

核技术利用建设项目

阳光融和医院 ^{192}Ir 后装机、18MV 医用电子加速器、6MV 射波刀及 CT 模拟定位机
应用项目

环境影响报告表

阳光融和医院

编制日期：2017 年 6 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

**^{192}Ir 后装机、18MV 医用电子加速器、6MV
射波刀及 CT 模拟定位机应用项目**

环境影响报告表

建设单位名称：阳光融和医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号

邮政编码：261061

联系人：张晓军

电子邮箱：

联系电话：0536-6960397



项目名称：阳光融和医院 ^{192}Ir 后装机、18MV 电子直线加速器、
6MV 射波刀及 CT 模拟定位机应用项目

评价单位（盖公章）：济南博瑞达环保科技有限公司

法人代表（签章）：

环评项目负责人：杜召梅

编制人员情况				
姓名	职称	证书编号	负责章节	签名
范金凤	工程师	B246602101	工程分析与源项 辐射安全与防护	
杜召梅	工程师	B24660191200	环境影响分析 辐射安全管理 结论与建议	
李文艳	工程师	B24660180300	审 核	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		¹⁹² Ir 后装机、18MV 医用电子加速器、6MV 射波刀及 CT 模拟定位机应用项目				
建设单位		阳光融和医院				
法人代表	赵宗仁	联系人	张晓军	联系电话	0536-6960397	
注册地址		山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号				
项目建设地点		山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号医院放疗中心				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	8000	项目环保投资 (万元)	100	投资比例 (环保投资/总投资)	1.25%	
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	1650m 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"/> 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 checked="" type="checkbox"/> III 类			
其他	/					

1.1 项目概述

1.1.1 医院概况

阳光融和医院是在国家医疗体制改革新形势下，按照国际化医疗健康管理理念和 JCI 国际医院筹建标准筹建的全新医疗健康中心，是集医疗、康复保健、教学、科研、养老养生和健康管理为一体的现代化综合性医疗健康管理中心。阳光融和医院位于山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号（图 1-1），院区占地 336 亩，建设面积 28 万平方米，投资 30 亿元。医院以三甲医院标准，设置 36 个临床科室、11 个医技科室、2000 个床位。5 年内将发展成为集医疗、护理、养老养生、健康管理为一体的综合健康管理中心。以国内知名专家、学科带头人为主的高起点组建专业的医疗梯队，同哈佛大学 Joslin 糖尿病中心、美国杜克大学医院、韩国三星首尔医院、以色列的舍吧医疗中心及安贞医院、天坛医院等建立了战略合作、人才交流、技术合作关

系，逐步培养出具有国际影响力的阳光融和医院的专业人才。

2016年，阳光融合医院委托环评单位对新增9台III类射线装置填写了建设项目环境影响登记表，2016年11月17日通过了潍坊市环保局高新技术产业开发区分局的审批，批复文号为潍高环辐登表（2016）6号；

2016年，阳光融合医院委托环评单位对DSA装置应用项目进行了辐射环境影响评价，2017年1月13日通过了潍坊市环保局的审批，批复文号为潍环辐表审（2017）001号；

2016年，阳光融合医院委托环评单位对放射诊疗建设项目进行了辐射环境影响评价，2017年3月24日通过了山东省环保厅的审批，批复文号为鲁环辐表审（2017）8号。

2017年3月24日，阳光融合医院取得了山东省环保厅颁发的辐射安全许可证，证书编号：鲁环辐证[07214]，准予使用IV类、V类放射源，使用II类、III类射线装置和乙级非密封放射性物质工作场所。具体如下表所示：

表 1-1 辐射安全许可证所列辐射项目

放射源						
序号	核素名称	出厂活度 Bq	数量（枚）	分类	场所	备注
1	³² P	1.85×10 ⁸ （单枚）	13	V类放射源	核医学科	敷贴
2	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1.11×10 ¹⁰ （单枚）	1	IV类放射源		
3	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷ （单枚）	1	V类放射源	PET 机房	PET 均匀性 校正 检查和配准 图像
4	⁶⁸ Ge	2.1×10 ⁶ （单枚）	3			
5	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ （单枚）	1			
射线装置						
序号	装置名称	型号	数量（台）	分类	场所	备注
1	DSA	IGS 530	1	II类	介入中心	在用
2	DSA	IGS 530	1	II类	急诊放射区	在用
3	CT	Optima CT 520PRO	1	III类	影像中心	在用
4	CT	Revolution CT	1	III类	影像中心	在用
5	CT	Optima CT 680	1	III类	急诊放射区	在用
6	口腔 CT	卡瓦 eXam7-1	1	III类	口腔放射室	在用
7	DR	Definium6000	1	III类	影像中心	在用
8	DR	Definium6000	1	III类	影像中心	在用
9	DR	Definium6000	1	III类	急诊放射区	在用
10	DR	Brivo XR575	1	III类	体检中心放射区	在用
11	SPECT-CT	Discovery NM/CT 670	1	III类	核医学科	在用
12	数字胃肠机	Univision 80kW	1	II类	影像中	在用
13	数字化口腔微 焦点 X 线机	普兰梅卡 ProX	1	III类	口腔放射室	在用
14	C 型臂	BV Vectra	1	III类	放射手术间	在用
15	G 型臂	DigiArc100AC	1	III类	放射手术间	在用

16	骨密度仪	DPX-NT	1	III类	体检中心放射区	在用
17	钼靶机	Selenia	1	III类	体检中心放射区	在用
非密封放射性物质						
序号	核素	日等效最大操作量 Bq	年最大用量 Bq	场所分级	场所	
1	^{99m} Tc	3.7×10 ⁶	9.62×10 ¹¹	乙级	核医学科	
2	¹⁵³ Sm	1.11×10 ⁷	1.44×10 ¹⁰	乙级		
3	⁸⁹ Sr	1.11×10 ⁷	1.44×10 ¹⁰	乙级		
4	³² P	1.85×10 ⁷	1.85×10 ⁹	乙级		
5	¹⁸ F	3.7×10 ⁶	9.62×10 ¹¹	乙级		
6	¹¹ C	3.7×10 ⁶	9.62×10 ¹¹	乙级		
7	⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁶	9.62×10 ¹¹	乙级		
8	¹³¹ I	5.92×10 ⁸	5.3×10 ¹¹	乙级		
9	¹²⁵ I	2.22×10 ⁶	5.77×10 ¹⁰	乙级		
10	¹⁷⁷ Lu	1.48×10 ⁷	1.92×10 ⁹	乙级		
11	¹³ N	1.48×10 ⁷	3.85×10 ¹¹	乙级		

上表所列项目尚在进行建设，未竣工。医院应在竣工后按照环保部门要求尽快委托有资质的单位对辐射项目进行验收。

1.1.2 本次评价内容

为满足放射诊疗发展需求，医院在门诊医技楼和住院楼之间建设放疗中心，为一层半地下建筑，高 6m，其中地下 4m、地上 2m。目前该场所主体工程已建成，设备未购置，未投入使用。拟在放疗中心使用 1 台 ¹⁹²Ir 后装机（内装 1 枚 ¹⁹²Ir 放射源）、1 台 18MV 医用电子加速器、1 套 6MV 射波刀、1 台 CT 模拟定位机。医院周边环境关系见图 1-2，医院平面布置图见图 1-3，放疗中心平面布置图见图 1-4。

本次评价范围内的放射源、射线装置见表 1-2。

表 1-2 本次评价范围内的放射源和射线装置

放射源							
核素名称	后装机最大装源活度 (Bq/枚)	数量 (枚)	厂家	放射源分类	机房位置	用途	
¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ (10Ci)	1	待定	III类	放疗中心	放射治疗	
射线装置							
序号	射线装置名称	规格/型号	厂家	分类	数量 (台)	机房位置	用途
1	医用电子加速器	18MV/待定	待定	II类	1	放疗中心	放射治疗
2	射波刀	6MV/Cyberknife M6 FI system	安科瑞	II类	1		治疗
3	CT 模拟定位机	(140kV、660mA) / Definition AS Open	SOMATOM	III类	1		定位

依据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环保总局公告第 62 号，2005 年），后装

机内所装 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源。

根据《关于发布射线装置分类办法的公告》（国家环境保护局公告第 26 号，2006 年），该项目 18MV 医用电子加速器和 6MV 射波刀属 II 类射线装置，CT 模拟定位机属 III 类射线装置。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 33 号，2015 年），“使用 II 类、III 类放射源的”、“生产、销售、使用 II 类射线装置的”核技术利用建设项目应编制环境影响报告表，“生产、销售、使用 III 类射线装置的”核技术利用建设项目应填报环境影响登记表。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号）等有关规定，受阳光融和医院委托，我单位承担了该项目的辐射环境影响评价工作。接受委托后，在进行现场勘察、充分收集和分析有关资料、实地辐射环境监测基础上，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），编制了该项目的环境影响报告表。

1.2 产业政策符合性

本项目属《产业结构调整指导目录（2011 年本）（修正）》中鼓励类一十三、医药—“6、新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及器械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具（第三代宫内节育器）、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产，数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用”，符合国家产业政策。

1.3 利益-代价分析

阳光融和医院是集医疗、康复保健、教学、科研和健康管理为一体的现代化综合性医疗机构。五年内将发展成为集医疗、护理、养老养生、健康管理为一体的综合健康管理中心。本项目用于放射诊疗，本项目的建设具有明显的经济效益和社会效益。

本项目总投资 8000 万元，其中环保投资 100 万元，占总投资的 1.25%。与同类项目环保投资指标进行比较，环保投资比例合理、适当，可保证环保措施的落实。根据下文分析，本项目采取辐射防护措施，可保证机房外剂量率和人员受照水平控制在标准范围内。

因此，从该项目的代价和利益方面分析，本项目具有明显的经济效益、社会效益，该项目的建设符合正当性。

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	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚	III类	使用	放射治疗	放疗中心	γ 后装治疗机机头内	拟购

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器，包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子加速器	II类	1 台	待定	电子	18	360Gy/h	放射治疗	放疗中心加速器机房	拟购
2	射波刀	II类	1 套	Cyberknife M6 FI System	电子	治疗束 6	600Gy/h	放射治疗	放疗中心射波刀机房	拟购
					—	定位束 0.15	640mA	定位		

(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	CT 模拟定位机	III类	1 台	Definition AS Open	140	660	放射诊断	放疗中心 CT 模 拟定位机房	拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方 式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2014 年；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第 48 号，2016 年；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 253 号，1998 年；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005 年发布，2014 年修订；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环境保护部令第 33 号，2015 年；</p> <p>(7) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告第 62 号，2005 年；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，国家环境保护总局公告第 26 号，2006 年；</p> <p>(9) 《突发环境事件信息报告办法》，环保部令第 17 号，2011 年；</p> <p>(10) 《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；</p> <p>(11) 《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》，国家环境保护总局，环发[2006]145 号，2006 年；</p> <p>(12) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》卫生部令第 55 号，2007 年；</p> <p>(13) 《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 3 号，2008 年；</p> <p>(14) 《山东省环境保护条例》（2001 年修订），2001 年；</p> <p>(15) 《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告（第 37 号），2014 年。</p>
------	--

<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016);</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001);</p> <p>(4)《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011);</p> <p>(5)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分:一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</p> <p>(6)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011);</p> <p>(7)《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013);</p> <p>(8)《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006);</p> <p>(9)《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012);</p> <p>(10)《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93);</p> <p>(11)《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002);</p> <p>(12)《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006);</p> <p>(13)《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>(14)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016);</p> <p>(15)《放射工作人员职业健康监护技术规范》(GBZ235-2011)。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>(1) 阳光融和医院辐射环境影响评价委托书;</p> <p>(2)《辐射防护手册》第一分册《辐射源与屏蔽》(李德平主编,原子能出版社,1990年);</p> <p>(3)《辐射防护手册》第三分册《辐射安全》(李德平主编,原子能出版社,1990年);</p> <p>(4)《辐射源室屏蔽设计与评价》(王时进编);</p> <p>(5)《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》(山东省环境监测中心站,1989年)。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>7.1 评价范围</p> <p>根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）的要求，以及本项目的放射性辐射特点，评价范围为各个机房屏蔽体外 50m 的范围。</p>
<p>7.2 保护目标</p> <p>本项目环境保护目标为各个机房屏蔽体外 50m 范围内与本项目相关的辐射工作人员、机房周围的公众成员。</p>
<p>7.3 评价依据</p> <p>《辐射防护手册》第三分册《辐射安全》中指出：辐射防护的目的是为了防止发生对健康有害的非随机效应，应将随机效应的发生率降低到可以接受的水平。为了达到这一目的，必须遵从辐射防护三原则：</p> <p>（1）实践的正当性；（2）辐射防护的最优化；（3）个人剂量的限制。</p>
<p>7.4 评价标准</p> <p>7.4.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的防护要求</p> <p>B1 剂量限值：</p> <p>B1.1 职业照射</p> <p>B1.1.1 剂量限值</p> <p>B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：</p> <p>a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv;</p> <p>b) 任何一年中的有效剂量, 50mSv;</p> <p>c) 眼晶体的年当量剂量, 150mSv;</p> <p>d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量, 500mSv。</p> <p>B1.2 公众照射</p> <p>B1.2.1 剂量限值</p> <p>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：</p> <p>a) 年有效剂量, 1mSv;</p> <p>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;</p>

c) 眼晶体的年当量剂量, 15mSv;

d) 皮肤的年当量剂量, 50mSv。

B1.2.2 慰问者及探视人员的剂量限值

B1.2.1 所规定的剂量限值不适用于患者的慰问者。但是, 应对患者的慰问者所受的照射加以约束, 使他们在患者诊断或治疗期间所受的剂量不超过 5mSv。应将探视食入放射性物质的患者的儿童所受剂量限制于 1mSv 以下。

依照照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求, 剂量约束值通常应取 1/10-3/10, 本项目从辐射防护最优化原则出发, 取规定限值的 3/10, 即以 6.0mSv/a、0.3mSv/a 分别作为职业工作人员、公众人员的年剂量管理约束值。

7.4.2 机房屏蔽剂量率目标控制值

《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 5.4款要求, 以2.5μGy/h作为机房屏蔽剂量率控制目标值。

《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) 中指出“距治疗机房墙和入口门外表面30cm处: $H_0 \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ (人员全居留场所, $T > 1/2$); $H_0 \leq 10\mu\text{Sv/h}$ (人员部分和偶然居留场所, $T < 1/2$)”。

参照上述标准, 偏保守考虑, 本评价采用 2.5μSv/h 作为各个机房屏蔽剂量率目标控制值。

7.4.3 《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002)

标准 4.2.2 运输贮源器(或工作贮源器)内装载最大容许活度时, 距离贮源器表面 5cm 处的任何位置, 泄漏辐射的空气比动能率不得大于 $100\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$; 距离贮源器表面 5cm 处的任何位置, 泄漏辐射的空气比动能率不得大于 $10\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

7.4.4 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 防护要求

第 5.3.4 款规定: 终止照射后感生放射性的防护

第 5.3.4.1 款规定: 此要求仅适用于电子能量超过 10MeV 的设备

第 5.3.4.2 款规定: 在规定的最大吸收剂量率下, 进行 4Gy 照射, 以间隙 10min 的方式连续运行 4h 后, 在最后一次照射终止后的 10s 开始测量, 测得感生放射性的周围剂量当量 H, 且应满足下列要求:

a) 累积测量 5min, 在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过 $10\mu\text{Sv}$, 离外壳表面 1m 处不超过 $1\mu\text{Sv}$ 。

b) 在不超过 3min 的时间内, 测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何

容易接近处不超过 200 $\mu\text{Sv/h}$ ，离外壳表面 1m 处不超过 20 $\mu\text{Sv/h}$ 。

7.4.5 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

5.2 每台 X 射线机（不含移动式 and 携带式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积，最小单边长度应不小于下表要求。

表 7-1 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m	备注
CT 机	30	4.5	CT 模拟定位机

第 5.3 款规定：X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于下表要求。

表 7-2 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用束方向铅当量 mm	备注
CT 机房	2（一般工作量）；2.5（较大工作量）		CT 模拟定位机

第 5.4 款规定：在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求（其检测方法及其检测条件按 7.2 和附录 B 中 B.6 的要求）：

a) 具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ ；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b) CT 机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ ；其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量应不大于 0.25mSv ；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

第 5.7 款规定：机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

表 7-3 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者		本项目相关装置
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
CT 体层扫描	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子		CT 模拟定位机

7.4.6 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006)

标准 5.2.1.1 CT 扫描以扫描厚度 10mm、每层扫描 250mAs 为参考扫描条件的周归一化工作负荷 (W) 分区如下:

一般工作量	120kVp	$W < 5000$ 层/周
	140kVp	$W < 2500$ 层/周
较大工作量	120kVp	$W \geq 5000$ 层/周
	140kVp	$W \geq 2500$ 层/周

标准 5.2.1.2 CT 机房一般屏蔽要求

一般工作量下的机房屏蔽: 16cm 混凝土 (密度 2.35t/m^3) 或 24cm 砖 (密度 1.65t/m^3) 或 2mm 铅当量。

较大工作量时的机房屏蔽: 20cm 混凝土 (密度 2.35t/m^3) 或 37cm 砖 (密度 1.65t/m^3) 或 2.5mm 铅当量。

7.5 评价方法

本项目采用《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》(GB/T 201.2-2011) 和《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》(GB/T 201.3-2014) 中推荐的理论计算公式进行机房屏蔽剂量率的估算, 检验是否满足剂量控制要求; 估算人员年有效剂量, 检验是否满足人员年管理剂量约束值的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

山东省潍坊市位于山东半岛中部，地跨北纬 35°32′至 37°26′、东经 118°10′至 120°01′。南依泰沂山脉，北濒渤海莱州湾，东与青岛、烟台两市相接，西与东营、淄博两市为邻，地扼山东内陆腹地通往半岛地区的咽喉，胶济铁路横贯市境东西。直线距离西至省会济南 183 公里，西北至首都北京 410 公里。

阳光融和医院位于山东省潍坊市高新技术产业开发区樱前街与志远路交叉口东南。医院东侧为广润商务酒店和惠贤路，隔路为潍坊高新区实验学校；医院南面为宝通街；医院西侧为志远路，西南侧 330m 为马家村；医院北侧为樱前街，再往北约 380m 距离医院为西里固村。本项目放疗中心位于门诊医技楼和住院楼之间，为半地下建筑，放疗中心北侧为门诊医技楼，南侧为住院楼，东侧为院内空地，西侧为连廊。后装机机房位于放疗中心西北角，18MV 加速器机房位于后装机房南侧，射波刀机房位于 18MV 加速器机房南侧，CT 模拟定位机房位于 18MV 加速器机房东北侧。

医院地理位置见图 1-1，医院平面布置图见图 1-2，医院周边环境关系见图 1-3，放疗中心平面布置图见图 1-4。

8.2 环境天然放射性水平

潍坊市环境天然 γ 空气吸收剂量率数据见表 8-1。

表 8-1 潍坊市环境天然 γ 空气吸收剂量率 ($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)

监测内容	范围	平均值	标准差
原野	4.30~16.26	6.16	1.28
道路	3.35~17.70	6.07	1.73
室内	6.84~23.89	10.57	2.12

注：表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989 年。

8.3 辐射环境现状监测与评价

8.3.1 监测单位

山东鲁环检测科技有限公司。

8.3.2 监测项目

环境 γ 空气吸收剂量率。

8.3.3 质量保证措施

(1) 监测仪器

名称：微电脑 X- γ 剂量率仪； 型号：BH3103B； 编号：022；

检定单位：中国计量科学研究院；

检定证书编号：DYjl2016-5142；有效期至：2017年9月29日；

量程范围： $(0.1\sim 100000)\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ；

能量响应：25keV~3MeV，变化的限值为 $\pm 15\%$ ；

剂量率指示的固有误差：不大于4.0%；

宇宙射线响应：变化的限值为 $\pm 15\%$ （相对于RS-111电离室）；

使用环境温度： $(-10\sim +40^{\circ}\text{C})$ 变化限值为 $\pm 30\%$ ；

(2) 监测依据

《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)；《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93)。

(3) 监测方法

仪器自动读数，设定读数间隔为2s，连续采样10个数据取平均值，一个监测数据采样时长20s。

8.3.4 环境条件

气温：17 $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度：38%，天气：晴。

8.3.5 监测时间

2016年3月28日。

8.3.6 监测点位

监测点位见图8-1。

8.3.7 监测结果

监测结果见表8-2。

表8-2 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果 ($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)

序号	点位描述	监测结果	
		平均值	标准偏差
1#	后装机机房内	9.1	0.35
2#	后装机机房西侧	8.5	0.29
3#	后装机机房北侧	8.9	0.33
4#	后装机控制室内	9.3	0.37
5#	后装机防护门外	8.9	0.42
6#	18MV 加速器机房内	9.6	0.46
7#	18MV 加速器机房西侧	8.8	0.41
8#	18MV 加速器控制室内	9.4	0.38
9#	18MV 加速器机房防护门外	9.0	0.33
10#	射波刀机房内	9.9	0.34

11#	射波刀机房西侧	8.6	0.26
12#	射波刀机房防护门外	9.2	0.27
13#	射波刀控制室内	9.3	0.37
14#	射波刀机房南侧	8.4	0.35
15#	CT 模拟定位机机房内	9.8	0.28
16#	CT 模拟定位机机房西侧	9.2	0.22
17#	CT 模拟定位机机房北侧	8.9	0.34
18#	CT 模拟定位机机房东侧	9.5	0.31
19#	CT 模拟定位机控制室内	10.0	0.29
20#	后装机机房上方	8.7	0.41
21#	18MV 加速器机房上方	8.3	0.46
22#	射波刀机房上方	8.5	0.38
23#	CT 模拟定位机机房上方	8.7	0.25

注：1.表中数据已扣除室外宇宙射线响应值 $2 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，室内宇宙射线响应值 $1.6 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ；
2.未注明的，监测点位均距地面 1.0m。

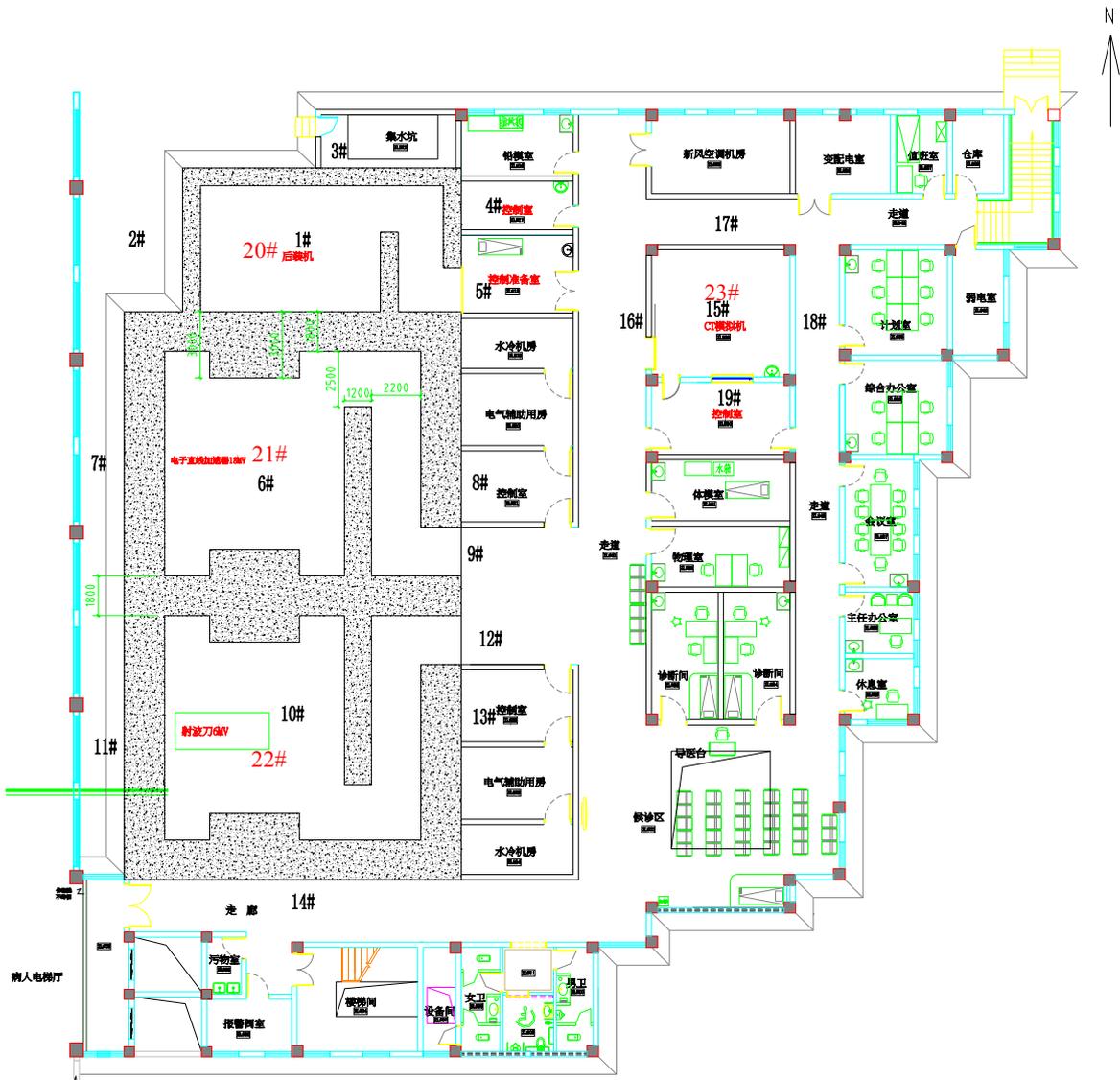


图 8-1 监测点位示意图（放疗中心平面布置图）

8.3.8 监测结果评价

根据表 8-2，本项目工作场所本底监测结果在 $(8.3 \times 10^{-8}) \sim (10.0 \times 10^{-8} \text{Gy/h})$ ，在潍坊市环境天然放射性水平范围内：[室内 $(6.84 \sim 23.89) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ；道路 $(3.35 \sim 17.70) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$]。

表 9 后装机项目环境影响评价

本项目内容较多，报告将后装机、加速器、射波刀、CT 模拟定位机分开评价。将后装机项目评价纳入表 9；将 18MV 电子直线加速器项目评价纳入表 10；将 6MV 射波刀项目评价纳入表 11；将 CT 模拟定位机评价纳入表 12；将事故影响分析纳入表 13。

9.1 项目概况

9.1.1 项目基本情况

建设单位：阳光融和医院。

建设地址：山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号。

项目选址：放疗中心。

放疗中心位于门诊医技楼和住院楼之间，占地面积约 1650m²，为一层半地下建筑，高 6m，其中地下 4m、地上 2m。放疗中心北侧为门诊医技楼，南侧为住院楼，东侧为院内空地，西侧为连廊。医院总平面布置图见图 1-3。

后装机机房位于放疗中心西北角，机房东侧为控制室和控制准备室，南侧为 18MV 加速器机房，西侧为走廊，北侧为集水坑，上方为室外空间，下方为土层，下方无规划地下建筑。放疗场所分布集中，人员少有经过，选址合理。目前放疗中心已建成，其平面布置图见图 1-4，现场照片见图 9-1。

后装机工作场所主要由后装机房、控制室、控制准备室组成。后装机内装 1 枚 ¹⁹²Ir 放射源，最大装源活度 3.7×10¹¹Bq (10Ci)，属 III 类放射源。

人员编制：拟设置 3 名辐射工作人员，其中医生 1 人，物理师 1 人、护士 1 人。

工作负荷参数：后装机年工作约 300 天，每天最多治疗患者 4 人，每周接诊两天，年最多接诊患者 384 人次，每人最大治疗 30 分钟，年工作时间 192h。平均摆位时间为 2min/人·次，则年摆位时间 12.8h。

9.2 工程分析

9.2.1 工作原理

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

平，得到最佳的治疗效果。

9.2.2 治疗流程

- (1) 用本次评价的 CT 模拟定位机拍摄定位胶片；
- (2) 用治疗计划系统 (TPS) 调用定位胶片制定治疗计划并传输给治疗控制系统；
- (3) 医生根据诊断结果，将施源器插入患者治疗部位中并固定好；
- (4) 用治疗控制系统实施治疗计划，对患者进行治疗；
- (5) 治疗结束后，医生进入后装机机房，帮助患者离开治疗床，退出机房，关闭防护门。

9.2.3 设备参数

表 9-1 后装机主要参数

后装机型号	待定
生产厂家	待定
内装放射源	^{192}Ir
最大装源活度	370GBq (10Ci)
放射源 γ 射线能量	0.316MeV
放射器从贮源器至施源器的最大传输时间	<5s
贮源部件辐射防护性能	距表面 5cm 处的漏射线量不大于 0.1mGy/h; 距表面 100cm 处的漏射线量不大于 0.01mGy/h。

9.2.4 自屏蔽措施

^{192}Ir 近距离遥控后装机具有良好的自屏蔽措施， ^{192}Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。 ^{192}Ir 放射源源罐结构见下图。

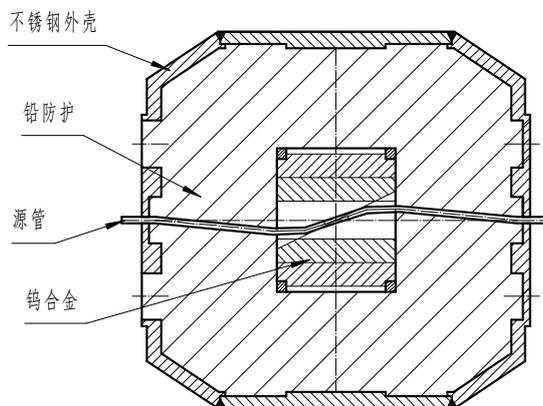


图 9-2 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图

9.2.5 污染因素分析

- (1) 核素特性

^{192}Ir 半衰期 74 天。主要有 3 种能量的 β 射线，分别为 258.65keV (5.605%)、538.78 keV (41.76%)、675.12keV (48.03%)；X- γ 射线： ^{192}Ir 发射的 X 射线份额较少， γ 射线有 4 种分支比较大，能量分别为 316.51keV (83.0%)、468.07keV (47.7%)、308.46keV (29.3%)、295.96keV (28.3%)。 ^{192}Ir 衰变纲图见下图。

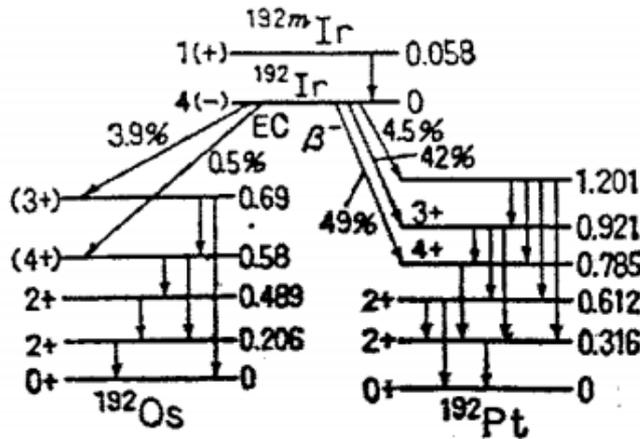


图 9-3 ^{192}Ir 衰变纲图

(数据摘自放射性同位素手册，马崇智等著，科学出版社)

(2) 放射源参数

表 9-2 放射源参数

放射性核素	^{192}Ir
初装源最大活度	370GBq (10Ci)
密封源数量	1 枚
距离贮源器表面 5cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率	$\leq 100\mu\text{Gy/h}$
距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率	$\leq 10\mu\text{Gy/h}$

(3) 污染因素

① β 射线穿透能力很弱，设备的外包装可以完全屏蔽，使 β 射线不能释放到环境中。 γ 射线穿透能力较强，有可能对环境产生辐射影响。

② 空气在辐射照射下，产生辐照分解现象，其主要产物是臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO 、 NO_2)。氮氧化物产额较低，放射工作场所的非辐射危害因素主要以臭氧为主。通过通风换气可有效减低臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO 、 NO_2) 浓度。机房设计有通风系统，通风量 $1200\text{m}^3/\text{h}$ ，通风次数达到 2.8 次/h，通风效果良好。

③ 放射性废气、放射性废水和放射性固废

该后装机发出的 γ 射线能量为 0.316MeV，正常工况下不会产生放射性废气、放射性废水。固体废物为 ^{192}Ir 退役或废旧放射源。

综合上述分析，后装机评价因子为 γ 射线、放射性固体废物。

9.3 机房布置与防护措施

(1) 机房布置与防护

后装机机房位于放疗中心西北角（图 1-4），后装机机房墙体和室顶均为混凝土（ $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ），防护门为铅钢复合门。机房东西宽 10.8m（含迷道），南北长 5.7m，高 6.85m，面积 61.56m^2 ，容积 421.7m^3 。迷道内墙长 3.6m，迷道宽 2m，迷道长 5.7m。北墙、西墙厚 800mm；迷道内墙和迷道外墙厚 800mm；南墙与 18MV 加速器机房共用墙体，南墙较薄处 1800mm，较厚处 3000mm；室顶厚 1000mm。防护门设计为 10mm 铅当量防护门。机房东侧为控制室和控制准备室，南侧为 18MV 加速器机房，西侧为走廊，北侧为集水坑，上方为室外空间，下方为土层，下方无规划地下建筑。机房平面布置图见图 9-4。

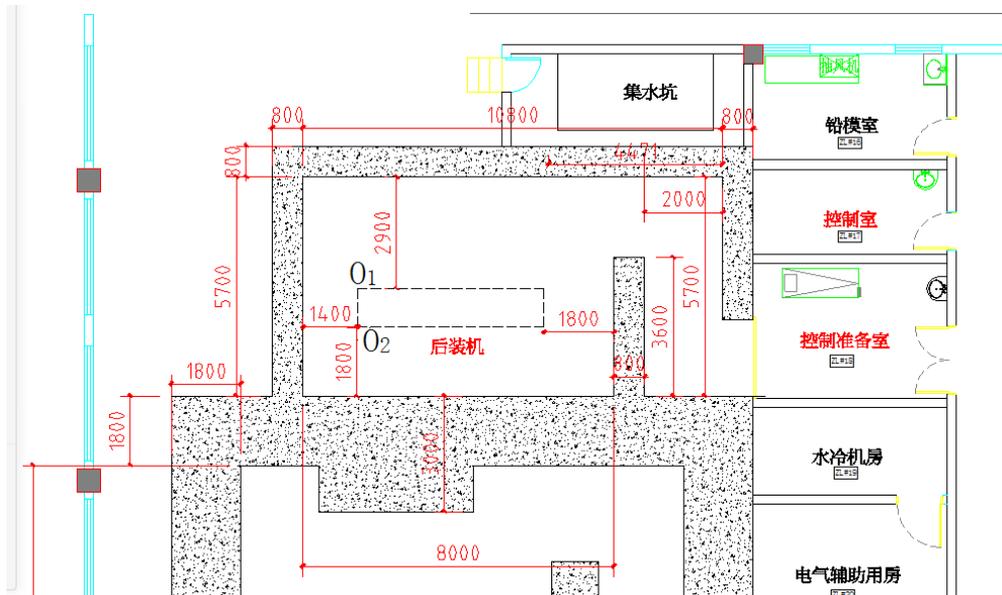


图 9-4 (a) 后装机机房平面布置图

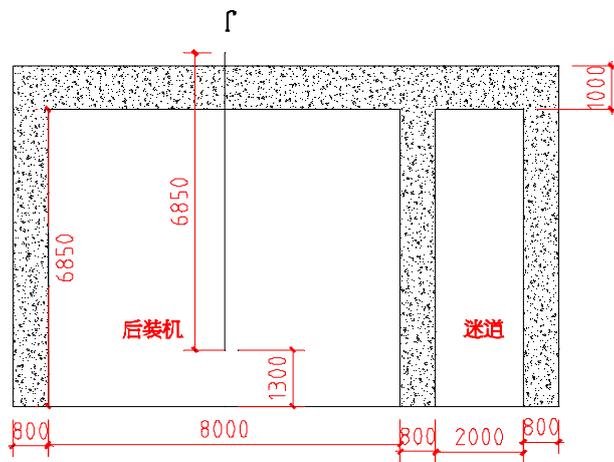


图 9-4 (b) 后装机机房剖面图

(2) 其他安全防护措施

①后装机机房与控制室之间拟安装监视器和对讲装置。

②控制台上拟设置使放射源迅速返回贮源器的应急按钮。在紧急情况下，按下按钮，可使源退回贮源罐内。

③机房拟设置门机联锁，当在治疗时，防护门无法打开。如强制开启，则迫使放射源回到贮源罐内。门未关闭时，不能出源。

④防护门上拟设置电离辐射警告标志和声、光报警装置。源移出源库时，在控制台和后装机处有声光显示。当源未正常回到源库时，应有声、光报警。

⑤拟在机房内安装固定式辐射剂量率监测仪器。

⑥拟为所有辐射工作人员每人配备个人剂量计。

⑦设备自带自检系统，包括机器自检、复位自检和通道自检。进行治疗前，先进行自检和模拟治疗，确保放射源通道通畅，再进行治疗。

⑧通往后装机房内的电缆沟从机房地平以下呈 U 型越过屏蔽墙。通风管道穿墙方式为 Z 型。

⑨治疗过程中，若出现故障或意外情况，利用设备自带安全系统，放射源能够自动回到贮存位。

后装机项目与该医院核医学场所共用 1 台便携式辐射监测仪（已配备），还应配备个人剂量报警仪（建议后装机工作场所配备 2 台）。

（3）通风设计

后装机机房内设置通风系统，一个进风口，一个排风口，进风排风相互独立。进风口位于迷道内墙西南侧的机房室顶，排风口位于机房西北侧下部靠近地面位置，符合“上进下出，对角设置”的原则。排气筒高于机房顶部西北角 1m。进风管道和排风管道穿墙方式采用 Z 型。进风风机为净化新风机，位于放疗中心外部北侧；排风风机为离心式风机，位于房顶外西北角。进风和排风风机额定通风量均为 $1200\text{m}^3/\text{h}$ ，机房容积 421.7m^3 ，通风次数达到 2.8 次/h，通风效果良好。

9.4 环境影响分析

放疗中心主体已建成，施工期已结束，建设阶段亦无辐射环境影响，本环评在此不予评价，只分析运行阶段环境影响。

本评价采用《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）中推荐公式进行辐射屏蔽估算。

（1）计算公式及相关参数

初级辐射的屏蔽估算：

在给定屏蔽物质厚度 X (mm) 时，按 (式 9-1) 计算有效厚度 X_e (mm)，按 (式 9-2) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按 (式 9-3) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{式 9-1})$$

式中：

- Xe: 有效屏蔽厚度, cm;
- X: 屏蔽厚度, cm;
- θ : 斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的法线的夹角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 9-2})$$

式中：

- B: 屏蔽物质的屏蔽透射因子;
- Xe: 有效屏蔽厚度, mm;
- TVL: 辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚, mm。查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1 ^{192}Ir 在混凝土中 TVL 为 152mm, 在铅中为 16mm;
- TVL₁: 辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, mm。当未指明 TVL₁ 时, TVL₁=TVL。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 9-3})$$

式中：

- H: 关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
- H₀: 活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$; 按照 (式 9-4) 计算;
- R: 辐射源至关注点的距离, m;
- f: 对本项目为 1。

$$H_0 = A \cdot K_v \quad (\text{式 9-4})$$

式中：

- A: 放射源的活度, MBq, 本项目为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$;
- K_v: 放射源的空气比释动能率常数 (或称 K_v 常数), 在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似, 此时, K_v 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1 为 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$;

入口处的散射辐射剂量率：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式 9-5})$$

式中：

- A: 放射源的活度, MBq, 本项目为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$;

- K_v 放射源的空气比释动能率常数（或称 K_v 常数），在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时， K_v 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1 为 $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；
- S_w 迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积， m^2 ；
- α_w 散射体的散射因子；
- R_1 辐射源（图 9-2(a)中的 O_1 或 O_2 ）至散射体中心点的距离， m ； O_1 和 O_2 相比，在 O_1 时入射到散射体的距离较 O_2 短，而散射体面积、散射体到计算点的距离、散射因子均相似，故采用 O_1 位；
- R_2 散射体中心点至计算点的距离， m 。

$$H = 0.7 \times D_r \times T \quad (\text{式 9-6})$$

式中：

- H: 年有效剂量当量， Sv/a ；
- 0.7: 吸收剂量对有效剂量当量的换算系数， Sv/Gy ；
- D_r : 空气吸收剂量率， Gy/h ；
- T: 年受照时间， h/a 。

(2) 辐射水平预测

后装机最大装源活度 370GBq (10Ci)，即 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ； γ 射线能量： 0.316MeV ； ^{192}Ir 空气比释动能率常数， $K_v = 0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；放射源距地面最大高度 1.3m ，距北墙最近为 2.9m ，距南墙最近为 1.8m ，距西墙最近为 1.4m ，距迷道内墙最近为 1.8m 。对 ^{192}Ir ，主射束在混凝土中的 TVT 值为 152mm ，铅中 TVT 值为 16mm ；散射线在铅中 TVT 值为 5mm 。根据（式 9-4）计算得距源 1m 处剂量率为 $4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 。

机房外参考点计算点位见图 9-5、图 9-4 (b)，图中虚线区域为治疗源可能的使用区域。后装机开机治疗时，控制准备室内无公众和工作人员停留。

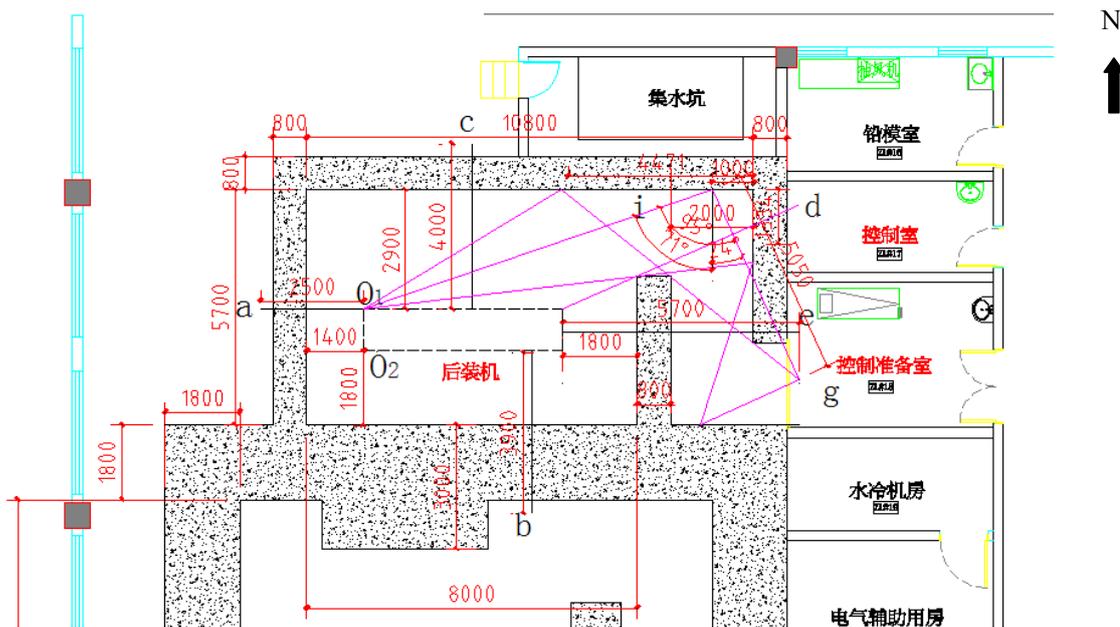


图 9-5 后装机机房外参考点计算点位布置图

①机房外参考点剂量率

根据（式 9-1）~（式 9-4），计算出机房外参考点剂量率如下表所示：

表 9-3 后装机机房外剂量率

考察点	屏蔽层	屏蔽厚度 X (mm)	$\theta (^{\circ})$	有效屏蔽层厚度 X_e (mm)	屏蔽透射因子 B	源到参考点的距离 (m)	考察点剂量率 H_m ($\mu\text{Sv/h}$)
a	西墙	800	0	800	5.456×10^{-6}	2.5	0.036
b	南墙东段较薄处	1800	0	1800	1.438×10^{-12}	3.9	3.884×10^{-9}
c	北墙	800	0	800	5.456×10^{-6}	4	0.014
d	迷道外墙北段	800	24	875.71	1.733×10^{-6}	8.1	1.085×10^{-3}
e	迷道内墙+迷道外墙	1600	0	1600	2.976×10^{-11}	5.7	3.76×10^{-8}
h	室顶	1000	0	1000	2.637×10^{-7}	6.85	2.31×10^{-4}

由上表可知，后装机机房墙体和室顶上方剂量率最大为 $0.036\mu\text{Sv/h}$ （机房西墙外）。

②防护门外剂量率估算

根据《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）6.1：“治疗机房应考虑治疗源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射”。

因此防护门外需考虑①直接照射的射线穿过迷道内墙的剂量率贡献；②射线照射到北墙和迷道外墙上，散射至迷道外口，散射次数为 1-2 次，保守计按 1 次考虑。

a.根据（式 9-1）~（式 9-4），计算距离为 10.5m，则 γ 射线穿过迷道内墙到达迷道外口处剂量率为 $4.107 \times 10^4 \times 1 \times 10^{-(800/152)} / 10.5^2 = 0.002\mu\text{Sv/h}$ 。

b.根据式 9-5，散射面积为 43.76m^2 ， R_1 为 8.9m， R_2 为 5.1m，入射辐射与散射辐射的夹角约为 110° ，根据 GBZ/T201.3-2014 表 C.2 查得散射辐射能量为 0.18MeV，可按 0.25MeV 考虑。入射角约为 60° ，反散射角约为 50° ，根据 GBZ/T201.3-2014 表 C.4，散射因子 α 为 3.05×10^{-3} ，根据式 9-5 计算得散射剂量率为 $(3.7 \times 10^5 \times 0.111 \times 43.76 \times 3.05 \times 10^{-3}) / (8.9^2 \times 5.1^2) = 2.66\mu\text{Sv/h}$ 。

在 g 处散射辐射能量为 0.18MeV，根据 GBZ/T201.3-2014，散射线铅中的 TVL 值为 5mm，主射线在铅中 TVL 为 16mm。经 10mm 铅当量防护门屏蔽后，迷道外口剂量率为 $(0.002) / 10^{(10/16)} + 2.66 / 10^{(10/5)} = 0.00047 + 0.0221 = 0.027\mu\text{Sv/h}$ 。

综上所述，后装机房外 30cm 处辐射水平最大为西墙外 30cm 处 $0.036\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

③非工作状态机房外 30cm 处剂量率

估算公式如下：

$$D = \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \times D_0 K \dots\dots\dots \text{(式 9-7)}$$

式中：

- D: γ 空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;
- r_0 : 从源到参考点的距离, m;
- R: 从源到考察点的距离, m;
- D_0 : 在参考点处的 γ 空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;
- k: 屏蔽减弱系数, 无量纲。

$$k = 2^{-\frac{d_p}{HVL}} \dots\dots\dots \text{(式 9-8)}$$

式中：

- HVL: 半值层厚度, mm;
- d_p : 屏蔽层厚度, mm;
- k: 屏蔽减弱系数, 无量纲。

^{192}Ir 后装机中放射源初始活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$, ^{192}Ir 放射源在非工作状态下存放在储源器中。根据《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》要求, 储源器内装载最大容许活度时, 距离储源器表面 5cm 处的任何位置, 泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $100\mu\text{Gy/h}$; 距离储源器表面 100cm 处的球面上, 任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。

放射源距机房外最近参考点为西墙外 30cm 处, 源到参考点的距离为 2.5m, 墙体为 800mm 混凝土。查辐射防护手册 (第三分册), 混凝土 (2.35g/cm^3) 对 ^{192}Ir γ 射线的 HVL 为 50mm。由式 9-7、式 9-8, 可估算得到机房西墙外 30cm 处 γ 空气吸收剂量率为 $2.44 \times 10^{-5}\mu\text{Gy/h}$, 低于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标。

(3) 后装机机房设计与防护措施评价

表 9-4 后装机机房设计与防护措施

序号	《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002) 的相关要求	本单位落实情况
(1)	实施治疗期间, 当发生停电、卡源或意外中断照射时, 放射源必须能自动返回工作贮源器。当自动回源装置功能失效时, 必须有手动回源措施进行应急处理。	配备带有手动回源功能的自动回源装置。
(2)	放射治疗室必须经专业人员设计, 治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于 20m^2 。	机房(即治疗室)与控制室分开设置; 后装机机房面积为 61.56m^2 , 符合要求。
(3)	治疗室入口必须采用迷路设计, 设置门机连锁, 并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。	机房设计设置防护门和迷道、门机连锁装置及声、光报警装置。设计设置应急开关使放射源迅速返回贮源器, 机房内拟安装放射源监测器。
(4)	在控制室与治疗室之间应设观察窗(或监视器)与对讲机。	机房和控制室之间设计安装监视器和对讲机。

(5)	实施放射治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。	制定严格的操作规程，机房内不得停留除病人外的其他人员。
-----	----------------------------	-----------------------------

根据表 9-4，后装机房设计与防护措施满足《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2002）的相关要求。

(4) 人员年有效剂量

人员年有效剂量按式 9-6 进行计算。

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），不同场所的居留因子如下表所示：

表 9-5 不同场所的居留因子

场所	居留因子 T		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区。
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室； 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室。
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门； 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室； 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯。

①摆位工作人员有效剂量

根据建设单位提供资料，后装机每天治疗患者每天最多治疗患者 4 人，每周接诊两天，年最多接诊患者 384 人次，平均摆位时间为 2min/人·次，则年摆位时间 12.8h。

工作人员摆位一般距机头 1m 左右，根据《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》要求，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率 $\leq 10\mu\text{Gy/h}$ 。摆位时间为 12.8h/a，居留因子取 1，使用因子取 1，根据式 9-6，摆位工作人员接受的最大有效剂量为 0.0896mSv ($0.7 \times 10 \times 12.8/1000$)。

②操作工作人员有效剂量

根据建设单位提供资料，后装机每天治疗患者每天最多治疗患者 4 人，每周接诊两天，年最多接诊患者 384 人次，每人最大治疗 30 分钟。根据 9.4 (2)，工作人员活动区域辐射水平最大为 $1.085 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ (控制室)。本项目年治疗照射时间约 192h，居留因子取 1，使用因子取 1，根据式 9-8，工作人员所受最大年有效剂量最大为 $2.08 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ($1.085 \times 10^{-3} \times 192/1000$)。

综上，后装机所致工作人员所受年有效剂量为 0.0899mSv ($0.0896+2.08 \times 10^{-4}$)，低于本评价提出的工作人员年剂量管理约束值不超过 6.0mSv/a 的管理要求。

③公众成员年有效剂量

公众活动区域辐射水平最大为 $0.036\mu\text{Sv/h}$ (机房西墙外), 居留因子取 $1/4$, 使用因子取 1 , 年受照时间约 192h , 则公众成员所受最大年有效剂量为 0.0017mSv ($0.036 \times 192/1000/4$), 低于本评价提出的公众成员年剂量管理约束值不超过 0.3mSv/a 的管理要求。

(5) 放射源运输与换源

本项目 ^{192}Ir 密封源运输事宜由供源厂家负责, 换源事宜由供源厂家承担。换源地点位于后装机机房, 由供源单位人员进行换源操作, 本院工作人员不参与换源操作。

(6) 放射源退役

γ 后装治疗机正常医疗治疗过程中, 不产生放射性固体废弃物, 但经过一定使用年限后, 会产生报废或退役的放射源。按照《城市放射性废物管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定, 未经批准不得擅自处理。该院退役和废旧源拟由供源厂家负责运输、回收, 废放射源回收参照放射源转让程序办理。废放射源送贮完成之日起 20 日内, 应及时向山东省环境保护主管部门备案, 申请办理放射源注销手续。

如因故供源厂家不能回收时应交由山东省城市放射性废物库收贮, 并且应委托有资质的单位实施放射源拆卸和运输工作。

综上所述, 本项目后装机机房屏蔽措施符合标准要求, 退役和废旧源得到妥善处理, 不会对周围环境造成不利影响。

另外, 还应将工作场所划分为控制区和监督区, 进行分区管理。依照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 规定和要求, 应将直接与机房相连的与机房内 γ 后装治疗机相关的放射工作人员工作区划为控制区, 即 γ 后装治疗机房、控制室。监督区为控制准备室, 此区域内应尽量减少非工作人员的停留时间, 避免受到可能产生的不必要的辐射危害。

①控制区防护及管理措施如下:

A、非有关工作人员严禁入内, 治疗机房除特别需要外, 不允许亲友陪护。

B、机房进出口及其他适当位置处设置电离辐射警告标志, 并给出相应的辐射水平和污染水平指示。

C、控制区出入口: 应配备个人防护用品、监测仪器及个人衣物储存柜。

②监督区防护及管理措施如下:

A、其他无关公众人员严禁入内;

B、监督区入口处设置指示监督区的标牌。

表 10 18MV 医用电子加速器项目环境影响评价

10.1 项目概况

建设单位：阳光融和医院。

建设地址：山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号。

项目选址：放疗中心。

18MV 加速器机房位于放疗中心西侧，后装机机房南侧。加速器机房东侧为水冷机房、电气辅助用房、控制室；南侧为射波刀机房；西侧为走廊；北侧为后装机机房；上方为室外空间；下方为土层，下方无规划地下建筑。放疗场所分布集中，人员少有经过，选址合理。放疗中心平面布置图见图 1-4。

加速器工作场所主要由加速器机房、控制室、水冷机房、电气辅助用房等组成。电子直线加速器属 II 类射线装置。

人员编制：拟设置 11 名辐射工作人员，其中医生 4 人，技师 6 人，物理师 1 人。

工作负荷：加速器年工作约 260 天，每天接诊人数最多 30 人次，年最多接诊患者 7800 人次，每人治疗 10 分钟，年工作时间 1300h。平均每次摆位时间 5min，每天摆位次数 30 次，则年摆位时间 650h。

10.2 工程分析

10.2.1 工作原理

医用电子加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。它既可以产生高能电子束，也可以利用高能电子束与靶物质相互作用时的韧致辐射产生 X 射线束。

因此，医用加速器作为一种体外照射的治疗设备，利用产生的高能电子束或 X 射线，根据肿瘤类型、位置以及患者身体状况，选择不同的输出方式，对人体恶性肿瘤进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁，并最大限度的保护周围正常组织，达到治疗肿瘤的目的。

10.2.2 设备组成

加速器主要有三个部分组成：控制台、主机、治疗床。其结构单元为：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。加速器配套本次评价的模拟定位机用于定位。模拟定位机在后续 III 类射线装置项目进行评价。医用电子加速器结构示意图见下图：

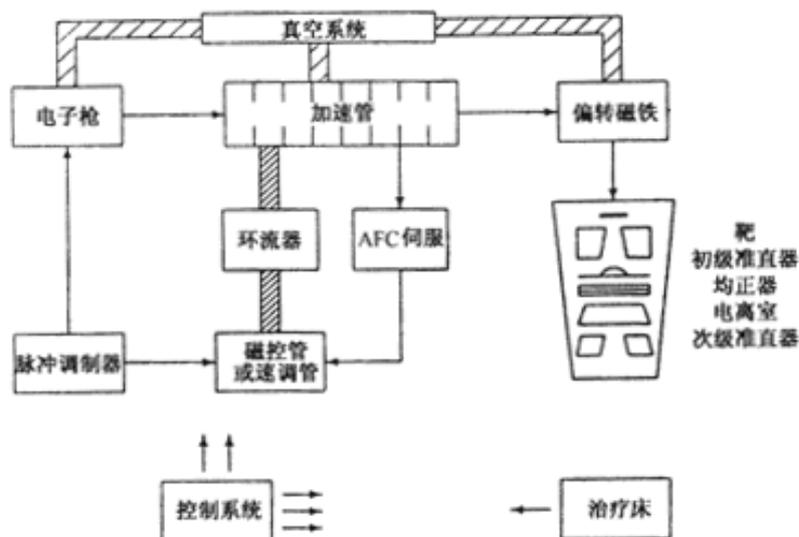


图 10-1 加速器结构示意图

10.2.3 治疗流程

①对肿瘤放疗患者进行登记、候诊；②然后使用 CT 定位机对患者的肿瘤进行定位检查；③根据患者肿瘤类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；④摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度等，摆位结束，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门；⑤根据放疗计划，实施照射；⑥照射结束后，病人离开机房，摆位人员 2min 后进行下一个患者摆位准备。

具体流程如下所示：

登记候诊—模拟定位—制定放疗计划—摆位—非患者撤离—关闭防护门—放疗照射—结束离开。

10.2.4 18MV 医用电子加速器设备参数

根据建设单位提供资料，本项目医用电子加速器主要参数见下表：

表 10-1 加速器主要设备参数

型号厂家	待定
加速粒子	电子
电子最大能量 MeV	25MeV
X 射线标称能量 MV	18MV
最大方形照射野	40cm×40cm
最大输出剂量率	600cGy/min (3.6×10 ⁸ μGy/h)
等中心高度	1240mm
源轴距	100cm
泄漏辐射率	≤0.1%
中子射线泄漏率	≤0.05%

10.2.5 污染因素

(1) X射线和电子束

加速器出束工作时，将产生X射线及高能电子束有用线束辐射、泄漏辐射和散射辐射。运行时产生的X射线和电子束随加速器的开、关而产生和消失。加速器产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器开机时间内，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。

(2) 中子

本项目加速器 X 射线最高能量 18MV，产生的高能光子会与 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，产生中子辐射。包括加速器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子。中子的辐射生物效应远高于 X、 γ 射线，一般情况下，当机房墙体、室顶的屏蔽厚度满足对 X 射线的防护要求时也就满足了对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护。

(3) 感生放射性

对于大于10MeV的直线加速器会产生感生放射性，主要包括两个方面：①加速器机头结构材料的固态感生放射性。加速器运行期间，由于设备有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害到屏蔽体外的人员。②气态感生放射性核素。18MV加速器运行时产生中子，中子可与空气作用产生放射性核素。电子能量超过反应阈能时，与空气中的C、O、N、Ar等相互作用，可诱发感生放射性核素 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成明显的危害。

(4) 俘获 γ 射线

加速器使用过程中产生的热中子与物质作用被原子核俘获后不再放出中子而放出 γ 射线，即俘获 γ 射线。俘获 γ 射线的能量变化范围很宽，在放射防护中一般选择硼，对热中子有较高的吸收能力，从而不放出或者放出能量较低的 γ 射线。

(5) 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(NO 、 NO_2)。机房设计有通风系统，通风量为 $3000\sim 4000\text{m}^3/\text{h}$ 可调，通风能力达到 $4.5\sim 6.1$ 次/h，可明显降低有害气体浓度，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

(6) 放射性废水

本加速器使用的冷却水为去离子水，为循环用水，通常情况下只是补充冷却水，废水产生量较少。冷却水中被活化形成的放射性核素主要为¹⁵O、¹⁶N，它们的半衰期分别是2.1min和7.3s，半衰期较短，在冷却设备内放置一定时间后其活度就可以衰减到较低水平，可按一般废水处置，即排入医院污水处理站进行处理。

(7) 放射性固体废物

加速器内循环水系统中使用的离子交换树脂，可吸附内循环水中的感生放射性核素。另外，靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的靶和废树脂为放射性固体废物。

综合上述分析，医用电子加速器项目评价因子为 X 射线、中子、中子俘获 γ 射线、感生放射性、放射性固体废物。

10.3 机房布置与防护措施

(1) 机房布置与屏蔽

加速器机房位于放疗中心西侧，后装机机房南侧，放疗中心平面布置图见图 9-1。加速器机房墙体和室顶为混凝土（2.35g/cm³）。机房东西长 11.4m（含迷道），南北长 10.15m，高 5.7m，面积 115.71m²，容积 659.5m³，迷道内墙长 7.65m，迷道宽 2.2m，迷道长 10.15m。防护门拟采用 20mm 铅当量铅板+100mm 厚含硼 5%的聚乙烯复合门。机房东侧为水冷机房、电气辅助用房、控制室；南侧为射波刀机房；西侧为走廊；北侧为拟建后装机机房；上方为室外空间；下方为土层，下方无规划建筑。

18MV 加速器机房屏蔽厚度如下表所示：

表 10-2 加速器机房屏蔽厚度

北墙		南墙		西墙	东墙		室顶	
主屏蔽厚度 mm	副屏蔽厚度 mm	主屏蔽厚度 mm	副屏蔽厚度 mm	厚度 mm	迷道内墙 mm	迷道外墙 mm	主屏蔽厚度 mm	副屏蔽厚度 mm
3000	1800	4200	2000	1800	1200	1800	3000	1800

(2) 其他安全防护措施

①加速器机房和控制室之间拟安装监控和对讲设备。

②控制台上设计有紧急停机按钮。加速器机房内拟安装紧急停机按钮，位置和数量待定。

③机房拟安装门机联锁装置，门关上时方可出束，出束期间无法打开防护门，若强制开门则自动停止出束，必须重新设置才可继续出束。加速器安全联锁逻辑关系示意图见图 10-2。

④防护门上设计工作状态指示灯、电离辐射警告标志。

⑤机房内拟安装固定式辐射剂量率监测仪器。

⑥拟为所有辐射工作人员每人配备个人剂量计。

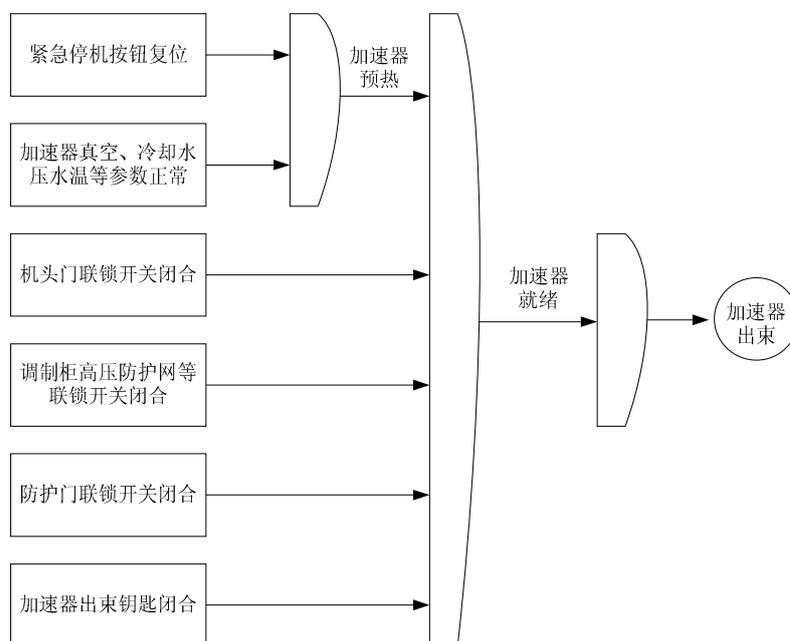


图 10-2 加速器安全联锁逻辑关系示意图

⑦通往加速器机房内的电缆、通风等管道拟避开主射线束照射区域。电缆沟从机房地平以下呈 U 型越过屏蔽墙。通风管道穿墙方式为 Z 型。

加速器项目与医院核医学场所共用 1 台便携式辐射监测仪（已配备），还应配备个人剂量报警仪（建议加速器工作场所配备 2 台）。

（3）通风设计

电子加速器机房内设置通风系统，一个进风口，一个排风口，进风排风相互独立。进风口位于迷道内墙西北侧的机房室顶，排风口位于机房西南侧下部靠近地面位置，符合“上进下出，对角设置”的原则。排气筒高于机房顶部西南角 1m。进风管道和排风管道穿墙方式采用 Z 型。进风风机为净化新风机，位于放疗中心外部北侧；排风风机为离心式风机，位于房顶外西南角。进风和排风风机额定通风量均为 3000~4000m³/h 可调，机房容积 659.5m³，通风次数达到 4.5~6.1 次/h，可以满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“机房通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

10.4 环境影响分析

10.4.1 建设期环境影响分析

建设期环境影响分析同 9.4.1。

10.4.2 运行期环境影响分析

本评价使用《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)中什值层(TVL)计算公式进行辐射屏蔽估算。

(1) 计算公式与相关参数

有效屏蔽厚度

$$X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots \text{(式 10-1)}$$

式中：

- Xe: 有效屏蔽厚度, cm
- X: 屏蔽厚度, cm
- θ : 斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角

屏蔽透射因子

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots \text{(式 10-2)}$$

式中：

- B: 屏蔽物质的屏蔽透射因子
- Xe: 有效屏蔽厚度, cm
- TVL: 辐射在屏蔽物质中的平均什值层厚, cm
- TVL1: 辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, cm

主射线和漏射线剂量率

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots \text{(式 10-3)}$$

式中：

- H: 关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
- H_0 : 距靶 1m 处的有用线束剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;
- R: 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;
- f: 对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 0.1%;

(2) 辐射水平预测

加速器 X 射线最大能量为 18MV, 最大输出剂量率为 600cGy/min ($3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$), 最大照射野为 40cm×40cm, 泄漏辐射率 $\leq 0.1\%$, 中子射线泄漏率 $\leq 0.05\%$ 。18MV X 主射线在混凝土中 $TVL_1=45\text{cm}$, $TVL=43\text{cm}$; 18MV X 射线的漏射辐射在混凝土中 $TVL_1=36\text{cm}$, $TVL=34\text{cm}$; 患者散射辐射(患者散射角均接近 30° , 以 30° 考虑)在混凝土中 $TVL=32\text{cm}$ 。

加速器机房外参考点及辐射路径见图 10-3 (a)、图 10-3 (b)。

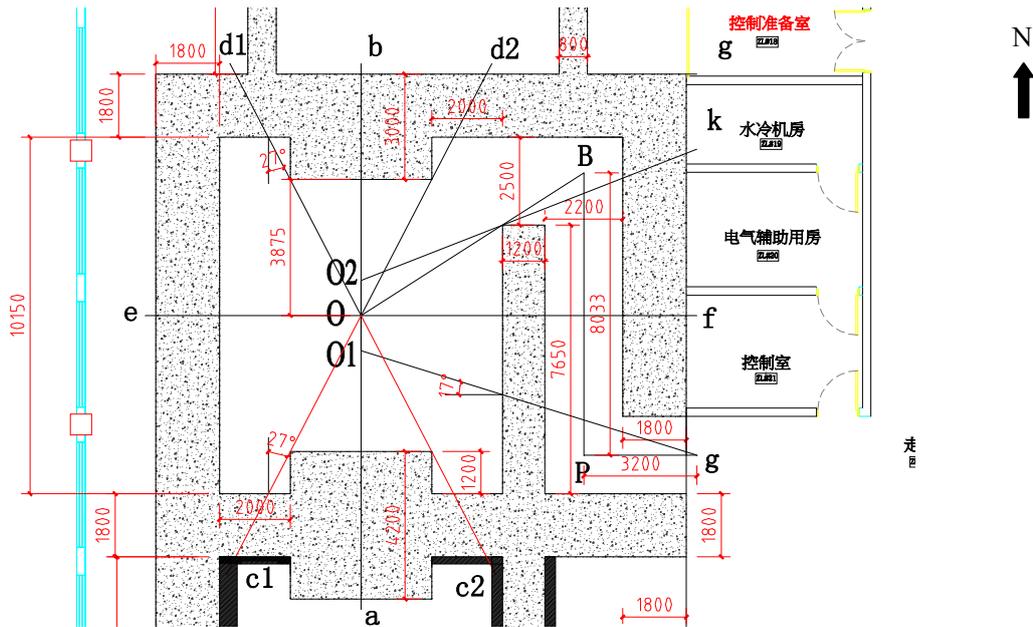


图 10-3 (a) 加速器机房平面布置图及计算点位示意图

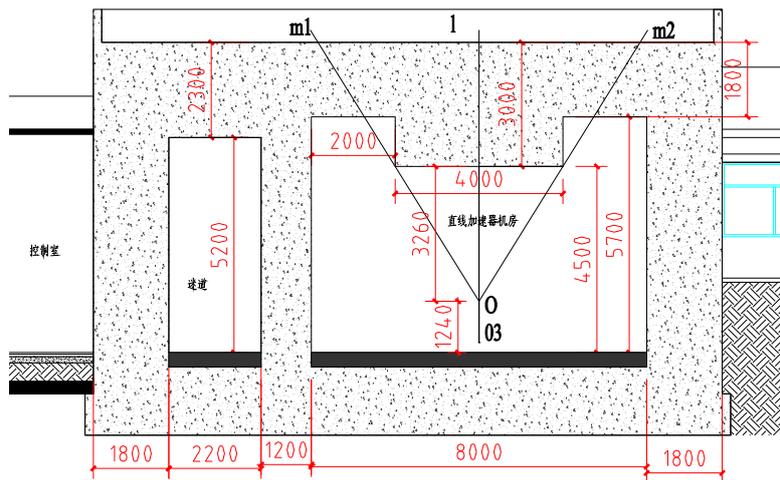


图 10-3 (b) 加速器机房剖面图与计算点位示意图

①主屏蔽区参考点剂量率

根据 (式 10-1) ~ (式 10-3) 估算加速器机房主屏蔽墙外剂量率:

表 10-3 主屏蔽墙外剂量率

其它参数: $\dot{H}_0=3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$, $\text{TVL}_1=45\text{cm}$, $\text{TVL}_2=43\text{cm}$, $f=1$

参考点	屏蔽层	屏蔽厚度 X (cm)	θ	有效屏蔽厚度 Xe (cm)	屏蔽透射因子 B	参考点至靶点的距离 R (m)	参考点剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)
a(O ₂ -a)	南墙主屏蔽	420	0°	420	1.901×10^{-10}	9.38	7.78×10^{-4}
b(O ₁ -b)	北墙主屏蔽	300	0°	300	1.174×10^{-7}	8.18	0.63
l(O ₃ -1)	室顶主屏蔽	300	0°	300	1.174×10^{-7}	7.56	0.74

根据上表计算结果可知, 加速器南、北主屏蔽外参考点剂量率分别为 $7.78 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$

和 0.63 μ Sv/h，低于 2.5 μ Sv/h，符合要求。

根据《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）4.2.2 款要求，治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑中人员驻留处，采用最高剂量率 $\leq 2.5\mu$ Sv/h 加以控制。本项目加速器机房室顶外剂量率为 0.74 μ Sv/h，低于 2.5 μ Sv/h，因此室顶屏蔽厚度符合要求。

②与主屏蔽区相连的次屏蔽区参考点剂量率

该区域应考虑 i)有用线束水平照射时人体的散射辐射，辐射路径 O2-O-c1(c2)、O1-O-d1(d2)、O3-O-m1(m2)；ii)加速器的泄漏辐射，辐射路径为 O-c1(c2、d1、d2、m1、m2)。

i) 患者散射辐射

患者一次散射辐射的剂量估算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 10-4})$$

式中：

H: 关注点剂量率， μ Sv/h；

H₀: 有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， μ Sv/h；

F: 最大照射野面积， cm^2 ，为 $40 \times 40 \text{cm}^2$ ；

R_s: 患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} 患者 400cm^2 面积上垂直之入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；根据《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）附表 B.2 查得按 18MV、 30° 的 α_{ph} 为 2.53×10^{-3} 。

表 10-4 患者散射对与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率贡献值

其它参数： $\dot{H}_0 = 3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ， $\text{TVL} = 32 \text{cm}$ ， $\alpha_{ph} = 2.53 \times 10^{-3}$							
参考点	屏蔽层	屏蔽厚度 X (cm)	θ	有效屏蔽厚度 X _e (cm)	屏蔽透射因子 B	参考点到等中心点的距离 R _s (m)	患者散射剂量率 H (μ Sv/h)
c1(O ₂ -O-c1)	南墙次屏蔽	200	27°	224.47	9.667×10^{-8}	8.30	5.11×10^{-3}
c2(O ₂ -O-c2)		200	27°	224.47	9.667×10^{-8}	8.30	5.11×10^{-3}
d1(O ₁ -O-d1)	北墙次屏蔽	180	27°	202.02	4.863×10^{-7}	8.07	0.027
d2(O ₁ -O-d2)		180	27°	202.02	4.863×10^{-7}	8.07	0.027
m1(O ₃ -O-m1)	室顶次屏蔽	180	32°	212.25	2.329×10^{-7}	7.70	0.014
m2(O ₃ -O-m2)		180	32°	212.25	2.329×10^{-7}	7.70	0.014

ii) 泄漏辐射

根据（式 10-1）~（式 10-3）估算漏射线对与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率贡献

值:

表 10-5 泄漏辐射对与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率贡献值

其它参数: $\dot{H}_0=3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$, $\text{TVL}_1=36\text{cm}$, $\text{TVL}=34\text{cm}$, $f=10^{-3}$

参考点	屏蔽层	X 屏蔽墙厚度 (cm)	θ	有效屏蔽层厚度 $X_e(\text{cm})$	屏蔽透射因子 B	参考点至靶点的距离 R (m)	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
c1(O-c1)	南墙次屏蔽	200	27°	224.47	2.863×10^{-7}	9.30	1.20×10^{-3}
c2(O-c2)		200	27°	224.47	2.863×10^{-7}	9.30	1.20×10^{-3}
d1(O-d1)	北墙次屏蔽	180	27°	202.02	1.309×10^{-6}	9.07	5.73×10^{-3}
d2(O-d2)		180	27°	202.02	1.309×10^{-6}	9.07	5.73×10^{-3}
m1(O-m1)	室顶次屏蔽	180	32°	212.25	6.549×10^{-7}	8.70	3.11×10^{-3}
m2(O-m2)		180	32°	212.25	6.549×10^{-7}	8.70	3.11×10^{-3}

根据表 10-4、表 10-5 计算结果, 与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点辐射水平如下:

表 10-6 与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率

参考点	患者散射辐射剂量率贡献值 $\mu\text{Sv/h}$	泄露辐射剂量率贡献值 $\mu\text{Sv/h}$	辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
c1	5.11×10^{-3}	1.20×10^{-3}	6.31×10^{-3}
c2	5.11×10^{-3}	1.20×10^{-3}	6.31×10^{-3}
d1	0.027	5.73×10^{-3}	0.033
d2	0.027	5.73×10^{-3}	0.033
m1	0.014	3.11×10^{-3}	0.017
m2	0.014	3.11×10^{-3}	0.017

由表 10-6 可知, 与主屏蔽相连的南墙、北墙、室顶次屏蔽区外参考点辐射剂量率分别为 6.31×10^{-3} 、 $0.033 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.017 \mu\text{Sv/h}$, 低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

③侧屏蔽墙外参考点剂量率

根据 (式 10-1) ~ (式 10-3) 估算漏射线对侧屏蔽墙外参考点剂量率贡献值:

表 10-7 侧屏蔽墙外参考点剂量率

其它参数: $\dot{H}_0=3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$, $\text{TVL}_1=36\text{cm}$, $\text{TVL}=34\text{cm}$, $f=10^{-3}$

参考点	屏蔽层	X 屏蔽墙厚度 (cm)	θ	有效屏蔽层厚度 $X_e(\text{cm})$	屏蔽透射因子 B	参考点至靶点的距离 R (m)	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
e(O-e)	西墙	180	0°	180	5.817×10^{-6}	6.10	0.056
k(O ₂ -k)	迷道外墙	180	21°	192.8	2.445×10^{-6}	10.21	8.44×10^{-3}
f(O-f)	迷道内墙+迷道外墙	300	0°	300	1.719×10^{-9}	9.50	6.86×10^{-6}

由上表可知, 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率最大为 $0.056 \mu\text{Sv/h}$, 低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

④防护门外参考点剂量率

根据《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）4.3.2.6 款规定，加速器（>10MV）机房迷路入口需考虑下列辐射：i) 泄漏辐射，辐射路径 O1-g；ii) 中子在迷路内的散射中子在迷路入口 g 处的辐射剂量，辐射路径 O-B-P-g；iii) 中子俘获 γ 射线在迷路入口 g 处的辐射剂量，辐射路径 O-B-P-g。

i) 泄漏辐射在迷路入口 g 的 γ (X) 辐射剂量

根据（式 10-1）~（式 10-3），屏蔽层为迷道内墙 120cm，斜射角 17° ，则有效屏蔽层厚度为 125.48cm，屏蔽透射因子 B 为 2.335×10^{-4} ，靶点至关注点距离为 10m，则迷道入口处泄漏辐射剂量率 \dot{H}_{og} 为 $0.84 \mu\text{Sv/h}$ 。

ii) 中子剂量率

迷路入口中子剂量率：

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot H_0^n \quad (\text{式 10-5})$$

式中：

- H_n : 无防护门时的中子经迷路散射至 g 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- S_0 : 迷路内口的面积， m^2 ；
- S_1 : 迷路截面面积， m^2 ；
- Φ : 等中心处 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子注量，（中子数/ m^2 ）/Gy；
- d_2 : B 点至机房入口 g 的距离，m；
- T_n : 什值距离，m；
- H_0^n : 等中心点处治疗 X 射线剂量率， $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ 。

总中子注量：

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (\text{式 10-6})$$

式中：

- Φ_B : 等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/ m^2 ）/Gy；
 - Q_n : 在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy，查 NCRP NO.151 表 B.9， Q_n 取 1.5×10^{12} ；
 - d_1 : 等中心点 O 至 B 点的距离；
 - S: 治疗机房的总内表面积（ m^2 ），包括四壁墙、顶面和地面，不包括迷路各内面积， m^2 。
- 什值距离：

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad (\text{式 10-7})$$

式中：

Tn: 什值距离, m;
S₁: 迷路截面面积;

迷路截面面积 S₁=11.44m², 根据 (式 10-7) 计算得什值距离 T_n=6.97m; 中子数 Q_n=1.5×10¹² (中子数/Gy), 等中心点 O 至 B 点的距离 d₁=7.49m, 治疗机房总内表面 S=372.82m² (底面和顶面 10.15×8×2-1.2×4×2=152.8, 西墙 5.7×10.15=57.855, 迷道墙 7.65×5.7=43.605, 南墙 2×5.7×2+4×5.7+1.2×5.7×2=59.28, 北墙 2×5.7×2+4×5.7+1.2×5.7×2=59.28), 根据 (式 10-6) 计算得总中子注量 Φ_B=6.392×10⁹ (中子数/m²/Gy); 迷路内口面积 S₀=14.25m², B 点至机房入口 g 的距离 d₂=11.23m, 根据 (式 10-5) 计算得迷路入口中子剂量率 $\dot{H}_n = 150.70\mu\text{Sv/h}$ 。

iii) 中子俘获 γ 射线剂量率:

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-(d_2 / TVD)} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 10-8})$$

式中:

H_γ: 无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率, μSv/h;
Φ_B: 等中心处 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子注量, (中子数/m²)/Gy;
d₂: B 点至机房入口 g₁ 的距离, m;
TVD: 将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离 (什值距离), 对于 18MV~25MV 加速器为 5.4m;
H₀: 等中心点处治疗 X 射线剂量率, 3.6×10⁸μSv/h。

根据 (式 10-8) 计算得中子俘获 γ 剂量率为 13.22μSv/h。

防护门外的辐射剂量率:

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma / TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n / TVL_n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \quad (\text{式 10-9})$$

式中:

X_γ: 屏蔽中子俘获 γ 射线的铅的厚度, cm;
X_n: 屏蔽中子的含硼聚乙烯的厚度, cm;
TVL_γ: 中子俘获 γ 射线在铅中的什值层, cm;
TVL_n: 中子在含硼聚乙烯中的什值层, cm;
B_{og}: 防护门对 \dot{H}_{og} 的屏蔽透射因子, 在 \dot{H}_{og} 相对 g 处的总剂量率较小时, 可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项;

根据上述计算, 中子俘获 γ 剂量率 \dot{H}_γ 为 13.22μSv/h, 中子剂量率 \dot{H}_n 为 150.70μSv/h, 泄漏辐射剂量率 \dot{H}_{og} 为 0.84μSv/h。

本项目防护门为 100mm 厚含硼 5%聚乙烯+20mm 铅当量铅板, 100mm 含硼 5%聚乙烯

相当于 0.9cm 铅, 则 $X_{\gamma}=2.9\text{cm}$, $X_n=10\text{cm}$ 。根据《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) 附录 C, 保守取含硼 5%聚乙烯对中子的十分之一值 $\text{TVL}_n=4.5\text{cm}$, 铅对中子俘获 γ 射线的十分之一值 $\text{TVL}_{\gamma}=3.1\text{cm}$ 。根据(式 10-9) 计算, 防护门外剂量率为 $2.44\mu\text{Sv/h}$ 。

建议将防护门加厚为 150mm 厚含硼 5%聚乙烯+20mm 铅当量铅板, 150mm 含硼 5%聚乙烯相当于 1.34cm 铅, 则 $X_{\gamma}=3.34\text{cm}$, $X_n=15\text{cm}$ 。根据 (式 10-9) 计算, 防护门外剂量率为 $1.18\mu\text{Sv/h}$, 低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

④主屏蔽宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》, 主屏蔽墙 (或顶) 的投影区, 可按下式计算:

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

式中:

Y_p : 机房有用束主屏蔽区的宽度, m;

SAD: 源轴距, 1m;

θ 治疗束的最大张角 (相对束中的轴线), 14° ;

a: 等中心至墙的距离, m。南、北、室顶主屏蔽为内凸, 则 a 为等中心点到内墙的距离+内凸厚度。

根据 (式 10-10), 南主屏蔽、北主屏蔽和室顶主屏蔽区核算结果如下:

表 10-8 主屏蔽区宽度核算

	a (m) +SAD	所需宽度 Y_p (m)	实际宽度 (m)	是否符合要求
南墙主屏蔽(内凸)	3.875+1.2+1.0	3.63	4	是
北墙主屏蔽(内凸)	3.875+1.2+1.0	3.63	4	是
室顶主屏蔽(内凸)	3.26+1.2+1.0	3.32	4	是

根据上述计算, 南墙、西墙、室顶主屏蔽宽度满足理论计算要求。

综上所述, 加速器机房墙体厚度均符合剂量率控制要求, 主屏蔽宽度符合标准要求。

(3) 加速器机房防护措施评价

表 10-9 加速器机房防护措施与标准要求对照表

序号	《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 的相关要求	本单位落实情况
(1)	治疗室选址, 场所布局和防护设计应符合 GB18871-2002 的要求, 保障职业场所和周围环境安全。	本项目机房设在半地下建筑内, 少有人经过, 选址合理, 墙体、室顶、防护门采取实体屏蔽。
(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/T201.1 的要求。	根据屏蔽估算, 主、副屏蔽厚度设计符合辐射防护要求。

(3)	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	机房电缆线管道在穿越墙体时按“U”型设置，避开了有用射束照射区域；机房进、排风管道在穿越墙体时采用“Z”型穿墙设计，避开了有用射束照射区域。
(4)	X射线标称能量超过10MV的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。	本项目加速器X射线标称能量为18MV，大于10MV，防护门的设计考虑了中子辐射防护。加速器防护门为铅+含硼聚乙烯。
(5)	治疗室和控制室之间必须安装监视和对讲设备。	加速器机房（即治疗室）与控制室之间设计安装监视和对讲系统。
(6)	治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于45m ² 。	加速器机房面积为115.71m ² ，大于45m ² 。
(7)	治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器连锁。	加速器机房设计设置防护门，设计有迷路及门机连锁装置。
(8)	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。	加速器机房防护门上设计设置电离辐射警告标志，上方设计工作状态指示灯。
(9)	治疗室通风换气次数应不小于4次/h。	加速器机房设计通风系统，换气次数为4.5~6.1次/h，大于4次/h。

根据表 10-9，加速器机房防护措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的相关要求。

(4) 人员年有效剂量

$$H = \dot{H} \times t \times U \times T \quad (\text{式 10-11})$$

式中：

- H: 年有效剂量当量，μSv/年；
 \dot{H} : 参考点处剂量率，μSv/h；
U: 使用因子；
T: 居留因子；
t: 年照射时间，h/年。

根据建设单位提供资料，加速器平均每天接诊人数最多 30 人，每人照射 10 分钟，年平均工作 260 天，则年照射时间约 1300h。每次摆位时间 5 分钟，每天摆位次数 30 次，则年摆位时间约为 650h。根据（式 10-11）估算人员年有效剂量。

① 机房外有关人员年有效剂量估算

机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表：

表 10-10 加速器所致有关人员年有效剂量

场所描述	人员	屏蔽体外剂量率 (μSv/h)	停留因子 T	使用因子 U	受照时间 (h/a)	最大年有效剂量 (mSv)
北次屏蔽墙外 (后装机房)	公众人员	0.027	1/16	1	81.25	2.19×10^{-3}
北主屏蔽墙外 (后装机房)	公众人员	0.63	1/16	1/4	20.3125	0.013
迷道外墙外 (控制室)	职业人员	6.86×10^{-6}	1	1	1300	8.92×10^{-6}

迷道外墙外 (水冷机房)	职业人员	8.44×10^{-3}	1/16	1	81.25	6.86×10^{-4}
防护门外	公众人员	1.18	1/8	1	162.5	0.19
南次屏蔽墙外 (射波刀机房)	公众人员	6.31×10^{-3}	1/16	1	81.25	5.13×10^{-4}
南主屏蔽墙外 (射波刀机房)	公众人员	7.78×10^{-4}	1/16	1/4	20.3125	1.58×10^{-5}
西墙外(过道)	公众人员	0.056	1/4	1	325	0.018
室顶主屏蔽上方	公众人员	0.74	1/20	1/4	16.25	0.012
室顶次屏蔽上方	公众人员	0.017	1/20	1	65	1.11×10^{-3}

加速器所致机房外公众人员年有效剂量最大为 0.19mSv (防护门外), 低于本评价提出的公众人员年剂量管理约束值不超过 0.3mSv/a 的管理要求。

②摆位人员年有效剂量

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011), 电子能量大于 10MeV 的加速器, 在照射终止后的 10s 后开始测量, 在不超过 3min 的时间内, 测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 和 1m 处的分别不得超过 200 μ Gy/h 和 20 μ Gy/h。

感生放射性通过类比进行估算, 类比对象为聊城市第二人民医院的瑞典医科达 Precise 型 18MV 加速器, 本项目加速器同为 18MV 加速器。

监测设备: 微电脑 X- γ 剂量率仪(型号: BH3103B, 编号: 022), 检测时开启最大 18MV 状态进行照射后, 监测时间: 2016 年 8 月, 监测单位: 山东鲁环监测科技有限公司。监测结果如下:

表 10-11 感生放射性检测结果

点位描述	照射终止 10s 后 3min 内	照射终止 10s 后 5min 内
防护门入口处	11.6×10^{-8} Gy/h	10.8×10^{-8} Gy/h
迷道入口内	37.5×10^{-8} Gy/h	31.1×10^{-8} Gy/h
加速器治疗头表面 5cm	2.39 μ Gy/h	2.06 μ Gy/h
加速器治疗头表面 1m	1.85 μ Gy/h	1.14 μ Gy/h

采用 1m 处较大的剂量率值 1.85 μ Gy/h 估算摆位人员的辐射年有效剂量。根据医院提供的摆位人员年工作负荷约为 650h, 则摆位人员所接受的感生放射性外照射年剂量值约为 0.84mSv/a ($0.7 \times 1.85 \times 650/1000$)。

根据表 10-10, 机房外职业工作人员年有效剂量最大为 6.86×10^{-4} mSv/a, 则加速器所致机房外工作人员年有效剂量最大为 $6.86 \times 10^{-4} + 0.84 = 0.84$ mSv/a, 低于本评价提出的工作人员年剂量管理约束值不超过 6.0mSv/a 的管理要求。

当加速器发出的射线能量达到或超过空气中某些核素的 (γ, n) 的反应阈能时, 将产生

感生放射性气体，如 ^{13}N （半衰期10min）、 ^{15}O （半衰期124s）和 ^{11}C （半衰期20.33min）等。这些感生放射性气体被吸入人体后会对摆位人员造成辐射影响。由于这些气体的半衰期较短，且通过机房足够的通风，工作人员适当延缓进入机房，尽量缩短摆位时间，注意与病人、机头等易于产生感生放射性的部位保持适当距离，同时定期对机房内的辐射剂量进行监测。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成明显的危害。

（5）非放射性气体对环境的影响

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(NO ， NO_2)。通过通风系统，可明显降低其浓度。

建设单位按照进风口和排风口“对角设置、上进下出”的原则，进风口位于迷道内墙西北侧的机房室顶，排风口位于机房西南侧下部靠近地面位置，通风量为 $3000\sim 4000\text{m}^3/\text{h}$ 可调，机房容积为 659.5m^3 ，换气次数可达 $4.5\sim 6.1$ 次/h，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

（6）放射性废物

放射性气体产额很低，半衰期较短，机房通风效果良好，通过合理的通风系统可使其影响降低。

冷却水中被活化形成的放射性核素主要为 ^{15}O 、 ^{16}N ，它们的半衰期分别是2.1min和7.3s，半衰期较短，在冷却设备内放置一定时间后其活度就可以衰减到较低水平，可按一般废水处理，即排入医院污水处理站处理。

靶和离子交换树脂由厂家负责更换，退役的靶和废树脂为放射性固体废物，按照《城市放射性废物管理办法》规定，医院拟将更换下来的废树脂和废靶件等放射性固体废物由有资质的单位直接送到山东省城市放射性废物库集中收贮、管理，退役靶和废树脂送贮前不在医院内贮存。因此，放射性废物得到了妥善处理，不会对环境造成不利影响。

综上所述，本项目加速器机房屏蔽厚度符合标准要求，主屏蔽宽度符合要求。放射性废物处置合理，通风设计满足要求，在落实设计和本环评提出的要求后，不会对周围环境造成不利影响。

表 11 射波刀项目环境影响评价

11.1 项目概况

建设单位：阳光融和医院。

建设地址：山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号。

机房位置：放疗中心。

机房位于放疗中心 18MV 加速器机房南侧，属半地下建筑，机房东侧为控制室、电气辅助用房、水冷机房，南侧为走廊，西侧为走廊，北侧为 18MV 加速器机房，上方为室外空间，下方为土层，下方无规划建筑。放疗场所分布集中，人员少有经过，选址合理。放疗中心平面布置图见图 1-4。

射波刀工作场所主要由射波刀机房、控制室、水冷机房、电气辅助用房等组成。射波刀属 II 类射线装置。

人员编制：拟设置 11 名辐射工作人员，其中医生 4 人，技师 5 人，物理师 2 人。

工作负荷：射波刀年工作天数 300 天，每天治疗 10 人，每人照射时间 60min，年接诊人数 3000 人，年照射时间 3000h。

11.2 工程分析

11.2.1 工作原理

射波刀系统配有独特的操纵器使用功能，能够对一台小型直线加速器进行定位，精确治疗身体任意位置上的损伤。射波刀系统采用立体 X 光成像器，在整个治疗过程中监控靶区的位置和方向，是一种用于全身各部位肿瘤立体定向放射手术治疗的专用设备，它在智能影像引导下，利用机器人手臂将多束高能射线精确、无创的消灭肿瘤。多条射线束聚焦在病变区造成很高剂量照射，而对邻近正常组织得以保护不受明显损害，通过 1~5 次的治疗，达到摧毁身体任何部位肿瘤的效果。

11.2.2 设备组成

本项目射波刀主要由机器人照射系统（包括机械臂和 6MV 医用电子直线加速器）、定位系统（2 台 X 射线源）、红外线同步追踪摄影机及治疗床组成。射波刀结构如下图所示：

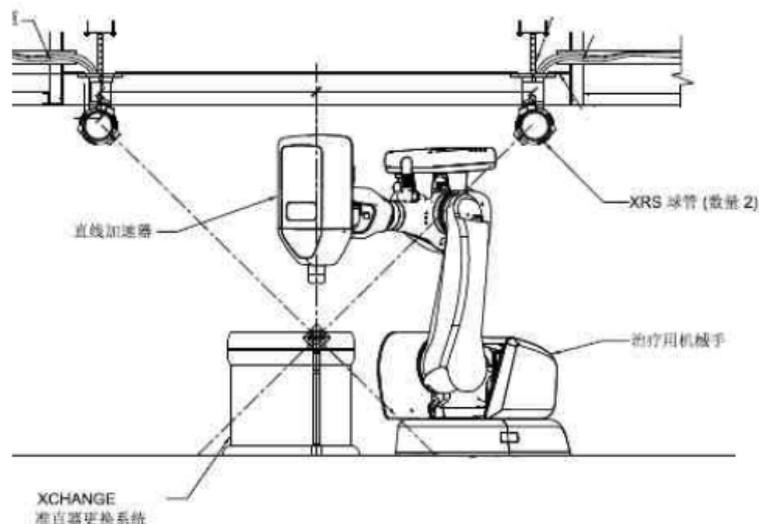


图 11-1 射波刀结构图

11.2.3 治疗流程

登记候诊—影像扫描定位—制定放疗计划—摆位—非患者撤离—关闭防护门—放疗照射—结束离开。

11.2.4 射波刀设备参数

表 11-1 该项目射波刀主要技术指标

型号		Cyberknife M6 FI System
加速粒子		电子
射线种类及能量		治疗束: X 射线, 6MV; 定位束: X 射线, 150kV, 640mA
生产厂家		Accuracy Incorporated
等中心高度		921mm
视野尺寸	固定准直器	有 12 种规格的准直器可以在 800mmSAD 下生成 5-60mm 环形视野
	Iris™ 准直	可以接近的复制 12 个固定准直器视野尺寸
	最大照射野	直径 6cm 环形
治疗束运动类型		机械手在节点之间连续地移动加速器, 仅在治疗计划选中的节点处发出射线
最大输出剂量率		10Gy/min
加速器机头泄漏辐射率		≤0.1%

11.2.5 污染因素分析

(1) X射线

射波刀在开机时, 高能电子束与靶物质相互作用会产生韧致辐射 (X射线), 可能对周围环境造成辐射影响, X射线随加速器的开、关而产生和消失。定位束X射线也可能对周围环境产生影响。因此, 在射波刀开机时间内, X射线为主要辐射环境污染因素。

(2) 非放射性有害气体

射波刀在开机运行时,产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧(O₃)和氮氧化物(NO, NO₂)。射波刀机房内设置通风系统,通风量 3000~4000m³/h 可调,每小时换气约为 5.0~6.7 次,达到《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“机房通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。因此,通过通风系统,可明显降低非放射性有害气体的浓度,减轻其对工作场所的环境影响。

(3) 放射性固体废物

射波刀加速器系统循环水系统中使用的离子交换树脂,可吸附内循环水中的感生放射性核素。另外,靶物质经长期照射后,也可积累一定数量的感生放射性核素,因此,退役的靶和废树脂为放射性固体废物。

综合上述分析,射波刀评价因子为 X 射线、放射性固体废物。

11.3 机房布置与防护措施

(1) 机房布置与防护

射波刀机房位于放疗中心 18MV 加速器机房南侧(图 9-1),机房墙体和室顶均为混凝土(2.35g/cm³),防护门为铅钢复合门。机房东西宽 10.9m(含迷道),南北长 9.75m,高 5.6m,面积 106.3m²。迷道内墙长 7.65m,迷道南段宽 2.2m,北段宽 1.9m,迷道长 10.15m。防护门设计为 40mm 铅当量防护门。机房北侧为 18MV 加速器机房,东侧为控制室、电气辅助用房、水冷机房;南侧为走廊;西侧为走廊;上方为室外空间,下方为土层,下方无规划地下建筑。射波刀机房平面布置图见图 11-2(a)。

射波刀机房屏蔽厚度如下表所示:

表 11-2 射波刀机房设计情况与改进情况

	混凝土厚度
北墙	较薄处 1800mm,拟在内侧增厚 200mm,总厚度 2000mm;较厚处 4200mm;
南墙	较薄处 1800mm,拟在内侧增厚 200mm,总厚度 2000mm;较厚处 3000mm;
西墙	1800mm,拟在内侧增厚 500mm,总厚度 2300mm;
迷道内墙	原厚度 1200mm,拟在北段两侧各增厚 300mm,则北段总厚度 1800mm;南段厚 1200mm;
迷道外墙	1800mm
室顶	较薄处 1800mm,拟在内侧增厚 100mm,总厚度 1900mm;较厚处 3000mm。

由于射波刀机房初始设计为 18MV 加速器机房,故其设计类似加速器机房,存在主次屏蔽墙的情况。

(2) 其他安全防护措施

① 机房与控制室之间拟安装监视器和对讲设备。

②控制台上设计有紧急停机按钮。机房内拟安装紧急停机按钮，位置和数量待定。

③机房拟安装门机联锁装置，门关上时方可出束，出束期间无法打开防护门，若强制开门则自动停止出束，必须重新设置才可继续出束。

④防护门上设计工作状态指示灯、电离辐射警告标志。

⑤机房内拟安装固定式辐射剂量率监测仪器。

⑥拟为所有辐射工作人员配备个人剂量计。

⑦通往机房内的电缆、通风等管道拟尽量避开主射线束照射区域。电缆沟从机房地平以下呈 U 型越过屏蔽墙。通风管道穿墙方式为 Z 型。

射波刀项目与该医院核医学场所共用 1 台便携式辐射监测仪（已配备），还应配备个人剂量报警仪（建议射波刀工作场所配备 2 台）。

（3）通风设计

射波刀机房内设置通风系统，一个进风口，一个排风口，进风排风相互独立。进风口位于迷道内墙西南侧的机房室顶，排风口位于机房西北侧下部靠近地面位置，符合“上进下出，对角设置”的原则。排气筒高于机房顶部西北角 1m。进风管道和排风管道穿墙方式采用 Z 型。进风风机为净化新风机，位于放疗中心外部北侧；排风风机为离心式风机，位于房顶外西北角。进风和排风风机通风量均为 3000~4000m³/h 可调，机房容积 595.3m³，通风次数达到 5.0~6.7 次/h，可以满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“机房通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

11.4 环境影响分析

11.4.1 建设期环境影响分析

建设期环境影响分析同 9.4.1。

11.4.2 运行期环境影响分析

射波刀系统辐射源是一款安装在机器人机械手上的直线加速器，系统可通过一系列节点构成的路径发出 6MV X 射线，在治疗时对患者病灶靶点上的照射为直接照射，其余辐射均为漏射和散射。治疗状态下射线束可直接照射四周墙壁、室顶和地板（地板下方为土层，地板下方无规划建筑），因此四侧墙体及室顶屏蔽效果按照主射线进行计算。

射波刀定位 X 射线能量最大为 150kV，远低于治疗用 6MV X 射线能量，在射波刀机房满足 6MV X 射线屏蔽条件下，机房也满足对定位 X 射线的防护。

（1）屏蔽墙及室顶参考点剂量率

采用《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)中推荐的公式, 见“表 10 18MV 电子直线加速器项目环境影响评价”中式 10-1、式 10-2 及式 10-3。

根据厂家提供的资料, 射波刀 X 射线能量最大为 6MV, 距靶 80cm 处最大输出剂量率为 10Gy/min($6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$), 则 1m 处剂量率为 $6 \times 10^8 \times 0.8^2 = 3.84 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。泄露辐射率 $\leq 0.1\%$ 。6MV X 主射线混凝土中 $\text{TVL}_1 = 37\text{cm}$, $\text{TVL} = 33\text{cm}$ 。

射波刀机房外参考点及辐射路径见图 11-2 (a)、图 11-2 (b)。

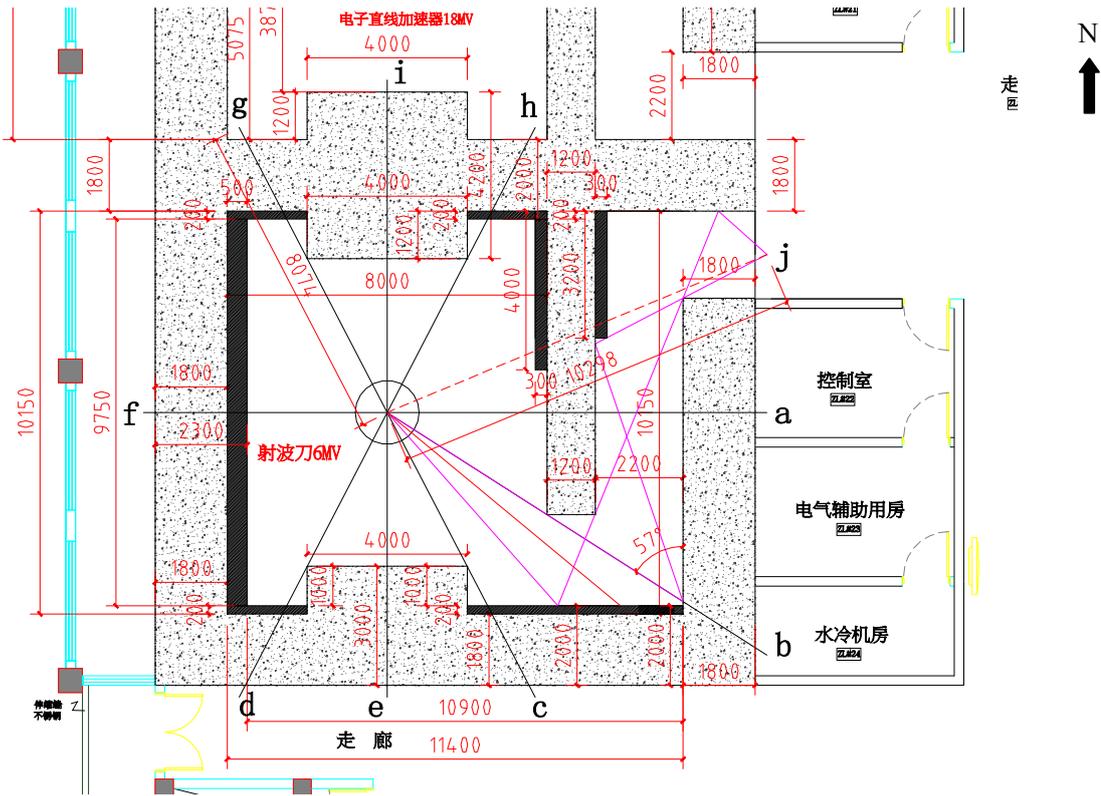


图 11-2 (a) 射波刀机房平面布置图与计算点位示意图

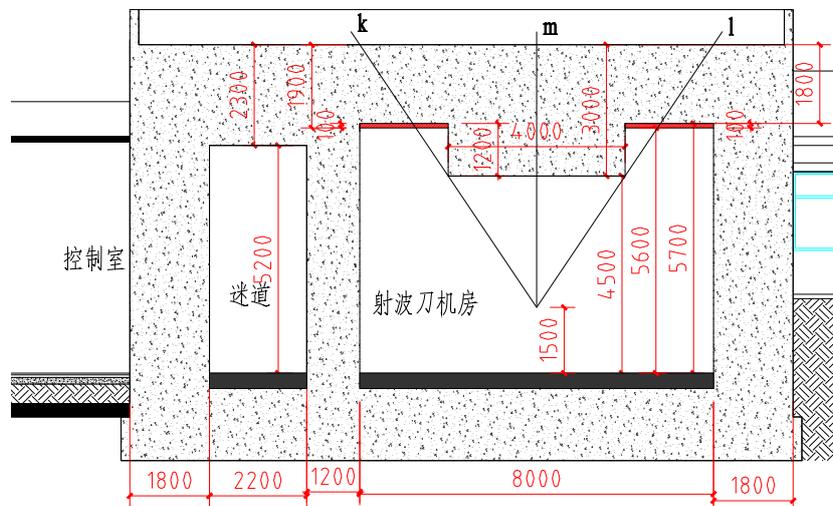


图 11-2 (b) 射波刀机房剖面图与计算点位示意图

表 11-3 屏蔽墙外参考点剂量率

其它参数: $\dot{H}_0=3.84 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$, $\text{TVL}_1=37\text{cm}$, $\text{TVL}=33\text{cm}$, $f=1$							
参考点	屏蔽层	屏蔽墙厚度 X (cm)	θ	有效屏蔽层厚度 X_e (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点的距离 R (m)	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
a (O-a)	迷道内墙+迷道外墙	120+180	0°	300	1.072×10^{-9}	9.5	4.56×10^{-3}
b (O-b)	迷道外墙	180	33°	214.63	4.143×10^{-7}	11.3	1.25
c/d (O-c/d)	南墙较薄处	200	27°	224.47	2.085×10^{-7}	8.1	1.22
e (O-e)	南墙较厚处	300	0°	300	1.072×10^{-9}	7.2	7.94×10^{-3}
f (O-f)	西墙	230	0°	230	1.417×10^{-7}	6.1	1.46
g/h (O-g/h)	北墙较薄处	200	27°	224.47	2.085×10^{-7}	8.1	1.22
i (O-i)	北墙较厚处	420	0°	420	2.477×10^{-13}	8.4	1.35×10^{-6}
k/l (O-k/l)	室顶较薄处	190	36°	234.85	1.011×10^{-7}	7.6	0.67
m (O-m)	室顶较厚处	300	0°	300	1.072×10^{-9}	6.3	0.01

根据上表计算结果可知，射波刀机房四周墙体和室顶上方剂量率为 (1.35×10^{-6}) ~ $1.46 \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

(2) 射波刀机房防护门屏蔽效果核算

对于射波刀机房，迷道外口处辐射剂量主要考虑两种情况：一种是主射束朝向迷道内口照射的情况，主射线在迷道内经至少 2 次散射至迷道外口。另一种是考虑主射线朝迷道外口照射的情况，射线穿过迷路内墙和防护门至迷道外口。

①主射线朝迷道内口照射时

$$H_g = \frac{H_0 \times \alpha_1 \times A_1 \times \alpha_2 \times A_2}{(d_0 d_1 d_2)^2} \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

- H_g : 主射线在墙体散射后经迷道所致迷道外口处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
- H_0 : 距靶 1m 处的有用线束的辐射剂量率, $3.84 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$;
- α_1 : 一次散射的散射因子, 散射因子取 7.3×10^{-3} ;
- A_1 : 一次散射时墙体散射面积, 为 12.02m^2 ;
- α_2 : 二次散射的散射因子, 散射因子取 12.0×10^{-3} ;
- A_2 : 二次散射时墙体散射面积, 为 26.27m^2 ;
- d_0 : 靶中心到迷道一次散射点的距离, 为 8.8m ;
- d_1 : 迷道一次散射点至二次散射点的距离, 为 6.86m ;
- d_2 : 迷道二次散射点至迷道门的距离, 为 4.83m 。

根据式 11-1, 计算可得：迷道外口处剂量率为 $124.94 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据 GBZ/T201.2-2011, 铅对散射辐射的 TVL 值为 5mm , 防护门为 40mmPb , 则防护

门外剂量率为 $124.94/10^{(40/5)}=1.25 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

②主射线朝迷道外口方向照射时

根据（式 10-1）~（式 10-3）计算得到主射线穿过迷路内墙直接照射到防护门处辐射剂量为 $5.68 \mu\text{Sv/h}$ ($3.84 \times 10^8 \times 1 \times 10^{-(180 \cdot \text{sec}^{23-4})/33} / 10.298^2$)。

根据《辐射源室屏蔽设计与评价》（王时进编，北京市放射卫生防护所，2002 年），铅对 6MV X 主射线的 TVL 值为 55.3mm，经防护门屏蔽后的 c 点的辐射剂量率计算采用下式

$$H = H_g \times 10^{-(X/\text{TVL})} \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

- H 防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- X 铅厚度，mm；
- TVL 什值层厚度。

经 40mmPb 当量防护门屏蔽后 X 辐射剂量率为 $H = 1.07 \mu\text{Gy/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

综上所述，射波刀机房外 30cm 处剂量率最大为 $1.46 \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。

(3) 射波刀机房防护措评价

表 11-4 射波刀机房防护措施

序号	《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的相关要求	本单位落实情况
(1)	治疗室选址，场所布局和防护设计应符合 GB18871-2002 的要求，保障职业场所和周围环境安全。	本项目射波刀机房选址位于放疗中心，属半地下建筑。控制室、电气辅助用房、水冷机房位于机房的东侧，选址、布局合理。墙体、室顶、防护门采取实体屏蔽，防护设计满足要求。
(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/T201.1 的要求。	根据屏蔽估算，屏蔽建设符合辐射防护要求。
(3)	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	机房电缆线管道在穿越墙体时采用 U 型穿墙；机房进、排风管道设计采用 Z 型穿墙，做到不影响墙体屏蔽效果。
(4)	X 射线标称能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。	本项目射波刀 X 射线标称能量为 6MV，无需考虑中子辐射防护。
(5)	治疗室和控制室之间必须安装监视和对讲设备。	机房和控制室之间拟安装监视和对讲系统。
(6)	治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m^2 。	机房面积约为 106.3m^2 ，大于 45m^2 。
(7)	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。	机房设计有防护门、迷路及门机联锁装置。

(8)	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。	机房防护门上拟设置电离辐射警告标志，上方设工作状态指示灯。
(9)	治疗室通风换气次数应不小于4次/h。	机房通风换气次数5.0~6.7次/h，大于4次/h，符合要求。

根据表 11-4，射波刀机房设计与防护措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的有关要求。

(4) 人员年有效剂量

根据建设单位提供资料，射波刀年照射时间最大为3000h，根据（式 10-11）估算人员年有效剂量。

① 机房外有关人员年有效剂量

机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大年有效剂量见下表：

表 11-5 射波刀所致机房外有关人员年有效剂量

场所描述	人员	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	停留因子 T	使用因子 U	受照时间 (h/a)	最大年有效剂量 (mSv)
迷道外墙外（控制室）	职业人员	4.56×10^{-3}	1	1/6	500	2.28×10^{-3}
迷道外墙外（水冷机房）	职业人员	1.25	1/16	1/6	31.25	0.039
南墙较薄处屏蔽墙外（走廊）	公众人员	1.22	1/4	1/6	125	0.15
南墙较厚处屏蔽墙外（走廊）	公众人员	7.94×10^{-3}	1/4	1/6	125	9.93×10^{-4}
西墙外（走廊）	公众人员	1.46	1/4	1/6	125	0.18
北墙较薄处屏蔽墙外（加速器机房）	公众人员	1.22	1/16	1/6	31.25	0.038
北墙较厚处屏蔽墙外（加速器机房）	公众人员	1.35×10^{-6}	1/16	1/6	31.25	4.22×10^{-8}
防护门外	公众人员	0.01	1/8	1/6	62.5	6.25×10^{-4}
室顶较薄处屏蔽体上方	公众人员	0.67	1/20	1/6	25	0.017
室顶较厚处屏蔽体上方	公众人员	0.01	1/20	1/6	25	2.5×10^{-4}

根据上表，射波刀所致公众人员年有效剂量最大为0.18mSv/a，低于本评价提出的公众成员年剂量管理约束值不超过0.3mSv/a的管理要求。射波刀所致工作人员年有效剂量最大为0.039mSv/a，低于本评价提出的工作人员年剂量管理约束值不超过6.0mSv/a的管理要求。

(5) 非放射性气体对环境的影响

射波刀在开机运行时，产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧(O₃)和氮氧化物(NO, NO₂)。通过通风系统，可明显降低其浓度。

射波刀机房按照进风口和排风口“对角设置、上进下出”的原则，进风口位于迷道内墙西南侧的机房室顶，排风口位于机房西北侧下部靠近地面位置，通风量均为

3000~4000m³/h 可调，机房容积为 595.3m³，换气次数可达 5.0~6.7 次/h。满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

（6）放射性废物

靶和离子交换树脂由厂家负责更换，退役的靶和废树脂为放射性固体废物，按照《城市放射性废物管理办法》规定，医院拟将更换下来的废树脂和废靶件等放射性固体废物由有资质的单位直接送到山东省城市放射性废物库集中收贮、管理，退役靶和废树脂送贮前不在医院内贮存。因此，放射性废物得到了妥善处理，不会对环境造成不利影响。

综上所述，本项目射波刀机房屏蔽厚度符合标准要求。放射性废物处置合理，通风设计满足要求，在落实设计和本环评提出的要求后，不会对周围环境造成不利影响。

表 12 CT 模拟定位机项目环境影响评价

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 33 号，2015 年），使用 III 类射线装置的项目应填报登记表，因此本报告表根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），对 III 类射线装置的评价适当从简。

12.1 项目概况

建设单位：阳光融和医院。

建设地址：山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号。

机房位置：放疗中心。

放疗中心拟安装 1 台 CT 模拟定位机，用于配套后装机和 18MV 加速器作为定位装置。CT 模拟定位机房属半地下建筑，机房东侧为走廊，南侧为控制室，西侧为走廊，北侧为走廊，上方为室外空间，下方为土层，下方无规划建筑。放疗场所分布集中，人员少有经过，选址合理。放疗中心平面布置图和 CT 机房平面布置图见图 1-4。

CT 模拟定位机工作场所主要由机房和控制室组成。CT 模拟定位机属 III 类射线装置。

人员编制：拟设置 3 名辐射工作人员，其中医生 1 人，技师 1 人，护士 1 人。

12.2 工程分析

12.2.1 工作原理

CT 模拟定位机主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，详见图 12-1。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。医用 X 射线诊断设备是利用人体不同的组织密度不同，对 X 射线吸收能力不同的特点，透射人体的 X 线使感光胶片显影，来间接观察内脏、器官等情况。

12.2.2 诊疗流程

依据 X 线检查单，核对摄影部位，确定投照条件，患者摆位，肺患者撤离，关闭防护门，曝光，结束离开。

12.2.3 设备参数

CT 模拟定位机主要参数见下表：

表 12-1 模拟定位机设备参数

设备名称	生产厂家	设备型号	主要参数
CT 模拟定位机	SOMATOM	Definition AS Open	140kV、660mA

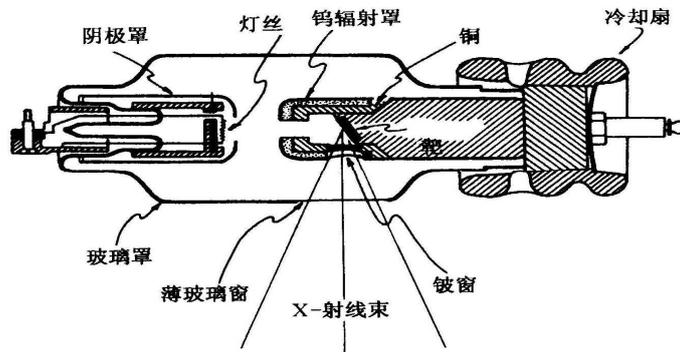


图 12-1 典型 X 射线管结构图

12.2.4 污染因素

(1) X 射线

正常工况下主要是 X 射线，X 射线随着开机曝光而产生，随着关机而消失。

(2) 非放射性有害气体影响

X 射线与空气作用可产生少量臭氧 (O₃) 和氮氧化物 (NO, NO₂)。机房均设置空调换气通风装置，通过通风系统，可明显降低其浓度。

综合上述分析，评价因子为 X 射线。

12.3 机房布置与防护措施

(1) 机房布置与防护

机房防护及布置见下表：

表 12-2 CT 模拟定位机房布置与防护

分项	模拟定位机房	GBZ130-2013、 GBZ/T180-2006、 GBZ165-2012	是否符合 标准要求
尺寸 m	6.16×5.76×5.65 (长×宽×高)	最小边长 3.5m ² ，面积 20m ²	是
面积 m ²	35.48		
四周墙体	240mm 轻质砖(0.5g/cm ³ 混凝土，相当于 51mm 2.35g/cm ³ 混凝土)，应增加防护材料，使墙体屏蔽能力不低于 2.5mmPb。	2mmPb (一般工作量)， 2.5mmPb (较大工作量)； 较大工作量时的机房屏蔽： 20cm 混凝土或 37cm 砖或 2.5mm 铅当量；	按环评建议落实后，满足标准要求。
室顶	120mm 混凝土 (2.35g/cm ³)，应增加防护材料，使墙体屏蔽能力不低于 2.5mmPb。		
底板	地板下方为土层		
观察窗	3mmPb		
大防护门	3mmPb		
小防护门	3mmPb		

通风	空调换气和自然通风	要有动力排风装置	是
防护用品	拟为受检者配备铅衣 1 件、铅颈套 1 个，铅帽 1 个、均为 0.5mmPb	应为受检者配备铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	是
其他	控制台设紧急停机按钮；防护门外设计电离辐射警告标志、工作指示灯；在机房与控制室之间设置双向对讲装置、监视系统；防护门均设置有闭门装置，门均与灯联动。	机房门外要有电离辐射标志，并安设醒目的工作指示灯。机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。	是

12.4 环境影响分析

12.4.1 机房屏蔽能力与防护用品

根据表 12-2，CT 模拟定位机房大小、布置符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）、《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）等相关要求。

四周墙体和室顶应增加防护材料，使得屏蔽能力不低于 2.5mmPb。

拟为受检者配备铅衣 1 件、铅颈套 1 个、铅帽 1 个、均为 0.5mmPb，符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）要求。

12.4.2 人员年有效剂量

拟为工作人员配备个人剂量计，每三个月检测一次，不应超过 6.0mSv 的年剂量管理约束值，如发现超标现象，应查明原因，改善防护条件。

12.4.3 非放射性气体环境的影响分析

射线装置开机产生 X 射线，空气在 X 射线的强照射下吸收能量并通过电离作用产生少量 O₃、NO_x 等有害气体，机房均配有动力排风装置，通过自然通风和空调换气进行通风，符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）要求，可以最大限度降低有害气体的浓度。

表 13 事故影响分析

13.1 可能的辐射风险事故

13.1.1 后装机项目可能的辐射事故

(1) 工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源从设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。发生卡源，造成额外照射。

(2) 治疗机处于运行状态时，因故障，门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房，受到不必要的辐射照射。

(3) 放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

(4) 摆位工作人员或其他人员尚未撤离机房，控制台处操作人员误操作，后装机出源，对工作人员造成照射。

13.1.2 18MV 加速器、射波刀、CT 模拟定位机项目可能的辐射事故

(1) 安全联锁装置等发生故障情况下，人员误入正在运行的机房而造成 X 射线误照射。

(2) 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，射线装置运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。

(3) 射线装置控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到计划外照射。

(4) 维修期间的事故，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

13.2 风险事故防范措施

13.2.1 后装机项目辐射事故防范措施

(1) 换源事宜由供源厂家专业人员负责，严禁私自拆卸。做好设备日常维护，经常对设备的性能进行检查，防止卡源事故发生。

(2) 定期验证安全装置与设施的有效性，保证门机联锁装置有效。

(3) 放射源贮存在专用贮源室，并限制人员进入，做好防盗措施，设置防盗门（防护门）等。制定并落实放射源安全管理与台账制度，设专人负责。

(4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应现观察监控确保机房内摆位工作人员或其他人员已撤出。

13.2.2 18MV 加速器、射波刀、CT 模拟定位机辐射事故防范措施

(1) 制定有自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

(2) 制定规范的操作规程并落实，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内出患者外，其他人员已撤出。

(4) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(5) 医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修 X 射线装置。

13.3 风险应急措施

13.3.1 后装机项目辐射事故应急措施

(1) 换源事宜由供源厂家专业人员负责，如发生放射源掉落，应控制周围区域，严格人员进入，由供源厂家的专业人员负责处理。对可能受照人员评估其受照剂量，必要时进行医学处理。

“卡源”事故发生，自动回源装置失效，工作人员应穿戴好铅衣、铅手套等辐射防护用品，进入机房手动回源，整个过程约需要 1min。本项目距放射源 1m 处的射束辐射剂量率最大为 $4.107 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ 。“卡源”事故，停留因子 $T=1$ ，工作人员在 1min 内所受剂量为 0.48mSv，能够满足 GB 18871-2002 规定的，一次应急事件全身照射的剂量不应超过职业人员最大单一年份剂量限值的 10 倍。

(2) 发现人员误入可按下紧急停止按钮回源，并对受照人员进行剂量评估，必要时进行医学处理。

(3) 一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号)、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部令第 18 号)、《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)以及《突发环境事件信息报告办法》(环保部令第 17 号)中的有关要求，医院应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地环保部门、公安部门以及卫生部门。

(4) 对受照人员则进行剂量评估，必要时进行医学处理。

13.3.2 18MV 加速器、射波刀、CT 模拟定位机项目辐射事故应急措施

对于人员误照射的情况应及时按下紧急停止开关，或切断电源，对受照人员进行剂量评估，必要时采用医学处理。在事故处理过程中，处理事故的应急人员应佩戴个人剂量计。为制止事故的扩大或进行抢救、抢修处理事故的应急人员接受超过正常剂量当量限值得应急照射，按照 GB18871-2002 的规定，一次应急事件全身照射的剂量不应超过职业人员最大单一年份剂量限值的 10 倍。并按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地环保部门、公安部门以及卫生部门。

表 14 辐射安全管理

14.1 辐射安全与环境保护

(1) 管理机构

按照《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)及环境保护主管部门的要求,医院已成立辐射安全与环境保护管理机构——放射防护管理领导小组,人员组成如下:

组 长: 陈丹

副组长: 周茂义、郝 刚、刘春雨、翟瑞仁、张晓军、刘晓冬

成 员: 姜 涛、刘兴安、岳建强、张国华、申震

秘 书: 张 文

领导小组职责为:

①放射防护管理领导小组负责人岗位职责: A) 医院法人为本单位放射防护管理的第一责任人, 本单位法人授权放射防护管理领导小组组长代表法人全面负责院内放射防护管理工作, 承担分管领导责任; B) 负责对院内放射源、放射性同位素、射线装置安全防护工作和环境保护工作实施统一监督管理; C) 负责院内放射防护管理队伍的建设; D) 负责指导各小组成员及相应科主任对科室实施放射防护的日常监督管理; E) 协助法人代表组织制定并实放射事故应急预案; 配合上级部门开展放射事故的应急响应、调查处理和定级定性工作。

②放射防护管理领导小组成员岗位职责: A) 积极配合小组负责人对院内各科室放射源、放射性同位素、射线装置安全防护工作和环境保护工作实施监督管理; B) 医学工程部负责执行放射事故应急预案, 对科室人员进行放射事故应急培训, 定期进行应急演练; C) 医学工程部负责本单位《放射诊疗许可证》的申请及变更工作; D) 医学工程部负责本院改扩建、新增设备及项目的职业病危害预评价、控制效果评价和相关行政许可工作, 后勤保障中心负责安防和技防以及地标验收等工作, 基建指挥部负责新建项目涉及该类的所有工作; E) 监督检查本科室的防护工作及个人、场所、环境监测, 按有关规定上报防护监测数据或资料, 并接受环保部门的监督和指导; F) 医学工程部及科室定期组织从事射线工作人员学习国家颁布的相关法律法规, 对科室从事工作的人员加强安全和放射防护(职业卫生防护)知识的教育, 并定期进行考核, 不合格者不得上岗; G) 监督科室及工作人员自觉遵守有关放射防护(职业卫生防护)的各种标准和规定,

有效进行防护，防止事故的发生；H) 负责组织本科室新参加工作的人员必须经过政府相关放射防护部门的培训、考核，领取合格证后方可上岗；I) 定期检查及科室自查放射源的安全管理情况，并记录；J) 定期检查督促放射性工作人员做好设备质控；K) 每日工作结束后，监测各放射性工作场所及内环境、个人的放射性污染状况，防止环境污染；L) 每月定期检查放射性废物的处理、存储和排放情况，并记录；M) 协助科主任制定本科室放射源申购、退役年度计划；N) 对突发放射性污染差错事故，科室及相应部门按国家相关应急处理预案规定现场指导处理并立即上报；O) 放射源及放射性同位素所在科室主任为主要负责人，承担主要负责人责任，放射源及放射性同位素所在科室库管员为直接责任人，承担直接责任；P) 科室主任应主动加强本科室的各项辐射安全管理工作，承担行政管理责任；相应职能部门主管领导承担监督检查等行政管理责任。

(2) 人员培训及健康管理

本项目相关辐射工作人员共 28 人，包括医生 10 人，物理师 4 人，技师 12 人，护士 2 人，其中 6 人参加了初级辐射安全培训。医院应按照《放射诊疗管理规定》（卫生部令第 46 号）中第七条规定配备相关人员，“医疗机构开展放射治疗工作的，应当具有：①中级以上专业技术职务任职资格的放射肿瘤医师；②病理学、医学影像学专业技术人员；③大学本科以上学历或中级以上专业技术职务任职资格的医学物理人员；④放射治疗技师和维修人员”。医院按照医院应按照《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）的规定，组织未参加培训的辐射工作人员参加培训，组织已参加培训的辐射工作人员每 4 年接受一次再培训。

医院拟为辐射工作人员每人佩戴个人剂量计，并委托有资质的单位定期对工作人员进行个人剂量监测（一般 3 个月 1 次）。如出现超标现象，应调查原因，采取改进防护措施。

医院还应组织辐射工作人员定期参加健康体检，为辐射工作人员建立个人剂量档案和个人健康档案，档案由专人管理，长期保存。

(3) 设备配备

医院拟为后装机、18MV 加速器和 6MV 射波刀各配备 1 台固定式辐射监测仪器。还应配备 1 台便携式辐射监测仪、6 台个人剂量报警仪。

14.2 辐射安全管理规章制度

医院针对本次评价项目制定的规章制度有：《岗位职责》、《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《放射性同位素与射线装置台账管理办法》、

《射线装置使用登记制度》、《自行检查和评估制度》、《辐射工作场所监测管理办法》、《辐射工作人员职业健康监护管理办法》、《辐射工作人员个人剂量管理办法》、《辐射人员人员培训制度》、《放疗科质量控制与质量保证规程》、《X 线受检者放射防护制度》、《放射事故应急预案》。

还应补充《后装机安全操作规程》、《直线加速器安全操作规程》、《射波刀安全操作规程》，并按照 14.3 和 14.4 修订已制定的《检测计划》和《放射事故应急预案》。

在按本环评要求完善规章制度后，从操作人员岗位职责、辐射防护和安全保卫、设备检修、放射设备的使用等方面分别做了明确要求和规定，保障了从事辐射工作的人员和公众的健康与安全，同时保护了环境。各项规章制度可满足本项目辐射安全管理需求。

14.3 辐射监测

医院应至少配置 1 台便携式辐射监测仪对辐射工作场所周围辐射环境进行监测。拟为辐射工作人员每人配备个人剂量计，委托有资质的单位定期检测。医院已制定《辐射工作场所监测管理办法》和《辐射工作人员个人剂量管理办法》，对工作场所和个人剂量监测做出了规定，但内容不够全面，建议按以下内容进行补充和细化，形成监测计划。

一、射线装置工作场所监测

监测项目：X(γ)空气吸收剂量率

监测频次：1-2 次/年，应急状况随时监测；

监测点位：控制室操作位，观察窗、防护门窗外表面 30cm 处，机房周围墙体外侧 30cm 处，以及人员经常驻留的位置。

二、工作人员个人剂量监测

1、所有从事辐射工作的人员，必须接受个人剂量监测，建立个人剂量档案，专人管理，长期保存。

2、每位工作人员工作期间须按要求在胸前佩戴个人剂量计。

3、个人剂量计的监测周期一般为 3 个月一次。

4、辐射工作人员的受照剂量超过年剂量的 30%时，放射工作单位应查明原因，采取改进措施。

三、年度监测

每年定期委托有资质的单位对全院辐射工作场所进行监测，出具的监测报告存档，并上报环保部门。

14.4 辐射事故应急预案

医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号)第四十条、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)及《突发环境事件信息报告办法》(环保部令第 17 号)的有关规定,已制定《放射事故应急预案》,其中确定了事故应急处理小组,明确了小组职责,给出了辐射安全事故分类、事故应急处理程序和应急措施、应急演练要求等。具体内容如下:

(1) 辐射事故应急处理小组

阳光融合医院放射事故应急处理小组由分管院领导任组长,影像中心主任、核医学主任、肿瘤中心任、医务部主任、护理部主任、后勤保障中心主任、医学工程部主任任副组长,主要成员包括:介入中心主任、影像中心副主任、保卫处负责人、核医学主任、肿瘤中心副主任、急诊介入主任。

(2) 辐射事故应急处理小组职责

- ①在接到辐射安全事故发生的报告后,立即启动应急预案。
 - ②做好现场决策、指挥和组织协调工作,调度人员、设备、物资等。
 - ③向上级相关主管部门(环保、卫生、公安)报告辐射安全事故情况,配合上级相关主管部门进行检测、现场处理及事故调查等工作。
 - ④责成医务处或总值班人员组织协调专业救护人员对伤员进行观场救治,并及时运送伤员到指定地点进行进一步检查和救治。
 - ⑤责成保卫处组织保安或值班人员保护现场,维持秩序,防止事态进一步扩大。
 - ⑥责成涉源单位迅速了解事故发生地的实际情况,采取必要措施防止人员受到进一步辐照和放射性物质污染扩散。
 - ⑦事故处理完毕后,恢复正常秩序。
 - ⑧做好情况通报工作。
- ### (3) 辐射安全事故分类
- ①辐射源丢失,包括辐射源意外丢失和失窃。
 - ②人员的意外放射性照射,指放射性工作人员或公众受到辐射源或射线装置的超剂量误照射。
 - ③放射性核素污染,包括人员体表、体内意外受到放射性核素的污染和对环境的污染。

④辐射性实验室火灾。

(4) 事故应急处理。

(5) 事故调查及信息公开。

(6) 应急保障、人员培训和演练。

(7) 应急装备、器材和资金。

现有《辐射事故应急预案》中还应给出应急小组人员联系方式、医院应急联系方式、环保部门、公安部门、卫生部门联系方式。

表 15 结论与建议

15.1 结论

15.1.1 项目概况

阳光融和医院位于山东省潍坊市高新区樱前街 9000 号，现有辐射安全许可证，证书编号：鲁环辐证[07214]，准予使用 IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置和乙级非密封放射性物质工作场所。

医院在院区内建设放疗中心，拟在放疗中心使用 1 台 ^{192}Ir 后装机（额定装源活度 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ）、1 台 18MV 医用电子加速器、1 套 6MV 射波刀、1 台 CT 模拟定位机。其中 ^{192}Ir 属 III 类放射源，18MV 医用电子加速器和 6MV 射波刀属 II 类射线装置，CT 模拟定位机属 III 类射线装置。

15.1.2 现状监测

根据现状本底监测，各个机房建设位置辐射水平为 $(8.3 \times 10^{-8}) \sim (10.0 \times 10^{-8}\text{Gy/h})$ ，在潍坊市环境天然放射性水平范围内。

15.1.3 后装机环境影响评价结论

(1) ^{192}Ir 后装机房位于放疗中心西北角，后装机内装 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)，属 III 类放射源。

(2) 经估算，后装机机房外辐射水平最大为 $0.036\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标。后装机机房防护符合《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002) 的相关要求。

(3) 工作人员年有效剂量 0.0899mSv/a ，低于本评价提出的工作人员年剂量管理约束值不超过 6.0mSv/a 的管理要求。公众成员年有效剂量为 0.0017mSv/a ，低于本评价提出的公众成员年剂量管理约束值不超过 0.3mSv/a 的管理要求。

(4) 退役和废旧放射源由供源单位回收，退役和废旧源得到妥善处理，不会对周围环境造成不利影响。

15.1.4 18MV 加速器环境影响评价结论

(1) 18MV 加速器机房位于放疗中心后装机房南侧，加速器属 II 类射线装置。

(2) 经估算，加速器机房外辐射水平最大为 $1.18\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 剂量率控制目标。机房屏蔽厚度满足标准要求，主屏蔽宽度满足理论计算要求。

(3) 工作人员年有效剂量最大为 0.84mSv/a ，低于本评价提出的工作人员年剂量管

理约束值不超过 6.0mSv/a 的管理要求。公众成员年有效剂量最大为 0.19mSv/a，低于本评价提出的公众成员年剂量管理约束值不超过 0.3mSv/a 的管理要求。

(4) 加速器机房设计了机械通风系统，通风量为 3000~4000m³/h 可调，换气次数可达 4.5~6.1 次/h。满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(5) 放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其影响降低。退役的靶和废树脂为放射性固体废物，医院应交由山东省城市放射性废物库集中收贮、管理，不会对周围环境造成影响。

15.1.5 射波刀环境影响评价结论

(1) 射波刀机房位于放疗中心 18MV 加速器机房南侧，机房内安装 1 套 6MV 射波刀(含 2 个定位 X 射线源，管电压 150kV、管电流 640mA)，射波刀属 II 类射线装置。

(2) 经估算，射波刀机房外辐射水平最大为 1.46μSv/h，低于 2.5μGy/h 剂量率控制目标，机房屏蔽厚度满足标准要求。

(3) 工作人员年有效剂量最大为 0.31mSv/a，低于本评价提出的工作人员年剂量管理约束值不超过 6.0mSv/a 的管理要求。公众成员年有效剂量最大为 0.18mSv/a，低于本评价提出的公众成员年剂量管理约束值不超过 0.3mSv/a 的管理要求。

(4) 机房设计了机械通风系统，通风量为 3000~4000m³/h 可调，换气次数可达 5.0~6.7 次/h。满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(5) 退役的靶和废树脂为放射性固体废物，医院应交由山东省城市放射性废物库集中收贮、管理，不会对周围环境造成影响。

15.1.6 CT 模拟定位机环境影响评价结论

(1) 后装机和 18MV 加速器配套 1 台 CT 模拟定位机用于定位，CT 模拟定位机属 III 类射线装置。机房位于放疗中心。

(2) CT 模拟定位机房墙体和室顶应增加防护材料，使其屏蔽能力不低于 2.5mmPb，方可满足屏蔽要求。

(3) CT 模拟定位机房大小、布置、防护用品配备情况满足《医用 X 射线诊断防护要求》(GBZ130-2013)、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T180-2006) 和《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012) 相关要求。

15.1.7 人员培训及健康管理

本项目相关工作人员 28 人，其中 6 人已参加了初级辐射安全培训。医院应组织所有未参加培训的人员参加相应初级辐射安全培训，组织已参加培训的人员每四年参加再培训。

医院拟为辐射工作人员每人佩戴个人剂量计，并定期委托有资质的单位每 3 个月监测一次，建立个人剂量档案。

15.1.8 监测设备和仪器

医院拟为后装机、18MV 加速器和射波刀各配备 1 台固定式辐射监测仪器。还应配备 1 台便携式辐射监测仪和 6 台个人剂量报警仪。可满足本项目使用需求。

15.1.9 辐射安全防护管理

医院应按本环评 14.1 章节要求设立辐射安全与环境防护管理机构，按本环评 14.2、14.3、14.4 章节要求完善规章制度，补充制定《后装机安全操作规程》、《直线加速器安全操作规程》、《射波刀安全操作规程》，修订已制定的《检测计划》和《辐射事故应急预案》。

15.1.10 可行性分析结论

本项目属《产业结构调整指导目录（2011 年本）（修正）》中鼓励类，符合国家产业政策。项目具有明显的经济效益、社会效益，符合正当性。

15.2 建议与承诺

15.2.1 存在问题与改进措施

(1) 规章制度有待完善和修订。按照 14.2、14.3、14.4 章节要求补充《后装机安全操作规程》、《直线加速器安全操作规程》、《射波刀安全操作规程》，修订已制定的《检测计划》和《辐射事故应急预案》。

(2) 辐射工作人员未全部参加初级辐射安全培训。应安排未参加培训的辐射工作人员参加培训，组织已参加培训的辐射工作人员每 4 年接受一次再培训

(3) 相关设备仪器配备不全。应配备 1 台便携式辐射监测仪和 6 台个人剂量报警仪。

(4) CT 模拟定位机机房屏蔽能力不符合标准要求。墙体和室顶应增加防护材料，使墙体和室顶屏蔽能力不低于 2.5mmPb，方可满足《医用 X 射线诊断防护要求》（GBZ130-2013）要求。

(5) 医用电子直线加速器机房防护门偏薄，建议加厚为 150mm 厚含硼 5%聚乙烯+20mm 铅当量铅板。

15.2.2 建议

- (1) 每周至少进行一次系列的检查,发现问题及时解决,防止辐射照射事故发生。
- (2) 建立个人剂量和健康档案,对放射诊断工作人员进行身体健康体检并形成制度。
- (3) 本项目建成经验收合格后方可正式投入使用。
- (4) 建设单位应按报告表提出的要求认真落实。

综上所述,在阳光融和医院认真落实各项污染防治措施和辐射环境管理计划的基础上,该单位将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施,从辐射环境保护的角度分析,该项目的运行是安全可行的。

表 16 审批

下一级环保部门预审意见

经办人：

公章

年 月 日

审批意见

经办人：

公章

年 月 日