

核技术利用建设项目
保健中心工程放射类设备
环境影响报告表

建设单位：北京大学第一医院 (公章)

2018年1月

核技术利用建设项目
保健中心工程放射类设备
环境影响报告表

建设单位名称：北京大学第一医院

建设单位法人代表（签名或签章）：刘新民

通讯地址：北京西城区西什库大街 8 号

邮政编码：100034

联系人：王程伟

电子邮箱：421975363@qq.com

联系电话：010-66551011

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	8
表 3 非密封放射性物质	8
表 4 射线装置	14
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	10
表 6 评价依据	11
表 7 保护目标与评价标准	13
表 8 环境质量和辐射现状	19
表 9 项目工程分析与源项	18
表 10 辐射安全与防护	25
表 11 环境影响分析	25
表 12 辐射安全管理	59
表 13 结论与建议	49

附图 1 医院所在地理位置示意图

附图 2 医院二部平面布局示意图及环境辐射水平测点位示意图

附图 3 保健中心地下三层放疗工作区平面布局示意图

附图 4 加速器机房平面和剖面布局示意图

附图 5 后装机机房平面和剖面布局示意图

附图 6 DSA 机房平面布局示意图

附件 1: 《辐射安全许可证》正副本复印件

附件 2: 医院放射防护管理机构、分工及实施细则

附件 3: 已通过环保培训辐射工作人员名单

附件 4: 辐射工作人员个人剂量监测结果

附件 5: 保健中心工程环评批复

附件 6: 建设项目规划许可证

表 1 项目基本情况

建设项目名称		保健中心工程放射类设备			
建设单位		北京大学第一医院			
法人代表	刘新民	联系人	王程伟	联系电话	010-66551011
注册地址		北京西城区西什库大街 8 号			
项目建设地点		北京西城区西什库大街 8 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	18900	项目环保投资(万元)	600	投资比例(环保投资/总投资)	3.2%
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)	700
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 checked="" 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. 项目概述				
1.1 医院概况					
<p>北京大学第一医院（以下简称“北大第一医院”）是一所融医疗、教学、科研、预防为一体的大型综合性医院，创建于 1915 年，为国内首批建立的临床医学院。1991 年设立妇儿医院，为卫生部、世界卫生组织（WHO）审定的三级甲等医院和爱婴医院。全院共有 51 个病房，1500 余张病床，设有 29 个临床科室和 12 个医疗技术科室，拥有代表当代医学水平的高、精、尖设备 6678 台（件）。日均门急诊量 7000 人次，年收治病人 45000 余人，手术近 2 万例。医院承担 50 万人的职工基本医疗保险任务，62105 人的公费医疗合同；承担医疗照顾合同 8620 人，及占北京八分之一的干部保健任务。</p>					

医院还有多专业、多层次、高质量的 100 多个特需门诊和 400 多个专家门诊及 103 个专业门诊。医院学科齐全，综合诊疗水平高，尤其对肾脏内科、心血管内科、泌尿外科及男科、外科、神经内科、妇产科、小儿科、皮肤性病科等各类常见病、多发病、疑难重症的救治均具有丰富的经验。

医学科学研究设有 6 个研究所，10 个研究中心，1 个部级重点实验室、14 个研究室、5 个实验室、6 个科研辅助科室，1 个国家药品临床研究基地 12 个专业。医学教育实行本科生、研究生、进修生三条教育轨道。研究生教育设有 4 个国家级重点学科，18 个博士点，24 个硕士点，1 个临床博士后流动站。医院还设有专门的预防保健机构，负责传染病防治、计划免疫、妇幼保健、定期体检、卫生宣教等工作。

1.2 核技术应用情况

北京大学第一医院从事放射性工作的场所已有 5 处：

(1) 北京大学第一医院门诊部，位于北京西城区西什库大街 8 号。

(2) 北京大学第一医院妇儿门诊部，俗称“北大第一医院一部”，位于北京市西城区西安门大街 1 号。

(3) 北京大学第一医院第二住院部，俗称“北大第一医院二部”，位于北京市西城区西什库大街 7 号院。

(4) 北京大学第一医院肿瘤诊疗中心，俗称“北大第一医院三部”，位于北京市东城区安定门内大街车辇店 15 号。

(5) 北京大学第一医院男科中心，简称“男科中心”，位于北京市地安门西大街 57 号院。

北大第一医院现持有《辐射安全许可证》（京环辐证[B0044]，发证日期为 2017 年 8 月 7 日，有效期至 2022 年 8 月 6 日，见附件 1 所示），许可使用 IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，丙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-1 已许可使用的非密封放射性物质

使用场所	场所等级	同位素名称	批准的日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
二部核医学科	乙级	Tc-99m	1.85E+8	4.63E+12
		F-18	1.48E+7	3.7E+11
		Sr-89	3.55E+6	8.88E+9
		I-131	2.22E+7	5.55E+10
		I-125	2.52E+5	6.3E+8
		Sm-153	7.12E+6	1.78E+10
		P-32	1.45E+6	3.626E+9
		Ga-67	3.55E+6	8.88E+9

		H-3	4.40E+3	1.10E+8
二部中心 手术室	丙级	I-125	1.85E+7	1.85E+7 Bq /粒×4000 粒
		Pd-103	1.85E+7	1.85E+7 Bq /粒×4000 粒

表 1-2 已许可使用的密封源（共 18 枚）

使用场所	同位素名称	类别	活度*枚数	活动种类
二部核医学科	Am-241	V	3.7E+7Bq*1	使用
	Cs-137	V	9.99E+6Bq*1	使用
	Cs-137	V	3.7E+6Bq*1	使用
	Cs-137	V	1.11E+6Bq*1	使用
	Cs-137	IV	1.11E+9Bq*2	使用
	Ge-68	V	1.11E+8Bq*1	使用
	Gd-153	V	9.25E+9Bq*2	使用
	Cs-137	V	3.7E+8Bq*1	使用
	Na-22	V	3.7E+5Bq*6	使用
	Na-22	V	3.7E+6Bq*2	使用

表 1-3 已许可使用的射线装置（共 36 台，Ⅱ类 6 台，Ⅲ类 30 台）

装置名称	类别	数量	使用场所
血管造影机	Ⅱ	4	二部内科病房楼导管室、二部心内科导管室、二部介入血管外科
电子直线加速器	Ⅱ	2	二部放疗科
乳腺机	Ⅲ	1	新门诊楼医学影像科
普通 X 线机	Ⅲ	8	一部医学影像科、新门诊楼医学影像科、门诊部医学影像科发热门诊、二部医学影像科、三部医学影像科、男科中心影像室
骨密度仪	Ⅲ	2	新门诊楼骨密度室、男科中心骨密度室
胃肠机	Ⅲ	3	三部医学影像科、一部医学影像科、新门诊楼医学影像科
移动 X 线机	Ⅲ	5	二部医学影像科、新门诊部医学影像科、三部医学影像科
CT	Ⅲ	3	三部医学影像科、二部医学影像科、新门诊楼医学影像科
PET/CT	Ⅲ	1	二部核医学科
模拟定位机	Ⅲ	2	二部放疗科
CT 模拟定位机	Ⅲ	1	二部放疗科
其它（牙片机、碎石机、膀胱经机、胆道造影机）	Ⅲ	4	新门诊楼膀胱镜室、门诊部口腔科影像室、二部碎石室

1.3 医院近几年履行环保审批手续情况

医院自 2009 年以来，共开展了 10 个核技术利用项目，均履行了环保审批手续。其中，满足验收条件的 9 个项目已完成了环保竣工验收，见表 1-4 所示。未完成验收的项目，拟自行组织竣工环保验收。

表 1-4 近几年履行环保审批手续情况一览表

编号	项目名称	环保审批	竣工环保验收
1	核医学科技术改造项目	京环审[2009]379号	京环验[2012]252号
2	放射性同位素使用场所的退役	京环审[2009]1237号	/
3	使用数字减影血管造影机项目	京环审[2009]1296号	京环验[2012]279号
4	新增医用 X 射线装置项目	京环审[2010]599号	京环验[2014]190号
5	新增医用射线装置项目	京环审[2011]96号	京环验[2014]122号
6	新建 PET/CT 工作场所和新增医用 X 射线装置项目	京环审[2013]47号	“新建 PET/CT 工作场所项目”未实施，其余内容通过验收 京环验[2014]190号
7	更新医用电子直线加速器和新增Ⅲ类射线装置	京环审[2015]066号	京环验[2016]200号
8	新建核医学科工作场所及使用医用 X 射线机	京环审[2015]0101号	京环验[2017]66号
9	二部核医学科工作场所退役	京环审[2015]0292号	京环验[2015]0289号
10	新增使用一台 DSA 装置	京环审[2016]0038号	拟自行验收

1.4 放射性废物和放射性废液处理情况

1.5 辐射安全管理情况

(一) 辐射安全管理机构：为了保证密封源、非密封性放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，北大第一医院设立了放射防护管理委员会，由医疗行政管理人员及临床科室等部门的专家组成。设主任委员 1 名，由院长担任，副主任委员 3 名，由医疗主管院长、纪委书记、工会主席担任。委员分为领导小组和日常工作小组。领导小组由主任委员、副主任委员、医务处和保卫处负责人组成；日常工作小组由医务处、保卫处、总务处、工程办公室、教育处、设备处、工会、医学影像科、放射治疗科、核医学科、心血管科、介入血管外科、骨科、口腔科、泌尿外科等部门人员组成。

委员会为医院放射防护的最高管理组织，医院院长为第一责任人，常设机构为医务处，日常放射防护管理工作由医务处负责。医院领导小组职责、工作小组职责、委员会人员名单、放射防护管理工作分工及实施细则、应急报告流程等见附件 2 所示。

(二) 辐射防护规章制度：制定有较为齐全、比较严格的辐射防护规章制度和放射性事故应急预案，制定有《操作规程》、《人员培训计划》、《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》、《放射性废物管理制度》等规章制度，以及《辐射事故应急预案》。各项规章制度已得到落实。

(三) 密封源的安全管理：一些密封源保存在保险柜内，实行双人双锁管理；另一些密封源存储在含源设备内的贮源容器中。为了减少密封源丢失所致的潜在危险，已建立密封源台帐，对放射源的数量和活度等数据，有详细登记，建立专门档案，并定期盘查，严防丢失。

(四) 非密封性放射性同位素的安全管理：医院核医学科等使用非密封性放射性同位素的科室，均制定有严格的放射性药品管理制度。放射性药品的订购由放药专业人员负责；放射性药品管理由专人负责；放射性药品的交接在摄像头监控下，施行“点对点”的交接手续；放射性药品使用由专业人员监督，由指定人员进行。对放射性药品的采购、登记、使用、核对、保管和注销，药品的配制、质控和记录，以及放射性废物的处理，都作了明文规定。各项规定已在工作中得到落实。

(五) 放射性废物的安全管理：(1) 当密封源进行退役处理时，将 IV 类和 V 类报废密封源送至城市放射性废物库；(2) 放射性废物分类收集于专用铅制放射性固体废物箱内，待收集满后由废物桶内取出，标明日期转移至放射性废物暂存库内暂存。依照《北京市医疗机构核医学放射性废物清洁解控管理办法（试行）》，符合清洁解控水平的废物做为医疗废物处置。目前，北大第一医院产生放射性“三废”的场所主要是二部核医学科。

(六) 放射工作人员培训：制定有放射性工作人员培训计划。医院已于 2015 年 11 月委托环保部门推荐的培训机构（中国原子能科学研究院），对所有放射工作人员(共计 212 人) 进行了“辐射安全和防护工作人员”培训，并通过了考核。参加环保培训的辐射工作人员具体情况见附件 3 所示。

(七) 监测计划

(1) 个人剂量监测：所有从事放射性工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，按每季度 1 次的频度，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2002）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案。

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。

目前，北大第一医院的个人剂量检测委托北京市疾病预防控制中心放射防护所进行，个人剂量档案齐全。根据医院提供的 2016 年度放疗科辐射工作人员个人剂量监测结果(见附件 4)，共计 193 开展个人剂量检测，年受照剂量大于 2mSv 的 1 人(2.06mSv)，年受照剂量介于 1-2mSv 之间的 1 人(1.02mSv)，其余人员均低于 1mSv，多数人为

0.144mSv, 表明医院辐射防护和安全管理措施是可行的。

(2) 工作场所和环境辐射水平监测

1) 工作场所射水平监测: 根据环保部 18 令的要求, 每年委托有资质单位对射线装置和非密封放射性物质工作场所进行 1 次场所辐射水平监测。对于有射线装置工作场所, 主要包括机房四周(四周墙体、防护门和观察窗等)和楼上楼下相应场所、以及控制室等; 对于非密封放射性物质工作场所, 主要包括 SPECT、SPECT/CT 和 PET/CT 等装置机房、注射室和病人候诊室等四周和其楼上楼下相应场所, 以及控制室等场所。监测数据记录存档。

2) 环境辐射水平监测: 根据环保部 18 令的要求, 每年委托有资质单位对辐射工作场所的周围环境, 进行 1 次辐射水平监测, 监测数据记录存档。

工作场所和环境辐射水平监测工作由北大第一医院辐射安全管理委员会组织实施, 目前委托北京市疾病预防控制中心放射防护所进行, 每年 1 次, 监测报告齐全。

本项目运行后, 加速器、后装机和 DSA 机房周围场所的辐射水平监测工作, 将纳入医院放射工作场所的监测范围, 一并按照 1 次/a 的频度开展。

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

(八) 辐射应急措施

医院已取得北京市环保局颁发的辐射安全许可证(京环辐证[B0044]), 许可使用 IV 类、V 类放射源, 使用 II 类、III 类射线装置, 乙级非密封放射性物质工作场所, 丙级非密封放射性物质工作场所。医院已针对上述许可使用中可能发生的事故/事件, 制定了相应的《辐射事故应急预案》。

1.6 本项目概况

1.6.1 项目背景

国家发改委于 2012 年就保健中心工程项目建议书做出批复, 批复原则同意医院拆除其第二住院部院区西南侧部分房屋建设保健中心工程, 核定项目总建筑面积 60026 平方米, 项目总投资 67142 万元。保健中心工程项目环境影响报告书于 2013 年 9 月取得了北京市环保局同意建设的批复(京环审(2013)226 号, 见附件 5)。

保健中心工程项目位于西城区西什库大街 15 号（北京大学第一医院第二住院部）院区的西南侧，地下三层，地上六层，高度 24 米。该院区西临西黄城根北街，南临大红罗厂街，东临西什库大街，北侧为全国人大用地。该项目的规划许可证见附件 6 所示。项目地理位置见附图 1 所示。

1.6.2 本项目性质和评价内容

医院规划在新建的保健中心大楼负三层放疗科新增 1 台医用电子直线加速器和 1 台后装治疗机，在保健中心大楼二层手术部新增 2 台 DSA 和 1 台术中 CT，在其他楼层新增 2 台 CT、3 台 DR、1 台骨密度仪、1 台膀胱镜机和 1 台牙片机。

本项目为保健中心放射设备环评项目，项目性质为新建。

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，北大第一医院委托北京万澈环境科学与工程技术有限公司开展“保健中心工程放射类设备”项目的环境影响评价工作。评价单位在现场查看、调查、收集资料以及现场监测的基础上，编制了本建设项目的辐射环境影响报告表。

本报告表评价内容仅包括地下三层放疗科的 1 台直线加速器、1 台后装治疗机和二层手术部的 2 台 DSA，其余 III 类射线装置单独填报环境影响登记表。

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	3.7E+11Bq/ 3.7E+11Bq*1	III	使用	放射治疗	保健中心大楼 负三层放疗科 后装机机房	后装机治疗设备内部	

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	型号待定	电子	6/15MV (X 线) ; 4、6、9、12、15、 18、22MeV (电子 束)	0.01 mA/ 600cGyGy/min (X 线)	放射治疗	保健中心大楼负三 层放疗科加速器机 房	

(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	介入治疗	保健中心大楼 二层手术部 DSA机房	
2	血管造影机	II	1	待定	125	1250	介入治疗	保健中心大楼 二层手术部杂 交手术室	

(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
有害气体 O ₃ 等	气体				<10g	<0.01 mg/m ³	直接排放	经通风系统直接排入环境大气
Ir-192 废源	固体密封源	Ir-192			约每年更换一次		不暂存	返回生产厂家

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

<p>法规文件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日实施； 2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施； 3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2016 年 7 月修订； 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，2014 年 7 月修订； 5. 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日实施； 6. 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； 7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年； 8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环保部令第 44 号，2017 年； 9. 《关于发布射线装置分类》的公告，环境保护部 国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号； 10. 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年； 11. 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号； 12. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，环保部，2012 年 3 月。
<p>技术标准</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； 2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； 3. 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)； 4. 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)； 5. 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016)； 6. 《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)； 7. 《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)； 8. 《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； 9. 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)； 10. 《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)；

	11. 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012); 《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ 121-2002)。
其他	1. 北京大学第一医院环境影响评价咨询协议书; 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料; 3. NCRP REPORT NO.151“Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities”(2005 年)。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《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》(HJ/T10.1-2016)要求,确定该项目辐射环境影响评价的范围:将电子直线加速器、后装机和 DSA 机房实体边界外围 50m 的区域作为评价范围。

7.2 评价因子

本项目主要评价因子为 X 射线、 γ 射线、中子、活化成分、放射性“三废”, O_3

7.3 评价目的

- 1、对建设项目环境辐射现状进行调查及辐射环境现状监测;
- 2、评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响;
- 3、评价辐射防护措施效果,提出减少辐射危害的措施,为环境保护行政主管部门管理提供依据;
- 4、通过项目辐射环境影响评价,为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持;
- 5、对不利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、为医院的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.4 评价原则

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

7.5 保护目标

本项目涉及的加速器机房和后装机机房位于保健中心大楼负三层放疗科,该场所顶部为车库和配电机房,地坪下面为土层。

直线加速器机房设置于负三层西南角,其东侧为排烟机房,南侧为土层,西侧为加速器控制室,北侧为加速器辅助机房和病人等候区,顶部为负一层的放射科机房。

后装机房位于加速器机房北侧,机房东侧隔过道为病人候诊和更衣区,南侧为加速器的患者等候区,北侧为后装机控制室,西侧和地坪下方为实土层,顶部负二层为淋浴间。

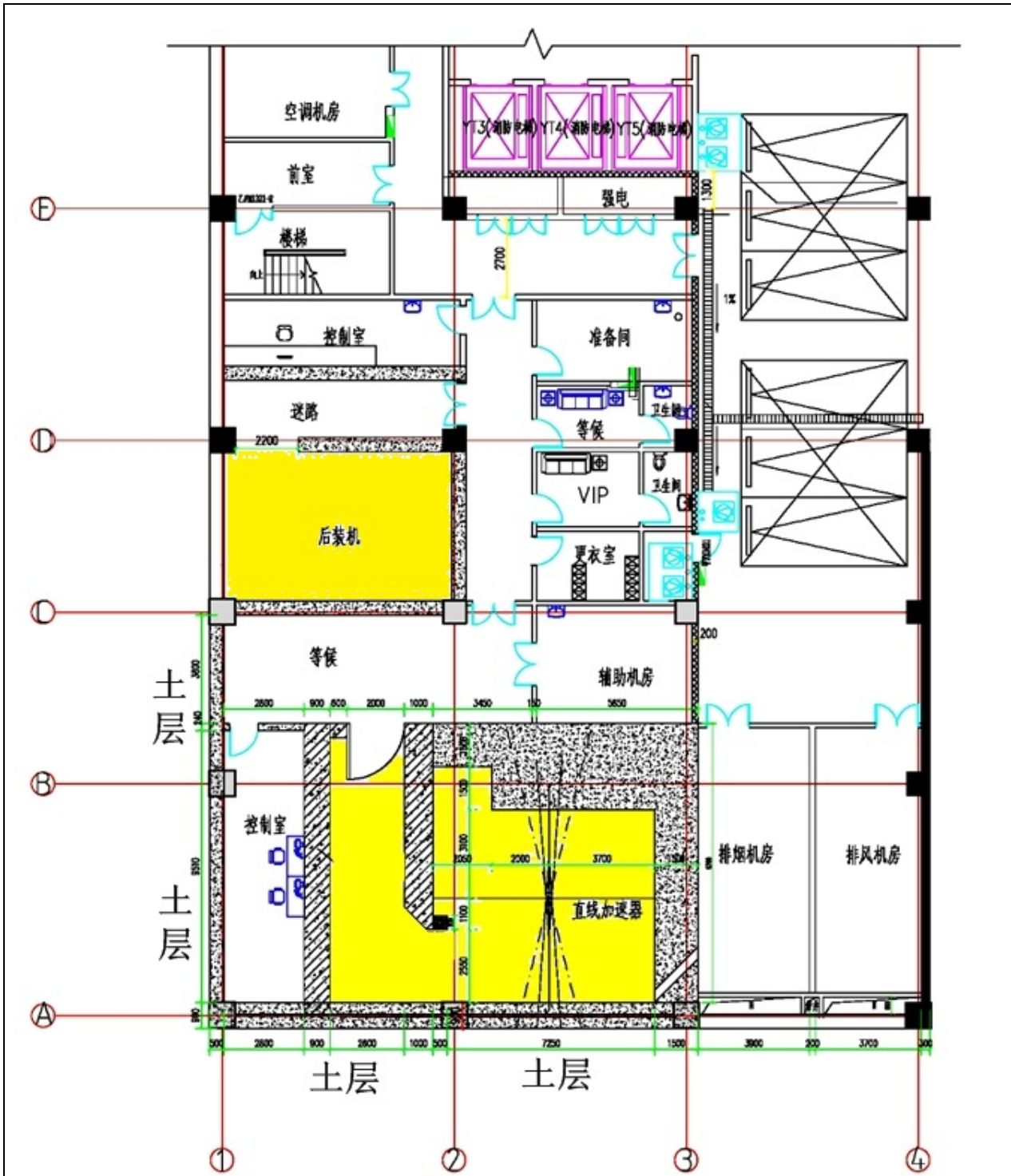


图 7-1 保健中心地下三层放疗科平面布局示意图

2 间 DSA 机房位于保健中心大楼二层手术部, 1 间为杂交手术室, 另 1 间为介入治疗 DSA 室。介入治疗 DSA 室和杂交手术室南北排列, 2 间机房中间为控制室。机房东侧为污物走廊, 南侧为值班室, 西侧为手术洁净走廊, 北侧为其它手术室, 顶部为病房, 楼下为门诊大厅。

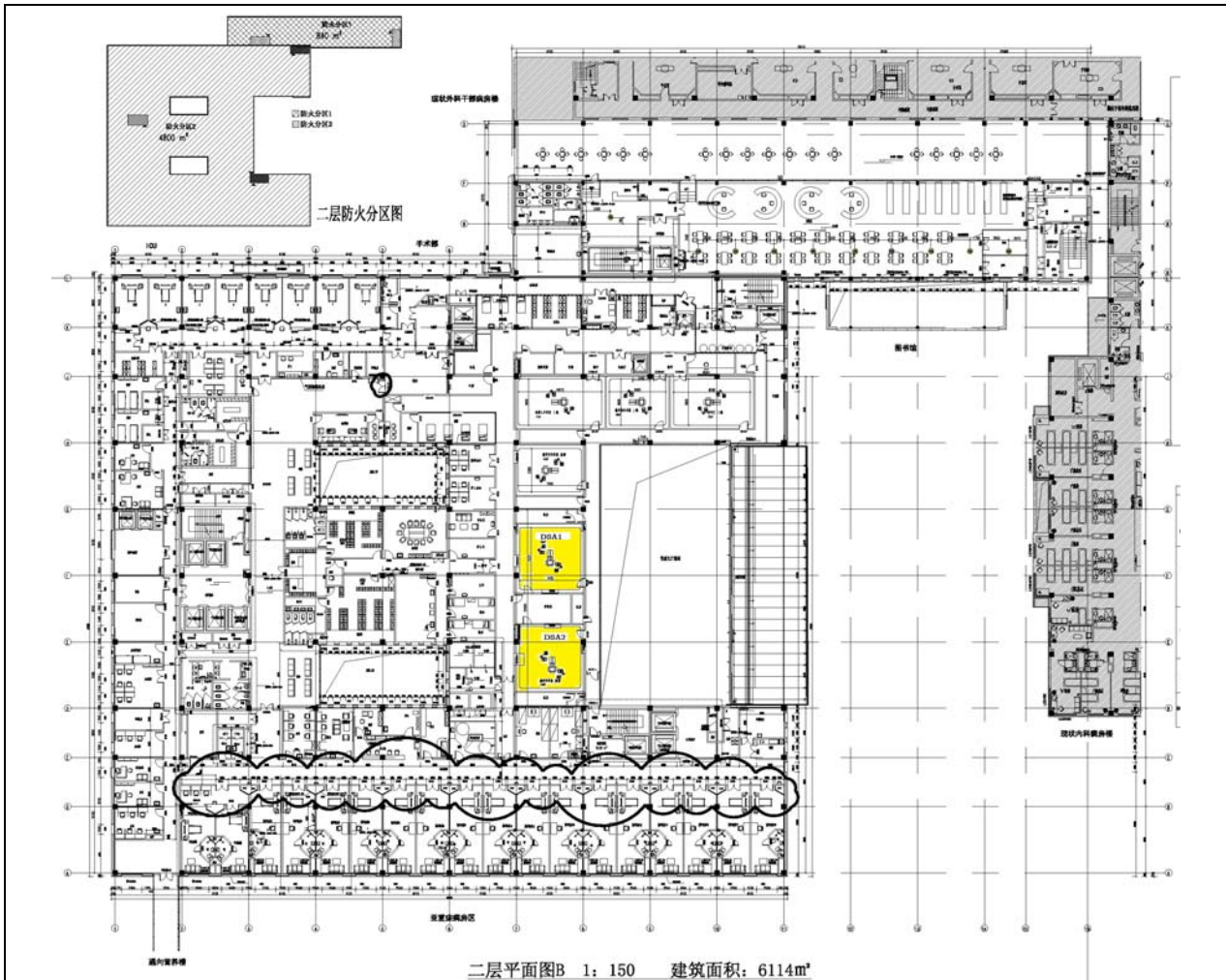


图 7-2 保健中心二层（DSA 所在楼层）平面布局示意图

本项目的环境目标主要是放射性工作场所的职业人员以及周围公众,50m 范围内的保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目放射设备机房周围 50m 范围内的保护目标

	保护目标	方位	距离(m)	常居留人数
电子直线加速器机房	排风机房	东侧	0-10	/
	库房、空压机房	东侧	10-50	/
	患者等候区, 辅助机房	北侧	紧邻	/
	后装机机房、候诊区、控制室、消防梯、空调机房等	北侧	5-50m	5
后装机机房	保护目标	方位	距离(m)	人数
	机械停车场	东侧	0-50	3
	加速器机房控制室、辅助机房、加速器机房	南侧	0-15	5
	土层	西侧	紧邻	/
	控制室、准备间、空调机房、消防梯、停车场等	北侧	0-50	5

DSA 机房	保护目标	方位	距离(m)	人数
	天井	东侧	0-25	/
	值班室、监护病房	南侧	0-20	6
	强电、弱电、值班室、天井、 办公室	西侧	0-20	6
	手术室等医疗用房	北侧	0-50	20

7.6 评价标准

7.6.1 剂量限值和剂量约束值

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

(1) 剂量限值

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv，特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。
眼晶体的当量剂量 150mSv/a；四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a。	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a。

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

(2) 剂量约束值

综合考虑医院放射性同位素和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) 本项目对放疗工作人员的年受照剂量约束值取 2mSv；开展介入治疗工作人员的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。

7.6.2 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 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)，建议本项目的剂量率控制水平如下：

本评价报告对所有放射设备机房（加速器、后装治疗机、DSA）实体屏蔽外(包括防护门)30cm 处的剂量率，均采用 2.5 μ Sv/h 为剂量率控制水平。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

评价期间，评价单位在 2017 年 12 月 7 日（天气晴）对本项目的辐射工作场所周围环境进行了本底监测，监测内容为 γ 剂量率。监测设备为国产 JW3104 型 X- γ 剂量率仪(经中国计量科学研究院检定)，在距地面 1m 高度进行 γ 辐射剂量率水平测量，其性能参数见表 8-1。

监测方法：使用便携式检测设备直接测量。评价区 γ 辐射水平监测点位置见附图 2 和附图 3，监测结果见表 8-2。

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

检测设备	性能指标
青岛 JW3104 型微机 X- γ 剂量率仪	1. 测量范围：0~10 ⁵ ($\times 10^{-8}$ Gy·h ⁻¹)； 2. 能量响应：25KeV~3.0MeV，指示值变化 $\leq 15\%$ ； 3. 稳定性：正常使用条件下连续工作 8h，指示值变化 $\leq 5\%$ ； 4. 测量误差： $\leq \pm 10\%$ ； 5. 温度特性：-10℃~40℃，指示值变化： $\leq \pm 20\%$ 。

表 8-2 北大第一医院二部室外环境 γ 射线剂量率监测结果

编号	地点	γ 辐射剂量 ($\times 10^{-8}$ Gy/h)
①	保健中心南侧空地	9.27 \pm 0.53
②	保健中心与内科病房楼之间空地	9.91 \pm 0.70
③	保健中心北侧花园空地	9.46 \pm 0.56
④	保健中心西侧空地	9.50 \pm 0.62
⑤	干部外科病房楼东侧	8.69 \pm 0.49
⑥	干部外科病房楼东北角	9.67 \pm 0.58
⑦	干部外科病房楼北侧	9.35 \pm 0.42
⑧	干部外科病房楼东南角	9.19 \pm 0.50

监测结果表明：各测点 γ 辐射剂量率为 $8.69 \times 10^{-8} \sim 9.91 \times 10^{-8}$ Gy/h，与北京市环境 γ 辐射剂量率结果比较，属于正常本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 医用电子直线加速器

(1) 工作原理

电子加速器核心部分的结构如图 9-1 所示。高压电源装置通过对三相线电压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，产生一个 $42\mu\text{s}$ 、频率约为 2998 MHz 的微波脉冲；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。

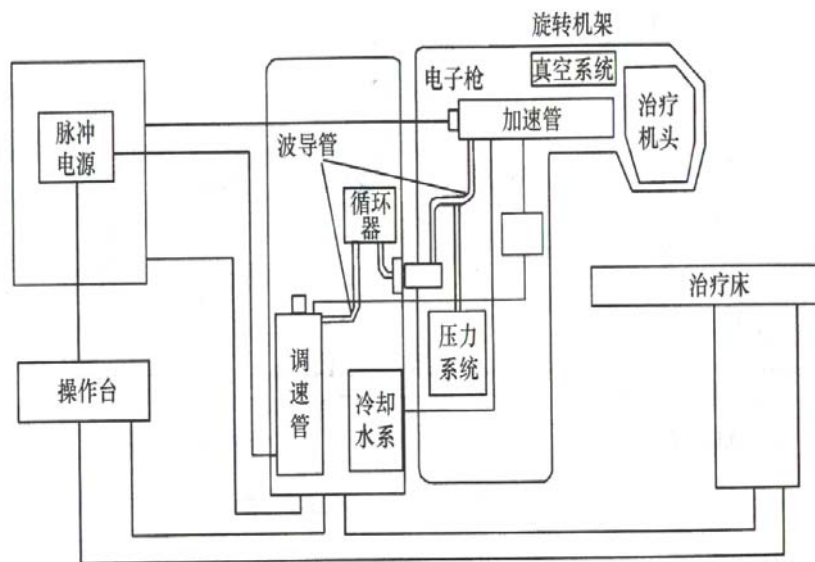
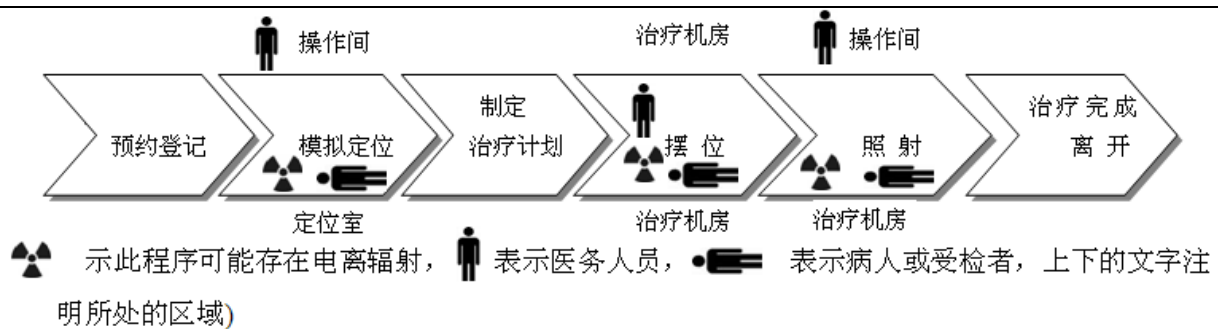


图 9-1 电子直线加速器结构示意图

(2) 治疗流程



建设单位提供的工作量为每天最多治疗 50 人/台，每周工作 5d，每年工作 50 周。其中常规放射治疗量约占 2/5，调强放射治疗量约占 3/5。常规放射治疗患者治疗照射出束时间平均为 1.5min，调强放射治疗患者治疗照射出束时间平均为 3min，总的周治疗出束时间约为 10h，年治疗出束时间为 500h。

(3) 污染源项描述

表 9-1 电子直线加速器性能参数

项目	设备名称及型号
X 射线	a) X 射线能量 6MV/15MV; b) 最大剂量率 600 cGy/min c) 最大射野尺寸 40×40cm (SSD=100cm) d) 射野泄露率 X 线: ≤0.1% e) 中子污染 (18MV) ≤0.02%
电子线	电子线能量 4~22MeV 7 档电子治疗束; 电子线: 4、6、9、12、15、18、22MeV。

电子直线加速器运行时电子轰击靶物质生产韧致辐射 (X 射线)。本项目加速器最大输出 X 射线辐射剂量率为 600cGy/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。

根据《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) 和《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)，X 射线能量大于 10MV 的加速器，需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线。

当高于 10MV 工况运行时，钨靶发生光致反应 (γ -n)，能够产生一定量的中子。中子俘获还可产生 γ 射线。中子照射加速器的结构材料、冷却水以及加速器机房的空气，产生感生放射性。感生放射性辐射水平取决于加速器粒子的能量、种类、流强和靶材料的性质以及加速器运行时间等。加速器部件活化所产生的感生放射性造成的周围剂量当量率不超过 200 μ Sv/h (距设备表面 5cm) 和 20 μ Sv/h (距设备表面 100cm)。

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、中子和 γ 射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境。工作人员在机房内停留时吸入空气中的活化气体，并可能受到设备运行时产生的感生放射性的照射。

9.2.2 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) 钨靶发生光核 (γ -n) 反应，能够产生一定量的中子。中子俘获还可产生 γ 射线。中子照射加速器的部件、冷却水以及加速器机房的空气，产生感生放射性核素。感生放射性核素放出 β 射线和 γ 射线。感生放射性辐射水平取决于加速器粒子的能量、种类、流强和靶材料的性质以及加速器运行时间等。

(3) 可能产生的固废有更换下来的废靶、退役时拆卸下来的废靶。

(4) 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。

9.2.3 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操作失误，使得人员受到误照。

(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。

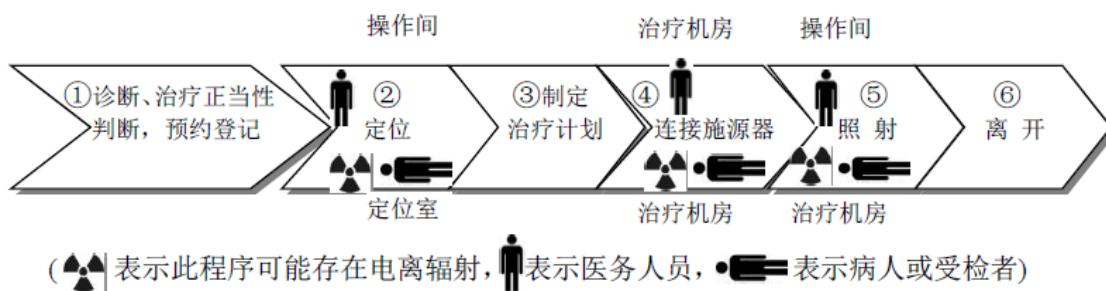
(3) 机房门机联锁装置故障，人员误入机房受到照射。

9.1.2 后装治疗机

(1) 工作原理

后装机采用后装技术依照临床要求使 γ 放射源在人体自然腔管道或组织间驻留，从而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。后装机由施源器、贮源系统、源传输系统以及控制系统组成。施源器是个直径为毫米级的管状物，管内可装球形的真源和假源，并有气动通道。后装机治疗时则由传输管道连接贮源器，将源输送到预置于病员体内的施源器，按治疗计划由电脑自动控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到贮源器内。该项目拟配置的放射源是 ^{192}Ir 丝状源，最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)。

(2) 治疗流程



① 病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

② 预约病人首先通过CT、超声等设备上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于X射线影像诊断，工作人员隔室操作。

③ 确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

④ 治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

⑤ 安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥ 照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

后装机预计最大工作量情况：治疗人数平均每周30人，全年为1500人次。装源活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 时每人治疗照射6min，周治疗照射时间约为3h，年累积治疗照射时间约150h。

(3) 污染源项描述

1. 主要的放射性污染物

后装治疗是一种近距离治疗方式，该项目拟使用的核素是 ^{192}Ir 。最大装源活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。 ^{192}Ir 的半衰期为 74.02d， γ 射线能量为 0.317 MeV (83%)、0.468MeV (48%) 和 0.604meV (8%)，距离源 1m 处 γ 射线辐射剂量率为 $0.111 \mu \text{Sv}/\text{MBq} \cdot \text{h}$ 。

设备辐射剂量输出量：距源 1m 处的最大吸收剂量率 $0.069 \text{cGy}/\text{min}$ ；标准要求储源器最大装载活度时，距储源器表面 5cm 吸收剂量率不得大于 $100 \mu \text{Sv}/\text{h}$ ，距离储源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射不得大于 $10 \mu \text{Sv}/\text{h}$ 。

2. 正常工况的污染途径

正常运行时，后装机不产生放射性“三废”，主要环境影响是电离辐射和退役放射源。

在非治疗状态下， ^{192}Ir 源封装在后装机的储源器内，容器周围辐射水平较低，对周围环境影响很小。治疗状态下， ^{192}Ir 离开储源器，按裸源考虑，机房内空气比释动能率较高，漏射 γ 射线对治疗室周围环境将产生辐射影响。密封源退役时会产生的废放射源。

3. 非正常情况的污染途径

1) 后装机操作系统发生故障，到达预置治疗时间，放射源无法自动收回，导致患者受超剂量照射；

2) 运行情况下意外断电，且设备不间断电源系统故障无法启动，致放射源不能复位。该事故工况发生时，依照应急预案，人工摇转应急回源手柄退源。

3) 运行过程中发生卡源或源脱落故障。该事故工况发生时，依照应急预案，立即停止辐照工作，人工摇转应急回源手柄退源，或进入辐射场排除故障。之后及时通知厂家维修。

4) 因设备检修或更换放射源期间，将密封源贮源器拆卸下来，由于保管不善，可能会发生密封源丢失或被盗事故，可能产生较严重的辐射照射。

5) 在安全连锁系统出现故障时，治疗期间人员意外进入治疗室并停留，将受到过量照射的情况。

6) 放射源意外破损时，导致治疗装置、机房甚至人员受到放射性污染。

9.1.3 血管造影机

(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。目前主要有两种诊断方法：即透视和摄影。

数字血管造影（DSA）是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 主要采用时间减影法，即将预检部位影象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。显示颈段和颅内动脉清楚，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。

(2) 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；
- ② 病人由专职人员通过受检者防护门接入检查室，由护理人员进行摆位，并做局部消毒处理；
- ③ 医生根据手术性质在透视条件下进行手术，按照手术性质和医生手术水平不同，每台手术累计曝光时间多为几十分钟；
- ④ 手术完成后门诊病人通过受检者防护门自行离开，其余病人由专职人员负责送回病房。

预计最大工作量情况：每台 DSA 每天约完成 8 例手术，每台设备每年最多完成 2000 例手术。

(3) 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 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生产造成辐射影响。

介入手术需借助 X 射线影像检查系统引导下操作，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

加速器机房项目竣工后,应对辐射防护设施进行竣工环保验收,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,加速器方可正式投入运行。如加速器设备参数、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

本项目为新增使用直线加速器,拟采取辐射安全防护措施如下:

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外、屋顶和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$,工作人员和公众的受照剂量满足环评文件提出的剂量约束要求。

2) 将加速器机房及其配套工作场所划分成控制区和监督区:加速器机房为控制区,控制室为监督区。

3) 在加速器防护门外设立放射性警示标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯,并和设备出束关联。

4) 配备了 UPS 自动供电系统。当在治疗过程中发生停电情况,UPS 自动供电系统能使计算机保留病人的治疗记录。

5) 安装有电视监控、对讲系统,在治疗过程中能够观察病人状况,此外,也可以观察治疗室是否有人员滞留。

6) 工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计,并携带个人剂量报警仪。

7) 机房内设置 1 台固定式剂量率监测仪,用于监测机房内的辐射水平并帮助工作人员判断设备的工作状态。

8) 治疗系统采用数字密码或者专用钥匙启动,由专人操作设备。

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

10) 紧急停止按钮:加速器机房设置不少于 7 个紧急停止按钮(在控制台 1 个、治疗床两侧 2 个、加速器机架上 1 个,治疗机房内墙面 2 个和迷路内墙面 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。

11) 门控按钮设置:在防护门外旁侧安装关门按钮,在防护门内侧迷道墙壁上安装

开门按钮，在控制室内设开、关门按钮。

12) 防护门设置防夹人功能，一旦关门过程中有额外的阻力，或感应到有人在防护门旁，电机将自动停止运行。此外，停电时能够采用手动方式迅速打开防护门，使病人安全转移。

13) 设置送风和排风系统（上送下排），以便更好地排出臭氧，通风量满足机房每小时换气不低于4次的要求。

14) 其他要求：治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

加速器联锁和警示系统的设计见图 10-1 所示。

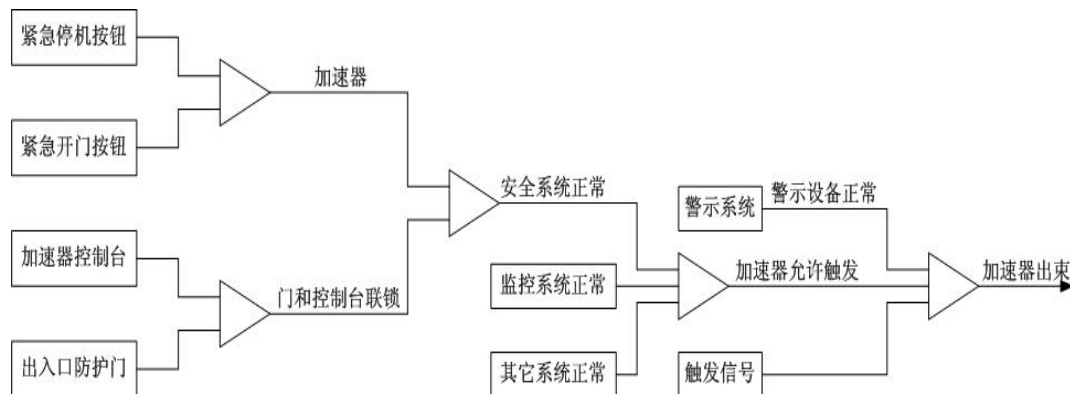


图 10-1 加速器机房联锁系统逻辑图

根据环保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 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	√	钥匙和密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	1 个
3*		电视监控与对讲系统	√	1 套
4*		治疗室门与束流联锁	√	门机联锁
5		治疗室内准备出束音响提示	√	蜂鸣音
6*	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
7*		入口有加速器工作状态显示	√	工作状态指示灯
8	C 照射室 紧急设施	紧急开门按钮	√	迷道门内侧
9		紧急照明或独立通道照明系统	√	应急照明
10*		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁至少设 2 个
11*		治疗床有紧急停机按钮	√	治疗床 2 个，机架上 1 个

12	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量率仪	√	1台, 型号待定
13*		便携式辐射监测仪器仪表	√	1台, 型号待定
14*		个人剂量报警仪	√	1台, 型号待定
15*		个人剂量计	√	每人1个
16	E 其它	治疗室门防夹人装置	√	具有防夹功能和停电手动开启功能
17		通风系统	√	屋顶设风机1台
18		火灾报警仪	√	屋顶火灾报警器
19		灭火器材	√	干粉灭火器

10.1.3 后装机机房拟采取的辐射安全与防护措施

1) 使用专用机房, 机房建筑采取可靠的实体屏蔽, 安装辐射屏蔽门, 采用隔室遥控操作方式。能够保证机房周围墙体外、屋顶和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$, 工作人员和公众的受照剂量满足环评文件提出的剂量约束要求。

2) 分区管理, 将后装机机房划分为控制区, 控制室为监督区。

3) 防护门外粘贴放射性警示标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯, 并和设备出束关联。

4) 设备具有安全防护联锁系统和自动回源检测指示等故障检查和保护系统;

5) 设备具有模拟源(假源), 采用假源探路、真源治疗的双重驱动系统, 假源可自动穿过施用器检查所有联接点并对可能产生打结或过度弯曲的部位报警, 防止因输源通路不畅造成卡源事故;

6) 配备 UPS 自动供电系统。当在治疗过程中发生停电情况, UPS 自动供电能使放射源退回到安全位置, 并留病人的治疗记录。

7) 治疗室采用门机-联锁, 防护门未关好不能出源; 治疗过程中防护门被打开则停止治疗, 放射源退回后装机内屏蔽罐中, 并记录下中断治疗时的数据, 以便恢复治疗;

8) 施用器未插入机头的卡盘内, 不能出源; 施用器未锁紧, 不能出源;

9) 设备机头内有应急回源手柄, 当退源用的电机失灵时, 可人工摇应急回源手柄退源;

10) 治疗室安装固定式剂量仪, 并配备至少 1 台便携式个人剂量报警仪; 工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计, 并携带个人剂量报警仪。

11) 按照北京市《放射性物品库安全防范要求》(DB11/412-2010) 要求, 在治疗室安装视频监控和入侵报警装置, 安装防盗门等安全防范设施。

12) 后装治疗室和控制室之间安装有监视和对讲设备，保证病人安全。屏蔽门入口处设置醒目的工作状态指示灯及电离辐射警告标志，并有中文警示说明。

13) 放射源的更换过程由专门的程序控制，工作人员隔室操作，整个过程放射源对操作人员绝无暴露。

14) 退役的放射源由放射源供方收回。

15) 治疗系统由控制台钥匙或者密码控制；

16) 紧急主控台和贮源器上设置有紧急停止按钮。

17) 防护门设置防夹人功能，一旦关门过程中有额外的阻力，或感应到有人在防护门旁，电机将自动停止运行。此外，停电时能够采用手动方式迅速打开防护门，使病人安全转移。门控按钮设置：在防护门外旁侧安装关门按钮，在防护门内侧迷道墙壁上安装开门按钮，在控制室内设开、关门按钮。

表 10-2 后装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 装置安全 设施	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙和密码
2*		施源器与源连锁	√	
3*		管道遇堵自动回源	√	
4*		仿真源模拟运行	√	
5*		主机外表面电离辐射警示标志	√	
6*		控制台显示放射源位置	√	
7*		控制台紧急停止照射按钮	√	
8*		停电或意外中断照射时自动回源装置	√	
9*		手动回源措施	√	
10*	B 场所安全 设施	治疗室固定辐射水平监测仪	√	标准电离辐射警告标志
11		治疗室有迷道		
12*		治疗室门与出源连锁		
13*		放射源返回储源器的应急开关		
14*		治疗室电视监控对讲装置		
15*		入口处电离辐射警示标志		
16*		入口处源工作状态显示		
17*		停电或意外中断照射时声光报警		
18		通风设施		
19		火灾报警仪		

20*		个人剂量计		
21*		个人剂量报警仪		
22	C	后装源专用贮存室/保险柜	√	
23	放射源贮存	双人双锁	√	
24	存	防盗门窗	√	

10.1.4 DSA 项目辐射安全防护设施

1) 机房采取实体屏蔽措施，保证人员全居留场所、机房墙外及防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。

2) 机房出入口内的所有区域为控制区，控制室为监督区。在机房门口设置明显的放射性警告标识和中文警示说明，以及设备工作状态指示灯。

3) 控制台电源钥匙妥善保管。

4) 机房和控制室之间设有观察窗，并配置有对讲系统。

5) 机房与控制室之间的防护门上安装自闭器。

6) 机房配备火灾报警系统，配有灭火用品。

7) 采用空调系统送新风的方法对 X 线机房进行机械通风换气，防止机房空气中臭氧和氮氧化物等有害气体累积。

8) 配备足够的个人防护用品，如铅衣、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等，供医生和受检者使用。

9) 介入工作人员均佩戴个人剂量计，进行个人剂量监测。个人剂量计应佩戴在铅衣里面的胸部位置。

10) 配备 1 台便携式剂量率监测仪。介入治疗时，使用便携式 X- γ 剂量率仪帮助医护人员选择治疗站位、铅屏风的摆放位置等，提高辐射防护水平。

11) 在保证影像清晰、不影响介入治疗的前提下，优化工作参数，以达到减少医护人员和受检者受照剂量的目的。

12) 为减少散射线对医护人员的照射剂量，采用有用束向上照射的机位。介入治疗前，将 X 线发生装置移向远离医生操作位的一端。

13) 采取附加屏蔽 X 线措施：手术床沿悬挂 1 个含 0.5mmPb 的铅围帘，阻挡散射 X 线对医生的照射。在 X 线出束口和操作位之间设置 1 个可移动的铅屏风，用于阻挡 X 线漏射。

表 10-3 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	检查位局部屏蔽防护设施	√	钥匙和密码
2*		医护人员个人防护用品	√	
3		患者防护	√	
4*		观察窗屏蔽	√	
5		机房防护门窗	√	
6		通风设施	√	
7*		入口处电离辐射警告标志	√	
8		入口处机器工作状态显示	√	
9*	B 监测设备	辐射水平监测仪表	√	标准电离辐射警告标志
10*		个人剂量计		
11		腕部剂量计		

10.2 三废的治理

《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)和《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)指出，X射线能量大于10MV的加速器，需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线，本项目使用的加速器最大能量为15MV，故会有少量放射性活化气体排放。

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。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，将请有资质单位检测，如满足清洁解控要求，按普通物品处理，反之，按放射性废物送往北京市城市放射性废物暂存。

加速器故障维修需要排放冷却水时，会有产生少量(<30L)的含活化成分的废液。该部分废液采用塑料桶收集，然后转移至核医学科排入废水衰变池暂存。

10.3 对比环保部第3号令要求的满足情况

表10-4汇总列出了本项目对照〈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)对生产、销售、使用放射性同位素和射线装置单位要求的对照评估情况。

表 10-4 项目执行“3 号令”要求对照符合情况

序号	3 号令要求	项目单位情况	检查结果
1	应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构,或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院成立有辐射安全管理领导小组,全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的,小组下设专职人员具体处理各项事务,具体情况见表 1-5。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院制定了辐射工作人员培训计划。医院 212 名辐射工作人员均经过了环保部门认可的培训单位组织的辐射安全与防护培训。 本项目放射工作人员从已培训人员中调配,全部通过了辐射安全与防护培训。	符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	不涉及该内容。	不涉及
4	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	加速器、后装机和 DSA 机房出入口显著位置处均设置放射性警告标识和中文警示说明,以及在防护门上方设置工作状态指示灯。加速器和后装机设置门机联锁系统、紧急停机按钮、固定式剂量率仪等,防止人员误入和意外受照。	符合
5	配备必要的防护用品和监测仪器。	已配备有相应的防护用品和监测仪器,以及拟配置的辐射监测设备。	符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	制定有较为齐全、比较严格的辐射防护规章制度,有人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度、放射性废物管理制度、放射性事故应急预案。	符合
7	有辐射事故应急措施。	已制定有辐射事故应急处理预案。	符合
8	产生放射性废气、废液、固体废物的,还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目会产生少量放射性活化气体、少量冷却水,无固体放射性废物产生。废源交由供源单位回收处理。	符合

10.4 对比环保部第 18 号令要求的满足情况

2011 年环保部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件,本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照评估如表 10-5 所示。

表 10-5 安全和防护能力对照评估情况

安全和防护管理办法要求	单位情况	符合情况
第五条 射线装置的生产调试和使用场所,应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	加速器、后装机和 DSA 机房出入口显著位置处均设置放射性警告标识和中文警示说明,以及在防护门上方设置工作状态指示灯。加速器和后装机设置门机联锁系统、紧急停机按钮、	符合

	固定式剂量率仪等，防止人员误入和意外受照。	
第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	医院已委托具有辐射水平监测资质单位每年对环境和场所周围的辐射水平进行一次监测。	符合
第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	承诺每年1月31日前向北京市环保局提交年度评估报告。	符合
第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	医院212名辐射工作人员均经过了环保部门认可的培训单位组织的辐射安全与防护培训，并取得合格证书。 本项目工作人员从上述人员中调配，全部通过了辐射安全与防护培训。	符合
第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	已为所有辐射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。	符合

加速器机房迷道内、外两道墙体采用重晶石混凝土，密度不小于 $3.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，机房其他面墙体和顶板采用混凝土材料，密度不小于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，防护门采用铅板和含硼聚乙烯材料。

(1) 直线加速器机房规格

- ① 直线加速器机房长7750mm×宽6750mm，面积为 52.3m^2 (不含迷道)，高度4500mm。
- ② 直线加速器机房迷路宽度2600mm，迷道内口宽度2550mm，机房入口宽度2000mm。
- ③ 等中心位置：距离南主屏蔽墙水平距离为3650mm；距离北墙水平距离为3100mm；距离东墙水平距离3700mm，距离西墙水平距离为4050mm；等中心点高度为1240mm，距离天顶板垂直距离为3260mm。

(2) 屏蔽材料和厚度

加速器机房的实体屏蔽材料和厚度如表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	屏蔽体		设计厚度 (mm)
直线加速器机房	北墙	主屏蔽墙	3000 混凝土 (宽度为 4000)
		副屏蔽墙	1500 混凝土
	南墙	主、副屏蔽墙	900 混凝土+土壤层
	东墙	侧墙	1500 混凝土
	西墙	迷路墙	1000 重晶石混凝土 (1440 混凝土)
		外墙	900 重晶石混凝土 (1300 混凝土)
	顶盖	主屏蔽墙	3000 混凝土 (宽度为 5000)
		副屏蔽墙	1350 混凝土
	防护门		16mmPb 铅板+150mm 含硼聚乙烯 (5%硼)

注：重晶石混凝土密度不低于 $3.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，普通混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。

11.2.3 设备参数和使用规划

(1) 设备技术参数

本项目拟新增的电子直线加速器，其 X 射线能量、剂量率和照射野等技术参数如表 11-2 所示。

表 11-2 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	调强治疗	照射野	机架旋转范围	泄漏率

待定	4、6、9、12、15、18、22MeV	6/15MV: 600cGy/ min	调强适形 治疗	主锥形准直 器 28 度; 等 中心最大照 射野 40cm x 40cm	360°, 顺 时针和 逆时针 方向	X 线: ≤0.1%
						电子: ≤0.3%
						中子: ≤0.02%

(2) 使用规划

1) 出束时间: 预计加速器一天最多治疗约 50 人次, 2Gy/人次, 常规照射每人出束时间约 1.5min/人次, 调强治疗每人出束时间约 3min, 加速器日治疗出束时间 120min, 年工作 250d, 总出束时间约 500h。

2) 利用因子: 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%。

3) 不同能量使用因子: 6MV 的 X 线治疗的患者占比 95%, 15MV 治疗的患者占比 5%。6MV 治疗中 60%患者为调强治疗, 40%患者为常规治疗。

11.2.4 辐射环境影响评价

(1) 感生放射性

加速器的结构材料、冷却水以及加速器机房的空气被 γ 射线和中子照射后, 产生感生放射性。其辐射水平取决于加速器粒子的能量、种类、流强和靶材料的性质以及加速器运行时间等。

1. 空气活化分析

辐射防护手册(李德平等. 第三分册 辐射安全 p98, 1990 年原子能出版社)给出: 对 14MeV 电子直线加速器, 每千瓦的束流功率产生的感生放射性总量约为 4.4×10^{11} Bq, 其中气体约 4.6×10^{10} Bq。本项目电子束的功率约为 660W, 类比估算结果为, 每小时产生的活化气体总量约 3.0×10^{10} Bq。

在加速器机房内设置有通风系统, 换气次数不低于 $5h^{-1}$ 。而 15MV 高能运行占比低于 5%, 每天治疗不超过 3 人次, 每人治疗时间约 3min, 并安排在当日最后进行。感生放射性核素多数半衰期较短, 以 ^{15}O 为主, 也有少量的 ^{13}N 和 ^{11}C 等, 半衰期分别为 2.1min 和 10min。保守以活化气体有效半衰期为 10min 计算, 预计治疗 1 个病人后, 治疗室内的活化气体浓度低于 4.5×10^5 Bq/m³。

2. 加速器部件活化

加速器以高能 (>10MV) 运行时, 中子和 γ 射线可使得治疗室内的物体活化。如床架中的铝、机头屏蔽体中的铈, 室内的锰和钠等。加速器产生的主要活化成份如下:

表 11-3 加速器产生的主要活化产物 (以瓦立安 Clinac 21Ex 为例)

活化成份	半衰期	可能的核反应	衰变方式	主要 γ 射线能量 (MeV)
Al-28	2.3min	$^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$	β^- 、 γ	1.78
Mn-56	2.6h	$^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$	β^- 、 γ	0.85, 1.81, 2.11
Na-24	15.0h	$^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$	β^- 、 γ	1.37, 2.75
Sb-122	2.8d	$^{121}\text{Sb}(n,\gamma)^{122}\text{Sb}$	β^- 、 β^+ 、 γ	0.51, 0.56

加速器停机后, 工作人员进入机房为病人摆位会受到活化组件的照射。高能运行后需停机维护时, 最好隔夜进行, 待机头活化成份衰减后再进行。《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 规定, 标称能量大于 10MeV 的加速器, 距设备表面 5cm 和 1m 处由感生放射性所致的吸收剂量率分别不得超过 0.2mGy/h 和 0.02mGy/h, 本项目拟引进的医用直线加速器满足该要求。

靶体采用循环水冷却。循环水受中子照射后, 其中的少量重金属元素可被活化, 具有一定的放射性。正常情况下, 冷却水循环使用, 不外排。加速器循环水系统中使用的离子交换树脂, 经一定期限后含有一定量的感生放射性物质, 更换后需暂存处理。

如果出现需要维修冷却水系统情况, 需要排放冷却水, 会有产生少量 (<30L) 的含活化成分的废液。该部分废液采用塑料桶收集, 然后转移至核医学科排入废水衰变池暂存。

(2) 加速器机房周围辐射水平的估算

除主束区域外, 其它位置的辐射水平采用 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. 中子

1) 中子透射

NCRP 1977 报告书给出的钨靶发生光致反应(γ -n)的阈值为 8.0MeV。本项目拟选用直线加速器产生的 X 线最大能量为 15MeV, 其运行时能够产生一定量的中子。

NCRP151 报告指出，由于混凝土有较高的氢含量，对中子的吸收截面较大。经验表明，如果屏蔽层足以屏蔽初级 X 射线和泄漏 X 射线，则无需考虑光中子和中子俘获 γ 射线的附加屏蔽问题。因此，本评价报告不考虑机房墙体中子和中子俘获 γ 射线透射问题。

2) 中子散射

《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 条款指出：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。《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）第 6.1.5 条款也指出：X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

当加速器以高能运行是，光子与钨靶发生光致反应(γ -n)可产生中子。对于高能加速器来讲，中子散射是迷道口处的主要剂量来源，本次评价采用 NCRP 151 号报告（2005）推荐的方法，采用中子泄漏辐射不超过有用束吸收剂量的 0.02% Sv/Gy 作保守评价。

$$\dot{H}_n = (H_0) \left(\frac{S_0}{S_1} \right) \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^2 10^{-\left(\frac{d_2}{5}\right)} \quad (1)$$

式中， \dot{H}_n 为迷道口中子的当量剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ； H_0 为准直器处的中子剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ； S_0 为迷道内口的截面积， m^2 ； S_1 为迷道外口的截面积， m^2 ； d_0 为 1.41m； d_1 为靶点到散射点的距离，m； d_2 为散射点至迷道口的距离，m。

$$\dot{H}_n = (2 \times 10^{-4}) \left(\frac{11.47}{9} \right) \left(\frac{1.41}{6.6} \right)^2 10^{-\left(\frac{8.9}{5}\right)} = 1.93 \times 10^{-7} \text{ Sv}/\text{Gy}$$

已知电子直线加速器在距靶 1m 处的辐射剂量率最大值为 6Gy/min，迷道口防护门内侧 M 点处的中子散射的剂量贡献值为 69.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

3) 中子俘获 γ 射线

NCRP 151 号报告给出了中子俘获产生的 γ 射线对迷道口的剂量计算公式：

$$\dot{H}_\phi = KH_0 \phi_A 10^{-\left(\frac{d_2}{TVD}\right)} \quad (2)$$

式中， H_0 为 1m 处剂量率； K 中子俘获 γ 剂量当量与中子流强的比值，经验值为 $6.9 \times 10^{-16} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2$ ； ϕ_A 为单位吸收剂量(Gy)产生的中子通量， m^{-2} ； d_2 为迷道内口至迷道口的距离，m；TVD 为中子十分之一衰减距离，对 15MeV 的 X 线产生的中子为 3.9m。

$$\varphi_A = \frac{\beta Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4\beta Q_n}{2\pi S_r} + \frac{1.3Q_n}{2\pi S_r} \quad (3)$$

其中， β 为中子透射因子， P_b 为 1， W 为 0.85； d_1 为等中心点至 b 点的距离，m； Q_n 为中子单位吸收剂量产生的中子强度， Gy^{-1} ，对 15MV 加速器保守采用 0.76×10^{12} ， S_r 为治疗室的总表面积。

计算得出：

$$\varphi_A = \frac{0.76 \times 10^{12}}{4\pi(6.6)^2} + \frac{(5.4)(0.76 \times 10^{12})}{2\pi(235)} + \frac{1.3(0.76 \times 10^{12})}{2\pi(235)} = 4.8 \times 10^9 \text{ 中子} / m^2$$

$$\dot{H}_\varphi = (360 \times 10^6)(6.9 \times 10^{-16})(4.8 \times 10^9) 10^{-\left(\frac{8.9}{3.9}\right)} = 6.2 \mu Sv/h$$

2. X 射线

1) 主束贯穿辐射对机房周围环境的剂量率贡献

主屏蔽墙的透射系数 B_{pri} ，由公式 (4) 求出：

$$B_{pri} = (10^{-1}) 10^{-\left[\frac{(H-TV L_1)}{TV L_e}\right]} = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(H-TV L_1)}{TV L_e}\right]\right\}} \quad (4)$$

主束对相应关注点位的剂量率贡献 H_{pri} ，依据公式 (5) 进行估算：

$$H_{pri} = B_{pri} \cdot D_0 \cdot (1+d)^{-2} \quad (5)$$

式中， H 为主屏蔽墙的厚度，cm； $TV L_1$ 为主束对混凝土的第一个十分之一值层， $TV L_e$ 为主束对混凝土的平均十分之一值层，cm，具体数据见表 11-4； 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 射线的治疗剂量率均取 $600 cGy \cdot min^{-1}$ 。

表 11-4 普通混凝土对 6MV/15MV X 射线束的 $TV L$

TVL 类型	TVL 值 (cm)			
	主束		泄漏辐射	
	6MV 工况	15MV 工况	6MV 工况	15MV 工况
$TV L_1$	37	44	34	36
$TV L_e$	33	41	29	33

2) 泄漏射线对机房周围环境的剂量率贡献

泄漏射线的透射系数 B_L ，由公式 (6) 求出：

$$B_L = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(h/\cos\theta - TV L_1^L)}{TV L_e^L}\right]\right\}} \quad (6)$$

泄漏射线对相应关注点位的剂量率贡献 H_L ，依据公式（7）进行估算：

$$H_L = B_L \cdot L_f \cdot D_0 \cdot (d)^2 \quad (7)$$

式中， h 为屏蔽墙的厚度，cm； θ 为射线对屏蔽墙的入射角； TVL_L^1 为泄漏射线对混凝土的第一个十分之一值层， TVL_L^a 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 11-4； L_f 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

病人散射线的透射系数 B_{PS} ，由公式（8）求出：

$$B_{PS} = 10^{-\left(\frac{h/\cos\theta}{TVL_{sca}}\right)} \quad (8)$$

病人散射线对相应关注点位的剂量率贡献 H_{sca} ，依据公式(9)进行估算：

$$H_{sca} = B_{PS} \cdot \alpha \cdot F \cdot D_0 \cdot (d)^{-2} \cdot (d_{sca})^{-2} \cdot (400)^{-1} \quad (9)$$

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 11-5； 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 $20cm \times 20cm$ 为标准进行标准化的散射系数。 h 、 θ 、 D_0 和 d 代表的意义同前文。

表 11-5 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°
6 MV	34	26	23	21	17	15
15 MV	42	31	26	23	18	15

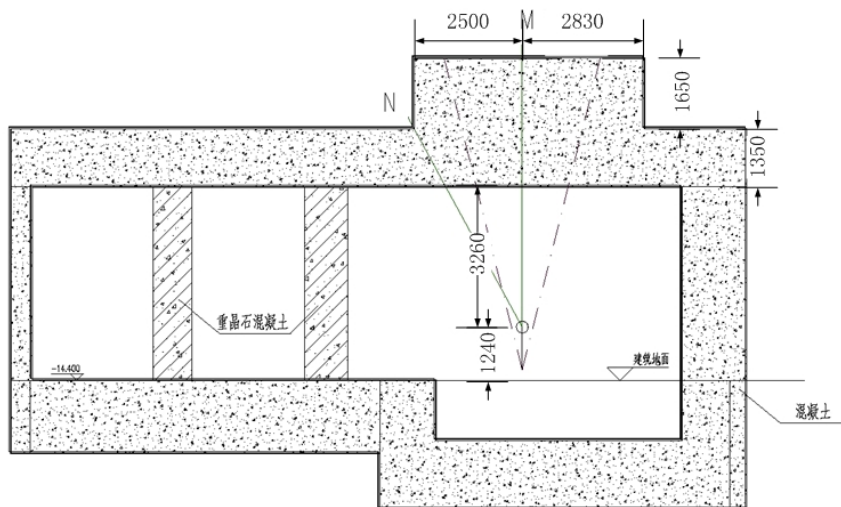


图 11-3 加速器机房顶部 X 射线辐射剂量估算示意图

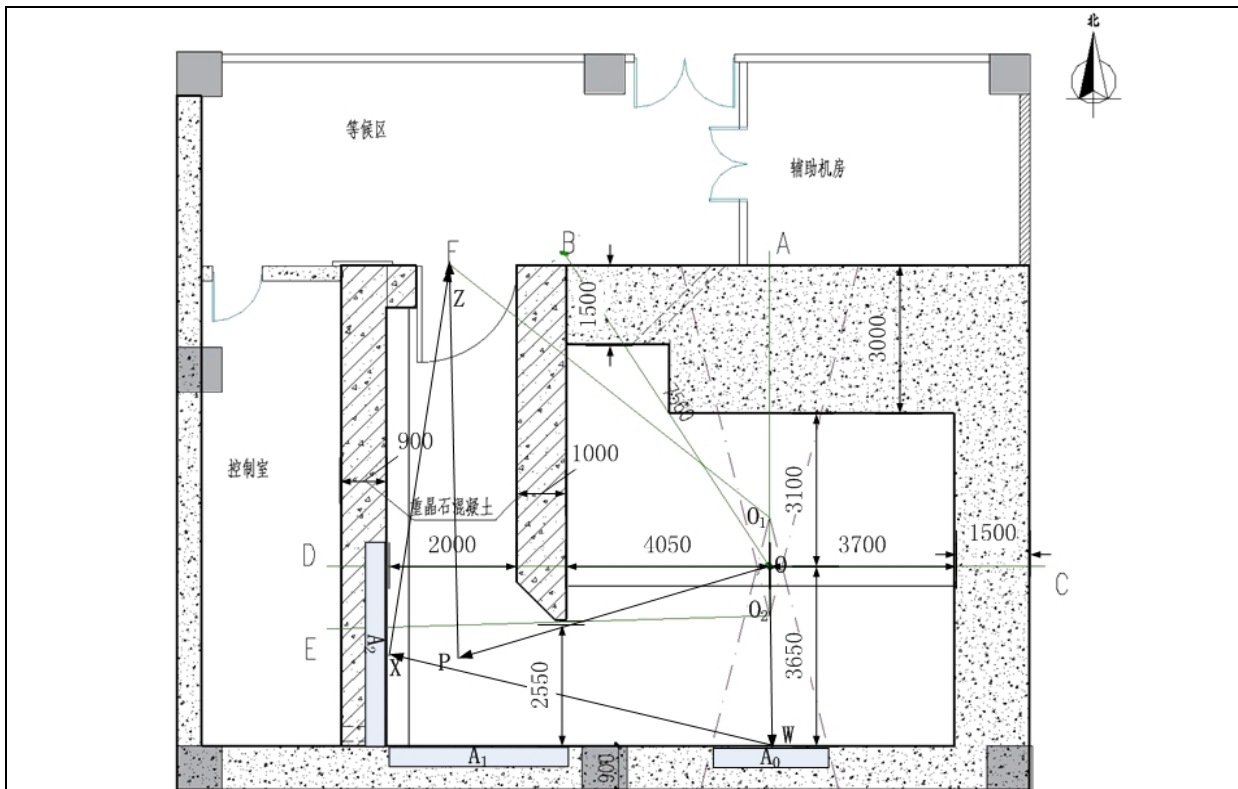


图 11-4 加速器机房周围 X 射线辐射剂量估算示意图

表 11-6 加速器所致机房周围环境附加剂量率水平

位置描述 (点位见图 11-3 和附图 5)	距离 (m)	混凝土厚 度(m)	主要 射线束	衰减系数	附加 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A 辅助机房 (主束区)	7.4	3.0	主束	6MV: $1.07\text{E-}9$ 15MV: $5.7\text{E-}8$	6MV: $5.5\text{E-}3$ 15MV: $2.9\text{E-}1$
B 等候区 (非主束区)	7.7	1.5	泄漏 (30° 斜射)	6MV: $1.58\text{E-}6$ 15MV: $6.9\text{E-}6$	6MV: $1.9\text{E-}2$ 15MV: $4.2\text{E-}2$
C 排烟机房 (非主束区)	5.5	1.5	泄漏	6MV: $1\text{E-}5$ 15MV: $3.5\text{E-}5$	6MV: $2.4\text{E-}1$ 15MV: $4.2\text{E-}1$
D 控制室 (非主束区)	8.25	2.7	泄漏	6MV: $7.3\text{E-}10$ 15MV: $8.1\text{E-}9$	6MV: $3.8\text{E-}6$ 15MV: $4.3\text{E-}5$
E 控制室 (非主束区)	8.3	1.3	泄漏	6MV: $4.9\text{E-}5$ 15MV: $4.9\text{E-}5$	6MV: $2.6\text{E-}1$ 15MV: $2.5\text{E-}1$
F 防护门外 (非主束区)	8.4	1.4	泄漏 (35° 斜射)	6MV: $1.9\text{E-}6$ 15MV: $8.2\text{E-}6$	6MV: $9.7\text{E-}3$ 15MV: $4.1\text{E-}2$
M 楼上 (主束区)	7.56	3.0	主束	6MV: $1.1\text{E-}9$ 15MV: $5.7\text{E-}8$	6MV: $5.3\text{E-}3$ 15MV: $2.8\text{E-}1$
N 楼上 (非主束区)	5.7	1.35	泄漏 (30° 斜射)	6MV: $6.3\text{E-}6$ 15MV: $2.3\text{E-}5$	6MV: $6.9\text{E-}2$ 15MV: $2.6\text{E-}1$

根据估算结果可知，加速器以 15MV 能量和 600cGy/min 剂量率开展放疗工作，其机房墙外 30cm 处最大附加剂量率约为 $0.4\mu\text{Sv/h}$ ，均满足本报告设定的剂量率控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

4) 迷道口辐射水平的估算

加速器以 6MV 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，HS；②机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献，HLS；③主束经病人 1 次和屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献，HPS；④泄漏射线贯穿迷道内墙所致的剂量率贡献，HLT。加速器以 15MV 运行时，迷道口的剂量贡献还有中子俘获产生 γ 射线以及散射中子。

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 11-4。

$$H_s = \frac{D_0 \alpha_0 A_0 \alpha_2 A_2}{(d_{o,w} d_{wx} d_{xz})^2} \quad (10)$$

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 ； $d_{o,w}$ 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 经迷道内墙边缘与迷道中心线的交点 X 的距离，m； d_{xz} 为点 X 至迷道外口中心点 Z 的距离，m。

$$H_s(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(5.3 \times 10^{-3})(3.5)(18.0 \times 10^{-3})(20.7)}{(4.65)^2 (8.0)^2 (7.9)^2} = 28.8 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_s(15MV) = \frac{(360 \times 10^6)(1.7 \times 10^{-3})(3.5)(18 \times 10^{-3})(20.7)}{(4.65)^2 (8.0)^2 (7.9)^2} = 9.24 \mu\text{Sv/h}$$

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 11-3 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)：

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

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。

$$H_{LS}(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(10^{-3})(16.4)(6.4 \times 10^{-3})}{(6.6)^2 (8.3)^2} = 12.6 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_{LS}(15MV) = \frac{(360 \times 10^6)(10^{-3})(16.4)(4.8 \times 10^{-3})}{(6.6)^2(8.3)^2} = 9.4 \mu\text{Sv/h}$$

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 11-4 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 (12)：

$$H_{PS} = \frac{D_0 \alpha(\theta) \left(\frac{F}{400} \right) \alpha_1 A_1}{(d_{sca} d_{op} d_{pz})^2} \quad (12)$$

式中， D_0 、 F 、 d_{sca} 、 A_1 和 d_{op} 、 d_{pz} 代表的意义同前文； $\alpha(\theta)$ 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。

$$H_{ps}(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(1.39 \times 10^{-3}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (22 \times 10^{-3})(11.4)}{(1)^2 (6.8)^2 (8.9)^2} = 137 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_{ps}(10MV) = \frac{(360 \times 10^6)(1.05 \times 10^{-3}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (22 \times 10^{-3})(11.4)}{(1)^2 (6.8)^2 (8.9)^2} = 103 \mu\text{Sv/h}$$

④ 泄漏射线贯穿迷道内墙对迷道口的剂量率贡献

机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后可以到达迷道口，其辐射路径为等中心点 $O \rightarrow Z$ 。机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后对迷道口的剂量率估算模式 (13)：

$$H_{LT} = \frac{D_0 L_f B_L}{d_L^2} \quad (13)$$

由公式 (13) 求出泄漏射线的透射系数 B_L 。式中符号 d_L 为等中心点 O 到迷道口 Z 的距离 (d_{OZ})，m； D_0 和 L_f ，代表的意义同前文。

$$B_L(6MV) = 10^{-\left\{ 1 + \left[\frac{140/\cos 35^\circ - 34}{29} \right] \right\}} = 1.9 \times 10^{-6}$$

$$B_L(15MV) = 10^{-\left\{ 1 + \left[\frac{140/\cos 50^\circ - 36}{33} \right] \right\}} = 8.2 \times 10^{-6}$$

$$H_{LT}(6MV) = \frac{(360 \times 10^6)(10^{-3})(1.9 \times 10^{-3})}{(8.4)^2} = 9.7 \text{E-}3 \mu\text{Sv/h}$$

$$H_{LT}(15MV) = \frac{(360 \times 10^6)(10^{-3})(8.2 \times 10^{-3})}{(8.4)^2} = 4.1E-2 \mu Sv/h$$

⑤ 迷道防护门内 Z 点的剂量率水平

加速器以 6MV 和 15MV 运行时，迷道口的剂量率水平如表 11-7 所示。可见，加速器高能运行时，迷道口的剂量主要来自中子散射和病人散射。加速器低能运行时，迷道口的剂量来源主要是病人的散射贡献。

表 11-7 迷道口剂量率水平 ($\mu Sv/h$)

编号	剂量来源	15MV 运行	6MV 运行
1	主束经 2 次散射	9.24	28.8
2	泄漏辐射 1 次散射	9.4	12.6
3	主束经病人和墙壁散射	103	137
4	泄漏辐射直接透射	4.1E-2	9.7E-3
5	中子俘获产生的 γ 射线	6.2	—
6	中子散射	69.5	—

⑥ 迷道防护门外 F 点的剂量率水平

NCRP 151 号报告给出，中子散射至迷道口处的能量约为 100keV，其在含硼 5% 的聚乙烯中的 TVL 保守可取 4.5cm。

中子作用于物质时被俘获，同时生成 γ 射线，称为中子俘获 γ 射线。中子俘获 γ 射线能量较高，平均能量约 3.6MeV，其在铅中的 TVL 可达 61mm。对于长度大于 5m 的迷路，中子俘获 γ 射线 TVL 可取 31mm。

泄漏散射和病人散射后的 X 射线较低，约为 0.5MeV，在 Pb 中的 TVL 为 3-6mm，本项目保守取 6mm。

中子防护门采用不低于 12cm 含硼 5% 的聚乙烯以及 15mmPb 和 6mm 铁的复合防护门（相当于 19mmPb）。经防护门屏蔽后，中子的总当量剂量率为： $69.5 \times 10^{-(12/4.5)} = 0.15 \mu Sv/h$ 。

X- γ 射线附加剂量率为：

15MV 运行工况： $(9.24+9.4+103+4.1E-2) \times 10^{-(19/6)} + 6.2 \times 10^{-(19/31)} = 1.58 \mu Gy/h$ 。

6MV 运行工况： $(28.8+12.6+137) \times 10^{-(19/6)} = 0.12 \mu Gy/h$

可见，在加速器使用 15MV 治疗束运行时，预计机房防护门外的辐射附加剂量率最大值为 $1.6 \mu Gy/h$ ，其主要贡献来自中子俘获产生的 γ 射线贯穿防护门所致。在使用 6MV 治疗束运行时，机房防护门外的辐射附加剂量率不超过 $0.15 \mu Gy/h$ ，主要来自病人散射

辐射。

(3) 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(14)。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \tan \theta + 0.3] \quad (14)$$

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；SAD—源轴距，取1m； θ —治疗束的最大半张角（相对束中的轴线），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11-5所示。

以北墙主屏蔽墙为例估算主束屏蔽层的最小宽度。根据设计资料，加速器机房北侧主屏蔽层厚度为3m，等中心点到与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙的垂直最大距离为4.6m，等中心距离机房顶部的距离为3.26m，即等中心到与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙顶部最大距离为5.6m。有用射线束张角为 28° ，据此计算北侧主屏蔽墙的半宽度要求不少于 $[(5.6+1.0)\tan 14^\circ + 0.3]=1.95\text{m}$ 。

本项目加速器机房主屏蔽墙半宽度为2.5m，满足屏蔽主束的要求。

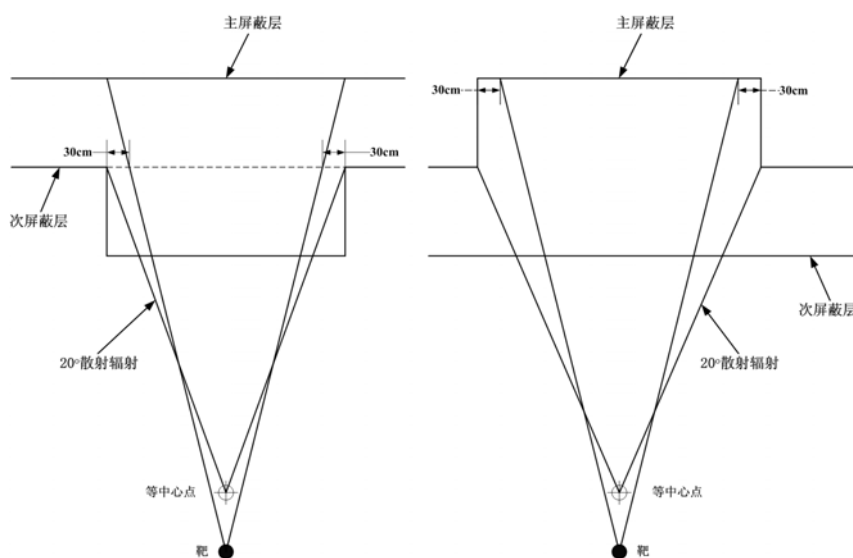


图 11-5 主束屏蔽宽度要求示意图

(4) 工作人员和公众受照剂量估算

1. 工作人员

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:① 控制室内受到贯穿屏蔽墙的 X 射线外照射;② 治疗床旁摆位操作时,受到机头感受放射性的辐射照射;③ 机房内停留时吸入空气中活化气体受到的内照射。

① 控制室内受到贯穿屏蔽墙的 X 射线外照射

保守假设加速器控制室内操作由一组工作人员承担。加速器治疗室工作人员受照情况估算结果见表 11-8。

表 11-8 加速器运行时机房外围工作人员受照剂量估算

位置	15MV 运行		6MV 运行		居留因子	年受照剂量 (μSv)
	剂量率 (μGy/h)	出束时间 (h/a)	剂量率 (μGy/h)	出束时间 (h/a)		
控制室	4.3E-5	25	3.8E-6	475	1	0.003
防护门附近	1.6	25	0.15	475	1/16	6.9
					合计	6.9

② 治疗床旁摆位操作时, 受到机头感受放射性的辐射照射

加速器高能治疗人数少 (占比<5%), 且计划安排在每日治疗的最后阶段, 这样有充裕的时间保证活化成分在夜间衰减, 减少对工作人员的剂量贡献。假设工作人员每天对 15MV 治疗患者摆位 3 次, 每次在距离机头 1m 处停留 2min, 全年工作 250d, 则累计停留时间为 25h。

根据相关文献可知, 在所有加速器活化部件中, 治疗头的感生放射性最强, 其感生放射性水平与照射剂量成正比关系。根据卢峰等人发表的“VARIAN CLINAC 2100C/D 型加速器感生放射性研究”(中国辐射卫生, 2008 年 12 月第 17 卷第 4 期)一文可知, 在 15MV 工况、照射野 10cm×10cm、等中心处剂量率 300cGy/min、照射剂量 2600cGy 条件下, 在停止照射 60s 后距离机头 30cm 处的感生放射性水平为 2.3 μGy/h。环评单位在 301 医院的实测 15MV 治疗后 1min, 距机头 1m 处感生放射性不超过 1 μSv/h, 类比上述检测结果, 工作人员受到机头感生放射性的辐射照射剂量约 25 μSv/a。

③ 机房内停留时吸入空气中活化气体受到的内照射

依照前述的有关机房内感生放射性产生情况的分析结果, 预计 15MV 高能运行后, 治疗室内的活化气体浓度低于 $4.5 \times 10^5 \text{Bq/m}^3$ 。查 GB188871-2002《电离辐射与辐射源安全基本标准》附录给出的 ^{11}C 的转换因子为 $2.4 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$ 。同样假设工作人员每天为 3 名高能治疗患者摆位, 每次停留 2min, 空气吸入量按 $0.02 \text{m}^3/\text{min}$ 计, 据此计算得出每天进入加速器机房所受的剂量约为 $1.3 \mu\text{Sv}$ 。全年工作 250d, 年附加剂量约为

0.33mSv。

综合考虑，加速器治疗室工作人员受照剂量将不超过 0.35mSv/a，低于 2mSv/a 的剂量约束目标值。

2. 周围公众

在加速器机房门口处、北侧楼道内以及楼上其它科室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 11-9。

表 11-9 周围公众外照射受照情况估算结果见表 11-9

位置	15MV 运行		6MV 运行		居留因子	年受照剂量 (μSv)
	剂量率 (μGy/h)	出束时间 (h/a)	剂量率 (μGy/h)	出束时间 (h/a)		
A 机房北墙外 (主束区)	2.9E-1	25	5.5E-3	475	1/4	2.5
B 机房北墙外 (非主束区)	4.2E-2	25	1.9E-2	475	1/4	2.5
M 楼上 CT 机房 (主束区房)	2.8E-1	25	5.3E-3	475	1/4	2.4
N 楼上 CT 机房 (非主束区)	2.6E-1	25	6.9E-2	475	1/4	9.8
F 防护门外	1.6	25	0.15	475	1/16	7.0

由表 11-9 可见，加速器所致机房周围停留公众的年最大受照剂量 9.8μSv，低于设定的 100μSv/a 剂量约束值。

(5) 辐射照射所致有害气体的环境影响

加速器运行过程，射线与空气发生电离作用，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 (12) 计算有用射线束所致 O₃ 产额的公式：

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) R G \quad (15)$$

式中：P 为 O₃ 的产额； \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:

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 G V^{1/3} \quad (16)$$

本评价选取加速器有关参数如下: $\dot{D}_0 = 6\text{Gy/min}$ (最大值); $R = 4.05\text{m}$ (最大值); $\theta = +14^\circ/-14^\circ$; $G = 10$; 治疗室容积(不含迷道) $V \approx 235\text{m}^3$ 。

根据公式 (15) 得出有用线束 $P = 17.5\text{mg/h}$ 。根据公式 (16) 得出泄漏辐射的 $P = 1.2\text{mg/h}$ 。二项合计, $P_{\text{总}} = 18.7\text{mg/h}$ 。保守估计加速器年出束时间 500h, 则臭氧的年产量约为 9.35g。

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 (17) 计算。

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (17)$$

式中: $Q(t)$ 为治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度, mg/m^3 ; Q_0 为臭氧的辐射化学产额, mg/h ; V 为治疗室的体积, m^3 ; T 为有效清除时间, h 。如果照射时间很长 ($t \gg T$), 则:

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \quad (18)$$

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:

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (19)$$

正常通风时治疗室的换气次数至少 4 次/h, 即 $t_v = 0.25\text{h/次}$ 。由式 (19) 计算得 T 为 0.19h 。当 $t \gg T$ 时, 臭氧达饱和浓度, 由式 (18) 得到在正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 0.0159mg/m^3 , 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-化学有害因素》(GBZ2.1-2007), 浓度限值为 0.3mg/m^3 。

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/m^3 】, 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(GBZ2.1-2007, 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。机房内顶部设置 300mm×300mm 的送风口, 在加速器机房北侧设置尺寸为 400mm×200mm 的排风口, 风管底部(吸风口)离地 30cm。机房的排风管道与大楼排风管道相连后在楼顶排放。

11.3 后装治疗机环境影响分析

11.3.1 加速器机房所在位置

后装机房位于保健中心地下三层放疗中心西南区域加速器机房的北侧, 机房东面为过道和等候区, 南面为加速器治疗患者的等候区, 北面为控制室, 西面和地下均为实土层, 顶棚上方为淋浴间。后装机周围环境见图 7-1 或附图 3 所示。

1.3.2 机房屏蔽设计

机房设置了"L"字型迷路, 四周墙体和顶部均为普通混凝土密度不小于 2.35g/cm³。防护门采用含铅板铁质防护门。后装治疗机房平面和剖面图如图 11-6 和 11-7 所示。

(1) 后装机机房规格

- ① 该间后装机房主体内径为5200mm×7950mm×3800mm, 面积为41.3m²。
- ② 后装机房迷路宽度2000mm, 迷道内口宽度2300mm, 迷道入口处宽度1500mm。

(2) 屏蔽材料和厚度

表 11-10 后装机机房屏蔽材料和厚度

机房名称	屏蔽	设计厚度 (mm)
后装机	北侧迷道内、外墙	500 混凝土
	南墙	500 混凝土
	东墙	500 混凝土
	西墙	500 混凝土
	顶棚	1000 混凝土
	防护门	8mmPb

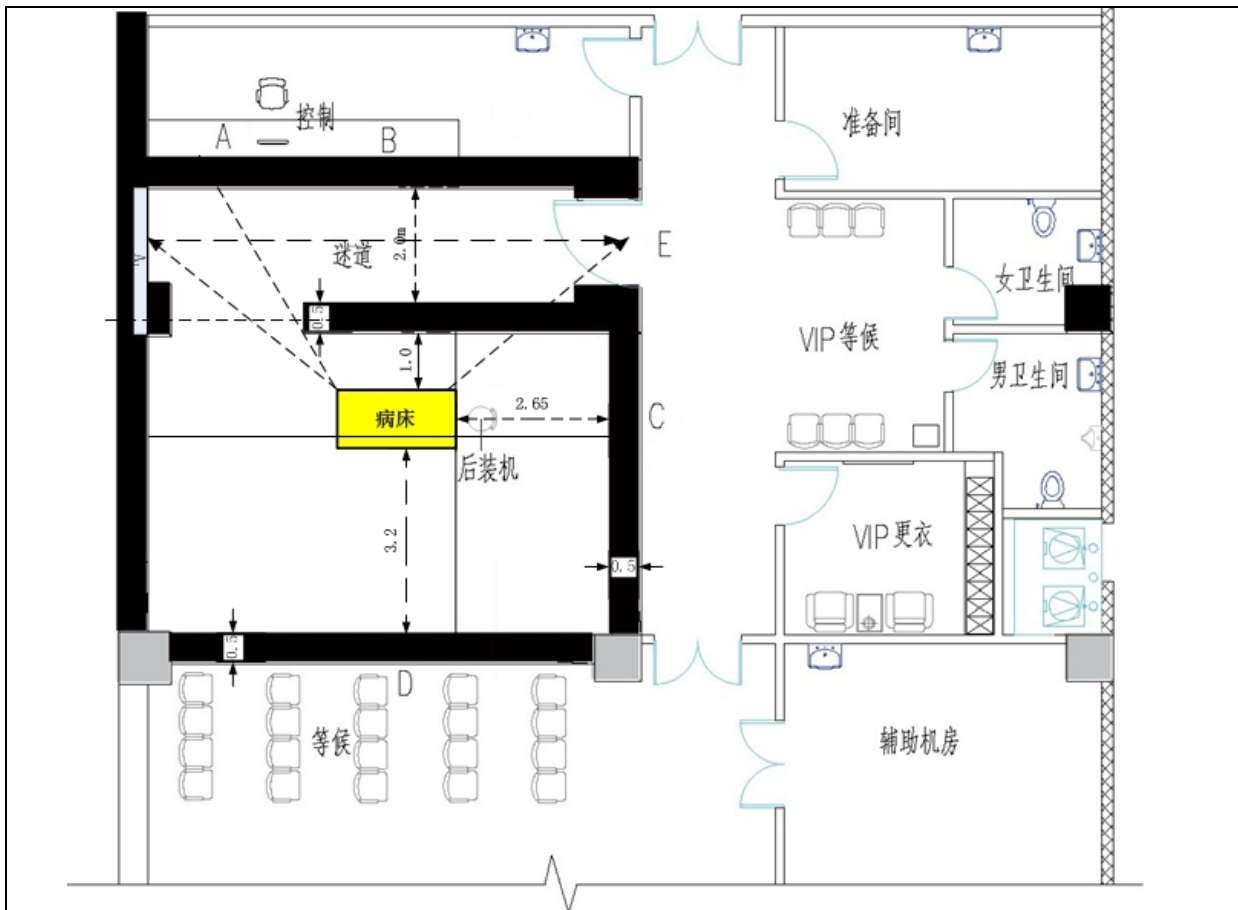


图 11-6 后装机机房平面布局示意图

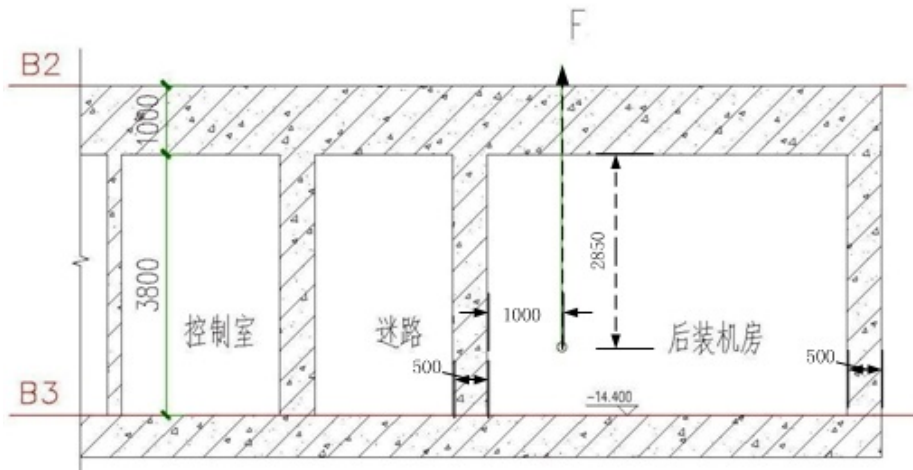


图 11-7 后装机机房剖面布局示意图

11.3.3 设备参数和使用规划

(1) 设备技术参数

后装机设备技术参数见表 11-11。

表 11-11 后装机设备的技术参数

生产厂家和型号	放射源种类和活度	半衰期和射线能量	储源器泄漏辐射水平
---------	----------	----------	-----------

待定	Ir-192, 3.7E+11Bq (10Ci)	半衰期 74d; γ 射线能量 0.317MeV (83%), 0.468MeV (48%), 0.604MeV (8%), 平均能量 0.35 Mev。 γ 剂量率转化系数: 0.111 μ Sv/h.MBq.m ⁻² .	储源器最大装载活度时, 距 储源器表面 5cm 吸收剂量率 不得大于 100 μ Sv/h, 距离储 源器 100cm 处的球面上, 任 何一点的泄漏辐射不得大于 10 μ Sv/h。
----	--------------------------------	---	---

(2) 使用规划

后装机每周治疗人数不超过 30 人次, 全年治疗 1500 人次, 装源活度 3.7×10^{11} Bq 时每人治疗照射 6min, 随着活度衰减治疗时间延长, 预计年累计出束时间约 150h。

11.3.4 辐射环境影响评价

(1) 后装机机房周围辐射水平的估算

从偏安全的角度出发, 将放射源视为点状裸源进行防护计算。裸源为 4π 方向出束, 根据屏蔽墙的厚度和距离关注点的距离计算机房周围的辐射水平。

根据医院提供的相关信息, 后装机房参考布点图如图 4-6 和图 4-7 所示。图中病床区域为辐射源可能的使用区域 (考虑到东墙和南墙厚度只有 500mm, 建议治疗时, 放射源距离东墙不低于 2.7m, 距离南墙不低于 3.2m)。

该设备距源 1m 处的最大剂量率约 41mSv/h。根据公式(20) 计算机房周围的泄漏辐射剂量率水平, 估算结果见表 11-12。估算点位置见图 11-7 所示。

$$H_0 = \frac{A \cdot K_{\gamma}}{R^2} \cdot 10^{\frac{d}{\text{TVL}}} \quad (20)$$

式中: H_0 为估算点的剂量当量率, μ Sv/h; k_{γ} 空气比释动能常数, 对 Ir-192 为 0.111μ Sv/h.MBq; A 为放射源活度, MBq; R 为估算点到放射源的距离, m; d 为混凝土或铅等屏蔽材料的厚度, mm; TVL 为 γ 射线在混凝土或铅中的十分之一厚度, Ir-192 治疗束在混凝土中为 152mm, 在铅中 16mm。

表 11-12 后装机机房周围附加剂量率水平

点位 编号	位置描述	距离(m)	屏蔽材料及厚度	剂量率贡献 (μ Sv/h)
A	控制室操作位	5.5	50cm 普通混凝土, 20°斜射	4.29E-01
B	控制室内	5.1	50cm 普通混凝土	5.86E-04
C	东侧墙外	2.75	50cm 普通混凝土	1.77E+00
D	南侧患者等候区	3.0	50cm 普通混凝土	1.32E+00
E	防护门外*	透射 4.5	80cm 普通混凝土, 50°斜射	1.89E-02

F	机房顶部	5.0	100cm 普通混凝土	6.29E-04
---	------	-----	-------------	----------

注：*防护门外还有散射辐射的贡献。

由表 11-12 所示，后装机机房墙外 30cm 处的剂量率水平最高为 1.77 $\mu\text{Sv/h}$ ，低于本评价设定的 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制水平。上述评价是依据裸源进行的，未考虑人体组织对射线的吸收，实际运行时，机房周围的剂量率水平可能比估算结果低 1 倍左右。

(2) 防护门外辐射水平估算

控制室防护门外剂量率水平除了泄漏辐射贡献外，还受到治疗束经迷道的散射贡献。治疗束经过迷道散射对防护门所致的附加剂量率依据公示(21) 进行估算。

$$H_s = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_1 \cdot \alpha_1}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (21)$$

式中：A 为放射源活度，本项目为 3.7E+5MBq； K_γ 为 1m 处放射源的空气比释动能常数，对 Ir-192 为 0.111 $\mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}$ ； S_1 为 γ 射线在迷道内口墙的散射系数； α_1 为治疗束一次散射的散射面积，保守取 3.39E-2； R_1 为放射源到散射面中心点的距离； R_2 为迷道内口散射点到防护门处的距离。

本项目散射面积 A_1 为 9.5 m^2 ， R_1 为 4.2m， R_2 为 8.5m，计算得出迷道防护门内的散射剂量率贡献为 8.3 $\mu\text{Sv/h}$ 。Ir-192 治疗束的散射辐射能量约为 0.2MeV，其在铅中的 TVL 为 5mm，经 8mm 铅门屏蔽后，防护门外辐射剂量率降低至：8.3 $\mu\text{Sv/h} \times 10^{-(8/5)} = 0.21 \mu\text{Sv/h}$ 。可见，防护门外的剂量率也低于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

(3) 工作人员和公众受照剂量估算

1. 工作人员

假设工作人员每次治疗前、后在床旁（距离储源罐 100cm）各操作 1min，则全年在后装机储源罐（>100cm 处）附近的停留时间约 83.3h。

《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ 121-2002) 要求，距离储源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射不得大于 10 $\mu\text{Sv/h}$ 。本评价保守依照该数值剂量估算，工作人员年最大受照剂量为：10 $\mu\text{Sv/h} \times 83.3\text{h} + 0.43\mu\text{Sv/h} \times 150\text{h} = 0.90\text{mSv}$ ，低于本报告提出的剂量约束值 2mSv/a。

2. 周围公众

治疗室周围停留的公众主要有院内非放射工作人员、患者陪护人员、来访者等。公众可能最大受照剂量为：1.77 $\mu\text{Sv/h} \times 150\text{h/a} \times 1/4$ （居留因子） $\approx 66.3\mu\text{Sv}$ 。因此，该设备运行所致公众受照剂量低于本报告提出的剂量约束值 0.1mSv/a。

(4) 倒装源辐射环境影响

倒装放射源工作由设备厂家的维修工程师完成，北大第一医院的医护人员仅做一些辅助工作，不直接从事倒装放射源工作，故该环节的环境影响不做评价。

11.3.5 应急事故处置受照剂量估算

后装治疗机的源开关控制系统配有自动回源装置。在意外停电时，UPS 供电，系统将是放射源自动回到储源位。

当控制系统出现故障导致自动关源系统失效时，可通过手动机械复位机构使放射源回到储源状态，通常可在 30s 内完成。一旦出现该类卡源事故时，工作人员立即按动紧急停止按钮，然后迅速进入机房，采用手动复位的方式使放射源收回到储源位置。

当后装治疗机发生卡源事故时，工作人员穿戴铅衣、铅帽等个人防护用品，并佩戴个人剂量报警仪，进入治疗机房进行手动复位。在采取上述措施的情况下，预计外照射剂量率至少可以降低一个量级，故完成手动复位应急操作的受照剂量约为 $4.1\text{mSv/h} \times (100\text{cm}/30\text{cm})^2 \times 0.5\text{min} \div 60 = 0.38\text{mSv}$ 。可见，当后装治疗机发生卡源事故时，手动复位操作时人员的受照剂量较小，对操作人员是安全的。

11.3.6 放射源安全管理

后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 源，属于 III 类放射源，源失控对环境安全的潜在危险较大。该院制定有设备安全使用管理制度和操作规程，来全面加强机房安全保卫措施，严防放射源失控。设备定期更换放射源的工作由设备供货商承担。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，设备定期更换的废源由供方回收。

11.3.7 异常事件分析与防范建议

(1) 事故分析

后装治疗机可能发生的较严重的放射性事故是人员误入工作状态下的机房而造成的人身伤害事故。也可能出现放射源被盗。针对上述可能发生的事故，制定了应急预案。

(2) 事故处理措施

后装治疗机机房和控制室具有良好的屏蔽设计和监控 连锁系统，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，该所制定了《放射性事故应急预案》包括：停电应急、人员误入应急以及人员受到超剂量照射应急等。

1) 人员受照意外照射：发生人员误照后，有关科室应当立即向医院主管部门报告。由医院领导统一指挥，启动应急预案程序，迅速安排受照人员接受医学检查，或者在指定的医疗机构救治。并以书面形式上报环保主管部门。

2) 发生卡源事故：首先使用后装机提供的紧急回源程序或按钮进行紧急回源处理。后装治疗机的源开关控制系统均配有手动机械复位应急装置。当控制系统出现故障导致自动回源系统失效时，通过手动机械复位机构将使放射源回到储源状态。

如果源卡的过死，紧急回源装置无法回源时，只能采取人工回源处理，在此过程中，需按照放射事故应急处理措施进行操作，工作人员在进入机房前，应穿上铅衣、铅帽、铅围脖，戴上铅眼镜，并佩戴个人剂量计及携带辐射巡测仪，进入机房后，应在尽可能短的的时间内，将放射源旋回后装机的贮源系统内。

如果后装机放射源脱落掉地上，需按照放射事故应急处理措施进行操作，工作人员在进入机房前，应穿上铅衣、铅帽、铅围脖，戴上铅眼镜，并佩戴个人剂量计及携带辐射巡测仪，进入机房后，应在尽可能短的的时间内，用长镊子将放射源放回储存铅罐内并锁紧。

3) 放射源失控

根据原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）和国务院令第376号突发公共卫生事件应急预案，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》有关安全事故防范工作要求开展事故预防与应急处置。

发生放射源丢失、被盗时，医院将立即向上级主管部门报告，启动事故应急预案。发生该类事故后，应在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

11.4 血管造影机环境影响分析

11.4.1 DSA 机房所在位置

2间 DSA 机房位于保健中心地上二层中间区域。机房东侧是首层大厅增高墙体，南侧是值班室，之外是重症监护室；西侧隔缓冲区为办公区，北侧为其它手术间。楼下为门诊大厅，楼上为屋顶花园。DSA 周围环境见图 7-2 或附图 6 所示。

11.4.2 DSA 机房屏蔽设计

(1) DSA 机房规格

使用 2 台 DSA 设备的机房为 DSA 室和杂交手术室，机房规格如表 11-13 所示。

表 11-13 二台 DSA 机房规格

所在位置	机房	房间面积 (m ²)	房间尺寸 (m)	标准要求最小 有效面积	标准要求最 小单边长度

二层	DSA 机房	56.2	7.57×7.42	20m ²	3.5m
手术室	杂交手术室	62.9	9.10×6.91		

对照《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）对 DSA 设备机房的面积和单边长度的要求，本项目 2 台 DSA 机房均满足要求。

（2）屏蔽材料和厚度

二间 DSA 机房屏蔽材料和厚度如表 11-14 所示。

表 11-14 2 间 DSA 机房的屏蔽设计

机房类型	屏蔽体	屏蔽设计
DSA 机房、 杂交手术室	四周墙体	轻钢龙骨+3mm 铅板
	防护门	不锈钢门内夹 3mmPb
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃
	顶板和地板	20cm 混凝土

对照《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）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 2 台 DSA 机房四周墙壁、屋顶均高于 2 个铅当量，符合上述要求。

11.4.3 设备参数和使用规划

（1）设备技术参数

表 11-15 DSA 主要技术参数和机房情况

设备名称	厂家及型号	主要技术参数	机房位置
DSA(1)	型号待定	125kV, 1250mA	保健中心二层 DSA 室
DSA(2)	型号待定	125kV, 1250mA	保健中心二层杂交手术室

（2）使用规划

根据院方提供的数据，目前 1 台 DSA 每天开展介入治疗 5-6 人次，考虑到未来的发展，本评价按每天从事介入治疗 8 例，全年完成 2000 例手术进行估算。据了解，完成 1 例冠状动脉造影的时间大约 20min，其中透视 17.5min，摄影约 2.5min。表 11-15 估算了血管造影机的年出束时间。

表 11-15 血管造影机年出束时间

工作状态	工作管电压 管电流	平均出束时间/例	年治疗 人数	累计出束时间
透视	75kV, 6mA	17.5min	2000	583.3h
摄影	85kV, 500mA	2.5min	2000	83.3h

11.4.4 辐射环境影响评价

(1) DSA 机房周围的贯穿辐射水平

在进行介入检查和介入治疗时，工作人员不可避免会受到一定程度的 X 射线照射。此外，尽管配有防护设施，X 射线也可能贯穿到机房外，对周围公众有一定的影响。

DSA 的额定功率约 80-100kW。设备具有自动调强功能，摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低。如果受检者体型较胖，功率自动增强。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和功率通常留有约 30% 的裕量，即管电压控制在 100kV 以下，功率控制在 50-70kW。

评价单位在对 GE、西门子和飞利浦等公司生产的 DSA 设备工作场所辐射水平现场检测中发现，透视工况为 60-90kV/5-10mA，摄影工况为 60-90kV/300-500mA。

本项目保守取透视工况下设备 1m 处的空气比释动能率最大值 25mGy/min（1.5Gy/h）作为源强进行评价，摄影工况下，管电流约为透视工况的 50 倍，最大源强为 75Gy/h。

X 射线靶点视为点源，源强保守按实际使用的最大功率（透视 90kV/10mA、摄影 90kV/500mA），混凝土和铅的透射系数依据 GBZ130-2013 附录 D 计算，再结合距离衰减，来估算机房周围各关注点的剂量率水平。

$$D=D_0 \times B/R^2$$

式中：D-估算点附加剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

D_0 -距源 1m 处的剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

B-衰减因子， $B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{-\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}}$ ，依据 GBZ130-2013 附录 D 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。散射辐射的剂量率水平与泄漏辐射水平相当（ $\sim 10^{-3}$ ），但其穿透能力较弱，故计算周围剂量率水平时，保守以泄漏辐射水平的 2 倍作为周围的附加剂量率水平。

本项目新增的 2 台 DSA 设备管电流和管电压一致，且机房的屏蔽措施也一致，但是 DSA 室的面积相对较小，故本评价以该血管造影机为例，评价工作人员以及周围公众的受照剂量。如果该机房的屏蔽方案能够满足防护要求，那么杂交手术室使用的另外

1 台血管造影机房的屏蔽防护肯定符合要求。

本项目所估算的 DSA 机房的尺寸大小为 7.57(长)×7.42(宽)×3.4m(高)，在屏蔽计算时，保守取设备靶点距离四周墙壁外、楼上剂量估算点的距离保守以 3.0m 计。

11-16 介入治疗条件下，DSA 机房周围的附加剂量率估算结果

介入治疗种类	使用工况	计算点位置	屏蔽材料与厚度	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* (μGy/h)
X 线透视	90kV 10mA	楼上 0.5m 处	20cm 砼	1.60E-05	1.5	泄漏+散射	3.0	5.33 E-03
		四周墙壁外	3mm 铅当量	7.93E-06		泄漏+散射	3.0	2.64E-03
		防护门外	3mm 铅当量	7.93E-06		泄漏+散射	3.0	2.64E-03
		观察窗外	3mm 铅当量	7.93E-06		泄漏+散射	3.0	2.64E-03
X 线摄影	90kV 500mA	楼上	20cm 砼	1.60E-05	75	泄漏+散射	3.0	0.27
		四周墙壁外	3mm 铅当量	7.93E-06		泄漏+散射	3.0	0.13
		防护门外	3mm 铅当量	7.93E-06		泄漏+散射	3.0	0.13
		观察窗外	3mm 铅当量	7.93E-06		泄漏+散射	3.0	0.13

注：*射线泄漏率按 0.1%计，散射辐射贡献保守按照泄漏辐射计。

从上述估算结果可知，在“透视”和“摄影”过程中，DSA 机房周围附加剂量率最大值为 0.27 μGy/h，满足本项目所设定的机房屏蔽体外 30cm 处 2.5 μSv/h 的剂量率控制水平。

上述评价是基于保守假设进行的。事实上，患者身体对 X 射线会有部分的吸收，约衰减 1-2 个量级（NCRP147 号报告），预计实际运行时，机房周围的附加剂量率水平可以维持在正常本底水平。

(2) DSA 正常工况下所致医护人员的年受照剂量

根据评价单位对解放军总医院同型号 DSA 的现场监测结果：在进行介入治疗透视时，医生手术位置的附加剂量率水平可高达 19μSv/h；在进行介入治疗摄影时，医生所在位置的附加剂量率水平可高达 55μSv/h。

根据以往介入治疗的环评经验，如果采取铅衣(0.5mm 铅当量)屏蔽措施，在进行透视时，医生受照剂量降为 1/15，接近 1.3μSv/h 的水平，在进行摄影时，医生所受剂量降为 2/5，达到 22μSv/h 水平。

附加年有效剂量计算公式： $E=D \times t \times T \times K$

式中：E--年有效剂量，μSv/a；D--计算点附加剂量率，μGy/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。

保守按每位医生年最大治疗量 2000 人估算, 透视工况下工作时间为 583.3h, 摄影工况下工作时间为 83.3h。职业人员附加年有效剂量估算结果见表 11-17, 可见, 介入工作人员的年受照剂量低于本项目设定的 5mSv 的年剂量约束值。

表 11-17 职业人员附加年有效剂量估算结果

估算对象		最大附加剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	年工作时间 (h/a)	居留因子	年附加有效剂量
工作人员	透视	1.3	583.3	1	2.60mSv
	摄影	22	83.3	1	

上述剂量估算是基于工作人员满负荷(每天完成 8 例, 全年 2000 例 DSA 手术)工作量进行的, 介入治疗医护人员不从事其它放射性工作, 故不考虑其个人剂量叠加问题。

(3) 介入工作人员配备情况

本项目拟新增使用 2 台 DSA, 计划至少配备 16 名辐射工作人员。如果有新增的辐射工作人员, 将通过辐射安全与防护培训后, 持证上岗。

(4) DSA 正常工况下所致周围公众的年受照剂量

机房四周墙壁外的非辐射工作人员年受照剂量较大, 具体估算结果见表 11-18, 可见, 公众的年受照剂量低于设定的 $100\mu\text{Sv}$ 的剂量约束值。

表 11-18 公众年附加受照剂量估计

估算对象		最大附加剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	年工作时间 (h/a)	居留因子	年附加剂量 (μSv)
机房四周墙壁和防护门外	透视	5.33 E-03	583.3	1	25.6
	摄影	0.27	83.3	1	

(5) 有害气体的环境影响

根据以往的估算结果, 在介入治疗过程中, 臭氧的小时平均产额低于 1 mg/h , 对环境的影响十分轻微, 本报告对其环境影响不做评价。

11.3 事故影响分析

(1) 事件(故)分析

(1) 事件(故)分析

DSA 运行可能发生以下辐射安全事件:

1) 人员误入机房受到不必要的照射；

2) X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门，对附近经过或停留人员产生误照射。

(2) 事件（故）防范措施

针对人员误入机房受到照射的防范措施是：机房防护门上设置辐射警告标识和中文警示说明。防护门上方设置工作状态指示灯，并且和防护门关联。当防护门关闭，警示灯自动点亮，以警示人员别误入机房。

针对没有关闭防护门出束的防范措施是：规范工作秩序，严格执行《仪器操作规程》和《放射性检查安全管理制度》。此外，辐射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。

如果出现上述事件，迅速启动辐射应急预案，依照应急预案人员和职责、事故处理原则和处理程序等进行处理。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全管理机构的设置

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，医院设立了辐射安全防护管理委员会，主任委员由院长担任，副主任委员由医疗院长、纪委书记和党委副书记担任，全面负责医院的放射防护监督和管理的工作，成员为各职能部门人员组成。该机构内部职责明确，且设有专职管理人员。放射防护管理委员会成员名单以及各部门的职责和分工见附件2所示。

12.2 辐射安全管理规章制度

北大第一医院为了保障放射诊疗工作安全、有效的开展，医院已制定了相应的放射防护管理制度，如《放射防护管理委员会人员组成及工作职责的通知》、《放射诊疗及辐射安全管理制度》、《血管造影机（DSA）操作规程》、《医用直线加速器安全防护操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射诊疗设备检修维护制度》、《台账管理制度(含放射源、非密封放射性物质、射线装置)》、《辐射安全培训制度》、《辐射监测方案》、《放射工作人员职业健康及放射防护知识培训》和《辐射事故（件）应急预案》等，能够满足工作需要。

本项目实施后，北大第一医院核技术利用的种类和范围不变。结合新项目的开展，医院将在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善相关制度，如操作规程、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保大家依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

12.3 人员配置和辐射安全与防护培训

医院制定有周密的辐射工作人员培训计划。目前，医院已于 2015 年 11 月委托环保部门推荐的培训机构（中国原子能科学研究院），对所有放射工作人员(共计 212 人)进行了“辐射安全和防护工作人员”培训，并通过了考核。

医院也利用集会、内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织放射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全法规防护新知识培训。

本项目配备的放射治疗工作人员为医院（第二住院部）原有的放射工作人员，现有人员见表 12-1 所示。放射工作人员拟采用轮岗制，每 3 个月轮换一次机房。

表 12-1 本项目放疗工作人员配置情况

编号	姓名	学历	岗位
1	张敏	博士	医师

2	高献书	博士	医师
3	王庆国	硕士	医师
4	李晓梅	博士	医师
5	李洪振	博士	医师
6	赵勃	本科	医师
7	刘凌	本科	医师
8	李雅钢	本科	技师
9	周刚	本科	技师
10	张绍龙	大专	技师
11	曹光明	专科	技师
12	于洋	专科	护理
13	张树超	本科	技师
14	陈雁	本科	技师
15	秦尚彬	博士	物理师
16	赵波	博士	物理师
17	石明	本科	技师
18	王庆安	本科	技师
19	李丹	本科	技师
20	刘杰	本科	技师
21	申静涛	本科	技师
22	王占平	本科	技师
23	王蕊	本科	技师

医院拟为本项目 2 台 DSA 配备 16 名内、外科医生和护士，采用固定岗位，并将该部分人员纳入放射工作人员管理。放射治疗有关病理工作由医院相关科室承担，设备维修由物理师和技师协调设备厂家承担。

12.4 辐射监测

(1) 个人剂量监测

从事放射工作的人员佩戴使用 TLD 个人剂量计。按每个季度一次的频度委托有资质的机构进行个人剂量检测。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2002）和《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第 55 号）要求建立放射工作人员个人剂量档案。

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

(2) 工作场所监测

根据环保部 18 令的要求，北大第一医院每年委托有资质单位对放射工作场所进行 1 次辐射水平监测。

监测项目：X 和 γ 射线空气吸收剂量率；

监测频次：1 次/年；

本项目涉及工作场所的监测布点：射线装置机房的周边、楼上、楼下、防护门、观察窗外 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，并根据标准要求，每年进行一次设备状态检测。

(3) 环境监测

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

12.5 辐射监测设备和防护用品

医院已购置了必要的辐射监测设备，见表 12-2。同时为保障辐射工作人员的安全，医院为每位辐射工作人员配备个人剂量计 1 套，并配备有铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品。

表 12-2 医院现有的辐射监测仪器和防护用品

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	备注
1	手持辐射剂量仪	Ser.No.903	2009-06-17	在用	1	放疗科使用
2	辐射剂量仪	Framra NE-2570	2012-05-24	在用	1	放疗科使用
3	多功能辐射检测仪	Inspector-alert	2009-06-19	在用	1	医务处采购、核医学科主用
4	表面污染仪	14C	2008-06-11	在用	1	核医学科使用
5	多功能辐射检测仪	Inspector-aler	2013-06-12	在用	1	核医学科使用
辐射防护用品						
名称		数量		名称		数量
铅衣		86		铅帽		23
铅手套		15		铅眼镜		24
铅围裙		50		铅围脖		26
铅屏风		15		个人剂量计		199
其它		无				

本项目投入使用前，医院将为 DSA 机房配备下列个人防护用品，具体见表 12-3 所示。

表 12-3 近期拟配置的个人防护用品

工作人员	铅橡胶围裙	0.5 mmPb	8
	铅橡胶颈套	0.5 mmPb	8
	铅橡胶帽子	0.5 mmPb	8
	铅眼镜	0.5 mmPb	8
患者和受检者(成人)	铅橡胶性腺防护围裙	0.5 mmPb	2
	铅橡胶颈套	0.5mmPb	2
	铅橡胶帽子	0.5 mmPb	2
辅助防护用品	铅悬挂防护屏	0.5 mmPb	4
	床侧防护屏	0.5 mmPb	4

12.6 辐射事故应急

医院针对放射性同位素丢失、被盗、失控事故、可能受到超出剂量限值的照射事故（件）、环境污染事故（件），以及其他原因引发的辐射突发环境事件；针对射线装置丢失、被盗、可能受到超出剂量限值的照射事故（件），已经制定了相应的《辐射事故应急预案》。

同时，医院规定科室每季度组织一次演练，每年至少组织一次全院应急演练。本项目新增使用的医用直线加速器，已在许可使用的射线装置范围内，不涉及增加核技术应用类别，因此，医院现有的《辐射事故应急预案》能够满足要求。

12.7 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 项目环境保护验收主要内容

验收内容	验收要求
剂量限值和剂量约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和环评预测结果，本项目对公众和职业照射的剂量约束值分别执行 0.1mSv/a、2mSv/a(放疗工作人员)和 5mSv/h（介入治疗工作人员）。
剂量率控制水平	加速器机房、后装机机房、DSA 机房周围治疗室四周墙体、防护门外、屋顶和地面的辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	加速器、后装机机房、DSA 机房防护门门口设置放射性警告标志和中文警示说明，设置工作状态指示灯。
场所布局和屏蔽设计	加速器机房墙体、顶棚、地板和防护门屏蔽 γ 射线的能力满足辐射防护的要求。
辐射安全与防护措施	治疗系统采用数字密码或者专用钥匙启动；设置门机安全联锁；配置有 UPS 系统。安装电视监控、对讲系统；紧急停止按钮；门控按钮设置（防护门外旁侧安装关门按钮，在防护门内侧迷道墙壁上安装开门按钮，在控制室内设开、

	关门按钮)；防护门设置门机安全联锁，并具备防夹人功能；加速器机房设有排风系统；治疗室安装应急照明装置和火灾自动报警装置等，具体见本报告 10.1.2、10.1.3 和 10.1.4。
规章制度	补充新增设备的操作规程，完善检测方案和《台账管理制度》等规章制度。
辐射检测仪器和个人防护用品	新增固定式剂量率仪 2 台，便携式剂量率仪 1 台，个人剂量报警仪 4 台。
人员培训	北大第一医院放疗科辐射工作人员均经过了环保部门认可的培训单位组织的辐射安全与防护培训，并取得合格证书。本项目 DSA 拟新增的 16 名工作人员全部通过了辐射安全与防护培训。
应急预案	制定有《辐射事故应急预案》，能够满足要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1) 核技术应用现状：北大第一医院现持有《辐射安全许可证》(京环辐证[B0044])，有效期至 2022 年 8 月 6 日，许可使用 IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，丙级非密封放射性物质工作场所。

2) 实践正当性：经国家发改委批准，医院在第二住院部院区西南侧建设保健中心工程，该项目取得了建设工程规划许可证，获得了北京市环保局同意建设的批复。因临床诊疗工作需要，医院拟在地下三层新增使用 1 台加速器和 1 台后装机，在二层新增使用 2 台血管造影机。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，同时医院具备了技术、人员和经费等条件。

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的环境 γ 辐射剂量率水平基本一致，属于正常本底水平，说明以往核技术利用项目未造成当地辐射环境本底异常。

4) 辐射屏蔽能力分析：医院在设置加速器、后装机和 DSA 场所时已充分考虑了其性能和特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求，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均满足剂量约束要求。

5) 本项目采取了必要的辐射安全与防护措施，如入口粘贴电离辐射警示标志，设置工作状态指示灯、门机联锁系统、停机按钮，固定式剂量率系统、闭路监视系统、个人剂量报警仪等，可以防止设备误操作，可以防止工作人员和公众受到意外照射。

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

7) 现有的辐射工作人员均通过了辐射安全与防护培训，本项目新增人员通过辐射安全与防护培训后持证上岗。放射工作场所将配备必要的辐射监测设备，如固定剂量率、便携式剂量率和个人剂量报警仪等，也将配备铅衣、铅屏风等个人防护用品，能够满足工作需要。

9) 与环保部 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)和环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》提出的具体要求进行对照评估,环评报告中描述的辐射安全和防护措施如果得到落实,能够满足运行的要求。

综上所述,北大第一医院新增使用电子直线加速器、后装机和 DSA 设备,开展放射治疗工作,相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行,在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下,其运行对周围环境产生的辐射影响,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 建议和承诺

为了保护环境,保障人员健康,北大第一医院承诺:

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

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

3) 严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进行监测,并将监测记录保存留档。

4) 加强辐射工作人员管理,对培训期将满需再培训的辐射工作人员进行辐射防护培训,培训合格后,持证上岗。

5) 及时办理辐射安全许可证变更手续。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,并接受环保部门的监督检查。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

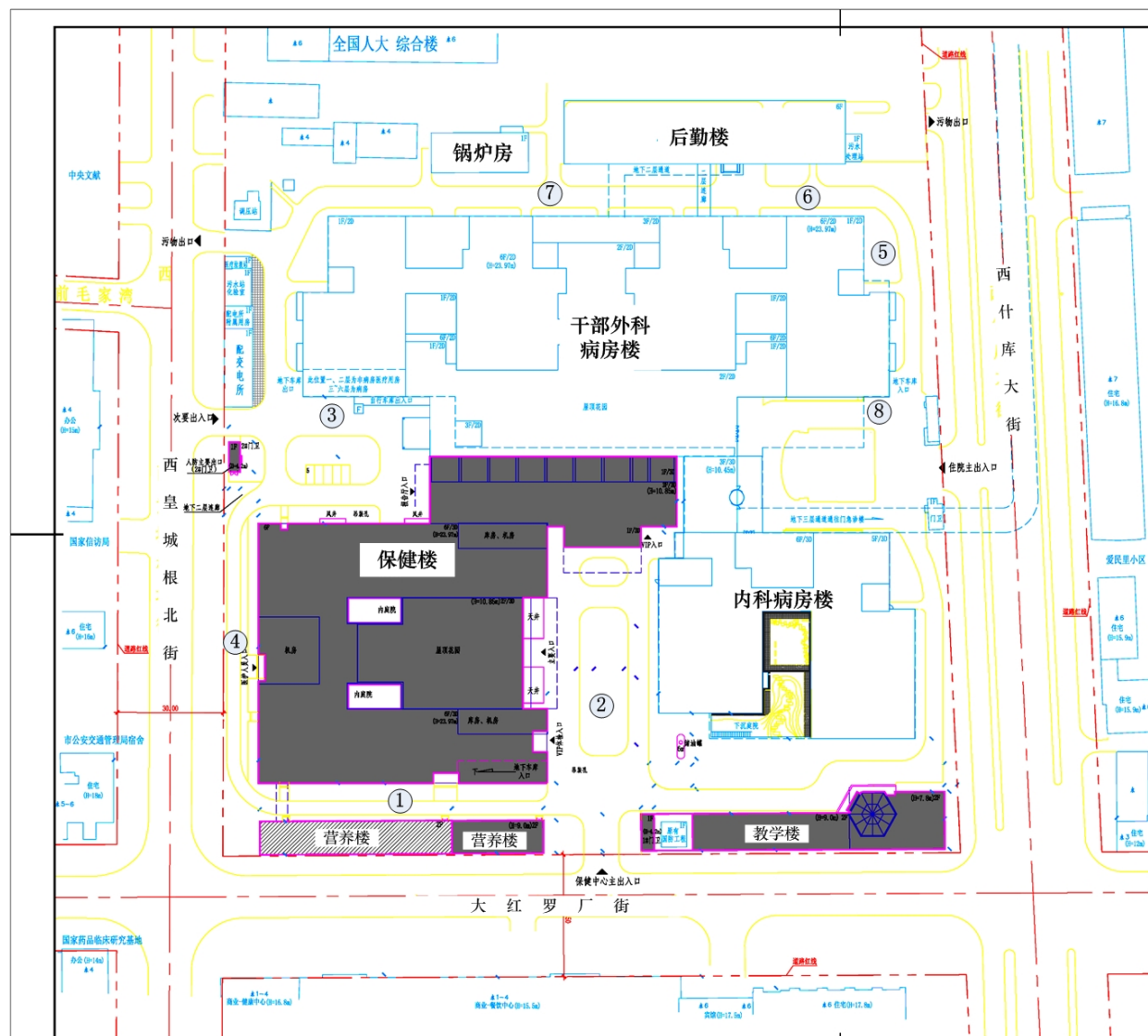
公 章

经办人

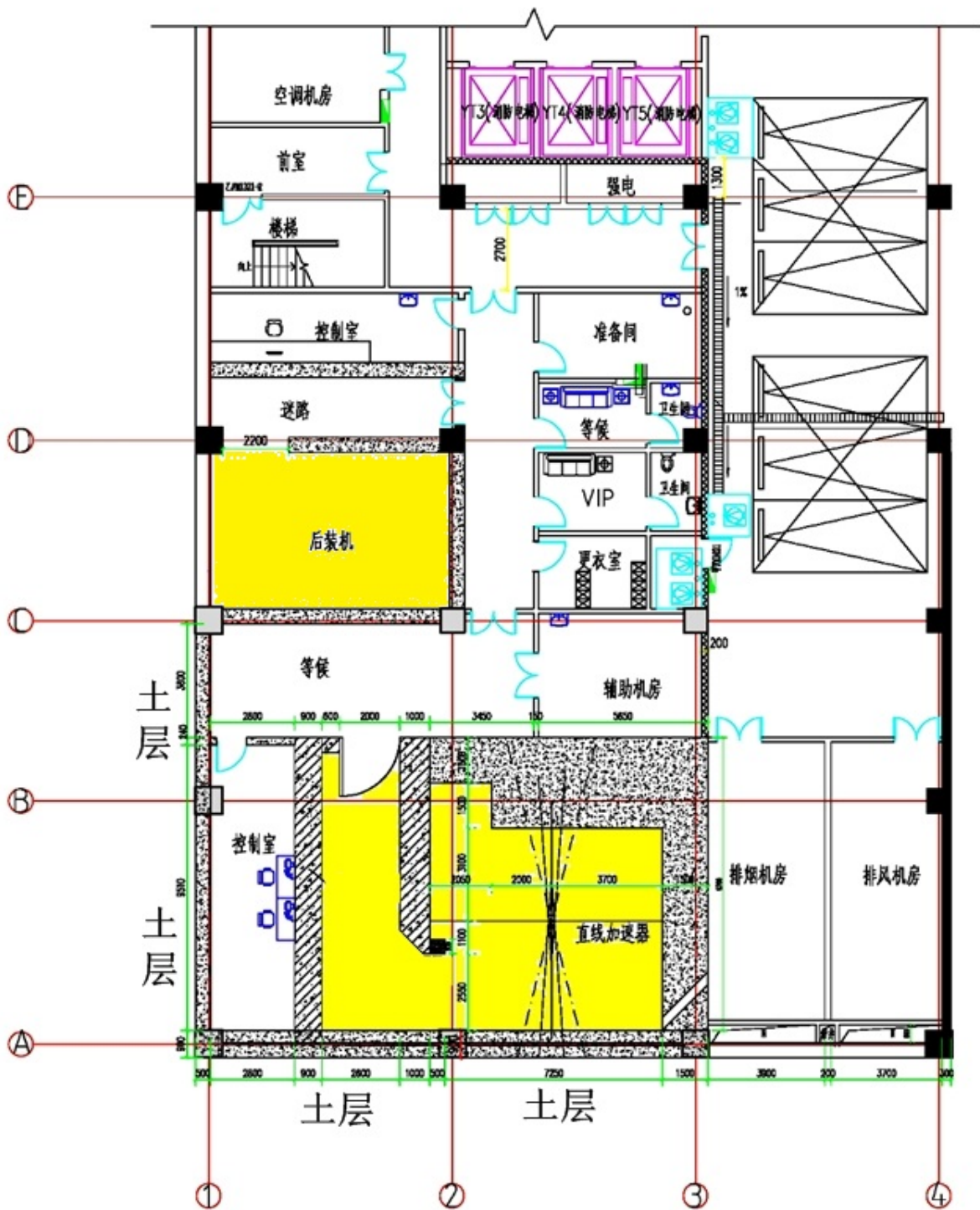
年 月 日



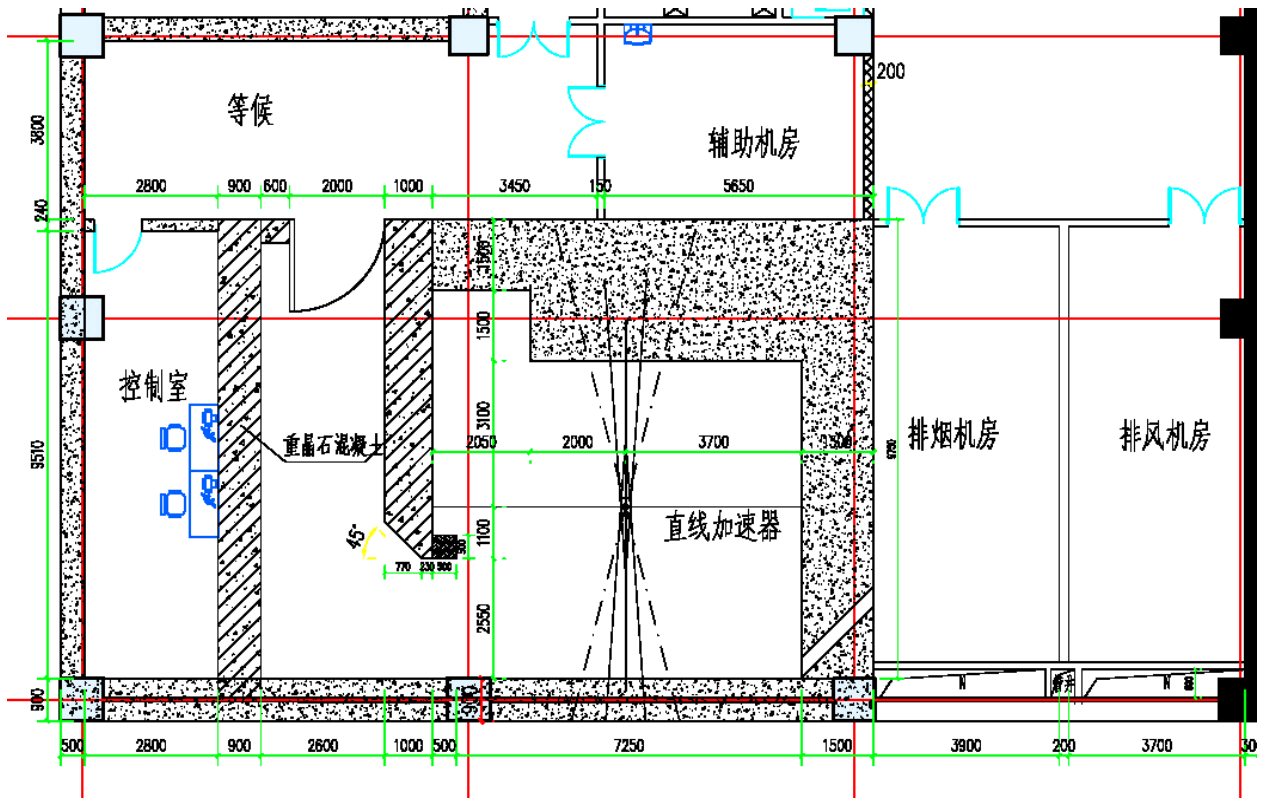
附图 1 北大第一医院东院区设置地理位置示意图



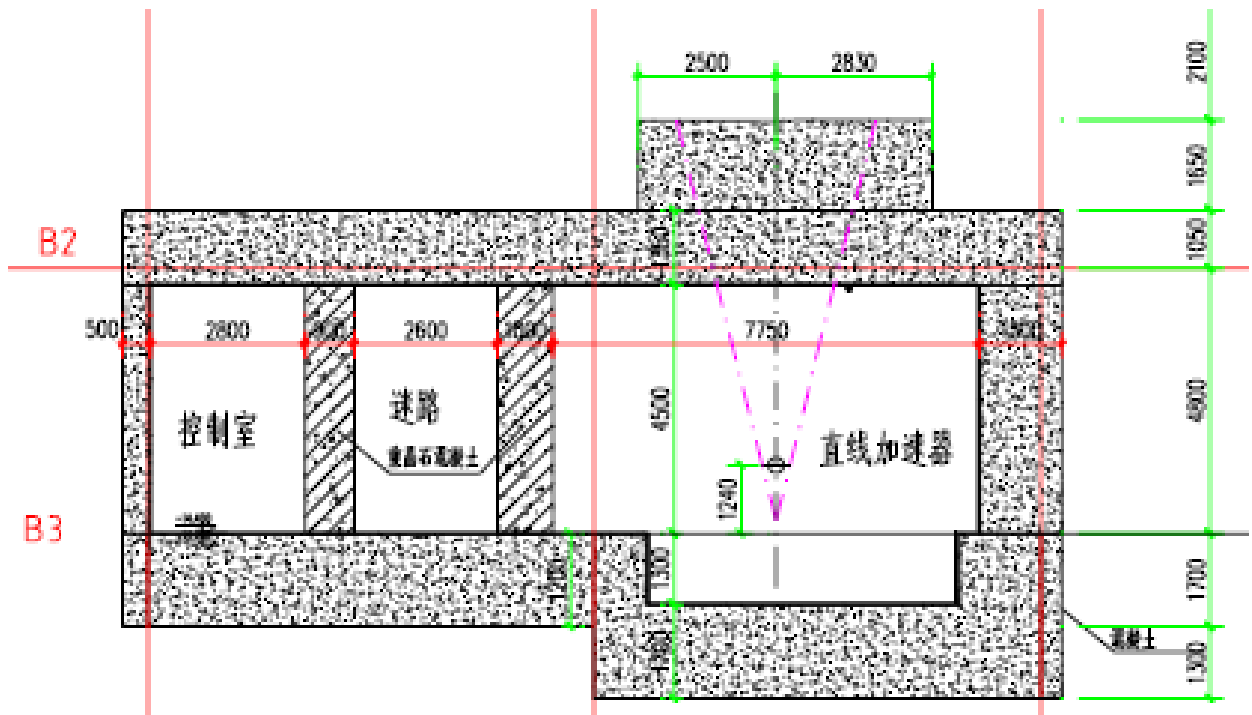
附图 2 医院平面布局及环境辐射水平测点示意图



附图 3 保健中心地下三层放疗工作场所周围环境示意图

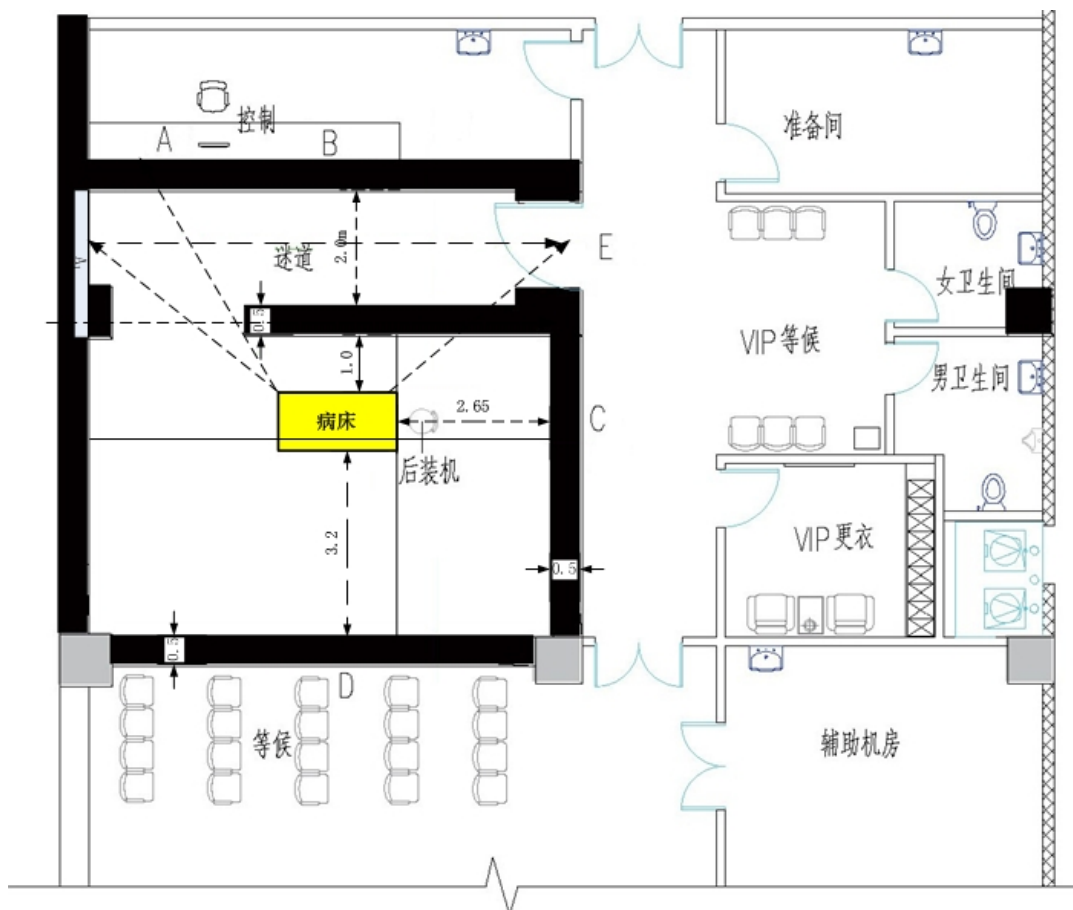


(平面图)

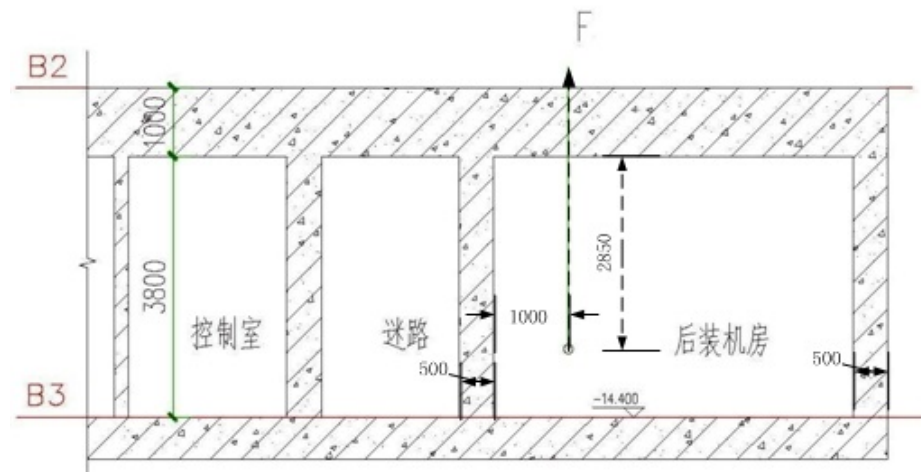


(剖面图)

附图 4 加速器机房平面和剖面布局示意图

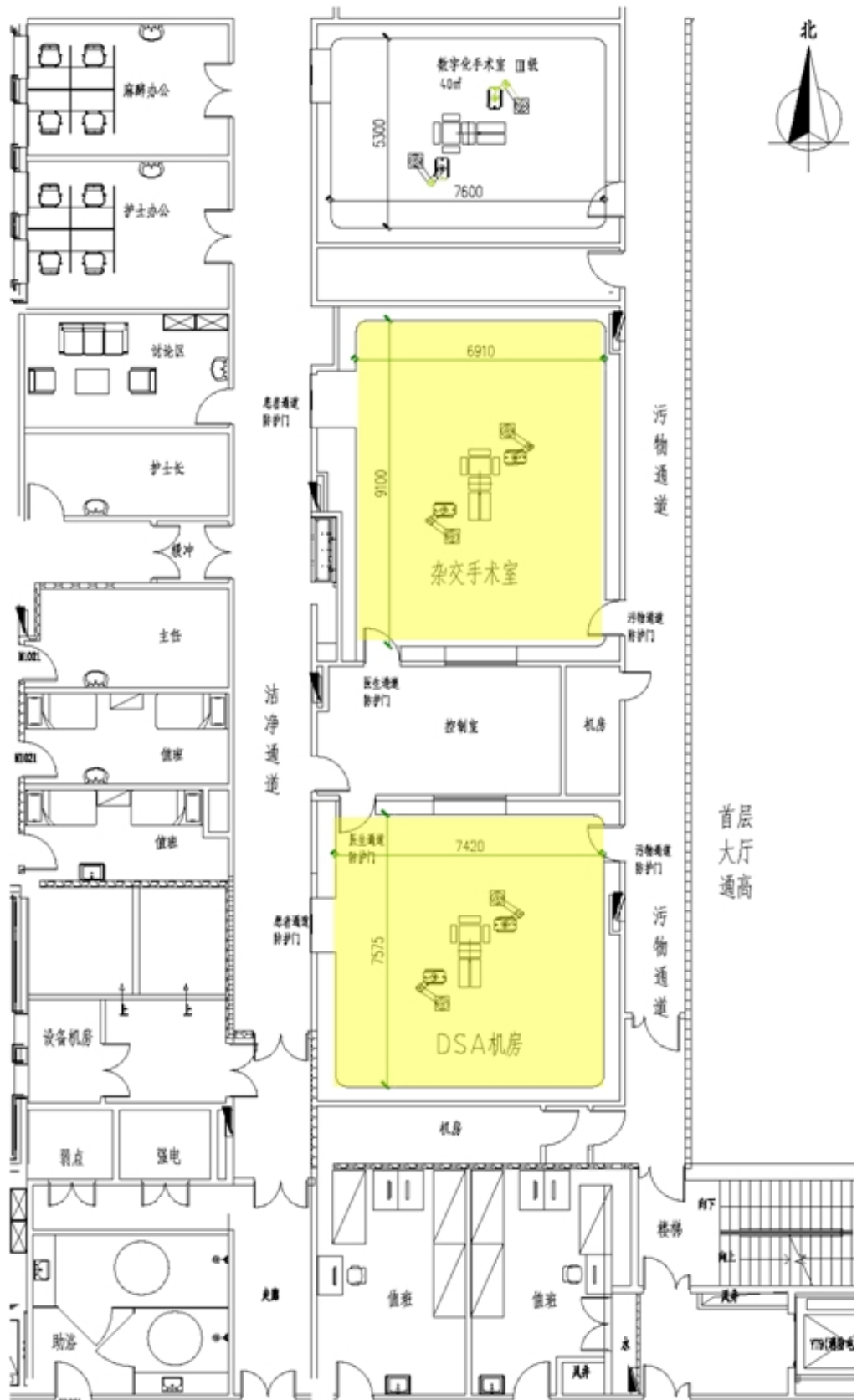


(平面图)



(剖面图)

附图 5 后装机机房平面和剖面布局示意图



附图 6 DSA 机房平面布局示意图