

核技术利用建设项目

天津医科大学总医院扩建使用 II 类射线装置
(直线加速器)、III 类放射源 (^{192}Ir 后装机) 项目

环境影响报告表

(报批版)

天津医科大学总医院

2019 年 6 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

天津医科大学总医院扩建使用 II 类射线装置
(直线加速器)、III 类放射源 (^{192}Ir 后装机) 项目

环境影响报告表

(报批版)

建设单位名称：天津医科大学总医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：天津市和平区鞍山道 154 号

邮政编码：300052

联系人：王井淼

电子邮箱：zyyufangke@126.com 联系电话：022-60362559

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	11
表 3 非密封放射性物质	11
表 4 射线装置	12
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	13
表 6 评价依据	14
表 7 保护目标与评价标准	16
表 8 环境质量和辐射现状	20
表 9 项目工程分析与源项	22
表 10 辐射安全与防护	28
表 11 环境影响分析	32
表 12 辐射安全管理	51
表 13 结论与建议	57
表 14 审批	60
附图 1 医院位置及周边环境图	错误!未定义书签。
附图 2 医院平面图	错误!未定义书签。
附图 3 加速器机房及后装机周边环境图（第三住院楼负三层）	错误! 未定义书签。
附件 1 事业单位法人证书	错误!未定义书签。
附件 2 医疗机构执业许可证	错误!未定义书签。

附件 3 辐射安全许可证	错误!未定义书签。
附件 4 辐射安全与防护监督检查项目表	错误!未定义书签。
附件 5 本底监测报告	错误!未定义书签。
附件 6 专家技术审查意见	错误!未定义书签。
附件 7 修改说明	错误!未定义书签。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		扩建使用 II 类射线装置（直线加速器）、III 类放射源（ ¹⁹² Ir 后装机）项目			
建设单位		天津医科大学总医院			
法人代表	张建宁	联系人	王井淼	联系电话	022-60362559
注册地址		天津市和平区鞍山道 154 号			
项目建设地点		天津医科大学总医院第三住院楼负三层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	3000	项目环保投资（万元）	150	投资比例（环保投资/总投资）	5%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input 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	/				
项目概述					
1 单位概况					
<p>天津医科大学总医院始建于 1946 年，是天津市最大的集医疗、教学、科研、预防为一体的综合性大学医院和天津市西医医学中心。医院为三级甲等医院、全国“百佳医院”、全国百姓放心示范医院。医院现设有 32 个临床科室、8 个医技科室和 8 个临床研究所。设有 2 个博士后流动站、17 个博士学位授权点、25 个硕士学位授权点。有 3 个国家级重点学科（神经外科与神经病学、中西医结合外科学、内分泌学临床部）、4 个国家“211 工程”重点建设学科（中西医结合外科学、神经外科与神经病学、影像医学、内分泌学临床）、2 个国家临床重点专科（消化科、神经外科）、5 个天津市卫生系统重点学科（神经外科与神经</p>					

病学、影像医学、内分泌学临床、胸心外科、中西医结合外科学)、6 个校级重点学科和 6 个院级重点学科。

医院经过 60 多年的发展, 医疗水平在天津市医疗卫生系统中占有举足轻重的地位, 并在多学科发展中形成了自己的特色。神经外科在颅脑损伤病理及临床研究; 胸部肿瘤学科在局部晚期肺癌外科治疗、肺癌“个体化”多学科治疗、肺癌侵袭转移的分子机理及信号调节和气管肿瘤的外科治疗; 血液肿瘤科在原发性骨髓衰竭性疾病的诊断、阵发性睡眠性血红蛋白尿症的治疗; 消化科在消化道出血的综合治疗及内镜治疗技术等方面居于国际领先水平。天津医科大学总医院的事业单位法人证书见附件 1, 医疗机构执业许可证见附件 2。总医院位于天津市和平区鞍山道 154 号, 医院及周边环境见附图 1。

随着天津医科大学总医院业务量的增加、核医学技术的发展, 为更好服务于患者, 总医院计划扩建核技术应用项目, 包括 II 类射线装置(直线加速器)、III 类密封源(^{192}Ir 后装机)。

2 核技术及辐射安全管理现状

2.1、核技术利用现状

天津医科大学总医院于 2018 年 11 月 22 日申领了辐射安全许可证, 证书编号津环辐证[00176], 许可种类与范围为使用 III、V 类放射源; 使用 II 类、III 类射线装置; 使用非密封放射性物质, 乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。许可种类及台账明细见下表 1-1, 表 1-2 和表 1-3。

表 1-1 医院已许可的放射源

序号	核素	类别	总活度(贝可)/活度(贝可) ×枚数	活动种类	环评批复文号	验收文号	状态(拟使用、使用、停止)
1	Ge-68	V 类	(4.0E+8) ×2	使用	【2019】0399 号	/	使用
2	Sr-90	V 类	3.33E+7	使用	/	/	停止
3	Cs-137	V 类	3.7E+6	使用	【2003】166 号	/	使用
4	Ir-192	III 类	(3.7E+11) ×2	使用	【2019】0036 号	自主验收	使用
5	Ge-68	V 类	6.0E+7	使用	【2019】0400 号	/	使用

表 1-2 医院已许可的非密封放射性物质

序号	工作场所名称	等级	核素	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)	活动种类	环评批复文号	验收文号	状态(拟使用、使用、停止)
1	第一住院楼	乙级	I-131	8.14E+8	2.44E+12	使用	【2017】006	【2017】183	使用
2	第一住院楼	丙级	I-125	1.85E+5	1.85E+7	使用	【2008】243	/	使用
3	第一住院楼	乙级	I-125	1.63E+6	3.26E+11	使用	【2018】007	自主验收	使用
4	第一住院楼	乙级	Sr-89	7.4E+7	7.4E+9	使用	【2008】243	/	使用
5	第一住院楼	乙级	Tc-99m	5.15E+8	1.55E+13	使用	【2017】006	【2017】183	使用
6	第一住院楼	乙级	P-32	7.4E+7	7.4E+9	使用	【2008】243	/	停止
7	PET中心	乙级	Ga-68	3.7E+8	9.25E+8	使用	安分报告	/	使用
8	PET中心	乙级	F-18	5.92E+7	1.48E+12	使用	【2003】166	/	使用
9	PET中心	乙级	N-13	1.33E+7	3.33E+11	使用	【2003】166	/	使用
10	PET中心	乙级	C-11	1.33E+7	3.33E+11	使用	【2003】166	/	使用
11	PET中心	乙级	O-15	1E+5	1E+8	使用	【2003】166	/	使用

表 1-3 医院已许可的射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	环评批复文号	验收文号	状态(拟使用、使用、停止)
1	DR	Evolution VX3736-SYS	III类	医用诊断 X 射线装置	第二住院楼二楼体检中心	津环环保许可表 [2012]002 号	/	使用
2	骨密度机	Prodigy	III类	医用诊断 X 射线装置	第二住院楼	201712010100000033	/	使用
3	移动 X 线机	Mobile Dart	III类	医用诊断 X 射线装置	第二住院楼	201712010100000034	/	使用
4	SPECT/CT 一体机	DiscoveryNM/C T670	III类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	第一住院楼	津环环保许可表 【2017】006 号	/	使用

5	CT	LIGHT SPEED-VCT	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	急诊楼旁放射楼	201712010100000281	/	停止
6	直线加速器	Synergy	Ⅱ类	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器	第三住院楼负三层	津环保许可表【2017】006号	津环保许可验【2017】183号	使用
7	大孔径 CT 模拟定位机	Brilliance Big Bore	Ⅲ类	放射治疗模拟定位装置	第三住院楼负三层	津环保许可表【2017】006号	/	使用
8	牙片机	Expert DC	Ⅲ类	口腔 (牙科) X 射线装置	门诊楼	201712010100000034	/	使用
9	牙片全景 CT 机	Seravie mipocs	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	门诊楼	201712010100000034	/	使用
10	肠胃机	PS800	Ⅲ类	X 射线深部治疗机	第三住院楼	津环保许可表【2010】327号	/	使用
11	CT	LightSpeed Pro16	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	第三住院楼: 一楼放射科 CT 室 2	201712010100000281	/	停止
12	乳腺机	Senographe Essential	Ⅲ	管造影用 X 射线装置	第三住院楼	[2010]327号	/	使用
13	数字减影	Artis ze ceiling	Ⅱ	血管造影用 X 射线装置	第三住院楼	【2012】014号	【2017】157号	使用
14	CT	Discovery HD750	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	第三住院楼: 一楼放射科 CT 室 1	201712010100000034	/	使用
15	DR	DRZ-Evolution VX 3735	Ⅲ类	医用诊断 X 射线装置	第三住院楼	201712010100000033	/	使用
16	CT	Optima 660	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	门诊楼: 一楼放射科 CT 室	201712010100000033	/	使用
17	直线加速器	SIEMENS-DM	Ⅱ类	粒子能量小于 100 兆电子伏的	第三住院楼	没有找到	/	停止

				医用加速器	负三层			
18	模拟定位机	TWM-FM4	III类	放射治疗模拟定位装置	第三住院楼 负三层	没有找到	/	停止
19	介入冠脉造影机	AXIOM ARTIS-DFC	II类	血管造影用 X 射线装置	第一住院楼	津环保许可表【2008】243号	津环保许可验【2017】158号	使用
20	回旋加速器	MINIT RACE	II类	制备正电子发射计算机断层显像装置 (PET) 放射性药物的加速器	PET 中心	津环保固函【2003】166号	/	使用
21	DR	DRX-Evolution VX3773	III类	医用诊断 X 射线装置	第二住院楼四层体检中心	201712010100000033	/	使用
22	多功能数字肠胃机	ULTIM AX80 DREX-ULT80	III类	X 射线治疗机 (深部、浅部)	第二住院楼	津环保许可表【2017】006号	津环保许可验【2017】183号	使用
23	CT	SIEMENS Somatom Force	III类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	第二住院楼：一楼	201712010100000033	/	使用
24	SPECT 机	Discovery-vh	III类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	第一住院楼	201712010100000034	/	停止
25	数字减影	Artis ze ceiling	II类	血管造影用 X 射线装置	第三住院楼	津环保许可表【2012】014号	津环保许可验【2017】157号	使用
26	碎石定位机	HB-ES WL-VG	III类	其他不能被豁免的 X 射线装置：碎石定位	第一住院楼	201712010100000281	/	使用
27	C 型臂床旁机	OEC Fluorostar Compact D	III类	医用诊断 X 射线装置	第二住院楼 三楼第四手术室	201712010100000033	/	使用
28	DR	Ebolution VX3733-SYS	III类	医用诊断 X 射线装置	急诊楼旁放射楼	津环保许表【2012】154号	/	使用
29	C 型臂	SIREM	III类	医用诊断 X 射	第三住院	2017120101	/	使用

	床旁机	OBIL Compact L		线装置	楼三楼 24 手术间	00000033		
30	骨密度机	Prodigy	III类	医用诊断 X 射线装置	门诊楼二楼骨密度室	201712010100000033	/	使用
31	DR	DRX-Evolution VX 3734	III类	医用诊断 X 射线装置	门诊楼一楼	201712010100000033	/	使用
32	血管造影机	UNIQ FD20	III类	血管造影用 X 射线装置	第三住院楼一层 DSA3 室	津环保许可表【2017】061号	自主验收	使用
33	移动式 C 型臂 X 射线机	GE DEC	III类	医用诊断 X 射线装置	第二住院楼三楼第 16 手术间	201812010100000137	/	使用
34	DSA	ALLUR AXPER FD	II类	血管造影用 X 射线装置	第二住院楼丙楼南侧第一导管室	津环保许可表【2018】007号	自主验收	使用
35	PET CT 机	Discovery 710	III类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	PTE 中心医学影像中心	201712010100000701	/	使用
36	双能全身骨密度仪	Lunar	III类	医用诊断 X 射线装置	第三住院楼十层骨密度室	201712010100000701	/	使用
37	移动式 C 型臂 X 射线机	Brivo OEC715	III类	医用诊断 X 射线装置	急诊楼八楼门诊手术室	201712010100000701	/	使用

2.2、辐射管理现状

1) 辐射安全管理机构

医院成立以院长为第一责任人、副院长为主要责任人、相关科室领导为成员的辐射安全防护委员会，全面负责院内辐射安全与环境保护管理工作。

其职责主要为：

(1) 制修订相关本院放射防护管理制度、放射诊疗质量保证方案、修订大型医用设备（含放射设备）管理制度。

(2) 办理《放射诊疗许可证》及变更、校验和注销、办理《辐射安全许可证》及变更、校验和注销、办理放射诊疗新技术项目的审批工作

(3) 为放射工作人员办理《放射工作人员证》、组织放射工作人员职业健康检查、组织放射工作人员个人剂量监测、组织放射工作人员参加卫生、环境部门组织的培训、建立放射工作人员职业健康监护档案。

(4) 建立放射诊疗管理工作档案并及时更新、完成卫生行政部门规定的计算机信息系统录入工作。

(5) 联系检测机构对放射诊疗设备进行性能检测及防护检测、联系中国计量院对放射防护检测仪器和质控设备进行计量检定或校准

2) 辐射安全管理制度

医院目前已经建立的辐射安全管理制度有：《天津医科大学总医院辐射安全防护和管理制度》、《关于放射源和放射性药物使用保管更新销毁的管理规定》、《妇科放射源事故应急措施 2018》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《放射源及放射性同位素安全保卫管理规定》、《放射性事故应急计划操作方案》、《关于工作人员职业健康查体的规定》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《放射工作人员个人剂量管理制度》、《关于加强放射人员个人剂量卡管理的规定》、《天津医科大学总医院突发放射性事故应急预案》、《天津医科大学总医院突发预案流程图》、《医疗照射质量保证方案及监测规范》、《医院建设放射诊疗项目的管理规定》、《主管放射防护工作人员岗位职责》、《总医院放射卫生防护管理组织机构设置人员及职责》等。

医院辐射安全管理严格遵循着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。

3) 人员培训

医院规定所有辐射工作人员上岗前必须接受环境保护主管部门认可培训机构组织的辐射防护与安全培训，并考试合格上岗。目前，本项目相关工作人员已有 12 人参加了辐射防护与安全培训，并取得合格证书。相关培训情况如下表 1-4。

表 1-4 医院辐射工作人员培训情况

序号	姓名	性别	培训时间	培训机构	培训证号
1	王克强	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721093
2	耿凯	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721163

3	郭志超	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721041
4	简建波	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721166
5	李菁	女	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721064
6	王万利	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721043
7	吴君	女	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721040
8	吴凯	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721042
9	翟静	女	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721037
10	张荣新	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721165
11	张文学	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721036
12	赵荣志	男	2017.06	中国原子能科学研究院	B1721038

医院加强了辐射人员培训与管理工作，确保未培训和培训期已满四年的辐射工作人员经培训或复训，并考核通过后持证上岗。

4) 个人剂量监测

医院落实了所有辐射工作人员均配备个人剂量计，在个人剂量计佩戴时间每次届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案，个人年累积剂量均在 2mSv 剂量约束限值内。

5) 工作场所辐射环境监测与防护

医院配有辐射防护用品和个人剂量计，拟为本项目配备辐射监测仪器和个人剂量报警仪器等，以满足工作需要，相关监测仪器与防护用品如下表 1-5 所示。

表 1-5 医院辐射环境监测仪器与防护设备情况

名称	数量	配备情况
个人剂量计	12 个	已配备
个人剂量报警仪	2 台以上	已配备
固定式辐射检测仪	2 台	拟配备
辐射巡检仪	1 台	已配备
铅衣	若干	已配备

3 项目建设规模

3.1、直线加速器

3.1.1 扩建直线加速器位置及周边环境

本次扩建使用的加速器医科达公司生产的 Infinity 直线加速器（14Gy/min（6MV）/6Gy/min（10MV）），放置于 2#加速器机房内，2#加速器机房位于第三住院楼地下三层，第三住院楼地下三层为下沉式建筑，即三层上面为地下一层。医

院位置及周边环境图见附图 1，医院平面图见附图 2，加速器机房位置图见附图 3。

2#加速器机房北部外墙北侧为无建筑的地下部分，西部迷路外墙西侧为水冷机房，东部外墙为无建筑的地下部分，南部外墙南侧控制室，楼上为地下一层职工食堂，机房下方为无建筑的地下部分。

3.1.2 扩建加速器机房参数

2# 加速器机房的长宽和净高，加速器机房平面图见图 1-1。

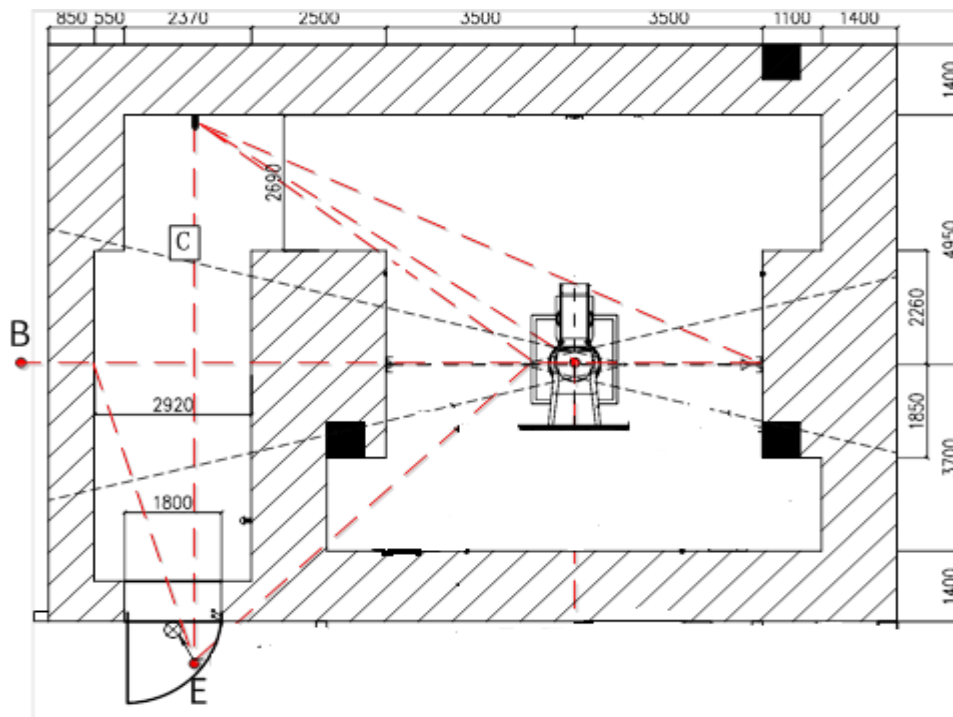


图 1-1 加速器机房平面图

机房长宽高：15.77m×11.26m×3.8m

加速器机房的面积：建筑面积：178 m² 室内面积：140m²

迷路长度：7.36m

墙体屏蔽材料：混凝土；

主屏蔽墙：东侧防护墙和西侧迷路内墙的主屏蔽墙厚度均为 2500mm、宽度为 4110mm；

副屏蔽墙：北侧防护墙和南侧防护墙的墙厚度均为 1400mm；

西侧迷路外墙厚的部分为 1400mm，薄的部分为 800mm；

屋顶：厚度为 2500mm，宽度 4000mm；

防护门：宽度为 1.8m，内衬 12mm 厚铅板，门内填充 120mm 厚含硼石蜡。

3.2、III 类密封源铱-192 后装机

3.2.1 扩建后装机位置及周边环境

本项目拟建一台荷兰 Nucletron B.V 公司生产的 Flexitron HDR 型后装治疗机，内有一枚 10 居里活度的铱-192 放射源，安装地点位于第三住院楼地下 3 层后装机房。

后装机房东部外墙东侧为无建筑的地下部分，西部迷路外墙西侧为准备间（候诊室），北部外墙为 2#加速器的控制室，南部外墙为后装机控制室，楼上为地下一层职工食堂，机房下方无建筑。

4 项目选址

本次扩建使用的加速器和后装机房均位于总医院第三住院楼地下三层。地下二层(-8.3m)主体功用为地下停车场，其中一定区域用于建设放射治疗区，由于放射治疗机房所需的房顶防护层较厚（2.5m），机房高度也需要 3m 以上，为满足加速器等的辐射防护要求,故将该区域向下开挖一定的深度（-12m）形成独立封闭的放射治疗区域。该区域上边没有地下二层，没有特殊关注点。位置及周边环境见附图 3。

5 环境影响评价

本项目是为了满足医学诊断和治疗工作需要，提高医疗服务水平，属于核技术医学应用中较成熟的应用内容。尽管项目运行过程产生的电离辐射对周围人员和环境可能产生一定的影响，借助这些放射诊疗手段，从而有针对性地治疗疾病，保障人体健康，所获利益远大于其可能产生的危害。因此，本项目符合辐射实践正当性原则要求。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《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》的决定等规定，天津医科大学总医院委托核工业北京化工冶金研究院（以下简称“评价单位”）开展“扩建使用 II 类射线装置（加速器）、III 类密封源（¹⁹²Ir 后装机）项目”的环境影响评价工作。评价单位在现场调查、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。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度/活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	Ir-192	$3.7 \times 10^{11} \times 1$	III类	使用	放射治疗	第三住院楼 地下3层后装机房	第三住院楼 地下3层后装机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	直线加速器	II类	1	Infinity	电子	10	—	肿瘤治疗	第三住院楼地下3层2#加速器机房	14Gy/min (6MV) /6Gy/min (10MV)
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度 (Bq)	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废放射源	固体	Ir-192	3.7×10^{11}	——	——	——	——	由厂家回收处理
废靶件	固体	/	/	/	通常 1 个靶使用 5-7 年才更换 1 次	/	/	有资质单位回收

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日修订并施行；</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5)《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2018 年 4 月 28 日修订并施行；</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月 20 日公布施行；</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(9)《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（国家环保部 国家卫生和计划生育委员会（公告 2017 年第 66 号），2017 年 12 月 5 日起施行）；</p> <p>(10)《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》（国家环保总局，环发[2006]145 号），2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(11)《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行）；</p> <p>(12)《国家危险废物名录》（2016 版），环境保护部、国家发展和改革委员会、公安部，2016 年 8 月 1 日；</p> <p>(13)《天津市放射性废物管理办法》（天津市人民政府令 2004 年第 60 号，2018 年 4 月 10 日市人民政府第 7 次常务会议修订。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1)《环境影响评价技术导则-总纲》（HJ2.1-2011）；</p> <p>(2)《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>(3)《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>(4)《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）；</p> <p>(5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p>

	<p>(6) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016);</p> <p>(8) 《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>(9) 《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>(10) 《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/T201.3-2014);</p> <p>(11) 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017);</p> <p>(12) 《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002)</p> <p>(13) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ 2.1-2007);</p> <p>(14) 《密封放射源 一般要求和分级》 GB4075-2009;</p> <p>(15) 《放射性物质安全运输规程》 GB11806-2004</p> <p>(16) 《环保部辐射安全与防护监督检查程序》(第三版)。</p>
其他	<p>(1) 建设单位提供的技术资料;</p> <p>(2) 《辐射防护手册》。</p> <p>(3) IAEA188 《电子直线加速器工作的辐射安全问题》</p> <p>(4) 《辐射所致臭氧的估算与分析》(中华放射医学与防护杂志 VoL14, 2, P101, 1994)</p> <p>(5) IAEA No.47 号文</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

结合《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/T 10.1-2016) 的相关规定, 确定以本项目评价的放射性同位素及医用射线装置周围 50m 作为评价范围。本次评价项目所在位置第三住院楼地下三层周围 50m 范围部分

保护目标

本项目环境保护目标为加速器机房和后装机机房周围非辐射工作人员和公众。 本项目周围环境保护目标见表 7.1。

表 7.1 本项目周围环境保护目标一览表

辐射工作场所	方位	周围场所	居留因子	人员类别
2#加速器机房	北侧	土层	/	/
	南侧	控制室	1	放射性工作人员
	西侧	水冷机房	1/4	维修人员
	东侧	土层	/	/
	楼上	职工食堂	1/4	公众
	楼下	土层	/	/
后装机房	北侧	2#加速器机房控制室	1	其他放射性工作人员
	南侧	控制室	1	放射性工作人员
	西侧	候诊厅	1	公众人员
	东侧	土层	/	/
	楼上	餐厅操作间	1/4	公众
	楼下	土层	/	/

评价标准

1 剂量限值

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的相关要求:

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制, 使之不超过下述限值:

a) 由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均),

20mSv;

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

B1.2 公众照射

B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

b) 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。

工作人员的**职业照射和公众照射的有效剂量限值列入表7.2。

表 7.2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

职业工作人员		公众	
类别	限值	类别	限值
眼晶体当量剂量	150mSv	眼晶体当量剂量	15mSv
四肢或皮肤当量剂量	500mSv	四肢或皮肤当量剂量	50mSv
年有效剂量	20mSv	年有效剂量	1mSv

注：表中剂量限值不包括医疗照射和天然本底照射。

2 年剂量约束限值

综合考虑医院放射性同位素和射线装置的使用现状，并着眼于未来发展，为其它辐射设施和实践活动留有余地，本评价分别对职业照射和公众照射的年受照剂量约束值分别进行了设定：

1) 部分职业人员可能内部轮岗，存在受照剂量叠加的情况，为便于管理，全院辐射工作人员的年受照剂量约束值统一取2mSv；

2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的第11.4.3.2条款规定公众剂量约束值通常应在0.1~0.3mSv/a范围内。本项目对周围公众的年受照剂量约束值取0.1mSv。

3) 关注点剂量率控制水平

表 7.3 加速器机房关注点剂量率控制水平

辐射工作场所	方位	周围场所	居留因子	剂量率控制限值
加速器机房	南侧	加速器控制室	1	2.5 μSv/h
	西侧	水冷机房	1/4	2.5 μSv/h
	楼上	职工食堂	1/4	2.5 μSv/h
后装机房	北侧	2#加速器机房控制室	1	2.5 μSv/h
	南侧	后装机控制室	1	2.5 μSv/h
	西侧	候诊厅	1	2.5 μSv/h
	楼上	餐厅操作间	1/4	2.5 μSv/h

3 引用标准

3.1 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）

本标准规定了医用电子加速器（以下简称加速器）用于临床治疗时的放射防护要求。

本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。

第 6.1 款：治疗室防护要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 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。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m²。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

6.1.9 相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

3.2 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）

本标准规定了电子加速器（以下简称加速器）放射治疗机房的剂量控制要求，辐射屏蔽的剂量估算与检测评价方法。

3.3 《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）

臭氧不允许超过的浓度限值为 0.16mg/m³（1 小时平均值）。

二氧化氮不允许超过的浓度限值为 0.24mg/m³（1 小时平均值）。

3.4 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）

5 后装放射治疗室的防护要求

5.1 治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积不小于 20m²，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区。

5.2 治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到使室内空气每小时不小于 4 次。

5.3 治疗室人口应采用迷路形式，安装防护门并设置门一机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

5.5 在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。

5.6 设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。

5.7 应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

5.8 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外 30 cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5 uSv/h。

5.9 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。

5.10 治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

5.11 治疗室内合适的地方应张贴应急指示。

6.8 实施治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

6.10 治疗单位应按 GBZ 128 的要求对放射工作人员进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；放射工作人员进入治疗室应携带个人剂量报警设备。

7.1 后装治疗应用单位应制定辐射事故应急计划，其内容应简明易懂，应考虑源的脱出、卡源、污染、事故照射等潜在紧急情况。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

2019 年 2 月 28 日，天气晴，6℃。建设单位委托核工业北京化工冶金研究院分析测试中心对直线加速器和后装机使用场所第三住院楼负三层 2#加速器机房和后装机房周围进行了辐射环境本底监测。监测内容为 γ 剂量率。监测仪表为 AT1121 型 χ - γ 剂量率仪；监测方法：便携仪表直接测量。监测布点见图 8-1，监测数据见表 8-1，监测报告见附件 5。

(1) 监测因子

射线装置周围环境影响的 X- γ 辐射剂量率。

(2) 监测方案

使用便携式检测设备对探伤机拟工作区域和周边环境进行监测，X- γ 剂量率仪在距地面 1m 高处监测 γ 剂量率，每 10s 进行一次读数，每个测点读 10 次数。

(3) 监测仪器

表 8-1 本项目辐射环境监测所使用仪器

仪器名称	便携式 X- γ 剂量率仪
仪器型号	AT1121 型
能量响应范围	15keV~10MeV
剂量率范围	50nSv/h~10Sv/h
有效日期	2018 年 3 月 20 日至 2019 年 3 月 19 日
检定单位	中国计量科学研究院

(4) 监测布点图

监测布点图见图 8-1。

(5) 质量保证措施

- ①合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- ②监测方法采用国家有关部门颁布的相关监测标准与规范。
- ③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- ④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- ⑤由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

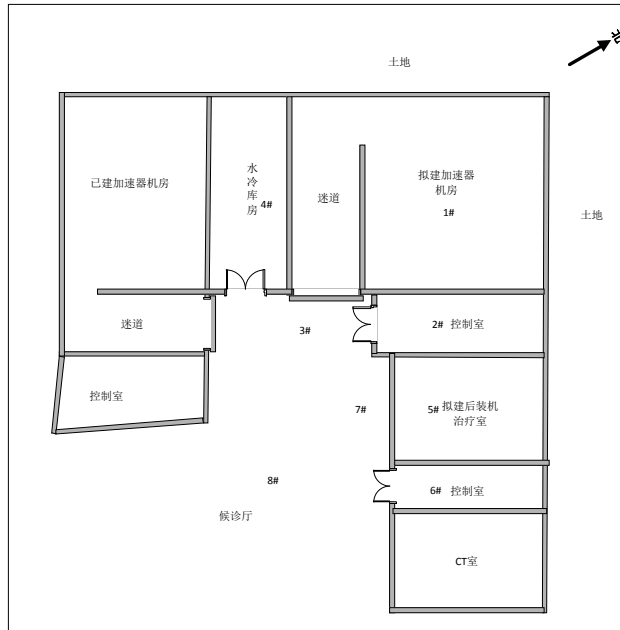


图 8-1 本底监测布点图

(6) 监测结果

表 8-1 项目建设辐射场所辐射环境本底监测结果

检测点		检测值
编号	位置描述	γ 辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)
1	拟建加速器机房室内	0.13
2	拟建加速器控制室室内	0.09
3	拟建加速器机房南侧	0.09
4	拟建加速器机房西侧	0.09
5	拟建后装机治疗室室内	0.09
6	拟建后装机控制室室内	0.11
7	拟建后装机治疗室西侧	0.07
8	候诊厅	0.08

检测结果表明：加速器机房和后装机周边辐射环境现状检测值在（0.07~0.13） $\mu\text{Sv/h}$ 之间，处于天津市放射性环境本底水平内（根据 2010 年天津市辐射环境质量报告，辐射值介于（45.8~178.6） nGy/h 范围内）。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1、工作原理和工艺流程

1.1、直线加速器

(1) 工作原理

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。其工作原理为：电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过打金属钨靶产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。典型医用电子直线加速器组成及内部结构分别见图 9-1、图 9-2。

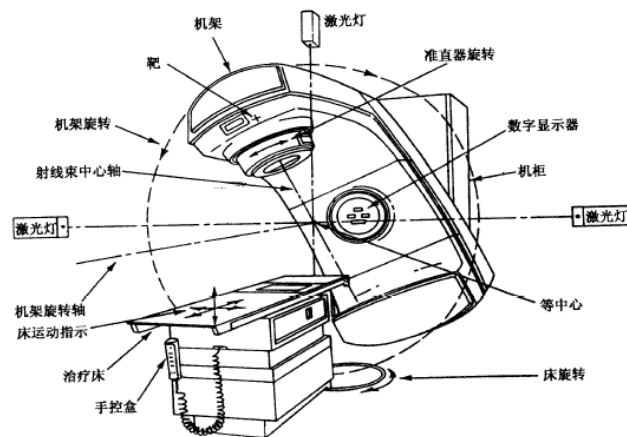


图 9-1 典型医用电子直线加速器结构示意图

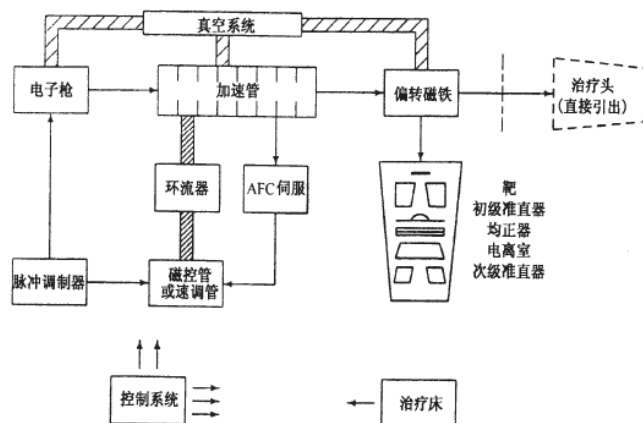


图 9-2 典型医用电子直线加速器内部结构框图

(2) 操作流程

1) 开机

检查水冷系统和 UPS 是否处于正常状态，打开监控系统，打开加速器工作站电源开关，打开显示器开关，数据库和 LCS 自检完成后进入登录控制平台、观察工作站上的功能指示灯是否全亮，LED 是否置数，全部正常的状态下在登陆面板上键入密码及用户名，进入临床治疗模式，手控盒马达复位后，机器处于预热状态进行晨检。

2) 晨检

机械检查：包括机架、机头旋转运动是否正常；准直器角度；标尺灯；等中心精度是否准确；治疗床的各个运动是否正常。

激光灯检查：必须保证其水平及垂直方向完全重合，并于等中心处交汇，如有漂移应立即调整。

设备状态检查：主要有水温、水压、气压等，水压、气压低于标准时应及时补充到标准范围内。

安全检查：包括紧急开关，门机连锁，防撞环是否灵敏，同时要保证监视系统、监听系统正常，以便监视机房内病人和设备的运行情况。

预热 15 分钟后进行各种能量训机，一切正常后准备治疗病人。

3) 新病人第一治疗必须由主管医师、物理师、加速器治疗师共同进行位置及剂量验证，无误后共同完成首次治疗。

4) 无需治疗计划者由机长或者责任技术员按治疗单要求编辑处方、将能量、预置剂量、照射野数值、时间、剂量比等参数输入工作站，医师、物理师检查确认后共同治疗。

5) 必须由三名技术员协同完成病人治疗，一人开机、两人摆位，治疗前认真阅读计划治疗单，熟悉患者病情，根据治疗单要求准备各种辅助工具、铅块、毛巾、面罩、平板、体模等。

6) 摆位技术员按治疗单要求进行摆位，将病人轻轻放置于治疗床或随时治疗架上，在摆位过程中，要注意医患安全，严禁砸伤碰伤病人机器互撞现象发生。

7) 工作人员撤出治疗室，关闭治疗室大门。

1.2、密封放射源（ ^{192}Ir 后装治疗机）

（1）工作原理

^{192}Ir 后装治疗机属于近距离放射治疗机，是新一代肿瘤治疗设备。它是将不带放射源的治疗容器置于治疗部位，然后由电脑遥控步进电机将 ^{192}Ir 源送入治疗容器，利用 γ 射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，加上射线的距离衰减效应，可减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的剂量。本项目后装机形状见图 9-3。



图 9-3 后装机

2) 设备组成及作用

后装机由治疗计划系统、控制系统和后装机三部分组成。治疗计划系统通过数字化仪将患者的影像进行正交、半正交和交角的影像重建，通过运算可显示出优化治疗、三维储存显示剂量分布以及解剖结构，系统可以自动修正源衰变，根据源位、病灶大小和形态，计算出等剂量分布曲线。后装机的作用是将放射源准确、安全、定时地放置到人体病变部位。后装机放射源安放在真源轮钢丝绳的最前端，所载的放射源约为 $0.9\text{mm}\times 4.5\text{mm}$ 的圆柱体，放射源强度一般为 10Ci ，使用时将塑料导管插入人体各需要治疗的部位，后装机最多可放置 18 条塑料管，设置 18 个治疗部位，多数情况下为 3~4 个治疗部位。后装机装有两个相同的绕有钢丝绳的轮，一个是真源轮，一个是假源轮，两个轮的结构和小相同，在真源轮上放有放射源。两个轮分别由两个步进电机驱动，同时还各装有一个直流电机，用于必要时做快回抽的操作。

3) 操作流程

^{192}Ir 后装机的大致操作流程为：透视—埋置导管—固定位置—接管—模拟运

行— ^{192}Ir 植入治疗。具体步骤如下：

- ①给病人安装施源管；
- ②设 n 个通道，计算机自动优化放射方案；
- ③走假源 3 次，无故障后开始走真源放射治疗，治疗结束后真源自动复位；
- ④如出现意外情况，按“急停按钮”治疗中止，源自动复位，撤离病员，向有关领导报告，请专业维修人员处理。

2、工作时间及人员编制

(1) 加速器

本项目加速器每天开机照射 128 分钟，年照射不超过 540h。

(2) ^{192}Ir 后装治疗机

本项目 ^{192}Ir 后装治疗机，每周治疗 20 例病患。每例治疗时间大约 6 分钟，则年最大出束时间约为 $20 \text{ 例} \times 0.1 \text{ h/例/天} \times 50 \text{ 周} = 100\text{h}$ 。

本项目后装治疗仪机房拟配备技师 1 名、医生 1 名、物理师 1 名、护士 1 名。

污染源描述

1、加速器的污染因素分析

1.1、正常工况下污染途径

本项目医用直线加速器产生的主要辐射危害初级辐射：被加速的电子；次级辐射：韧致辐射、X 射线、中子辐射；感生放射性核素释放的 β 、 γ 射线；微波辐射；其他有害因素：臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (N_xO_x)。

(1) X 射线及高能电子束

医用电子直线加速器既可利用 X 射线，也可利用电子束对患者病灶进行照射。X 射线和电子束均随加速器的开、关而产生和消失。因此，在加速器开机时间内，X 射线为主要辐射环境污染因素。

(2) 中子辐射

本项目直线加速器产生的高能 γ 射线会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 (γ, n) 光核反应，生成中子。因电子束最大能量为 15MeV，会产生一定量的中子，迷道入口防护门应同时考虑 X 射线和中子的散射辐射及中子俘获 γ 射线。

(3) 感生放射性

根据《辐射防护手册 辐射源与屏蔽》(第一分册)可知,绝大多数天然核素的反应阈能在 10MeV 以上,当 X 射线的能量超过阈能时,在空气中产生的感生放射性核素主要是 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 。感生放射性产生于加速器运转时,停机后继续存在。感生放射性可能会对维修、摆位人员等造成外照射危害,空气中产生的感生放射性核素还可造成人员的内照射。

感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽,但多数半衰期较短,停机 5~10 分钟后就可以减弱到初始值的一半,因此,对感生放射性的有效防护措施之一就是等其自然衰变。

(4) 非放射性有害气体

加速器在开机运行时,产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧(O_3)和氮氧化物(N_xO_x),通过通风系统可明显降低机房内的臭氧和氮氧化物浓度。

(5) 循环水

加速器设备中使用的内循环冷却水循环使用不外排。

1.2、事故工况下污染途径

(1) 直线加速器联锁装置系统失灵,或其它控制系统失灵,导致直线加速器处于开机状态,射线发射不停止,透射到环境的射线辐射影响与正常工况一样,与机房相邻的场所人员照射剂量有所增加;

(2) 机房通风系统失效,机房内臭氧浓度增加,导致排放到环境臭氧浓度增高,影响大气环境质量;

(3) 开机状态下,误入机房人员将受到大剂量照射,或因屏蔽防护失效,射线严重泄漏至环境,造成环境辐射污染和人员受照危害。

2、后装治疗机的污染因素分析

1.1、正常工况下污染途径

(1) γ 射线

本项目后装治疗机中使用的是 ^{192}Ir 密封源, ^{192}Ir 源发射的 γ 射线具有很强的贯穿能力,能穿透屏蔽材料对周围环境产生辐射污染。后装机使用放射源污染特性见表 9-1。

表 9-1 核素衰变特性参数

核素名称	物理半衰期	γ 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常 Kr ($\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$)
Ir-192	74d	0.4	0.111

(2) 固体废物

后装机主要的放射性固体废物是退役产生的废源需作为放射性固体废物进行处理。

(3) 非放射性有害气体

^{192}Ir 源产生的 γ 射线与空气作用可产生少量臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (N_xO_x), 通过通风系统, 可明显降低其浓度。

因此, ^{192}Ir 后装机的污染因素主要是 γ 射线及退役的 ^{192}Ir 源。

1.2、事故工况下污染途径

(1) 后装治疗机在使用过程中由于卡源等设备故障, 造成 γ 射线源无法回收的情况, 在排除障碍过程中将会对人体造成外照危害。

(2) γ 射线治疗机在工作时, 人员误入或误留治疗室, 对人体造成外照危害。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1、 医用直线加速器的安全设施

1.1、辐射工作场所分区

依据管理的需要，将加速器使用场所分为控制区和监督区。

控制区：2#加速器机房、水冷机房。

监督区：加速器控制室、候诊区（即楼道走廊）。

1.2、建筑屏蔽

(1) 加速器机房

直线加速器机房有用束水平东侧和西侧主屏蔽墙均为 250cm 混凝土，宽度均为 400cm，东侧次屏蔽墙为 140cm 混凝土。有用束主屏蔽屋顶为 250cm 混凝土。北侧和南侧屏蔽墙为 140cm 混凝土，迷路内墙和外墙厚度不均，迷路内墙厚的部分为 2.5m，薄的部分为 1.4m，迷路外墙厚的部分为 1.4m，薄的部分为 0.8m。迷路内口宽度为 240cm，迷路外口宽度为 180cm。铅防护门的为钢制框架结构内衬 12mm 厚铅板，门内填充 120mm 厚含硼石蜡。机房屏蔽措施见表 10.1。

表 10.1 电子直线加速器机房屏蔽一览表

项目	直线加速器机房
南墙	次屏蔽墙，1400mm 混凝土
北墙	次屏蔽墙，1400mm 混凝土
东墙	主屏蔽 2500mm 混凝土主屏蔽区长度 4110mm 混凝土 次屏蔽区 1400mm 混凝土
西墙	内迷路主屏蔽 2500mm 混凝土，主屏蔽区宽度 4110mm，内迷路 次屏蔽区 1400mm 混凝土
净高	3700mm
顶层	2500mm 混凝土
迷路外墙	最厚处 1400mm，最薄处 800mm
防护门	铅防护门的为钢制框架结构内衬 12mm 厚铅板，门内填充 120mm 厚含硼石蜡
控制室墙体	150mm 混凝土空心砌砖；
控制室地板及屋顶	150mm 钢筋混凝土

1.3、辐射安全措施

除加速器机房的建筑屏蔽外，其它的辐射安全措施还有：

(1) 加速器机房迷道外口防护门设置电离辐射标识及中文警示说明，安装

工作状态指示灯（红灯）。

（2）机房防护门为电动平移推拉门，设置有手动开关装置，设置有双回电路，并配有门机联锁装置。

（3）机房门与墙有足够的搭接，门的两侧和顶部，门和墙的搭接至少为缝隙的10倍，搭接长度为150~200mm。

（4）控制台安装1个紧急停机按钮，迷道内口、外口各安装1个紧急停机按钮，治疗床安装1个紧急停机按钮。紧急停机按钮与加速器联锁，触动紧急停机按钮，加速器断电停机防止误照事故的发生。

（5）加速器机房内设置固定监测系统，实时监控治疗室内剂量率。加速器机房内安装声像监控系统，监控加速器机房、及迷道内情况，防止误照射事故发生。机房内配备有对讲系统，以便和控制室内人员进行交流。

（6）水冷系统与加速器联锁，系统故障触动加速器高压切断，防止误照事故的发生。

（7）控制台设有控制钥匙锁定开关，只有经过授权的医务人员才能使用钥匙开关开启控制台。加速器控制台设置复位确认按钮，联锁触动停机后须人工复位才能重启加速器。

（8）安装机房固定式 X- γ 辐射剂量监测系统，在控制室内设置数显式剂量率仪表，供工作人员掌握机房内剂量率水平，同时职业人员配备个人剂量剂及辐射防护用品。

（9）治疗室的通风道应妥善安排避免放射泄露，气道应与防护迷路墙或顶棚成 45 度折线形式通出。所有通道空间不应降低放射防护强度，治疗室的空调系统最好与医院其他部门的系统独立分开。治疗室内安装通风换气系统，换气次数不低于 4 次/h。

（10）通风系统的排气口安装在建筑外面，并远离进气口，防止排出的气体的返流污染。加速器机房排风管道与屏蔽墙呈“Z”型穿过，排风管网引至屋顶排放。

（11）治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置，配有灭火器材和用品。

（12）加速器机房线缆沟等通道与屏蔽墙呈“U”型穿过，不会使有用线束和

泄露射线直接射向治疗室外。

(13) 治疗机房内安装火灾自动报警装置，配备灭火器材，火灾报警装置与通风联锁。设置必要的应急照明设备和紧急出口标志。

(14) 安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射职业人员个人剂量档案。个人剂量档案应当保存至辐射职业人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

2、 ^{192}Ir 后装治疗机的安全设施

2.1、辐射工作场所分区

依据管理的需要，将 ^{192}Ir 后装治疗机使用场所分为控制区和监督区。

控制区： ^{192}Ir 后装治疗机治疗室。

监督区： ^{192}Ir 后装治疗控制室、候诊区（准备间）。

2.2、建筑屏蔽

(1) ^{192}Ir 后装治疗机房

后装机房东墙为 500mm 混凝土，迷道内墙和密道外墙均为 600mm 混凝土，迷道口宽 2000mm，南墙和北墙和房顶均为 600mm 混凝土。室内净高 5.5m，防护门 10mm 铅防护门。

1.3、辐射安全措施

除机房的建筑屏蔽外，其它的辐射安全措施还有：

(1) 后装机治疗机房防护门设置电离辐射标识及中文警示说明。

(2) 防护门为电动平移推拉门并设置有手动开门装置。防护门外设置有电离辐射指示灯，工作状态指示灯与机房工作人员有效联动。

(3) 治疗室设置机械通风装置，其通风换气能力不小于 4 次/h。

(4) 治疗室采用迷路形式，安装防护门并设置门-机连锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室内设置急停开关，按下急停开关放射源则自动回到后装治疗设备的安全位置。

(5) 在治疗室和控制室之间设监视与对讲电子屏设施。

后装机机房线缆沟等通道与屏蔽墙呈“U”型穿过，不会使有用线束和泄露射线直接射向治疗室外

(5) 配备 X、 γ 辐射监测仪，职业人员配备个人剂量报警仪及辐射防护用品。

(6) 治疗机房内安装火灾自动报警装置，配备灭火器材。设置必要的应急照明设备和紧急出口标志。

三废的治理

由污染源项分析可知，本项目产生的主要放射性废物为加速器产生的放射性固体废物（废靶件等）和 ^{192}Ir 后装机产生的废旧放射源。治理措施如下：

1、放射性固体废弃物

加速器运行后产生的废靶件交由有资质单位进行回收。

2、废旧放射源的治理

医院应与放射源生产厂家签订废源回收协议，后装机中产生的 ^{192}Ir 废放射源交由放射源生产厂家回收处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

由于本项目仅在大楼内进行简单的室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小。

运行阶段对环境的影响

1、电子直线加速器环境影响分析

1.1、加速器 2#机房扩建前情况

2#加速器机房为建设第三住院楼时预留的直线加速器机房。

1.2、电子直线加速器技术参数

医院拟购直线加速器主要参数见表 11-1。

表 11-1 电子直线加速器设备参数

/	直线加速器
输出 X 射线能量	6 MV、10MV
最大剂量率	14Gy/min (6MV) /6Gy/min (10MV)
输出电子束的能量	4MeV、6MeV、8MeV、10MeV、12MeV、15MeV
电子束的最大剂量率	6Gy/min
机架旋转范围	360 度
X 射线泄漏率最大值	0.1%
最大射野尺寸	40cm×40cm 连续可调
泄漏指数	≤0.1%
靶至等中心的距离	100cm

1.3、工作负荷

加速器预期每天治疗约 80 人次，平均出束时间为 1.6min，加速器日治疗出束时间 128min，年工作 250d，总出束时间不超过 540h。

1.4、直线加速器机房屏蔽及周围环境

本项目所评价的 2#加速器机房位于第三住院楼地下 3 层东北角，其周围环境及具体参数详见表 11-2。

表 11-2 加速器机房的主要屏蔽参数及周围环境

位置	屏蔽说明	周围环境
有用束主屏蔽墙	东侧主屏蔽墙为 250 cm 混凝土，宽度 411cm	东侧为无建筑的地下部分
	西侧迷路内墙主屏蔽墙为 250 cm 混凝土，长度 411cm，西侧迷路外墙最厚为 140cm，	西侧为迷路外墙

	最薄处 80cm	
与主屏蔽区直接相连的次屏蔽墙	东侧次屏蔽墙为 140 cm 混凝土	北侧为无建筑的地下部分
	西侧迷路内墙次屏蔽墙为 140 cm 混凝土	西侧为迷路外墙
机房顶	250cm 混凝土	职工食堂
侧屏蔽墙	南侧屏蔽墙为 140cm 混凝土	南侧为控制室
	北侧屏蔽墙为 140cm 混凝土	北侧为无建筑的地下部分
铅防护门	12mm 铅板+120mm 含硼石蜡	门外为走廊

1.5、辐射环境影响预测分析

1) 评价报告对电子直线加速器机房屏蔽效果评价，引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中相应的计算模式及相关参数。

2) 通常在加速器机房外、距机房外表面 30cm 处，选择人员受照的剂量当量率(以下简称为剂量)可能最大的位置作为关注点。在距加速器机房一定距离处，公众成员居留因子大并可能受照剂量大的位置也是需要考虑的关注点。

3) 加速器机房设在地下三层，室顶屏蔽采用了与水平主束方向等效的屏蔽设计，不需考虑室顶外部辐射的天空散射问题；加速器机房东北侧、西北侧均为土层，不需考虑辐射问题。

(1) 主束屏蔽墙宽度分析

利用下列公式对初级辐射进行屏蔽计算：

$$Y = (100 + a + X_2) \lg 14^\circ + 30 \quad \dots\dots\dots (11-1)$$

式中：Y——主屏蔽区半宽度，cm；

a——等中心点到最近主屏蔽墙的垂直距离，cm；

X₂——主屏蔽墙多于次屏蔽墙厚度，cm。

主束屏蔽墙宽度计算参数及结果见表 11.3。

表 11.3 主束屏蔽墙宽度计算参数及结果

参数名称	a	X ₂	设计半宽度	计算半宽度 Y	是否满足要求
单位	cm	cm	cm	cm	/
东北墙	350	140	205	177	是

由上表可知，2#加速器机房主屏蔽墙半宽度均满足要求。

关注点分布图见图 11-1。

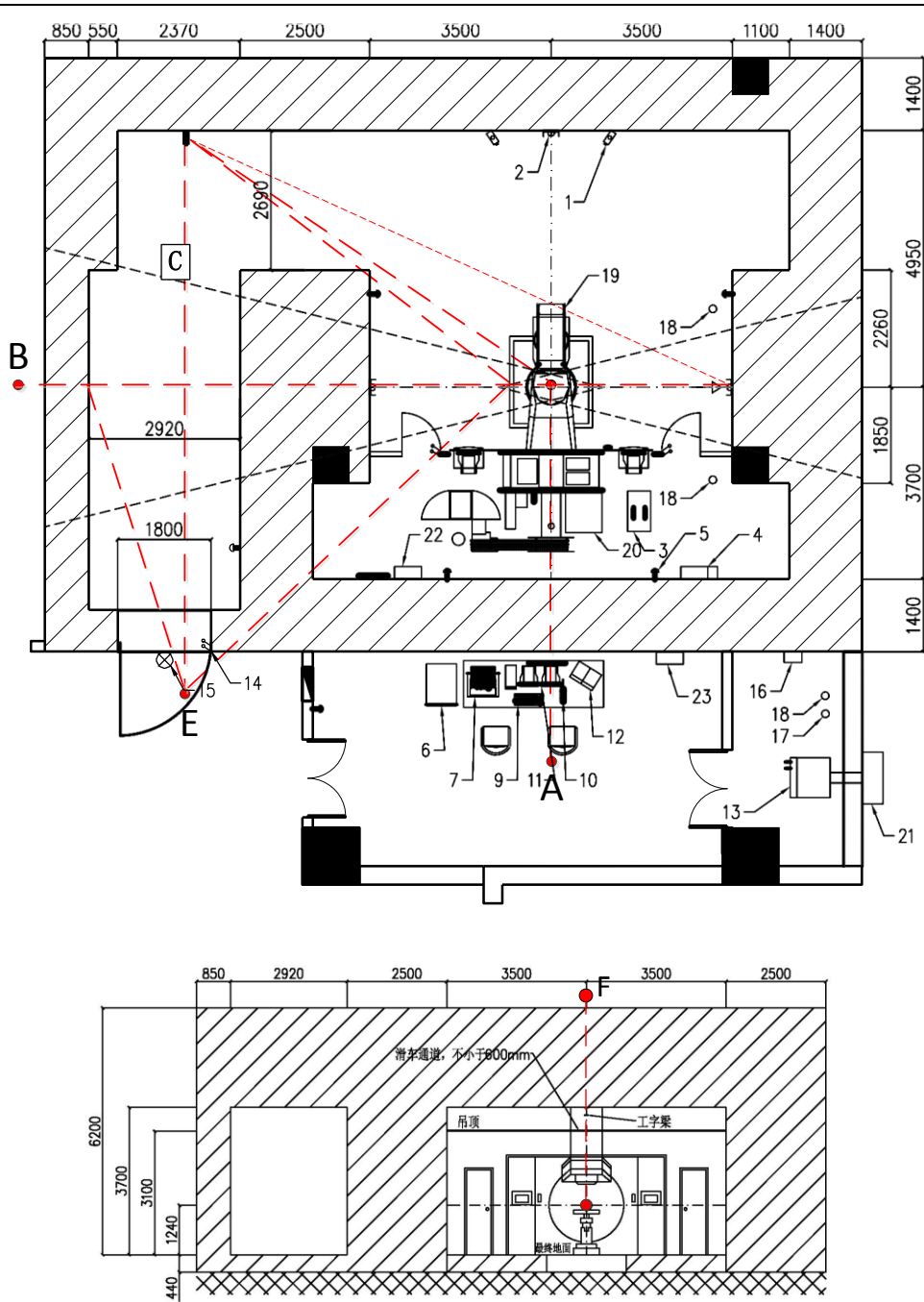


图 11-1 关注点分布图

本项目直线加速器配置是两档光子 6MV（最高剂量率 14Gy/min）和 10MV（最高剂量率 6Gy/min），本预测选取 10MV（最高剂量率 14Gy/min）进行辐射预测分析。

(2) 主屏蔽墙外剂量率计算（关注点水冷机房 B）

利用下列公式对初级辐射进行屏蔽计算：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-2)$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：H——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

H₀——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，
8.4×10⁸μSv·m²/h；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离；

f——对有用束为 1；

X_e——有效屏蔽层厚度；

TVL₁——第一个什值层厚度（查 GBZ/T201.2-2011，附录 B，表 B.1）；

TVL——平衡时的什值层厚度（查 GBZ/T201.2-2011，附录 B，表 B.1）；

主屏蔽墙计算参数及结果见下表 11.4。

表 11.4 主屏蔽墙外辐射剂量率计算参数及结果

参数名称	H ₀	f	R	TVL ₁	TVL	X _e	H
单位	μSvm ² /h	/	m	cm	cm	cm	μSv/h
关注点 B	8.4E+08	1	11.6	41	37	335	4.3E-03

(3) 屋顶（关注点 F 职工餐厅）

利用下列公式对初级辐射进行屏蔽计算：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot U \cdot B \dots\dots\dots (11-2)$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：U——使用因子；

其他符号同上。

表 11.4 屋顶外辐射剂量率计算参数及结果

参数名称	H ₀	f	U	R	TVL ₁	TVL	X _e	H
单位	μSvm ² /h	/	/	m	cm	cm	cm	μSv/h
关注点 F(职工餐厅)	8.4E+08	1	1/4	6.6	41	37	250	0.66

(4) 次屏蔽墙（关注点 A）

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射

和来自患者、机房墙体等的散射辐射。

① 泄漏辐射

泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1% 计，可利用公式 (11-2) 和 (11-3) 对泄漏辐射进行屏蔽计算。

次屏蔽墙 A 点漏射辐射计算参数及结果见表 11.5。

表 11.5 次屏蔽墙泄漏辐射计算参数及结果

参数名称	H_0	f	R	TVL_1	TVL	X_e	H'
单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	/	m	cm	cm	cm	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 A	8.4E+08	0.001	7.25	35	31	140	6.6E-01

② 散射辐射

主要考虑患者体表的散射辐射，利用下列公式对患者体表的散射辐射进行屏蔽计算：

$$H_e = \frac{H_o \cdot a_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot 10^{-X_e / TVL} \dots\dots\dots (11-4)$$

式中： H_e ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

X_e ——次屏蔽墙的实际厚度，cm；

TVL ——平衡时的十分之一值层厚度，cm；

H_o ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

F ——治疗装置有用束在等中心点出的最大治疗野面积，本项目为 1600cm^2 ；

a_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m 处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；取 90° 散射角的散射比 3.81×10^{-4} ；

R_s ——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

散射辐射计算参数及结果见下表 11-6。

表 11.6 患者体表散射辐射计算参数及结果

参数名称	H_0	a_{ph}	R_s	F	X_e	TVL	He
------	-------	----------	-------	---	-------	-----	----

单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	/	m	cm^2	cm	cm	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 A	8.4E+08	3.81E-04	7.25	1600	140	18	4.1E-04

关注点 A 处的剂量率为泄漏辐射剂量率与患者散射辐射剂量率之和：

$$H_e + H' = 0.66 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

(5) 迷路入口处（关注点 E）

迷路入口处辐射剂量当量率主要包括①装置头泄漏辐射散射产生的当量剂量率；②主束通过患者体表散射产生的剂量当量率；③泄露辐射经迷道内口散射后再散射至迷道外口；④主束穿过迷路内墙在墙上一次散射至迷道外口；⑤主束通过主屏蔽墙一次散射至迷路内口再散射至迷道外口。各部分的剂量当量率计算如下：

①装置头泄漏辐射穿过迷路内墙

该部分射线为穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门处的剂量率和泄漏辐射至迷道内口再散射至迷道外口。

穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门处的剂量率用公式（11-2）和（11-3）计算。穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门处的剂量率计算参数及结果见表 11.7。

表 11.7 穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门处的剂量率计算参数及结果

参数名称	H_o	f	R_d	X_e	TVL_1	TVL	H'_{og}
单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	/	m	cm	cm	cm	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 E	8.4E+08	0.001	9.8	140	35	31	1.98E-01

②泄露辐射经迷道内口再散射至迷道外口

$$\dot{H}''_{og} = \frac{f \cdot H_o \cdot A \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (11-5)$$

式中：

H''_{og} ——计算点处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

f ——加速器的泄露辐射比率，通常取 0.1%；

\dot{H}_o ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

A——散射面积，从门口入口处可见的墙的面积，m²；

α_w ——混凝土墙的散射因子，取值（查 GBZ/T201.2-2011，附录 B，表 B.6，取 45° 散射角， 5.8×10^{-3} ）；

R₁——泄露辐射始点至散射体中心点的距离，m；

R₂——散射体中心点至计算点的距离，m。

H''_{0g} 计算参数结果见表 11.8。

表 11.8 H''_{0g} 计算参数结果

参数名称	H ₀	f	A	α_w	R ₁	R ₂	H'' _{0g}
单位	μSv·m ² /h	/	m ²	/	m	m	μSv/h
关注点 E	8.4E+08	0.001	13.2	5.8E-03	10.1	11.9	4.45

③患者散射经迷道内口散射后再散射至迷道外口

$$H'_g = \frac{\alpha_{ph}(F / 400)}{R_3^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot H_0 \dots\dots\dots (11-6)$$

式中：

H'_g——计算点处的散射辐射剂量率，μSv/h；

H₀——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率 8.4×10⁸μSv·m²/h；

α_{ph} ——患者 400cm² 面积上的散射因子，（查 GBZ/T201.2-2011，附录 B，表 B.2，取 90° 散射因子 3.81×10^{-3} ）；

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，（查 GBZ/T201.2-2011，附录 B，表 B.6，取表中能量为 0.5MeV，反射角为 0° 时的值 2.2×10^{-2} ）；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，一般取 40×40cm²；

A——迷路内口散射面积，从门口入口处可见的墙的面积，m²；

R₃——患者与迷路内口散射墙的距离，m；

R₂——迷路内口散射墙到迷路外口距离，m。

患者散射经迷道内口散射后再散射至迷道外口辐射计算参数结果见表 11.9。

表 11.9 患者散射经迷路内口散射后再散射至迷路外口辐射计算参数结果

参数名称	H_0	a_{ph}	a_2	F	A	R_3	R_2	H'_g
单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	/	/	cm^2	m^2	m	m	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 E	8.4E+08	3.81E-04	2.2E-02	1600	13.2	10.5	11.9	24

④穿过迷路内墙的主束在迷路外墙上散射至迷路外口

$$H''_g = H_0 \cdot \frac{A_H}{R_4^2 \cdot R_5^2} \cdot \alpha_w \cdot B \dots\dots\dots (11-7)$$

式中： H''_g --计算点的辐射剂量率,uSv/h;

H_0 -- 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

A_H —等中心 1m 处最大照射野投影在墙上且穿过迷路的面积, m^2 ;

R_4 --有用线束在屏蔽墙上的投影点与计算点的距离, m;

α_w --散射因子, 查 GBZ/T201.2-2011, 附录 B, 表 B.5, 取表中 75° 散射因子。

表 11.10 H''_g 计算参数结果

参数名称	H_0	α_w	R_4	R_5	A_H	TVL_1	TVL	Xe	H''_g
单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	/	m	m	m^2	cm	cm	cm	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 E	8.4E+08	2.1E-03	7.9	5.3	19	41	37	250	3.7E-03

⑤主束通过主屏蔽墙一次散射至迷路内口再散射至迷路外口

$$\dot{H}''_o = \frac{H_0 \cdot A_0 \cdot Ar \cdot \alpha_1 \cdot a_2}{R^2 \cdot R_2^2 \cdot R_0^2} \dots\dots\dots (11-8)$$

式中:

H''_o ——计算点处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

A_0 ——等中心处 1m 处最大照射野投影在墙上的面积, m^2 ;

A_r ——主束散射面 A_0 的散射线经过迷路内口发散到迷路墙内表面的面积, m^2 ;

α_1 ——主束散射面的反散射因子, 取值 (查 GBZ/T201.2-2011, 附录 B, 表 B.5, 取 30° 散射因子);

α_2 ——主束经迷路表面第二次反散射的反散射因子, 取值 (查 GBZ/T201.2-2011, 表 B.6, 取 0° 散射因子);

R_0 ——主束靶点至主屏蔽墙的距离, m;

R ——主束在主屏蔽墙中心点到内迷路中心点的距离, m;

R_2 ——散射体中心点至计算点的距离, m。

表 11.11 H''_o 计算参数结果

参数名称	H_o	A_0	A_R	α_1	α_2	R	R_0	R_2	H''_o
单位	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	m^2	m^2	/	/	m	m	m	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 E	8.4E+08	13.1	8.7	4.1 E-03	5.1E-03	12.1	4.5	11.9	4.7

(6) 防护门外 (E 点) 辐射剂量率

防护门外的 x 射线辐射剂量率 H_g 按式 (11-9) 计算。

$$H_g = (H'_{og} + H'_g + H''_g + H''_o + H''_{og}) \cdot 10^{-(x_e / TVL_{pb})} \dots\dots\dots (11-9)$$

式中: TVL_{pb} ——铅的十值层, mm (引用 GBZ/T201.2-2011 中, 迷道防护门外 x 射线散射辐射能量约为 0.2MeV, 铅中的 TVL 值为 0.5cm);

H_g ——加速器迷道入口处的 x 射线散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

X_e ——防护门铅当量, 本项目防护门设计为 12mmPb+120mm 含硼石蜡。

表 11.12 H_g 主要参数数值及计算结果

参数	H'_{og}	H'_g	H''_g	H''_o	H''_{og}	TVL_{pb}	H_g
单位	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	mm	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
关注点 E	0.198	24	3.7E-03	4.7	4.45	5	0.13

(7) 中子俘获 γ 射线的剂量率 H_c

$$H_c = H_0 \cdot D_\varphi \quad \dots\dots (11-10)$$

$$D_\varphi = 5.7 \times 10^{-16} \times \varphi_c \times 10^{-\frac{d_1}{TVD}} \quad \dots\dots (11-11)$$

$$\varphi_c = \frac{Q_N}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_N}{2\pi S} + \frac{1.26Q_N}{2\pi S} \quad \dots\dots (11-12)$$

式中:

H_0 —等中心点处治疗 X 射线剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$);

D_φ —防护门处单位吸收计量的中子俘获 γ 射线当量;

φ_c —等中心处 1Gy 治疗照射时 C 处的总中子注量, 取 $5.7 \times 10^{-16} \text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$;

Q_N —等中心点处单位 X 射线吸收剂量的中子数, 查 IAEA No47 号 Table9, 取 10MV 能量, 0.06×10^{12} ;

S—依据建设单位提供设计尺寸, 机房的总表面积 $S=527\text{m}^2$;

d_1 —等中心点到 C 点的距离, 10.5m;

TVD—将 γ 辐射剂量减至十分之一的距离 (称为什值距离), 15MV 加速器取 3.9m。

经计算得中子俘获 γ 射线的剂量率 H_c 为: $0.07\mu\text{Sv/h}$ 。

经防护门屏蔽后的 $H_{c\text{-shield}}$ 计算如下:

$$H_{c\text{-shield}} = H_c \times 10^{-\frac{t}{TVL}} \quad \dots\dots (11-13)$$

式中:

t—防护门的铅当量, mm;

TVL—因迷路长度大于 5m, 本项目取 6mm。

经防护门屏蔽后的 $H_{c\text{-shield}}$ 为: $7.0\text{E-}04\mu\text{Sv/h}$ 。

(8) 机房入口处的中子剂量率 H_n

采用修正后的 Kersey's 模式计算如下:

$$H_n = H_0 \cdot D_N \quad \dots\dots (11-14)$$

$$D_N = 2.4 \times 10^{-15} \times \varphi_C \times \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \times \left[1.64 \times 10^{-\left(\frac{d_2}{1.9}\right)} + 10^{-\frac{d_2}{T_N}} \right] \dots\dots (11-15)$$

$$T_N = 2.06\sqrt{S_1} \dots\dots (11-16)$$

式中：

S_0 —迷路内口的面积， m^2 ； $17m^2$

S_1 —迷路横截面积， m^2 ； $18.4m^2$

d_2 —C 点到机房入口处的距离， m ， $7.4m$ 。

经计算得机房入口处的中子剂量率 H_n 为： $1.34\mu Sv/h$ 。

经防护门屏蔽后的 $H_{n-shieldj}$ 计算如下：

$$H_{n-shield} = H_n \times 10^{-\frac{t_b}{TVL_B}} \dots\dots (11-17)$$

式中：

t_b —防护门中含硼石蜡的厚度， $120mm$ ；

TVL_B — $45mm$ 。

经防护门屏蔽后的 $H_{n-shield}$ 为： **$2.9E-03\mu Sv/h$** 。

1.5.1 辐射环境影响预测分析结论

通过预测分析，2#加速器机房外各关注点剂量水平满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中，关于治疗机房控制室、水冷机房、屋顶职工餐厅和机房入口门外关注点剂量率参考控制限值。各关注点当量剂量率估算结果见表 11.13 所示。

表 11.13 电子直线加速器机房外各关注点剂量当量

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 ($\mu Sv/h$)	评价限值 ($\mu Sv/h$)	是否满足要求
A	2#加速器控制室	0.66	2.5	满足
B	水冷机房	4.3E-03	2.5	满足
F	职工餐厅	0.66	2.5	满足
E	防护门口外	0.13	2.5	满足

由表 11.13 可知，2#直线加速器机房各预测点均满足相应剂量率控制水平的要求。

1.5.2 叠加辐射环境影响

本项目两台加速器机房相邻，如果 2 台加速器同时运行，以 1#加速器机房关注点为列，当两台加速器同时运行时，同时受到影响的关注点应为防护门口外（E 点）；对于 E 点的叠加影响，1#加速器机房防护门口剂量率为 0.09μSv/h，可将两台加速器防护门口点的剂量率直接叠加为 0.21μSv/h，同样满足 GBZ 126-2011 “在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h” 的要求。

1.6、剂量预测分析

1.6.1、工作负荷

出束时间：加速器预期每天治疗约 80 人次，平均每人次出束时间为 1.6min，加速器日治疗出束时间 128min，年工作 250d，总出束时间不超过 540h。

本次评价采取最保守模式估算工作人员受照剂量。

1.6.2、剂量预测

根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZT201.1-2007）中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述，确定项目不同场所的居留因子。

表 11.14 居留因子

场所	居留因子	场所描述
全居留	1	控制室、辅助机房
部分居留	1/4	相邻治疗室
	1/5	走廊
偶然居留	1/8	治疗室房门
	1/16	洗手间、候诊室、病人滞留区

项目致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式计算。

$$H_E = D_r \times t \times 1 \times 10^{-6} (\text{mSv}) \quad (11-18)$$

式中： H_E ——γ射线外照射人均有效剂量当量，mSv；

D_r ——γ射线空气吸收剂量率，nGy/h；

t ——γ射线年照射时间，小时；

1——剂量换算系数，Sv/Gy。

电子直线加速器机房外各关注点剂量当量见表11.15。

表 11.15 电子直线加速器机房外各关注点剂量当量

点 位	关注点描述	居留 因子	剂量率 /μSv/h	照射时间 /h	年剂量 mSv/a	年剂量限 值 mSv/a	关注人群
--------	-------	----------	---------------	------------	--------------	-----------------	------

A	2#加速器控制室	1	0.66	540	0.36	2	职业人员
B	水冷机房	1/16	4.3E-03	540	1.5E-04	0.1	公众人员
F	职工餐厅	1/8	0.66	540×1/4	0.01	0.1	公众人员
E	防护门口	1/8	0.12	540	8.1E-03	0.1	公众人员

分析表 11.15，项目运行后按最不利条件预测，各关注点致职业人员、公众人员年剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中限值的要求。因此，项目辐射防护能力满足要求，项目运行对周围环境及人员造成的年剂量满足标准要求。

1.7、有害气体环境影响分析

空气中的 O₂ 和 N₂ 分别在 X 射线的作用下，生成自由基，与空气中的 O₂ 和 N₂ 结合，生成 O₃ 和 NO_x，他们是与辐射相关的非辐射危害因素。O₃ 的主要毒性是氧化作用，对粘膜有很强的刺激作用，中毒症状为肺功能下降，呼吸道感染、鼻炎等。

1.7.1、治疗室通风设计

根据 GBZ126-2011 要求直线加速器机房内通风次数不小于 4 次/小时。该加速器机房的换气率均设计为 4 次/h，满足该标准中关于机房内通风的要求。

1.7.2、臭氧环境影响分析

(1) 臭氧的产额

加速器的 X 射线和电子束是扩展辐射束，依 IAEA188 《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14, 2, P101, 1994），加速器辐射所致 O₃ 的产额估算方法如下：

①有用线束的 O₃ 的产额

$$P = 2.43D_0(1 - \cos\theta)RG \dots\dots\dots (11-19)$$

式中：P——O₃ 的产额，mg/h；

D₀——辐射有用束在距靶 1m 处的输出量，本项目为 14Gy m²/min；

R——靶到屏蔽物（墙）的距离，本项目为 3.5m；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数（G=6）；

θ——有用束的半张角，本项目为 14°。

有用线束的 O₃ 的产额 P₁=2.43×14×（1-cos14）×3.5×6=21.22mg/h。

②泄露辐射的 O₃ 的产额

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

$$P = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{1/3} \dots\dots\dots (11-20)$$

式中：V 为加速器室的体积，351m³。

电子加速器治疗室体积为 351m³。泄露辐射的 O₃ 的产额 P₂=3.32×10⁻³×6×351^{1/3}=0.14mg/h。

本项目臭氧的产额 P=P₁+P₂=21.22+0.14=21.36mg/h。

(2) 臭氧的浓度

辐射所致有害气体以 O₃ 为主，在考虑通风情况下，空气中 O₃ 的平衡浓度由下式估算：

$$Q = \frac{P \times T}{V} \dots\dots\dots (11-21)$$

式中：Q——加速器治疗室内 O₃ 平衡浓度，mg/m³；

P——O₃ 的辐射产额，mg/h；

T——有效清洗时间，h；

V——治疗室体积，m³。

有效清洗时间 T 由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \dots\dots\dots (11-22)$$

式中：T_v——换气一次所需时间，h；

T_d——O₃ 有效分解时间，取 0.83h。

加速器治疗室容积约为 351m³，换气次数每小时 4 次，根据(11-12)和(11-13)式得加速器治疗室内臭氧浓度为 0.015mg/m³，可满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中 0.16mg/m³（1 小时平均值）的 O₃ 浓度限值要求。

1.7.3、氮氮化合物环境影响分析

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的 1/2，排风次数达到 4 次/小时可满足《室内空气质量标准》（GBT18883-2002）中 0.24mg/m³（1 小时平均值）的 NO₂ 浓度限值要求。所以，在加速器运行中，应时刻保持良好

的通风。

1.7.4、感生放射性影响分析

本项目加速器使用 X 射线（6MV/10MV）治疗模式时，治疗等中心处辐射剂量率为 6Gy/min~14Gy/min。NCRP No.151 报告给出的钨靶发生光核反应（ γ, n ）的阈值为 8.0MeV。因此，当加速器产生 X 射线的能量大于 8.0MeV 时，加速器打靶过程中产生的高能 X 射线与设备部件也可能发生光核反应（ γ, n ），次生中子与周围物质相互作用产生感生放射性。感生放射性主要产生在加速器的结构材料。感生放射性核素放出 β 射线和 γ 射线。6MV/10MV X 射线产生的光中子对混凝土结构建造机房的外围影响很小。

1.7.5、冷却水的影响分析

加速器产生的冷却水循环不外排。

2、后装机辐射环境影响分析

2.1、后装治疗仪机房尺寸及屏蔽情况

本项目后装机机房主体尺寸（长×宽×高）为 8.5m×5.6m×5m，机房迷道为直型，内口宽度为 2.0m，迷道墙屏蔽长度为 2.4m。

表 11-16 后装治疗仪机房屏蔽参数

序号	屏蔽体	屏蔽措施	周围环境
1	北墙	混凝土 600mm+36cm 红砖	北侧 2#加速器房控制室
2	南墙	混凝土 600mm+36cm 红砖	南侧为后装机控制室
3	东墙	混凝土 500mm	东侧为无建筑土层
4	西墙	混凝土 600mm	候诊厅
5	直型迷道	混凝土 600mm	/
6	室顶	混凝土 600mm	楼上餐厅、停车场
7	防护门	10mm 铅	门外候诊厅

2.2、工作负荷

本项目后装机使用放射源 ^{192}Ir ，活度为 370GBq，每周治疗 20 人，每位患者治疗时间大约 6min，周治疗时间为 2h。全年共治疗 1000 人。则后装机年照射时间为 100h。配备 1 名医生，一名物理师，一名技师，一名护士，共 4 名辐射工作人员。

2.3、后装机辐射环境影响预测分析

后装机机房外剂量率控制为 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，后装机关注点分布图见图 11-2。

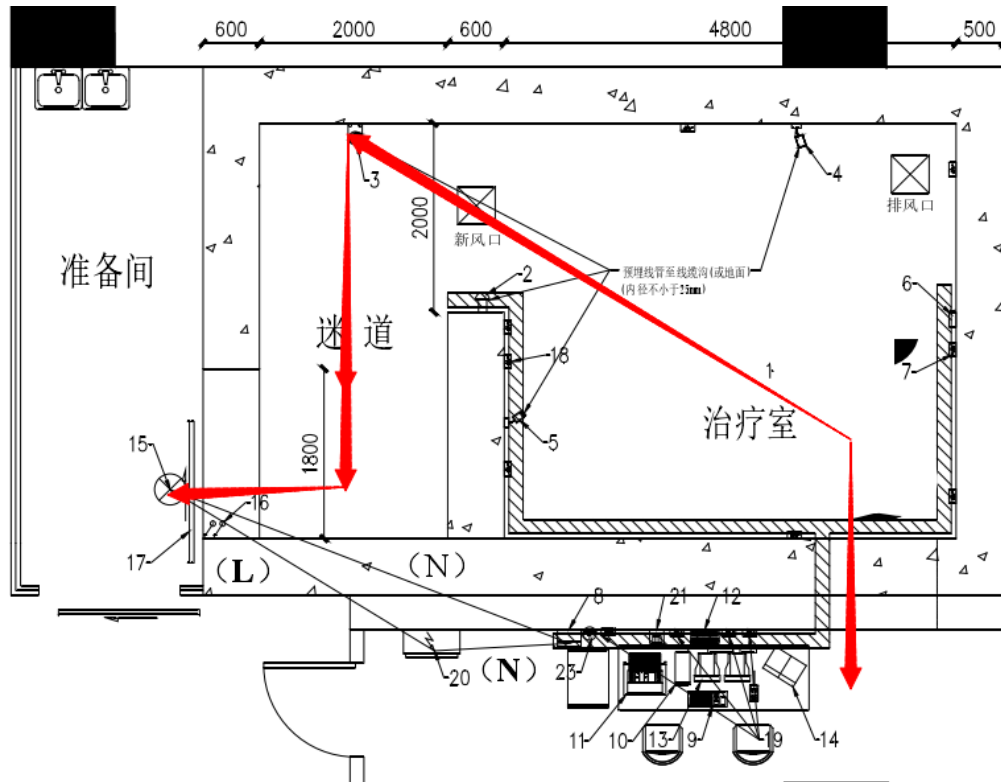


图 11-2 后装机关注点分布图

(1) 初级辐射剂量率估算

$$H = \frac{A \cdot K_r \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-23)$$

式中：H——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A——放射源活度，单位为 MBq；

K_r ——放射源的空气比释动能率常数， $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

f——对有用线束取1，近距离照射 $f=1$ ；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离；

f——对有用束为1；

B——屏蔽透射因子。

(2) 散射辐射剂量率估算

$$H_1 = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-24)$$

式中： H_1 ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A—放射源活度，单位为 MBq；

K_r ——放射源的空气比释动能率常数， $0.111\mu\text{Sv/h}\cdot\text{MBq}$ ；

S_w ——迷路内口墙的散射面积，其为放射源和机房入口共同可见见的墙
区面积，单位 m^2 ， $4.85\times 5=24.3\text{m}^2$ ；

R_1 ——放射源至散射体中心点关注点的距离，单位 m^2 ；

R_2 ——散射体中心点至关注点的距离，单位 m^2 ；

B——屏蔽透射因子；

a_w ——散射体的散射因子。 $a_w=3.39\text{E}-02$ 。

后装治疗仪机房 1 关注点剂量当量率计算值见表 11.17。

表 11-17 后装治疗仪机房 1 关注点剂量当量率计算值

编号	位置描述	射线束	距离 (m)	屏蔽透射因子	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	控制室 A	透射	3.7	2.6E-06	7.8E-03
2	防护门 B 内	透射	6.4	2.6E-06	2.6E-03
		散射	$R_1 6.3+R_2 3.5$	1	100
	防护门外	主要贡献为散射		0.01	1
3	加速器控制室 C	透射	4.3	2.6E-06	8.0E-03
4	房顶餐厅	透射	6.6	1.1E-04	1.0E-01

由表 11.17 可知，后装机机房外各预测点均满足相应剂量率控制水平
 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

2.3.1 辐射剂量率叠加影响

因本项目运行后，2#加速器控制室在后装机机房北侧，后装机对 2#加速器
控制室剂量贡献仅为 $8.0\text{E}-03\mu\text{Sv/h}$ ，可忽略。

后装机室南侧为 CT 室，根据 CT 室的检测报告(编号 0220190628WF06)知，
CT 室边界剂量当量率最大为 $0.08\mu\text{Sv/h}$ ，根据预测后装机的剂量贡献为 $8.0\text{E}-03$
 $\mu\text{Sv/h}$ ，因此，后装机的剂量影响可忽略。

2.4、剂量预测分析

2.4.1、工作负荷

本项目后装机使用放射源 ^{192}Ir ，活度为 370GBq ，每周治疗 20 人，每位患者
治疗时间大约 6min，周治疗时间为 2h。全年共治疗 1000 人。则后装机年照射时
间为 100h。

本次评价采取保守模式估算工作人员受照剂量使用因子全部按 1 估算。

1.6.2、剂量预测

项目致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式计算。

$$H_E = D_r \times t \times 1 \times 10^{-6} (\text{mSv}) \dots\dots\dots (11-25)$$

式中： H_E —— γ 射线外照射人均有效剂量当量，mSv；

D_r —— γ 射线空气吸收剂量率，nGy/h；

t —— γ 射线年照射时间，小时；

1——剂量换算系数，Sv/Gy。

表 11.18 后装机机房外各关注点剂量当量

编号	关注点描述	居留因子	剂量率 / μ Sv/h	照射时间 /h	年剂量 mSv/a	年剂量限值 mSv/a	关注人群
1	控制室 A	1	7.8E-03	100	7.8E-04	2	职业人员
2	防护门外	1/16	1	100	6.25E-03	0.1	公众人员
3	加速器控制室 C	1	8.0E-03	100	8.0E-04	0.1	公众人员
4	房顶餐厅	1/8	1.0E-01	100	1.25E-03	0.1	公众人员

由表 11.18 可知，项目运行后各关注点致职业人员、公众人员年剂量均满足本项目年剂量约束值和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值的要求。

事故影响分析

1、事故风险类别识别

1.1、电子直线加速器

在意外事件和事故状态下，如安全装置失灵、损坏等，人员可能误入正在进行出束的加速器室内，或者人员误留而出束，此时将会受到 X 射线照射的危害。

（1）照射不能停束：操作人员必须严格按照操作规程操作设备，如发现设备不能正常停止照射时，应立刻切断总电源，强制停止照射，然后请厂家进行设备检修。

（2）事故性出束：人员在加速器室工作时，控制室内操作人员误开机出束；人员也可能误入正在实施的加速器室。

1.2、后装机

后装机在使用过程中由于卡源等设备故障，造成 γ 射线源无法回收的情况，在排除障碍过程中将会对人体造成外照危害。人员误入或误留治疗室，对人体造成误照射。

2、事故预防措施

(1) 加强单位的安全文化建设，建立完善放射性管理制度，加强放射工作人员的辐射安全知识和操作培训。运行中严格执行操作规程和各项安全注意事项。

(2) 防护门门一机联锁、监视器、电离辐射警告标志等防护设施；制定自检制度，对这些防护设施及时补充、修复。

(3) 工作人员进入机房前，均需佩戴个人剂量报警仪，在安全联锁装置、工作指示灯等安全措施失效或发生故障状况下，若射线装置正在出束，在门口处即可及时发现，从最大程度上减少误照射时间。工作人员撤出机房后，尽快到控制室按下紧急停止开关，确认射线装置不再出束或放射源归位后，通知维修人员进行维修。

(4) 维修人员进行维修时，需佩戴个人剂量报警仪，可及时发现出束现象并进行紧急停机。

(5) 定期检查各场所辐射安全防护设施是否正常。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构设置

为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全防护管理领导小组。

辐射安全管理制度

医院目前已经建立的辐射安全管理制度有：《天津医科大学总医院辐射安全防护和管理制度》、《关于放射源和放射性药物使用保管更新销毁的管理规定》、《妇科放射源事故应急措施 2018》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《放射源及放射性同位素安全保卫管理规定》、《放射性事故应急计划操作方案》、《关于工作人员职业健康查体的规定》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《放射工作人员个人剂量管理制度》、《关于加强放射人员个人剂量卡管理的规定》、《天津医科大学总医院突发放射性事故应急预案》、《天津医科大学总医院突发预案流程图》、《医疗照射质量保证方案及监测规范》、《医院建设放射诊疗项目的管理规定》、《主管放射防护工作人员岗位职责》、《总医院放射卫生防护管理组织机构设置人员及职责》等。

医院辐射安全管理严格遵循着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。

据建设单位提供，医院多年来加速器治疗室、后装机治疗室就没有实习学生。将来若有，医院将严格对实习生的管理，实习学生必须参加就业前和就业期间的安全文化和安全技术教育、训练和考核，以及健康体检。使得防护工作做到预防为主，减少事故的发生。

辐射监测

1、辐射监测方案

1.1、个人剂量监测

操作人员应当佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪，进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。本项目 12 名辐射工作人员均已配备个人剂量计。

1.2、环境监测

配备 X γ 环境辐射巡测仪，中子剂量仪，对工作场所进行自行监测或者委托

有资质的单位进行监测。

1.3、仪器检定

医院自有监测设备应定期送有资质单位进行检定，应做到每年 1 次。

本项目计划在直线加速器机房、后装机机房及周围环境进行辐射环境监测，监测频率每年一次。

辐射事故应急

医院制定了《天津医科大学总医院突发放射性事故应急预案》，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，并明确了定期或不定期组织应急演练并建立应急演练记录的要求。

安全培训及健康管理

①本项目涉及的辐射工作人员共 12 人，均为医院原有辐射工作人员，均已参加有资质单位的辐射安全知识培训并通过考核。随着新增设备的开展，医院若再增加辐射工作人员，同样也须参加有资质单位的辐射安全知识培训和考核。

②所有辐射工作人员均须正确佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪。

③医院须严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对辐射工作人员进行每三个月的个人剂量监测和每两年的职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

放射防护监测与安全设施检查

按照国家相关规定，对放射诊疗设备和场所定期进行放射防护检测和安全设施检查，以确保其处于良好的运行状态，并做好记录。具体检查科目及程序详见附件 4。

从事辐射活动能力评价

(1) 与许可管理办法对照

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十五条、十六条规定，使用放射性同位素、射线装置和生产放射性同位素的单位应具备相应的条件。对应结果见表 12.1。

表 12.1 与许可管理办法对应结果

序号	应具备条件	落实情况
1	(一)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。	已设立专门的“辐射安全管理小组”,并明确职责,配备1名专职负责辐射安全与环境保护管理工作。
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。	医院承诺所有辐射工作人员均经过环境保护主管部门认可的培训机构进行安全培训,经考核合格方可持证上岗。
3	放射性同位素与射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	已制定相应的操作规程,已张贴电离辐射警示标志并设置工作指示灯,射线装置与机房门能有效联动。
4	配备必要的防护用品和监测仪器。	已配备个人剂量计、个人剂量报警仪和拟配备固定式 X γ 辐射监测仪。
5	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,详见本章规章制度内容。
6	有完善的辐射事故应急措施。	已制定,需增加完善
7	产生放射性废气、废液、固体废物的,还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目不产生废气、废液。放射性固体废物 ^{192}Ir 废放射源,由供货公司回收处置。

(2) 与环保部 18 号令的对照

环境保护部第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中规定了使用放射性同位素与射线装置的单位应具备的条件,本项目与之对照,其符合情况见表 12.2。对照结果表明,该项目采取的安全措施和辐射安全管理能够满足管理办法的要求。

表 12.2 项目执行“18 号令”要求对照表

序号	18 号令要求	项目单位情况	检查结果
1	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。	拟在射线装置机房门口显著位置处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。	符合
2	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	医院拟配备相关检测仪器,可以满足对辐射工作场所的常规监测。对不具备监测能力的项目,医院委托有辐	符合

	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。	射水平监测资质单位对环境和工作场所周围的辐射水平进行监测。	
3	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日前向发证机关提交年度评估报告。	符合
4	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。	医院承诺所有辐射工作人员均经过环境保护主管部门认可的培训机构进行安全培训,经考核合格方可持证上岗。	符合
5	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。	医院承诺委托有资质机构对本单位辐射工作人员进行个人剂量监测(每季度1次)	符合

(3) 与《环保部辐射安全与防护监督检查程序》(第三版)对照

表12.3 对照检查情况

序号	检查内容	直线加速器	备注
1*	防止非工作人员操作的锁定开关	√	
2*	控制台有紧急停机按钮	√	
3	电视监控与对讲系统	√	
4*	治疗室门与束流联锁	√	
5*	治疗室内准备出束音响提示	√	
6*	入口电离辐射警示标志	√	
7*	入口有加速器工作状态显示	√	
8*	紧急开门按钮	√	
9	紧急照明或独立通道照明系统	√	
10*	治疗室内有紧急停机按钮	√	
11*	治疗床有紧急停机按钮	√	
12*	治疗室内固定式剂量报警仪	√	
13*	便携式辐射监测仪器仪表	√	
14*	个人剂量报警仪	√	
15*	个人剂量计	√	
16	治疗室门防夹人装置	√	
17	通风装置、灭火器材、火警报警装置	√	
序号	检查内容	后装机	备注

1*	防止非工作人员操作的锁定开关	√	
2*	施源器与源联锁	√	
3*	管道遇堵自动回源	√	
4*	仿真源模拟运行	√	
5*	主机外表电离辐射警示标志	√	
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*	治疗室固定式辐射水平监测仪	√	
11	治疗室有迷道	√	
12*	治疗室门与出源联锁	√	
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	后装源专用贮存室/保险柜	√	
23	双人双“锁”	√	
24	防盗门窗	√	
序号	检查内容	管理制度	备注
1	辐射安全管理规定	√	
2	操作规程	√	
3	辐射安全防护设施的维护与维修制度	√	
4	(包括机构人员、维护维修内容与频 度、重大问题管理措施、重新运行审 批级别等)	√	
5	监测方案	√	
6	监测仪表使用与校验管理制度	√	
7	辐射工作人员培训/再培训管理制度	√	
8	辐射工作人员个人剂量管理制度	√	
9	辐射事故应急预案	√	
10	放射性“三废”管理规定	√	

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

以上分析表明，总医院在全面完成上述规定的条件后，其从事辐射活动能力基本满足法律法规的要求。

项目环境保护验收内容建议

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规划评【2017】4号规定，

天津市环湖医院在建设项目竣工后、调试前，向项目所在地环境部门报送竣工日期和调试截止日期，编制验收监测（调查）报告，并向社会公开相关信息，接收社会监督。本环评建议自主验收内容及要求见表 12.4。

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	剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定。公众和职业照射剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。
电离辐射标志和中文警示	所有射线装置机房门口显著位置处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。
规章制度	辐射安全管理规章制度满足要求，且得到宣贯和落实。
辐射检测仪器和个人防护用品、个人剂量检测	医院已配备有相应的辐射检测仪器和个人防护用品，并建立个人剂量检测档案，每季度进行个人剂量检测。
规章制度	《辐射防护安全管理规定》、《放射工作人员监测管理制度》、《机房防护管理制度》、《应急事故处置预案》、《辐射监测大纲》、《放射场所辐射监测方案》、《辐射保证大纲》、《放射工作人员个人剂量管理制度》等规章制度。
人员培训	目前医院从事放射性工作人员均参加环境部门认可的培训机构的培训。医院计划在本项目试运行前，对培训期限已满 4 年需再培训和未经过辐射防护培训的拟从事辐射工作的人员进行培训，经考核合格后上岗。
应急预案	成立辐射事故应急小组，制定完善的辐射事故应急预案，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，发生辐射事故时的报告、通讯联络方式、应急处置方式等。

表 13 结论与建议

结论

(1) 项目概况

天津医科大学总医院是天津市最大的集医疗、教学、科研、预防为一体的综合性大学医院和天津市西医医学中心。随着医院业务量的增加、核医学技术的发展，为更好服务于患者诊断的需要，天津医科大学总医院拟建设“扩建使用 II 类射线装置直线加速器（14Gy/min（6MV）/6Gy/min（10MV））、III 类放射源 Ir-192(活度为 10Ci)后装机”项目，拟建项目位于第三住院楼地下三层。

(2) 实践正当性分析

天津医科大学总医院拟建设核技术应用项目，提高诊疗水平，为了救治病人，保障公众健康，其获得利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

(3) 选址合理性分析

本项目位于医院第三住院楼地下三层，为相对独立的区域，本项目充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

(4) 辐射安全与防护分析

本项目加速器、后装机机房均已设计具备相应的屏蔽能力。

直线加速器机房设计在控制间设有电视监视屏，观察机房内的状况，设有与机房通话的对讲机。治疗室外醒目处已设计安装辐照指示灯及辐射危险标志。控制台有防止非工作人员操作的锁定开关，控制台有紧急停机按钮，治疗室门与束流连锁，入口有加速器工作状态显示，治疗室内有紧急停机按钮，治疗床有紧急停机按钮，治疗室内设置固定式剂量报警仪。放射性操作工作人员的个人配备个人剂量计和个人剂量报警仪，设计的穿越防护墙的导线、导管等不影响其屏蔽防护效果。已设计通风换气次数为每小时大于 4 次。

后装机机房设计设置门机连锁，并在治疗室门上要有声、光报警及辐射危险标志。治疗室内设置放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源辐射监测仪。治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度符合最优化原则，在控制室与治疗室之间设置监视器与对讲机。

放射性操作工作人员的个人配备个人剂量计和个人剂量报警仪，配备防护用品铅衣。

综上所述，医院辐射工作场所及周围辐射环境监测结果以及辐射环境影响分析可知，各射线装置使用场所的实体屏蔽能力符合相应标准的要求。

该建设项目辐射安全的控制措施包括了辐射防护与安全设施、安全操作、危害因素检测、事故应急处理、辐射防护与安全管理等项，辐射安全防治项目齐备，能够有效控制辐射安全。

(5) 环境影响分析

在直线加速器、后装机未开机的状态下，加速器机房和后装机周边辐射环境现状检测值在(0.07~0.13) $\mu\text{Sv/h}$ 之间，处于天津市放射性环境本底水平内(根据2010年天津市辐射环境质量报告，辐射值介于(45.8~178.6) nGy/h 范围内)。

本项目辐射屏蔽设计方案可行，放射性污染防治措施合理、有效，加速器 and 后装机机房周围环境年剂量当量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)公众中有关关键组的成员所受的照射年有效剂量限值为1 mSv 和剂量约束值0.1 mSv/a 的要求。工作人员年受照剂量满足2 mSv 的年剂量约束值的要求。项目的辐射安全设施符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)要求。

(6) 结论

综上所述，天津医科大学总医院扩建使用直线加速器、铍-192后装机项目，在充分落实本报告提出的污染防治措施和管理制度后，将具备从事相应辐射工作的技术能力和安全防护措施，其运行对周围环境产生的辐射影响能符合环境保护的要求，故从辐射环保角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

(1) 加强医院安全文化建设，提高全员安全意识，建立健全完善各项规章制度，严格执行操作规程、加强管理，落实各项辐射安全和防护措施。

(2) 配备与辐射工作相适应的监测仪器，严格落实监测计划。

(3) 接受各级环境行政主管部门的监督检查；每年定期请有关专家对辐射

工作人员进行辐射安全防护知识培训。

(4) 在建设项目竣工后、调试前，编制验收监测（调查）报告，并向社会公开相关信息，接收社会监督。确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

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

