。

③ 职业人员年附加剂量估算结果

$$\text{附加年有效剂量计算公式：} E = D \times t \times T \times K \quad (11-20)$$

式中：E—年有效剂量， μ Sv/a；D—计算点附加剂量率， μ Gy/h；t—DSA 年出束时间，h/a；k—有效剂量与吸收剂量换算系数，Sv/Gy，本项目取 1.0；T—居留因子。参考《辐射防护手册第三分册 辐射安全》（李德平编）P80，居留因子 T 按三种情况取值：（1）全居留因子 T=1，（2）部分居留 T=1/4，（3）偶然居留 T=1/16。

类比北京友谊医院本部介入人员给工作负荷，职业人员附加年有效剂量估算结果见表 11-18。根据估算，介入工作人员的年受照剂量均低于本项目设定的 5mSv 的年有效剂量约束值。

表 11-18 DSA 所致工作人员年附加有效剂量估算结果

估算对象		最大附加剂量率 (μ Sv/h)	年受照时间 (h/a)	居留因子	年附加有效剂量 (mSv)
术者 (医师)	透视	10(内)/400(外)	83.3	1	2.58
	摄影	75(内)/3000(外)	16.7	1/16	
辅助人员 (护士)	透视	10(内)/400(外)	166.7	1/16	0.44
	摄影	/	/	/	
控制室* (技师)	透视	2.23E-04	166.7	1	9.28E-05
	摄影	1.67E-03	33.3	1	

注：取 2 间控制室观察窗处剂量率估算值较大的数据。

上述剂量估算是依照“在透视防护区测试平面上的空气比释动能率为 400 μ Gy/h 的限值”进行的，实际上，操作位的剂量率水平多数低于 300 μ Gy/h，介入治疗医师均不从事其它介入工作，无个人剂量叠加问题，故年开展 500 例介入治疗医师的年受照剂量预计在 2mSv 左右。护士在手术室内偶尔会暴露在射线环境中，预计年受照剂量低于 0.44mSv。介入场所的技师只在控制室操作设备，年附加受照剂量很小，均满足本项目

设定的 5mSv 的年有效剂量约束要求。

4. DSA 正常工况下所致周围公众的年受照剂量

本项目的单管头 DSA 机房分别设置在医院综合楼二层和五层，机房周围楼上、楼下的其他工作人员和就诊人员属于公众，会受到一定剂量的辐射照射。

表 11-19 给出了不同位置公众可能受到单台 DSA 影响的最大受照剂量，在未考虑 DSA 同时工作剂量叠加的情况下，DSA 机房屏蔽体外四周、楼上和楼下停留公众的最大受照剂量均满足本项目设定的 0.1mSv（100 μ Sv）年剂量约束值。

表 11-19 公众年附加受照剂量估计（单台 DSA 影响）

机房	方位	最大附加剂量率 (μ Gy/h)		年工作时间 (h/a)	居留 因子	年附加剂量 (μ Sv)
		透视	摄影			
二层手术区 DSA 机房	东侧	透视	1.98E-04	166.7	1/4	2.07E-02
		摄影	1.49E-03	33.3	1/4	
	西侧	透视	1.98E-04	166.7	1/4	2.07E-02
		摄影	1.49E-03	33.3	1/4	
	北侧	透视	2.10E-04	166.7	1/4	2.18E-02
		摄影	1.57E-03	33.3	1/4	
	南侧	透视	2.10E-04	166.7	1/4	2.18E-02
		摄影	1.57E-03	33.3	1/4	
	楼上	透视	1.46E-08	166.7	1/16	3.79E-07
		摄影	1.09E-07	33.3	1/16	
	楼下	透视	3.37E-10	166.7	1(保守)	1.40E-07
		摄影	2.53E-09	33.3	1(保守)	
五层导管中心 DSA 机房	东侧	透视	2.23E-04	166.7	1/4	2.32E-02
		摄影	1.67E-03	33.3	1/4	
	西侧	透视	2.23E-04	166.7	1/4	2.32E-02
		摄影	1.67E-03	33.3	1/4	
	北侧	透视	1.98E-04	166.7	1/4	2.07E-02
		摄影	1.49E-03	33.3	1/4	
	楼上	透视	1.53E-08	166.7	1/16	3.99E-07
		摄影	1.15E-07	33.3	1/16	
	楼下	透视	3.64E-10	166.7	1/16	9.47E-09
		摄影	2.73E-09	33.3	1/16	

注：本层 DSA 机房周围用房无常居留人员，故居留因子保守取 1/4；估算未考虑叠加。

(4) 介入治疗设备剂量贡献叠加情况分析

1. 年受照剂量叠加分析

导管中心 4 台 DSA 机房东西布局，DSA2 控制室位于 DSA2 和 DSA3 机房中间，设备同时出束时，中间的控制室操作人员以及周围（含楼上和楼下）的公众，也可能受

到相邻机房的辐射影响，存在剂量叠加情况，具体分析如下：

五层导管中心 DSA2 和 DSA3 控制室人员受东西两侧相邻的机房的辐射影响，存在剂量叠加问题。保守将控制室操作位技师的附加剂量率按照单台设备的 2 倍进行叠加，年最大受照剂量为 $1.86E-04 \mu Sv/a$ ，同样满足剂量约束要求。

本项目 DSA 设备同时出束时，机房周围以及楼上和楼下关注点会受到相邻多个机房内 DSA 设备出束所致的辐射影响，同样存在叠加问题。本项目 6 间 DSA 机房的顶板和地板均加强了屏蔽，对楼上、楼下的辐射影响可以忽略不计，即使同层 DSA 同时出束，叠加后的最大剂量率同样满足剂量约束要求。

2. 剂量率水平叠加分析

五层导管中心以位于中间的 DSA2 和 DSA3 机房为例，机房周围的最大附加剂量率为 $2.23E-03 \mu Sv/h$ ，即使按照 3 倍剂量叠加，附加剂量率不超过 $6.69E-03 \mu Sv/h$ 。因此即使考虑剂量率叠加，同样屏蔽体四周满足 $2.5 \mu Sv/h$ 的剂量率控制水平，机房楼上距离地板 30cm 和楼下距离地板 170cm 处的附加剂量率不大于 $0.1 \mu Sv/h$ 。

(5) 有害气体的环境影响

根据以往的估算结果，在 DSA 运行中，臭氧的平均产额低于 $1mg/h$ ，本项目单台 DSA 年产生约 400mg 臭氧，对环境的影响十分轻微，本报告对其环境影响不做具体评价。

(6) 射线装置报废

本项目 DSA 设备报废时，必须对设备管球进行毁形处理，确保装置无法通电出束，并将设备处理去向记录备案。

11.3 事故影响分析

11.3.1 加速器事故影响分析

(1) 人员误入加速器室并发生误照事故

加速器可能发生的最严重的放射性事故是门机联锁失效，人员误入加速器室而受到意外照射。事故情景：保守假设加速器在以 10MV 治疗患者过程中，人员误入机房后到达迷道内口处，发现有病人正在治疗，急速返回。保守假设在迷道内口处停留时间 30s，据此估算误入人员的最大受照剂量。

根据表 11-6 数值，可推算出迷道内口处的剂量率，见表 11-20 所示。

表 11-20 加速器 10MV 运行时迷道内口处剂量率水平 (mSv/h)

编号	剂量来源	迷道内口处	备注
1	主束经墙壁 1 次散射	3.1	距离、散射折算
2	泄漏辐射	1.3	距离、散射折算
3	主束经病人 1 次散射	38.5	距离、散射折算
合计		43	

保守假设在迷道内口停留 30s，最大受照剂量约为 0.36mSv，对误入人员健康不会造成影响。

加速器防护门设有门机安全联锁系统，以及在治疗室和迷道内设置有闭路监视系统，可有效防止该事故发生。此外，加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

(2) 其它异常运行事件和防范措施

1) 出束不能停止时：按下专用键盘“停束”键，如果加速器继续出束，则将专用键盘“出束钥匙开关”扳至“禁止”位。如继续出束，则按下控制台“急停”开关。在维修人员确保机器能够正常运行之前，操作人员不得试图再次开机。

2) 停电故障：工作人员采用手动方式打开防护门，迅速将病人从治疗床上移出，UPS系统给电脑自动供电，记录正在治疗病人已经接受的累积治疗剂量。

3) 事故性出束：工作人员在治疗室内为患者摆位或开展其它准备工作，控制台处操作人员误开机出束。医护人员进入加速器室，要保持防护门开启，由于有门机联锁系统，加速器无法启动。为防止陪护人员或其他人员误留在加速器机房内受到误照射，要求加速器在每次出束前，工作人员必须进机房进行检查，确认无误后，方可出束。

4) 维修期间的事故：加速器维修工程师在检修期间误开机出束。在维修加速器时，按下急停开关，或保持防护门开启，这种情况下，加速器无法启动。此外，维修人员携带有个人剂量报警仪，一旦有紧急情况，马上按下墙上的急停按钮，并迅速撤离现场。

5) 工作人员误入：加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

11.3.2 DSA 事故影响分析

(一) 事故情景分析

DSA 项目可能发生的意外情形主要是误照，具体有：

(1) 人员误入机房受到不必要的照射。人员误入 DSA 机房后，受照剂量有限，不会发生“受到大剂量照射”的辐射事故，也不会对人体造成健康影响。

(2) 工作人员未撤离 DSA 机房，操作间人员启动设备，导致误照。同样受到该种情形的意外照射，受照剂量也有限，同样不会发生“受到大剂量照射”的辐射事故，也

不会对人体造成健康影响。

(3) DSA 出束时，没有关闭防护门，对附近经过或停留人员产生误照射。发生该类事件时，人员误照的剂量很小，不会对健康有影响。

(4) 医务人员违反操作规程和有关规定，在从事介入手术期间，未穿戴个人防护用品开展手术。该种情况可能导致辐射工作人员受到较大剂量的照射。

(二) 可能发生事故/事件的防范措施

针对该类事件的防范措施是：

1) 加强分区管理，控制区只有辐射工作人员可以进入，同时关注监督区辐射水平。每年委托第三方检测机构对监督区的剂量率水平进行一次监测。

2) 在机房防护门上设置辐射警告标识和中文警示说明。在防护门上方设置工作状态警示灯，并且和医患防护门关联。

3) 每月检查工作状态警示灯与出束关联是否正常，并经常检查警示灯工作是否正常。

4) 规范工作秩序，严格执行《数字减影血管造影机操作规程》，并要求“制度上墙”，辐射工作人员进入 DSA 机房，必须穿戴铅衣、铅帽和铅眼镜等个人防护用品。

5) 辐射安全与防护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。

(三) 发生人员误入或误照情况受照剂量估计

在 X 射线装置出束时，透视时 1m 处的泄露辐射和散射辐射剂量率为 0.306mGy/h，摄影时 1m 处的泄露辐射和散射剂量率为 15.3mGy/h，人员进入射线装置机房距离 X 射线机的距离为 1-3m，摄影曝光人员受照时长按 10s 进行估算，估算结果见下表 11-12。

表 11-12 事故情况下的受照剂量估算

意外情形	曝光参数	停留位置	受照时间	受照剂量 (mSv)
人员误入机房或误留机房	90kV/500mA (摄影工况)	距离靶点 1m	10s	0.0425
防护门未关闭且公众在防护门处停留而误照	90kV/500mA (摄影工况)	防护门处，距离靶点 3m	10s	0.0047
介入手术医生未穿戴防护用品	90kV/10mA (透视工况)	距离靶点 1m	20min	0.102

由上表可知，一次事故所受照剂量最大值为 0.1mSv/次，均不构成辐射事故。

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：

（一）辐射安全管理机构

北京友谊医院已经设置了辐射安全与防护环境保护管理领导小组作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。医院落实是责任制，明确了分工和职责。

北京友谊医院顺义院区的辐射安全与防护管理工作，将纳入全院的统一管理。

辐射安全管理小组的职责：

1. 在医院辐射安全防护组组长、副组长的领导下，负责本医院辐射安全防护的管理工作。

2. 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本医院相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

3. 制定、修订本医院辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

4. 制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全防护组组长的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6. 建立射线装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的射线装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

7. 对医院从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

（二）辐射安全管理规章制度

北京友谊医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训考核制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、辐射工作岗位职责、台帐管理制度、放射性废

物管理制度、辐射事故应急制度等。

顺义院区的射线装置重新申领辐射安全许可证前，医院将对现有的辐射安全管理制度和辐射防护措施等进行补充完善，如补充操作规程，完善监测方案和应急预案等，以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求。

（三）辐射工作人员培训考核

医院规定所有辐射工作人员，在上岗前必须按照生态环境部第 57 号公告（2019 年）中辐射安全与防护培训和考核的要求接受辐射安全与防护培训考核（2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在四年内继续有效），并考试合格上岗。有效期满再次参加考核，并制定了辐射工作人员培训考核计划。

目前，北京友谊医院现有 408 名辐射工作人员通过了辐射安全与防护培训考核，其中 259 名辐射工作人员从事介入治疗相关工作。

本项目直线加速器设备投入运行前，北京友谊医院顺义院区将成立放疗科，并按照相关法规的要求，至少配置医生 3 名、物理师 2 名、技师 1 名和护士 1 名。

本项目 DSA 设备数量较多，预计分批配置，辐射工作人员数量将按照设备配置而逐步增加，配置标准为：每台 DSA 设备的操作人员至少 8 名（2 名医生、1 名技师和 1 名护士）。新增的辐射工作人员，将在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。

（四）辐射监测

（1）个人剂量监测

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

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，确定好送检剂量计的时间为每年 2、5、8、11 月的前三个工作日，医院严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作，并。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《辐射工作人员职业健康管理暂行办法》（原卫生部令第 55 号）要求建立辐射工作人员个人剂量档案。

个人剂量计的佩带位置：依据 GBZ128-2019，从事介入治疗工作人员应在铅围裙外

锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，从事放疗工作人员在胸部佩带。

相关要求：①应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。②个人剂量档案应终身保存。③对于某一季度个人剂量超过 1.25mSv 的介入治疗和 0.5mSv 的放疗工作人员，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于年度内个人剂量检测数据累计超过 5mSv 的，要开展调查，撰写调查报告，并要求采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，同时上报辐射安全许可证发证机关。④在每年的 1 月 31 日前上报的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。⑤在每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至北京市辐射安全监管系统中。

(2) 工作场所监测

(1) 委托监测

根据原环保部 18 号令的要求，医院每年委托有 CMA 资质的单位对放射性同位素工作场所和所有射线装置机房防护和机器性能检测 1 次。

(2) 自行监测

本项目自行监测方案如下：

监测项目：X- γ 剂量率；

监测频次：1 次/年；

本项目涉及工作场所的监测布点：监测点位见图 11-1、图 11-2、图 11-10 和图 11-11 所示，主要是射线装置机房的周边（含楼上、楼下）和防护门 30cm 处。测量结果连同测量条件、测量方法和仪器、测量时间等一同记录并妥善保存。

(3) 环境监测

根据原环保部 18 号令的要求，每年委托有资质单位或自行对辐射工作场所的周围环境进行 1 次辐射水平监测，监测数据记录存档。

(五) 辐射监测设备和防护用品

(1) 医院现有的辐射监测仪器和个人防护用品

医院现有的监测仪器、报警仪器和辐射防护用品防护用品见表 12-1。

表 12-1 医院现有的监测仪器、报警仪器和辐射防护用品登记表

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	备注
1	个人剂量仪	WF-99	2005.08	良好	3	放疗科
2	个人剂量仪	FJ3200	2018-10-19	正常	2	消化内镜中心

3	个人剂量仪	FJ3500	2008.09	良好	17	
4	射线辐射仪	INSPFCTOR11608	2007.04	良好	1	核医学科
5	表面沾染仪	TBM-3S	2000.04	良好	1	核医学科
6	数字式表面沾污仪	Inspector	2016.1.13	良好	1	核医学科
7	表面沾染仪	INSPFCTOR Alert V2	2018-10-19	正常	1	消化内镜中心
8	数字区域 X 线检测仪	375	2009.10	正常	2	心脏导管安装 1 台, 放射科导管室安装 1 台
9	辐射测量仪	FJ1200	2018-12-22	正常	2	手术室导管室 1 台、介入中心 1 台
10	个人剂量仪	SDC-61	1997.12	良好	1	放疗科
辐射防护用品						
	名称	数量	名称	数量		
	铅衣	131	铅帽	37		
	铅手套	11	铅眼镜	50		
	铅围裙	95	铅围脖	151		
	铅屏风	30	个人剂量计	402		
	其它	80				

(2) 本项目拟配置的辐射监测仪器和个人防护用品

根据相关标准和管理要求, 本项目拟配置的辐射检测仪器, 如表 12-2 所示。

表 12-2 本项目拟购置的辐射监测仪器

科室	仪器名称	型号	数量	备注
放疗科	固定式剂量率仪	待定	1	加速器机房内固定使用
	便携式剂量率仪	待定	1	放疗科公用
	个人剂量报警仪	待定	2	加速器机房配置
DSA 场所	便携式剂量率仪	待定	1	DSA 场所公用

医院将按照《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020 规定, 为本项目配备一些必要的个人防护用品, 具体见表 12-3 所示。

表 12-3 本项目每台 DSA 拟配置的个人防护用品

类别	个人防护用品	规格	数量
工作人员	铅橡胶围裙	0.5 mmPb	4
	铅橡胶颈套	0.5 mmPb	4
	铅防护眼镜	0.25 mmPb	4
	介入防护手套	0.025mmPb	4
	铅橡胶帽子	0.25 mmPb	4

患者/受检者	铅橡胶性腺防护围裙	0.5 mmPb	1
	铅橡胶颈套	0.5mmPb	1
	铅橡胶帽子	0.5 mmPb	1
设备辅助防护用品	铅悬挂防护屏	0.5 mmPb	1
	床侧防护帘	0.5mmPb	1
铅屏风	移动铅屏风	2mmPb	1

(六) 辐射事故应急

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

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

(七) 项目环境保护验收内容建议

本建设项目环境保护验收主要内容列于表 12-4 中。

表 12-4 项目竣工环境保护验收内容一览表

验收内容	验收要求
剂量管理约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 5 mSv/a。设备正常运行时，加速器和 DSA 机房周围（含墙体、防护门、观察窗）的剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	在加速器机房防护门显著位置设置电离辐射警告标识，并设工作状态指示灯。 在 DSA 机房 5 个防护门上均设置电离辐射警告标识，在患者防护门、污物间防护门上方设置“射线有害 灯亮勿入”的警示灯。
布局 and 屏蔽设计	辐射工作场所实行分区管理。辐射工作场所及其配套用房的建设和布局与环评报告表的描述一致。屏蔽墙的屏蔽能力满足辐射防护的要求。

辐射安全设施	<p>DSA 机房配备患者和医护人员使用的个人防护用品。DSA 机房配置铅玻璃防护帘、床侧防护帘各 1 件。DSA 机房设观察窗和对讲装置。</p> <p>加速器机房设置门控按钮、急停按钮、门机联锁系统、闭路监视系统、对讲系统、固定式剂量监测系统。</p>
辐射监测	<p>有满足管理要求的辐射监测方案，监测记录存档；为所有辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。依据表 12-2 配备辐射监测仪器。</p>
规章制度	<p>建立相应辐射安全与防护管理制度，《辐射安全管理体系和岗位职责》《操作规程》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检修维护制度》《辐射工作人员管理制度》《台帐管理制度》《辐射工作场所及环境监测方案》《放射诊疗设备质量保证与控制制度》《放射性废物管理制度》等。</p>
辐射工作人员	<p>顺义院区放疗科配置医生 4 名、物理师 2 名、技师 3 名和护士 1 名。每台 DSA 设备配备至少 8 名辐射工作人员（2 名医生、1 名技师和 1 名护士）。新增的辐射工作人员，将在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。</p>
应急预案	<p>医院建立有应急预案。</p>

表 13 结论与建议

13.1 结论

1) 核技术应用现状：北京友谊医院现持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[D0019]）。许可使用 V 类放射源，乙级、丙级非密封放射性工作场所，使用 II 类、III 类射线装置。有效期至 2025 年 9 月 20 日。

2) 实践正当性：为打造首都东北部区域医疗中心和区域国际医疗中心，填补顺义地区优质医疗资源缺乏的空白，同时承担首都国际机场应急医疗任务，北京友谊医院新建顺义院区。因诊疗工作需要，医院拟在医疗综合体内使用 1 台加速器和 6 台 DSA 设备。本项目属于医疗常规核技术利用项目，具有良好的社会效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合实践正当性原则。

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

4) 辐射屏蔽能力分析：加速器机房和 DSA 机房屏蔽设计符合辐射防护要求，预计场所周围的剂量率水平低于本项目设定的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求，工作人员和公众受照剂量分别满足 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的剂量约束要求。

5) 本项目采取了必要的辐射安全与防护措施，如实行分区管理，在射线装置机房门口等主要位置设置明显的电离辐射警告标志和工作信号指示。DSA 机房配备患者和医护人员使用的个人防护用品。DSA 机房配置铅玻璃防护帘、床侧防护帘各 1 件。DSA 机房设观察窗和对讲装置等。加速器机房设置门控按钮、急停按钮、门机联锁系统、闭路监视系统、对讲系统、固定式剂量监测系统等，可以防止设备误操作、避免工作人员和公众受到意外照射。

6) 辐射安全管理：医院后期将顺义院区核技术利用项目的辐射安全与防护管理工作纳入北京友谊医院辐射安全防护管理机体系，将建立健全医院的辐射工作相关操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、设备检维修制度和辐射事故应急预案，符合许可管理相关要求。

7) 医院将按照射线装置的投入数量而配置必要的辐射工作人员。放疗科配置医生 3 名、物理师 2 名、技师 2 名和护士 1 名。每台 DSA 设备配备至少 8 名辐射工作人员（4 名医生、2 名技师和 2 名护士）。全部辐射工作人员在通过辐射安全与防护考核后持证上岗。医院将为上述场所配置固定式、便携式剂量率仪，可以满足自行监测的工作需要。

8) 与生态环境部发布的《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》提出的具体要求进行对照评估，环评报告中描述的辐射安全和防护措施如果得到落实，能够满足运行的要求。

综上所述，首都医科大学附属北京友谊医院顺义院区因诊疗工作需要，使用Ⅱ类射线装置，开展放疗治疗和介入治疗手术，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，该建设项目是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，医院承诺：

- 1) 在项目运行过程中，严格依照操作规程操作设备，不弄虚作假、违规操作。
- 2) 不断加强全院的辐射安全管理工作，进一步完善辐射安全管理规章制度，落实辐射安全管理责任。
- 3) 严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所进行监测，并将监测记录保存留档。
- 4) 加强辐射工作人员管理，新增辐射工作人员通过辐射安全与防护考核后，持证上岗。
- 5) 及时办理辐射安全许可手续。在项目建设投入运行后，及时自行组织竣工环境保护验收，运行过程中，并接受生态环境管理部门的监督检查。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日