

核技术利用建设项目

长安医院 TaichiB 型多模式引导立体定向与
旋转调强一体化放射治疗设备
核技术利用项目
环境影响报告表

长安医院有限公司

2020 年 01 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

长安医院 TaichiB 型多模式引导立体定向与
旋转调强一体化放射治疗设备
核技术利用项目
环境影响报告表

建设单位名称：长安医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：西安经济技术开发区文景路 17 号长安医院

邮政编码：710016

联系人：弋敏

电子邮箱：yimin@cmsholding.com

联系电话：18092291266

表 1 项目概况

建设项目名称		长安医院 TaichiB 型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备核技术利用项目			
建设单位		长安医院有限公司			
法人代表	吕明方	联系人	弋敏	电话	18092291266
注册地址		西安经济技术开发区文景路 17 号			
项目建设地点		西安经济技术开发区文景路 17 号长安医院放疗科			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	4000	环保投资 (万元)	150	投资比例	3.75%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	143
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 checked="" type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其他	/				
<p>项目概述</p> <p>一、项目概况</p> <p>1、医院简介</p> <p>长安医院有限公司（以下简称“长安医院”）地处西安经济技术开发区（地理位置详见图 1-10），是由原国家卫生部、商务部批准设置，经国家工商总局注册兴建的一所集医疗、科研、教学和健康保健为一体的三级甲等综合性医院。2002 年 9 月开诊，目前展开床位 1030 张。占地面积 120 亩，医疗用房面积 8.6 万平方米，总投资为 10 亿元人民币，其中医疗设备投资近 4 亿元，现有员工 1400 余名，博士、硕士研究生 60 余人，高级职称 90 余人，中级职称 240 余人。是陕西省、西安市职工和城镇居民医疗保险、新型农村合作医疗保险及各种商业保险等险种齐全的定点医院。</p>					

医院相继引进 PET/CT、ECT、GE64 层 128 排 CT、GE3.0T 磁共振、奥林巴斯 CV-290 内镜检查系统、IGRT 等一批世界先进的医疗设备，并紧跟行业趋势不断更新，相继引进了用于全身能谱成像且心脏成像不受心率影响的 GERevolution CT、新光纤 1.5T 核磁、西门子落地六轴平板血管机、西门子检验流水线等先进设备，为临床诊断提供了可靠的诊疗依据。

医院始终坚持“患者第一，服务至上”的理念，医疗规范化，服务人性化，始终坚持以核心技术打造医院实力，用温馨服务营造就医氛围。经过 17 年的发展，医院的医疗环境、医疗条件、技术能力、各科科研能力得到长足发展，赢得了政府、媒体和老百姓的信任和认可。先后受到国家、政府和社会团体的表彰奖励百余次。2017 年于全国非公立医院综合实力排行第七位，2018 年跃升全国非公立医院竞争力排行榜第五名，被香港艾力彼医院管理研究中心授予“五星级医院”。2018 年医院党委被中共陕西省委组织部授予“五星级党组织”荣誉称号。

2、项目由来

为进一步改善当地医疗环境，提高医院知名度，医院拟引进 1 台 TaiChi B 型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统，该设备包含 1 个 6MeV 医用加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头（内含 18 枚 4.699×10^{13} ($1 \pm 10\%$) Bq 的钴-60 放射源）和 1 个 CBCT 图像引导系统模块，三者位于同一个滚筒中，可为人体相关病灶和肿瘤提供立体定向放射外科治疗与高精度放射治疗。

根据原环保部、卫计委公告 2017 年第 66 号《关于发布<射线装置分类>的公告》，该设备加速器属于 II 类射线装置，CBCT 为 III 类射线装置；根据国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号《关于发布放射源分类办法的公告》，该设备伽马刀使用 I 类放射源。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 44 号）及其修改单（生态环境部令 1 号）：“五十、核与辐射—191、核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）”中“**医疗使用 I 类放射源的；使用 II 类射线装置的**”，应编制环境影响评价报告表。本项目设备涉及医疗使用 I 类放射源、使用 II 类射线装置，应编制环境影响报告表。CBCT 作为本项目设备的一部分，在后续进行简略分析。

长安医院于 2019 年 12 月委托我公司对该项目进行环境影响评价。接受委托后，我

公司组织有关技术人员对该项目进行了实地踏勘、资料收集等工作，按照《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》（HJ 10.1-2016）的基本要求，编制了《长安医院有限公司 TaichiB 型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备核技术利用项目环境影响报告表》。

3、项目规模

长安医院拟在医技住院综合楼地下一层（无下层）北侧放疗中心的一间预留机房改建为 TaichiB 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统机房，拟购买使用 1 台西安大医集团有限公司研发的 TaichiB 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统，该系统兼具医用直线加速器治疗功能和伽马刀治疗功能，同时为将病灶准确地置于放射区域，在加速器治疗头和伽马刀聚焦治疗头之间，配备有 CBCT 图像引导系统模块，三种功能集成于同一个滚筒中。设备主要技术参数表见表 1-1。

表 1-1 设备主要技术参数

设备型号	功能模块	各项参数	具体情况
TaiChi B 多模式 引导立 体定向 与旋转 调强一 体化放 射治疗 系统	加速器	X 射线能量	6MeV
		等中心处最大剂量率	600cGy/min，临床使用中单个病人单次照射 8~10Gy
		等中心处最大照射野	40cm×40cm，有用束张角 27.8°
		SAD	1000mm
		等中心到地面距离	950mm（距地板高度，距机器最低点 1300mm）
		屏蔽体	加速器管屏蔽 90°方向为 91mmPb、180°方向为 86mmPb；射束对面的滚筒及底板屏蔽体为 140mm 铅 +60mm 钢
	伽马刀	聚焦头射线源	18 颗钴-60 放射源单源出厂活度为 4.699×10^{13} ($1 \pm 10\%$) Bq；最大装源活度 8.4582×10^{14} ($1 \pm 5\%$) Bq
		聚焦头准直器	共 7 组，规格为 6、9、12、16、20、25、35mm
		聚焦头初装源 $\phi 35$ 准直器焦点剂量率	530cGy/min
		焦点到射线源距离	750mm
		聚焦头屏蔽	在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。
		平衡屏蔽锤体	位于聚焦头对面，由铅铋合金 325mm（半值层按照 13mm）加钢 22mm 组成，等效半值层为 26 个，阻挡能力是降低 6.7×10^7 倍
	CBCT 图像引导系统	最大管电压	150kV，临床一般为 120kV
最大管电流		64mA	

模块	距靶 1m 处最大剂量率	<0.5mGy/h (测试条件150kV、3.6mA)
	曝光时间	单次扫描为每秒 9 帧的脉冲式曝光，单帧曝光时间最大 32ms，持续1min，单次最大照射时间为17.28s
	屏蔽体	10mm 厚钨铜合金，密度≥18t/m ³
	旋转角度	加速器和伽玛刀均为360°旋转照射

医院针对本项目拟采取的建设方案如下：将现有医技住院综合楼地下一层(无下层)北侧放疗中心的一间预留机房改建为本项目 TaiChiB 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统机房，并配套控制室 1 间。改建方案基本不改变机房现有的结构布局，针对相应的墙体做局部的加厚处理。机房具体情况见表 1-2。具体的改建方案详见图 10-3，机房防护屏蔽设计见表 1-2，机房屏蔽防护设计剖面和平视图见图 10-2、图 10-3。

表 1-2 机房具体情况表

项目	建设内容及规格	
机房	面积	长 7.90m，宽 7.55m，高 3.50m，有效使用面积 59.645m ²
	北墙	800mm 厚混凝土，北侧无建筑物，为土层
	东墙	主屏蔽墙：长 3.6m，1500mm 厚混凝土
		次屏蔽墙分别为：2.2m、5.55m，均为 1300mm 厚混凝土
	南侧	迷道内墙 1000mm 厚混凝土，外墙 1000mm 厚混凝土
	西墙	主屏蔽墙：长 3.6m，1800mm 厚混凝土
		次屏蔽墙分别为：2.2m、2.1m，均为 1300mm 厚混凝土
	屋顶	主屏蔽区长 4m，1500mm 厚混凝土、次屏蔽区 1200mm 厚混凝土
地板	500mm 混凝土，下方无建筑物，为土层	
屋顶	15mm 铅当量防护门	
辅助工程	控制室位于机房西侧，面积为 6.65m ²	

4、工作人员及工作制度

(1) 人员配备：根据医院提供的相关资料，本项目拟配备 7 名放射工作人员，均从现有工作人员中调配。本项目工作人员固定设置，不与其他科室交叉使用。具体情况见表 1-3。

表 1-3 项目人员配置情况

序号	姓名	所在科室	专业	学历	职称	资质
1	徐欣	放疗科	放射医学	本科	主任医师	LA 医师
2	贺选	放疗科	临床医学	本科	主治医师	LA 医师
3	王洋	放疗科	生物医学工程	本科	物理师 临床医学工程师	LA 物理师
4	张军维	放疗科	临床医学	本科	物理师	LA 物理师
5	王方勇	放疗科	中医	大专	技师	LA 技师
6	王鹏	放疗科	护理	大专	技师	γ 刀技师
7	刘敏	放疗科	护理	本科	技师	LA 技师

(2) 工作制度：本项目设备由西安大医集团有限公司研发提供，根据医院及大医集团提供的相关资料，设备分为两种使用模式，加速器+CBCT 治疗模式和伽马刀+CBCT 治疗模式，加速器和伽马刀不同时使用。具体的最大工作负荷如下：

根据医院提供的资料，加速器治疗工作量为 16 人/d，每周工作 5 天，平均每野次治疗剂量为 2Gy，照射 4 野次，周工作负荷 $W=16 \times 2 \times 4 \times 5=640\text{Gy}/\text{周}$ ，治疗照射时间 $t=640\text{Gy}/\text{周} \div 6\text{Gy}/\text{min}=106.7\text{min}/\text{周}=1.78 \text{ 小时}/\text{周}$ ，按 50 周/年计，则出束时间为 88.9h/a。

根据医院提供的资料，伽马刀治疗工作量为 2 人次/天，平均每人每次出束时间为 30min，每周工作 5 天，则每周出束时间 $t=5 \text{ 小时}$ ，每年按 50 周考虑，年出束时间为 250 小时。

5、产业政策符合性

该项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 1 号《产业结构调整指导目录（2019 年）》鼓励类中“六、核能/同位素、加速器及辐照应用技术开发项目”，符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

6、实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。医院在放射诊断和放射治疗过程中，对设备的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危险，故项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

7、项目外环境关系

长安医院位于陕西省西安经济技术开发区文景路 17 号，地理位置见图 1-1。

长安医院北面为凤城三路，隔路对面为西安凤城医院（距离本项目约 110m）；西侧为文景路，隔路对面为文景公园（距离本项目约 123m）；南侧为风吉路，隔路对面为捷力大厦和捷力公寓（距离本项目约 130m）；东侧为凤祥路，隔路对面为居民区（距离本项目约 265m）。医技住院综合楼（即 A 楼）周边环境关系见图 1-2。



图 1-1 项目地理位置图

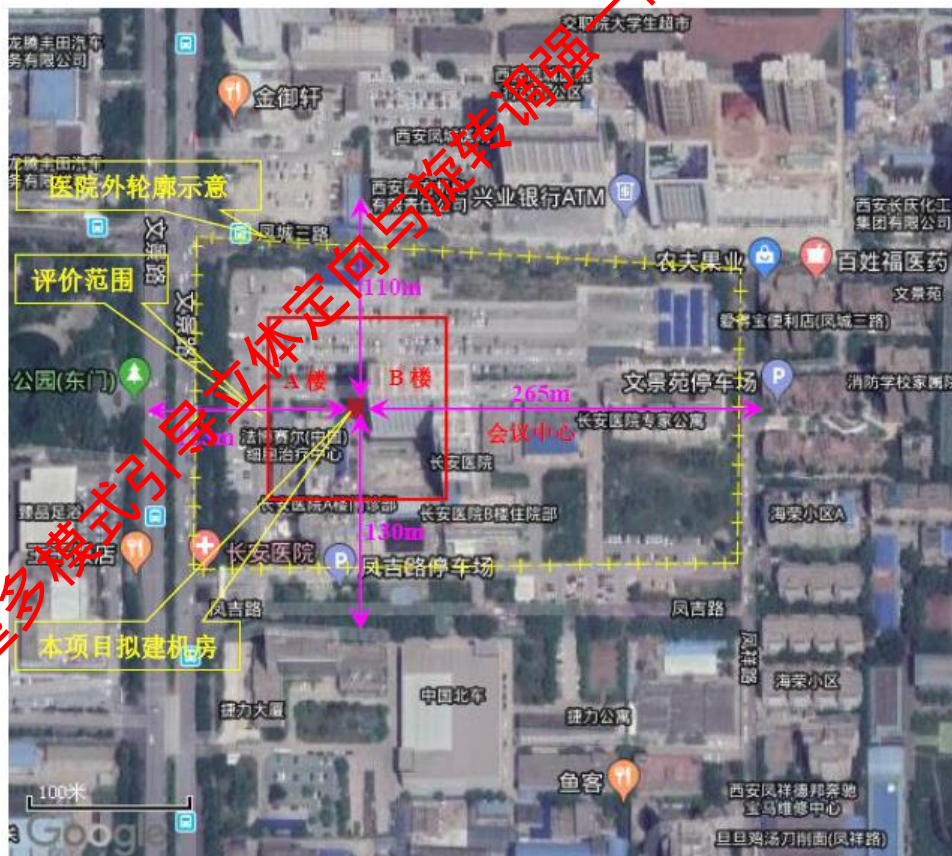


图 1-2 医技住院综合楼周围环境关系示意图

本项目 TaiChiB 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统机房选址于医技住院综合楼（即 A 楼）地下一层（无下层）北侧放疗中心的一间预留机房。机房

六面的布局情况简单如下：机房西侧从北至南依次为后装机房、控制室、走廊，机房的北侧和东侧均为土层，机房的南侧为体部伽玛刀机房。机房顶部为消防通道，无负二层。根据医院提供的图纸及相关资料显示，机房顶部消防通道，在机房顶部覆盖0.3m~0.6m厚土壤的基础上加设地板砖。机房周围环境关系见图 1-3。

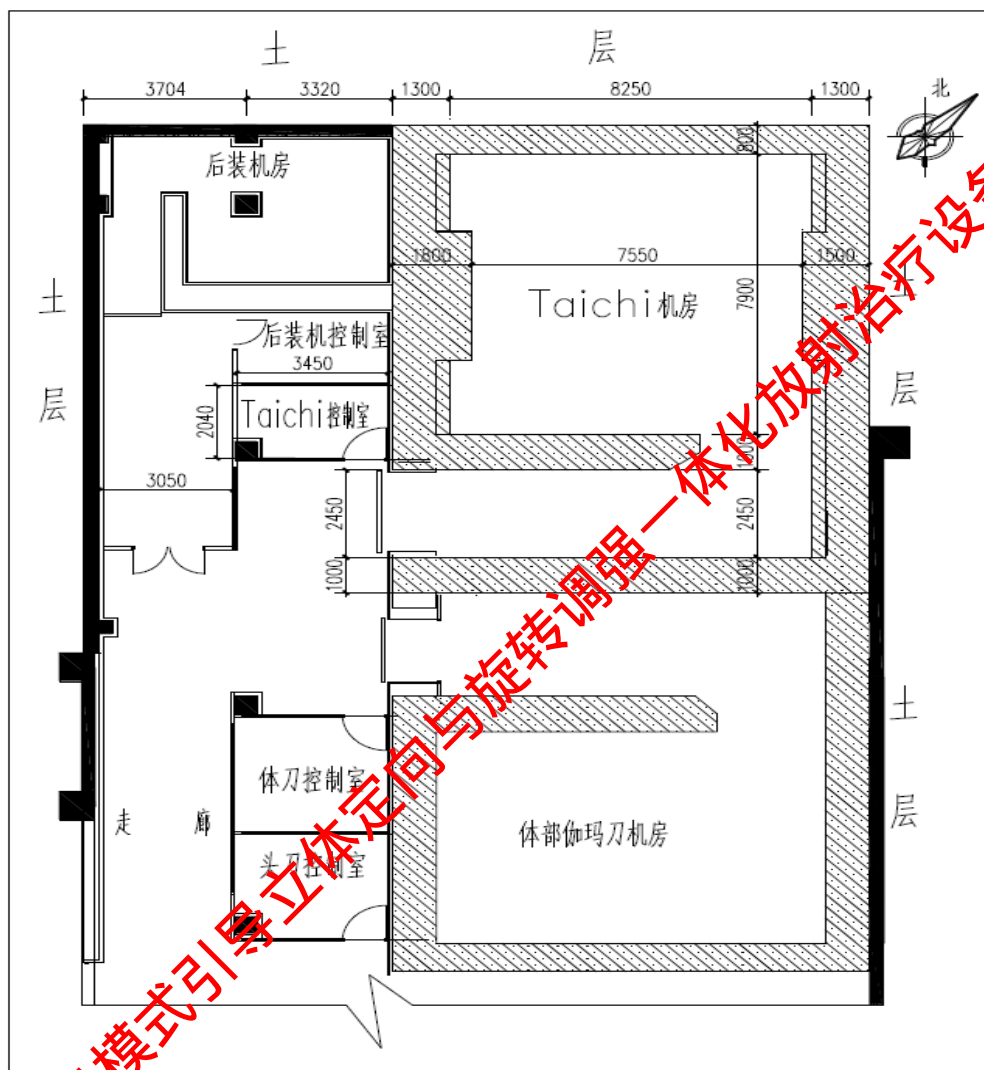


图 1-3 机房周围环境关系示意图

三、原有核技术利用项目情况

1、现有核技术利用项目开展及应用情况

医院已于2018年04月05日取得陕西省环境保护厅颁发的辐射环境安全许可证，证书编号：陕环辐证[00277]，有效期至2023年04月04日，许可种类和范围：使用I类、III类、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。辐射环境安全许可证详见附件2。

具体台账见表 1-4。

表 1-4 辐射环境安全许可证台账

（一）放射源					
序号	核素	类别	数量	批准的总活度 (Bq)	工作场所
1	Ge-68	V	1	5.5×10^8	门诊地下一楼放疗科
2	Co-60	I	13	4.07×10^{13}	门诊地下一楼放疗科
3	Co-60	I	30	8.8×10^{12}	门诊地下一楼放疗科
4	Ir-192	III	1	3.7×10^{11}	门诊地下一楼放疗科

（二）非密封放射性物质				
序号	核素名称	年最大用量 (Bq)	批准的放射性工作场所	
			等级	名称
1	Tc-99m	1.85×10^{13}	乙级	A 楼一楼影像中心
2	F-18	8.80×10^{11}	乙级	A 楼一楼影像中心
3	C-11	5.92×10^{12}	丙级	
4	N-13	4.44×10^{12}	乙级	
5	I-131	2.22×10^{13}	丙级	/

（三）射线装置				
序号	装置名称	类别	数量	工作场所
1	PET-CT	III类		A 楼一楼影像中心
2	SPECT	III类	1	A 楼一楼影像中心
3	大口径CT	III类	1	A 楼一楼影像中心
4	Clinac600C/D 直线加速器	II类	1	A 楼一楼影像中心
5	MM50 电子回旋加速器	II类	1	A 楼一楼影像中心
6	乳腺机	III类	1	A 楼一楼影像中心
7	DR	III类	2	A 楼一楼影像中心
8	移动X 光机	III类	1	A 楼一楼影像中心
9	数字胃肠机	III类	1	B 楼4 楼手术室
10	小C 型臂	III类	1	B 楼3 楼导管室
11	MH 100Pro 型DSA	II类	1	B 楼3 楼口腔科
12	牙片机	III类	1	A 楼一楼影像中心
13	CR	III类	1	A 楼一楼影像中心
14	JGRT 直线加速器	II类	1	A 楼一楼影像中心
15	全景X 线机	III类	1	A 楼一楼影像中心
16	CT	III类	1	A 楼一楼影像中心

医院现有核技术利用项目已履行了环评、验收手续，已申领辐射安全许可证。上述设备运行至今使用情况良好，无辐射安全事故发生，无环保投诉情况。

2、医院辐射管理制度执行情况

长安医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐

射防护设施的运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

①长安医院共有辐射工作人员 80 人（含本项目拟设置的 7 名辐射工作人员），均已参加了陕西省核安全局组织的辐射安全与防护培训，培训均合格，并取得培训合格证书。所有辐射工作人员均配备个人剂量计，定期监测，并建立了完善的个人剂量档案，根据医院提供的最近一年的个人剂量检测结果统计，长安医院现有放射性同位素与射线装置场所防护效果良好，个人累积剂量均未超过标准限值要求，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。

医院已委托核工业四一七医院（陕西省临潼职业病医院）对本项目已纳入辐射工作人员管理范畴的辐射工作人员分批次进行了职业健康体检，并建立了个人健康档案。通过体检报告显示本项目拟安排的 7 名辐射工作人员均可继续从事放射性工作。

②长安医院成立有以副院长、各科室主任为成员的放射防护管理委员会，全面负责对医院辐射工作的安全管理。已制定一系列辐射防护与安全管理规章制度，《个人剂量监测管理制度》、《放射安全防护制度》、《放射事故报告制度》、《放射工作人员职业健康检查制度》、《放疗科设备维护检修制度》、《放射工作安全制度》、《长安医院事故应急预案》等。另外，还需制定《辐射防护与安全保卫制度》等。

③长安医院已从事辐射诊疗多年，目前未发生过辐射安全事故，不存在原有环境污染和环境遗留问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
1	钴-60	4.699×10 ¹³ Bq×18 枚	I 类	使用	放射治疗	医技住院综合楼地下一层 TaichiB 机房	储存于医技住院综合楼地下一层 TaichiB 机房的 TaichiB 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统中	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：密封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	贮存方式及地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型

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	TaiChiB 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统	II	1 台	TaiChiB 型	电子	6	360Gy/h	放射治疗	医技住院综合楼地下一层 TaichiB 机房	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

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 (mA)	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 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
钴-60 退役放射源	/	钴-60	/	/	/	/	/	由厂家回收
臭氧	/	/	/	/	/	0.009mg/m ³ （加速器治疗模式） 0.098mg/m ³ （伽马刀治疗模式）	/	引至屋顶排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固态为 mg/kg，气态单位为 mg/kg；年排放总量用 kg。
 2.含有放射性的废弃物要注明其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L，或 Bq/kg，或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日);</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年 12 月 19 日);</p> <p>《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日);</p> <p>(4) 《陕西省放射性污染防治条例》(2014 年 10 月 1 日);</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号);</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 449 号);</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(国家环保部 18 号令, 2011 年 5 月 1 日);</p> <p>(8) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日);</p> <p>(9) 《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号);</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》及其修改单(环保部第 44 号令, 2018 年 4 月 28 日);</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》(环发〔2006〕145 号, 2006 年 9 月 26 日实施);</p>
-------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(2) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分:一般原则》(GBZ/T 201.1-2007);</p> <p>(3) 《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>(4) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分:γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014);</p> <p>(5) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011);</p> <p>(6) 《医用γ射束远距治疗防护与安全标准》(GBZ 161-2004);</p> <p>(7) 《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》(GBZ 168-2005);</p> <p>(8) 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(9) 《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2007)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环境影响评价委托书;</p> <p>(2) 拥有核技术利用项目环评批复</p> <p>(3) 长安医院有限公司及西安大医集团有限公司(该设备的生产厂家)提供的相关技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>评价范围</p> <p>本项目医疗使用 I 类放射源和 II 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”的要求，结合本项目实际选址，确定该项目评价范围为机房周围 50m 区域。评价范围示意图见图 1-2。</p>																															
<p>保护目标</p> <p>本项目主要保护目标为机房周围 50m 范围内的职业工作人员及公众。具体情况见表 7-1。主要环境保护目标位置关系图见图 1-1~1-3。</p> <p style="text-align: center;">表 7-1 主要环境保护目标一览表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>名称</th> <th>方位</th> <th>具体位置</th> <th>规模(数)</th> <th>距离(m)</th> <th>年有效剂量控制水平</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>职业人员</td> <td>机房西侧</td> <td>控制室</td> <td>~7 人</td> <td>紧邻</td> <td>≤5mSv</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">公众</td> <td>机房南侧</td> <td>伽马刀机房迷道</td> <td>流动人员</td> <td>/</td> <td rowspan="3">≤0.25mSv</td> </tr> <tr> <td>机房西侧</td> <td>后装机机房、后装机控制室、走廊</td> <td>流动人员</td> <td>紧邻</td> </tr> <tr> <td>机房上方</td> <td>消防通道</td> <td>流动人员</td> <td>3.00</td> </tr> </tbody> </table>						名称	方位	具体位置	规模(数)	距离(m)	年有效剂量控制水平	职业人员	机房西侧	控制室	~7 人	紧邻	≤5mSv	公众	机房南侧	伽马刀机房迷道	流动人员	/	≤0.25mSv	机房西侧	后装机机房、后装机控制室、走廊	流动人员	紧邻	机房上方	消防通道	流动人员	3.00
名称	方位	具体位置	规模(数)	距离(m)	年有效剂量控制水平																										
职业人员	机房西侧	控制室	~7 人	紧邻	≤5mSv																										
公众	机房南侧	伽马刀机房迷道	流动人员	/	≤0.25mSv																										
	机房西侧	后装机机房、后装机控制室、走廊	流动人员	紧邻																											
	机房上方	消防通道	流动人员	3.00																											
<p>评价标准</p> <p>1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 相关内容</p> <p>11.4.3.2 剂量约束值通常应在照射剂量限值 10%~30% 的范围之内。</p> <p>标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平：</p> <p>B1.1.1 规定：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：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 (本项目取其四分之一即 5mSv 作为职业工作人员的年剂量约束限值)</p> <p>B1.2.1 规定：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算值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv (本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为公众人员的年剂量约束限值)</p> <p>2、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)</p>																															

相关内容

本部分适用于外照射源治疗装置的机房。不同场所的居留因子见表 7-2。

表 7-2 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	管理人员或职员的办公室、治疗计划室、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物中的驻留区
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、储存室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊区、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

3、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 116-2011) 相关内容

本规定适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。

6.1 治疗室的防护要求

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 在加速器迷道门处、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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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 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 45m^2 。

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）应安装醒目的照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。

4、《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》(GBZ 161-2004) 相关内容

5.2.1 放射源置于贮存位置时，放射源防护屏蔽周围杂散射辐射空气比释动能率的限值为：距放射源防护屏蔽表面 5cm 的任何可接近位置不大于 0.2mGy/h；距放射源 1m 的任何位置上，不大于 0.02mGy/h。

6.1.1 治疗室的设置，为保证周围环境的辐射安全，应单独建造，当条件有限时可建筑在多层建筑物底层的一端。治疗室的面积须不少于 30m²，层高不低于 3.5m。

6.1.2 治疗室须与控制室、检查室、候诊室等辅助设施合理布局、相互分开。

6.1.3 治疗室的墙壁及顶棚必须有足够的屏蔽厚度，使距墙体外表面 30cm 的可达界面处，由穿透辐射所产生的平均剂量当量率低于 2.5×10^{-3} mSv/h。

6.2 治疗室的安全防护设施

6.2.1 治疗室的入口应采用迷路形式。有用线束不得朝向迷路，迷路口应安装具有良好屏蔽效果的电动防护门。治疗室建筑物外应设有放射危险标志。

6.2.2 防护门应与放射源联锁，联锁设施原则上不少于两种。门口应安装有指示治疗放射源工作状态的讯号灯，且应以黄色或橙色信号指示出束治疗，绿色信号指示非出束状态，红色信号指示紧急终止非预期运行状态。

6.2.3 治疗室的入口处及治疗室内靠治疗机较近的适当位置应安装有能紧急停止放射源照射的应急开关。

6.2.4 治疗控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态的监视装置和与患者进行信息联络的对讲装置。

6.3 治疗室的通风

治疗室应有良好的通风。通风照明良好的治疗室不设窗。单独建筑的治疗室，当其远离（不小于 30cm）一般性建筑物时，可在屋顶或非有用射束投照方向的墙壁高处设窗，其面积不宜大于 1m²。通风方式以机械通风为主。通风换气次数一般每小时 3~4 次。

5、《X、γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）相关内容

6.2 治疗室建筑应有满足防护要求的屏蔽厚度，保证在距治疗室墙体外 30cm 可达界面处停留的医务人员（不含放射工作人员）或其他公众成员所受到的平均年有效剂量不超过 1mSv，该处因透射产生的空气比释动能率一般应不大于 2.5μSv/h。必要时

治疗室入口处采用迷路形式。

6.5 γ -刀治疗室应配置固定式剂量监测报警装置。

6、《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2007)相关内容根据 4.1 工作场所空气中化学物质容许浓度表表 1, 臭氧的最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

长安医院TaichiB型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备核技术应用项目

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

本项目位于西安经济技术开发区文景路 17 号，根据陕西省生态环境厅公示的《2019 年三季度陕西省辐射环境质量》表 1，2019 年 7~9 月西安市标准型自动站 γ 辐射空气吸收剂量率测值范围为 74.3~109.9nGy/h，处于本底涨落范围内。与《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》表 5 中“西安市室内 γ 辐射剂量率范围为(79.6~130.0) nGy/h”相当，属天然辐射本底波动水平。

长安医院TaichiB型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备核技术应用项目

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、工程设备与工作原理

TaiChi B 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统将 1 个 6MeV 医用加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头和 1 个 CBCT 图像引导系统模块集成于同一个滚筒中，从而具备伽马刀和加速器 2 种治疗功能，治疗时加速器和伽马刀不同时开机，CBCT 在每次治疗时可进行患者的实时位置验证，减小患者治疗位置误差，提升治疗效果。

TaiChi B 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统由主机系统、电气控制系统、放射治疗计划系统、射野验证系统和立体定位系统组成。

1、主机系统

主机系统包含滚筒、底座、治疗床等，滚筒中安装伽马聚焦治疗头、加速器治疗头和 CBCT 图像引导系统模块。主机系统结构示意图见图 9-1。设备等中心高度和机架回转范围见图 9-2、9-3。



图 9-1 TaiChi 结构示意图

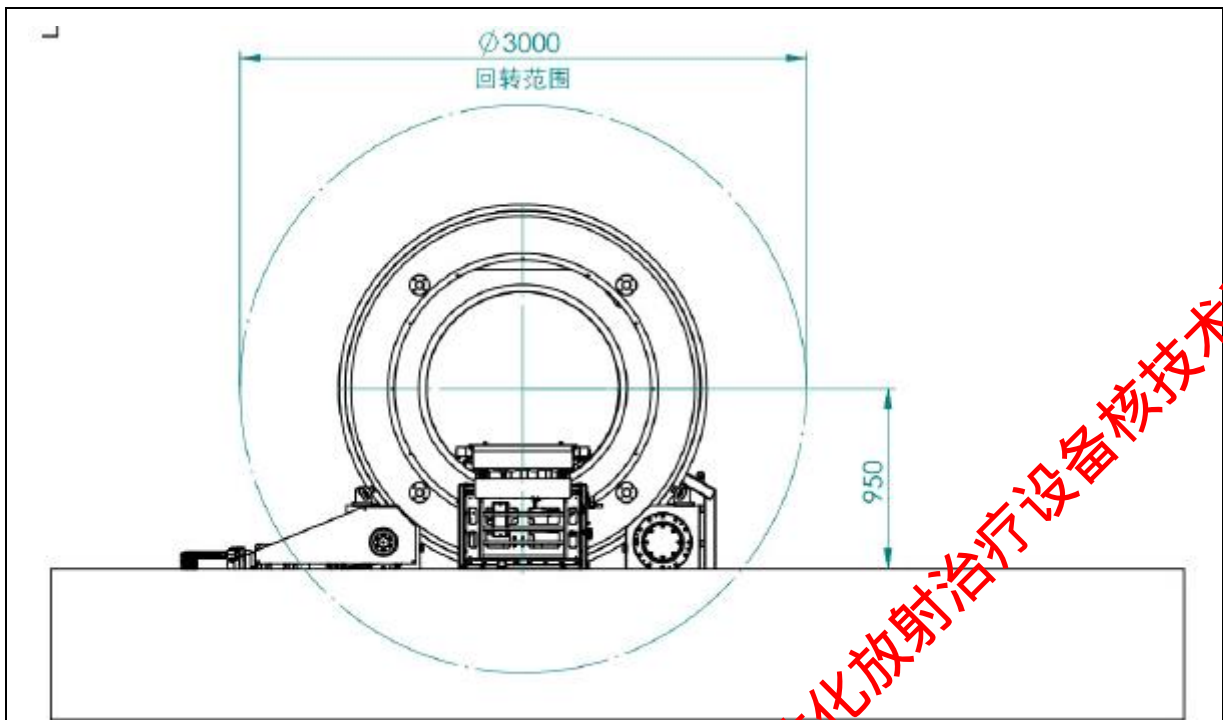


图 9-2 等中心高度和机架回转范围 (单位: mm)

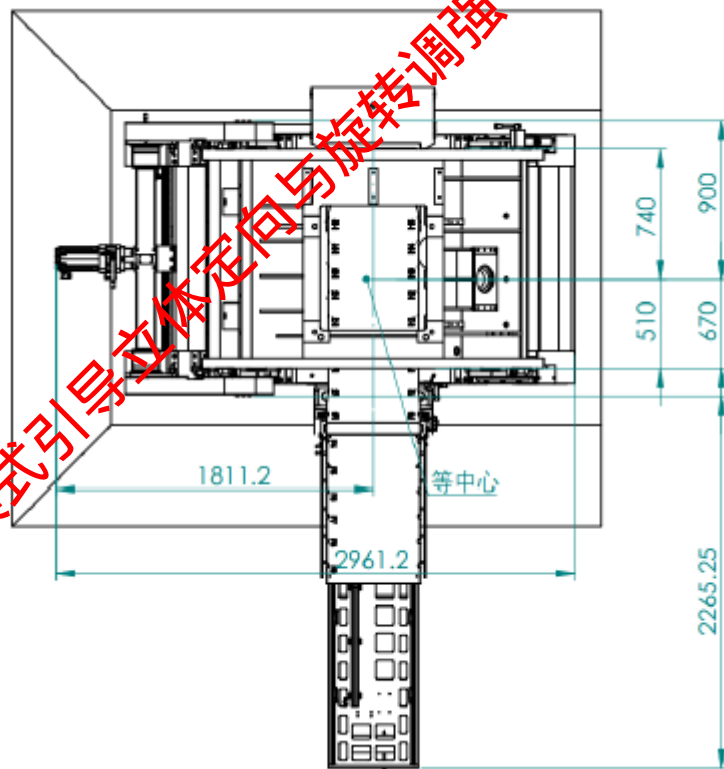


图 9-3 整机尺寸 (单位: mm)

(1) 伽马聚焦治疗头

聚焦头整体主要由箱体、钴源匣、钨滚筒、准直器、铅屏蔽、非共面组件、防碰撞组件以及相应的控制和驱动组件组成。具体结构见图 9-4。

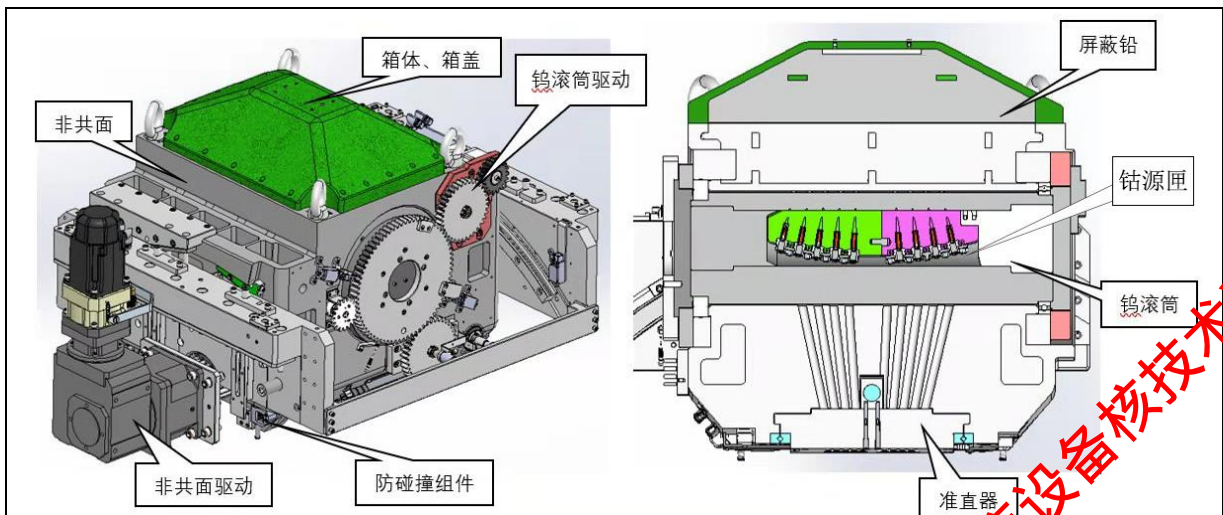


图 9-4 聚焦治疗头示意图

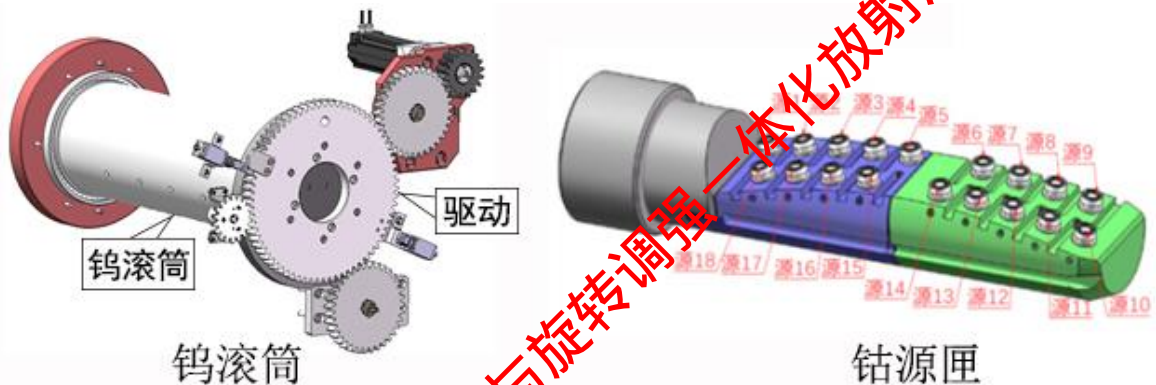


图 9-5 钨滚筒和钨源匣示意图

钨滚筒整体结构如图 9-4 所示，包括钨滚筒及驱动部分。其中钨滚筒内开有偏心圆形孔，用于装钨源匣，外侧通过两端轴承安装在箱体上，并通过驱动部分进行 180° 旋转实现源的开关。驱动部分包括电机、减速机及传动齿轮组，通过齿轮固定板安装在箱体上。钨滚筒上驱动侧还装有编码器及开关用于检测钨滚筒的旋转角度。

钨源匣示意图见图 9-5。钨源匣内安装 18 颗源，分两排排布，每排 9 颗，两排源之间的夹角为 4°，通过准直器在距源下端 750mm 处聚焦。放射源 1 与放射源 10 在机架轴向的夹角为 -13.3° ~ +13.3°，整体可在机架轴向摆动 14°；源 5 到源 6 轴向夹角，源 15 到源 14 轴向夹角为 6.725°；其余相邻源轴向夹角为 2.65°。

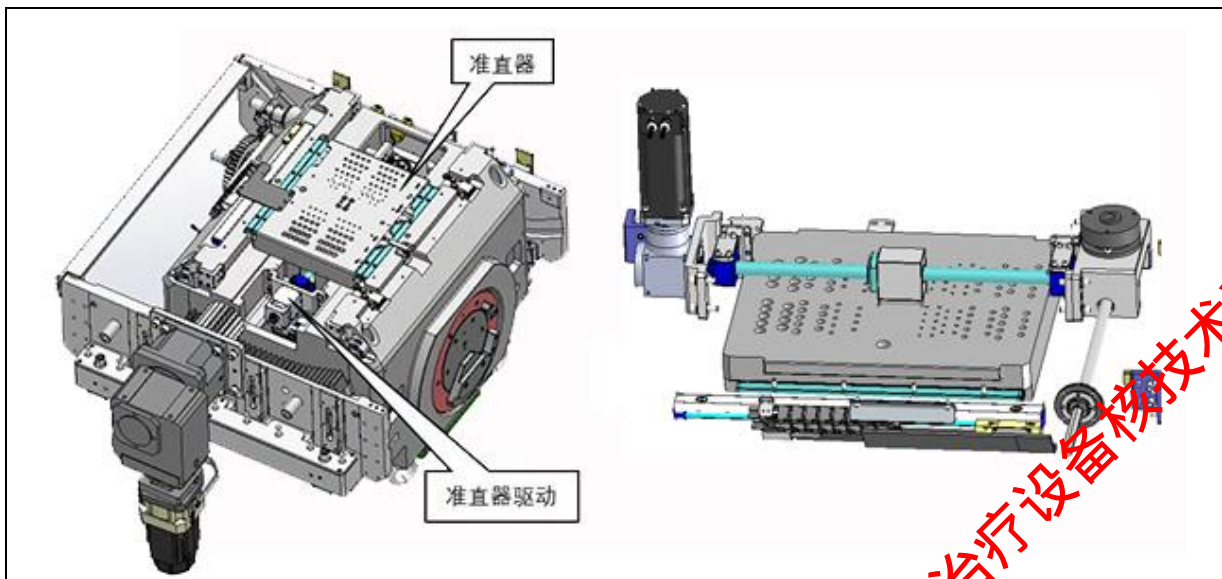


图 9-6 准直器结构图

准直器部分由准直器本体、驱动部分、手动部分及检测部分组成。准直器本体结构如图所示，准直器上有 7 组准直孔，编号分别为#1、#2、#3、#4、#5、#6、#7，对应的聚焦野标称尺寸为 $\Phi 6$ 、 $\Phi 9$ 、 $\Phi 12$ 、 $\Phi 16$ 、 $\Phi 20$ 、 $\Phi 25$ 、 $\Phi 35$ ，以适合病灶形状大小不同的需要。

准直器是通过导轨安装在箱体上，可以在箱体上进行移动来实现不同准直孔规格的切换。准直器驱动部分是常规的电机、减速机、滚柱丝杠结构，通过软件控制驱动实现准直器的自动切换。在与驱动部分相对的丝杠另一端设置有手摇机构及失电制动器，以保证在失电状态时，准直器能够有效锁紧。准直器检测部分包括光栅和开关。

准直器结构为 70mm 钨+50mm 钢，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。

(2) 6MeV 加速器

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、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。电子枪产生的电子由行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 2cm 左右的空气射到金属钨靶，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。

(3) CBCT 图像引导系统模块

CBCT 图像引导系统模块包括 CBCT 影像平板、球管、高压发生器以及图像处理软件。CBCT 系统 X 射线机安装于加速器治疗头和伽马刀聚焦治疗头之间，影像平板位于射线机对面，便于在加速器或伽马刀治疗过程中提供病灶的三维图像。

CBCT 顾名思义是锥形束投照计算机重组断层影像设备，其原理为 X 线发生器以较低的射量围绕投照体做环形 DR（数字式投照），然后将围绕体多次“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。

该系统采用定位床，用负压袋将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定三维立体坐标，将 CT/MRI 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，在治疗时，通过基于 CBCT 的图像引导定位装置进行摆位验证，通过三维床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。治疗过程中，图像引导系统可以随时监测患者靶区的位置偏移，超出许可范围时给出警告并可中止治疗。

(4) 滚筒机架

滚筒机架是带动整个治疗头作 $\pm 360^\circ$ 旋转的机构，由两端面的大轴承支撑，轴承安装在轴承座上。滚筒是由伺服电机通过两级齿轮减速机经齿轮传动带动滚筒端面的齿圈进行旋转的，滚筒的两端面的大轴承确保滚筒在径向与轴向很小的窜动量。滚筒做旋转时，带动放射源、加速器绕人体转动的同时治疗头又绕垂直于滚筒轴线的轴做摆动运动而不断变换入射角度，从而实现非共面拉弧治疗。

(5) 治疗床

由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床分别沿 X、Y、Z 三个方向做直线运动，从而将病灶位置精确地送到要照射的位置。三维床的升降部分配置了带制动伺服电机，能使床在上升到所需位置时可靠的保证停止在该位置上不变，同时设备还设置了基于 CBCT 的图像引导定位系统，可以直接以人体骨标记来定位病灶，避免了由于人体体重不同而引起的床变形带来的误差及手动定位的引起的误差，以保证治疗精度。

整个三维床按结构分为：上床板，中床板，立柱，支撑及底座。上床板按水平长度方向做直线运动，为整个坐标系的 Y 轴方向。中床板按水平宽度方向做直线运动，为整个坐标系的 X 轴方向。立柱按高度方向做直线运动，为整个坐标系的 Z 轴方向。

2、患者定位系统

立体定位系统包括定位床、负压袋和头部定位装置 3 部分。

定位床是确定靶区的三维坐标基准，由碳纤维及发泡颗粒制成，由于碳纤维及发泡颗粒的比重非常小，对射线的影响几乎没有，同时又具有非常高的强度，使患者的体重对其产生的变形非常小。定位床分为床身、头托，其中在床身两内侧有数个凸台，负压袋可以可靠地固定在床上，患者在床上的位置基本确定。这样在 CT/MRI 进行病灶扫描时，患者病灶位置与床就会有相对关系。

负压袋是用来定位患者在立体定位床中位置的真空袋，由复合高分子材料制成，通过专门的工具将其抽成真空，可以形成与患者体形吻合的固化模型。固化后的负压袋可以与定位床相对固定，又与人体适形，可以满足在多次使用时的重复定位要求。由于人体的形状不同，每个患者都需要专用的负压袋。

头部定位装置专门用于适形头部肿瘤治疗时，确定患者头部肿瘤位置坐标。主要有固定架、头部固定框、左右 N 线板、头钉等部分组成。“N”线位于两侧的 N 线板内。本系统为有创定位，做 CT 扫描时，用头钉刺破头皮直至头骨一定深度，将头部与固定框连为一体固定。

3、电气控制系统

电气控制系统由操作控制台、操作计算机、轴控制器控制系统、伺服驱动系统及伺服电机、CBCT、EPID、后备电源、传感器、连接电缆、对讲系统、视频监视系统等组成。

其中操作控制台包括操作台、操作计算机主机及显示器、视频监视系统、对讲系统。控制台安装在治疗室旁的控制室内，通过各种类型的电缆与治疗室内的主机相连，在操作控制台上安装有操作控制盒、操作计算机、对讲系统、视频监控系完成对主机的控制。与患者进行对话、监视患者的状态等用于治疗的一系列操作。操作控制台上安装有紧急停止按钮，在设备运行或调试过程中，如果发现问题可以通过按下紧急停止按钮，关闭放射源，停止设备运行，确保患者人身及设备安全。

4、治疗计划系统

治疗计划系统是为临床医生提供的交互式断层图像的三维重建工具，确定靶区和重要器官的几何描述；在辅助医生和物理师制定治疗方案时，计算剂量的分布并直观显示，用以评估该方案的效果、提供改进方案的依据；从而确定最优化的治疗计划，

并打印输出治疗报告和控制文件。

5、射野验证系统

射野验证的作用是质量保证。首先，使用 EPID 离线采集带有准直器投影的参考光野，在后续验证流程中，射野验证程序允许操作人员手动/自动采集待验证光野，进行自动比对，经过手动确认，最终输出射野验证报告。射野验证软件包括射野采集、射野验证、上位机通讯、系统配置、QA 报告、模板上传下载等功能模块。

二、工艺流程

1、机房防护、安装调试

本项目机房目前正在改造，尚未改造完成。在进行设备的安装前西安大医集团有限公司会对相关机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后先进行设备及射线装置的安装调试，调试完成后才进行设备安装、放射源安装、调试。设备安装、装源及装源后的调试、检测和维修等由西安大医集团有限公司放射工作人员进行。

2、运行期治疗流程及产污环节

TaiChi B 多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统具有加速器及伽马刀 2 种治疗功能，治疗期间加速器和伽马刀不同时使用。治疗流程和产污环境见图 9-7。两种治疗模式的流程分别介绍如下：

(1) 加速器治疗流程

- ① 确诊后首先向病人告知可能受到的辐射危害；
- ② 模拟定位：使用模拟定位 CT 根据医生要求的扫描条件对病灶进行扫描，获得定位 CT 图像；
- ③ 医生在定位 CT 图像上勾画靶区及危及器官，并给出处方；
- ④ 制定治疗计划：制定合理的治疗计划，最大限度的满足靶区及危及器官的要求；
- ⑤ 固定患者体位：工作人员进入治疗室对患者进行定位、标记，调整照射角度及射野中心，确认机房内无人员滞留、防护门关闭；
- ⑥ 使用 CBCT 图像引导系统模块对病灶进行扫描，并与定位 CT 扫描图像做对比，校准摆位精度，开始治疗；
- ⑦ 治疗结束患者离开。

(2) 伽马刀治疗流程

- ① 当病人确诊需进行伽马刀治疗后，主治医生向病人告知可能受到的辐射危害；
- ② 使用 CT 或 MR 图像对病灶位置进行模拟定位，制定放射治疗计划，确定照射位置和照射剂量；
- ③ 定位摆位：使用患者定位装置对患者进行固定，工作人员将病人安置在治疗床上摆位，摆位完毕后工作人员退出治疗室；
- ④ 工作人员在控制台上确认相关参数，开始治疗；
- ⑤ 治疗结束后工作人员将病人从治疗床上卸下，病人离开机房。

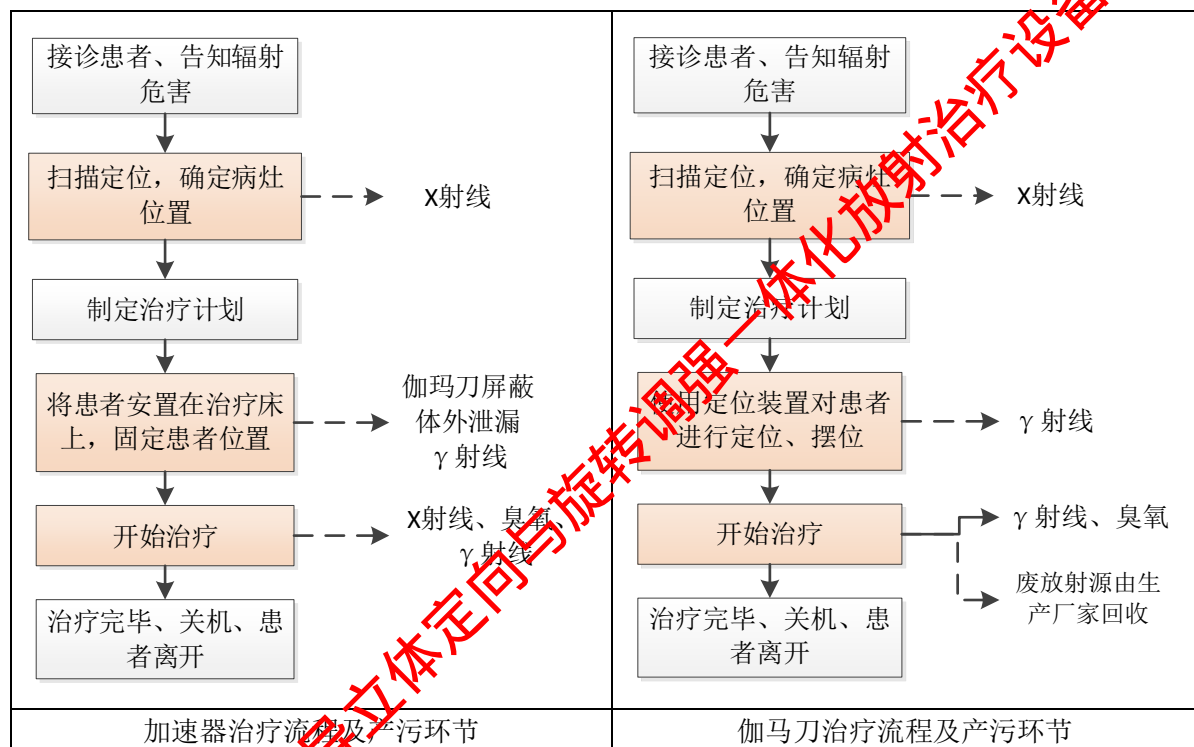


图 9-7 设备放射治疗流程及产污环节

由于设备加速器治疗头与伽马刀聚焦治疗头位于同一个滚筒内，因此加速器治疗过程中，工作人员进入机房对患者进行定位摆位时也受到伽马刀机头泄露 γ 射线的照射。

污染源项描述

一、正常工况

1、6MeV 电子直线加速器

根据直线加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止，产生高能 X 射线，由于 X 射线贯穿能力强，将对机房周围环境和人员造成外照射。这种 X 射线随机器的开关而产生和消失。

本项目电子直线加速器的最高能量为 6MeV，0.6kV 以上的 X 射线便能使空气电离，本项目调试的 6MeV 医用电子直线加速器在调试过程中 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗机房。

2、⁶⁰Co 放射源

⁶⁰Co 放射源是运行期间的主要污染源，⁶⁰Co 在其衰变过程中产生 γ 辐射，能量为 1.17MeV 和 1.33MeV，平均能量为 1.25MeV。⁶⁰Co 的空气比释动能率常数为 $3.12 \times 10^{-13} \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

⁶⁰Co 放射源产生 γ 射线穿透能力强，在进行伽马刀放射治疗过程中聚焦头处于打开状态，将产生很强的外照射影响，对工作人员和机房周围公众产生一定的辐射危害；伽马刀未使用时，聚焦头处于关闭状态，从源体漏出的少量 γ 射线将对进入治疗室的工作人员（包括加速器治疗、伽马刀治疗中进行摆位的人员）产生辐射影响。

随着核素的自然衰变，⁶⁰Co 放射源的活度不断降低，当放射源辐射水平不能满足治疗肿瘤需要时，就必需更换放射源，从而产生报废或退役的放射源，计划由中核四 O 四有限公司进行回收。

伽马刀治疗过程中释放的 γ 射线使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物将通过通风装置排出治疗机房。

3、CBCT 图像引导系统模块

CBCT 图像引导系统模块的 X 射线机是随机器的开、关而产生和消失，X 射线在非工作状态下不产生射线，因此主要污染因子为 CBCT 系统工作时产生的 X 射线。

二、事故工况

1、当聚焦头产生故障的情况下，钨滚筒或准直器无法顺利关闭，将对机房内患者、周围环境及人员造成辐射照射。

2、在安全联锁系统故障或失效、防护门未关好的情况下开机，将导致射线泄漏，防护门外人员受到意外照射；

3、安全联锁失效、加速器或伽马刀运行过程中人员闯入，或者人员未退出机房的情况下开机，受到意外照射。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1、项目分区原则及区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），辐射工作场所应分为控制区及监督区，把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区。

本项目位于医技住院综合楼（即A楼）地下一层（无下层）北侧放疗中心的一间预留机房，根据机房周边的具体布局，将机房各屏蔽面内的所有区域划分为控制区，将控制室、机房周边走廊等划分为监督区。工作场所分区见图10-1。

该项目运行前医院应在控制区的进出口及其他适当位置外设立醒目的，符合规定的警告标志。采用适当的手段划出监督区的边界，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。定期审查控制区及监督区的实际状况，以确定是否需要采取防护措施和作出安全规定，或是否需要更改边界。非本项目工作人员不得进入控制区，公众不得进入监督区。

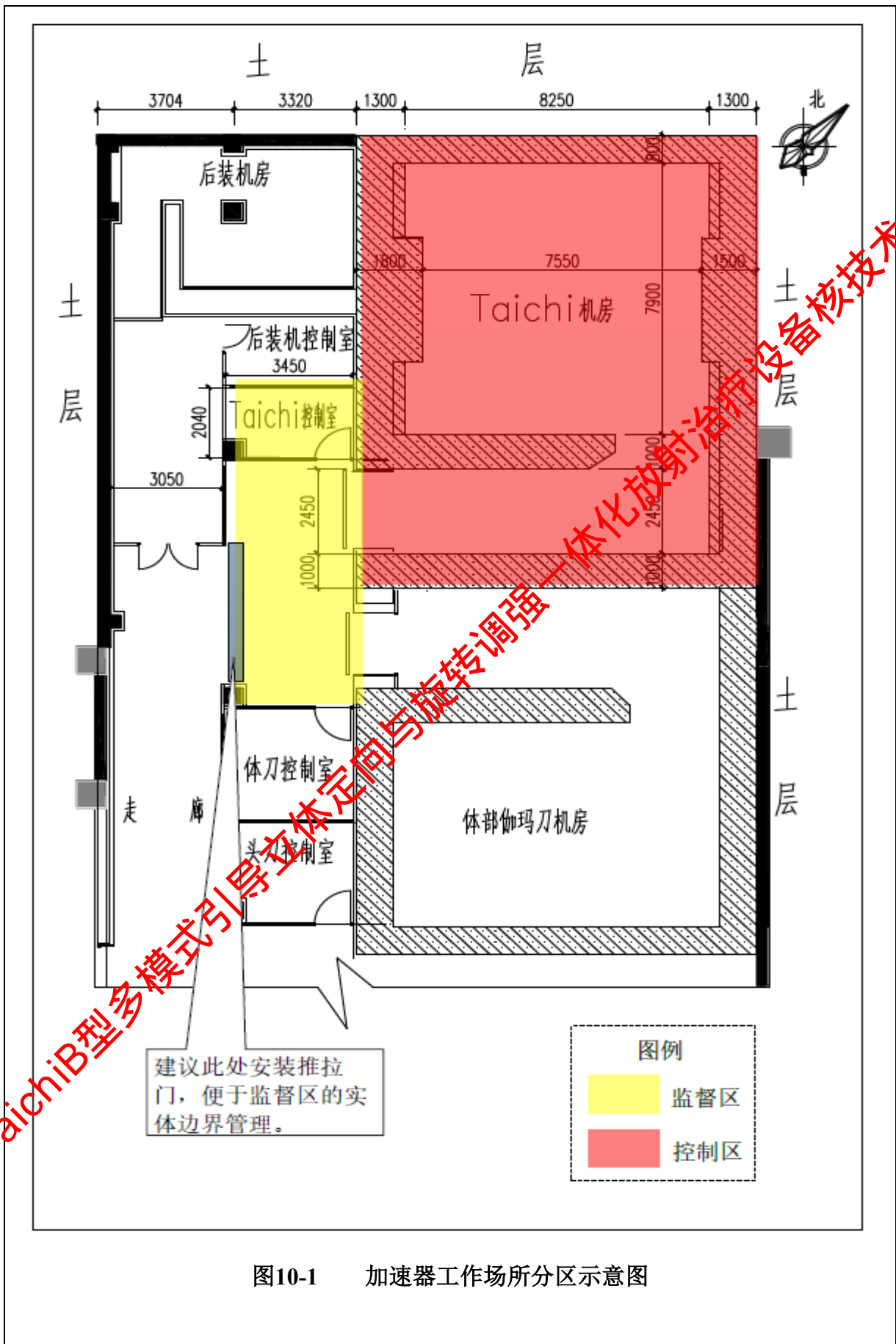


图10-1 加速器工作场所分区示意图

2、机房辐射屏蔽设计

根据建设单位提供的资料，对机房辐射屏蔽设计进行介绍：

(1) 机房布局：本项目TaiChiB多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统机房选址于医技住院综合楼（即A楼）地下一层（无下层）北侧放疗中心的一间预留机房。机房的北侧和东侧均为土层，控制室与机房分开布置，满足《医用 γ 射束远距离治疗防护与安全标准》（GBZ 161-2004）中“治疗室的设置应单独建造，当条件有限时可在建筑在多层建筑物底层的一端”和“治疗室须与控制室、检查室、候诊室等辅助设施合理布局、相互分开”的规定。

机房长7.90m，宽7.55m，高3.56m，使用面积59.645m²，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“新建治疗室不应小于45m²”和《医用 γ 射束远距离治疗防护与安全标准》（GBZ 161-2004）中“治疗室的面积须不少于30m²，层高不低于3.5m”的规定。

(2) 机房防护屏蔽设计见表10-1，机房剖面和平面图见图10-2、10-3。

表 10-1 机房辐射防护屏蔽设计参数

场所	项目	建设内容及规模	
1#加速器 机房	北墙	800mm 厚混凝土，北侧无建筑物，为土层	
	东墙	主屏蔽	长 3.6m，1500mm 厚混凝土
		次屏蔽	2.2m、5.55m，1300mm 厚混凝土
	南侧	迷道内墙	1000mm 混凝土
		迷道外墙	1000mm 混凝土
	西墙	主屏蔽	长 3.6m，1800mm 厚混凝土
		次屏蔽	2.2m、2.1m，1300mm 厚混凝土
	屋顶	主屏蔽	长 4.0m，1500mm 混凝土
		次屏蔽	1200mm 混凝土
		地板	500mm 混凝土，下方无建筑物，为土层
	防护门	15mmPb 铅当量防护门	

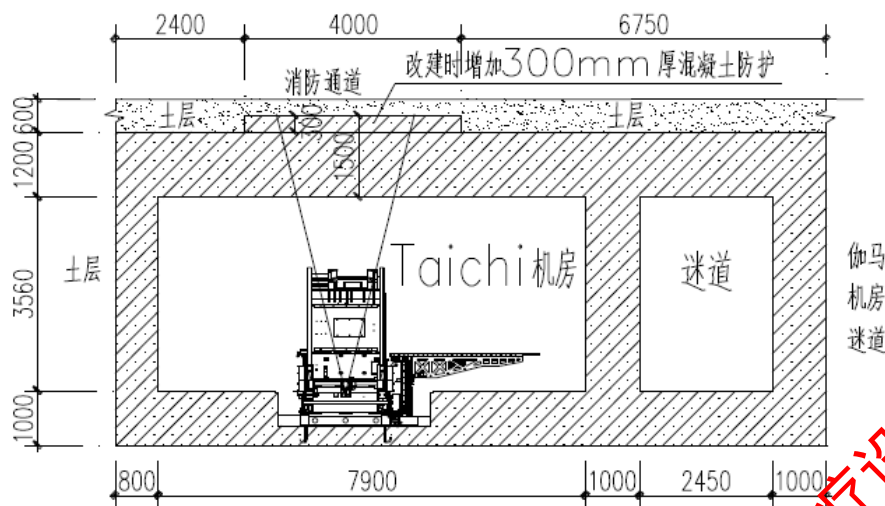


图10-2 机房防护布置剖面图

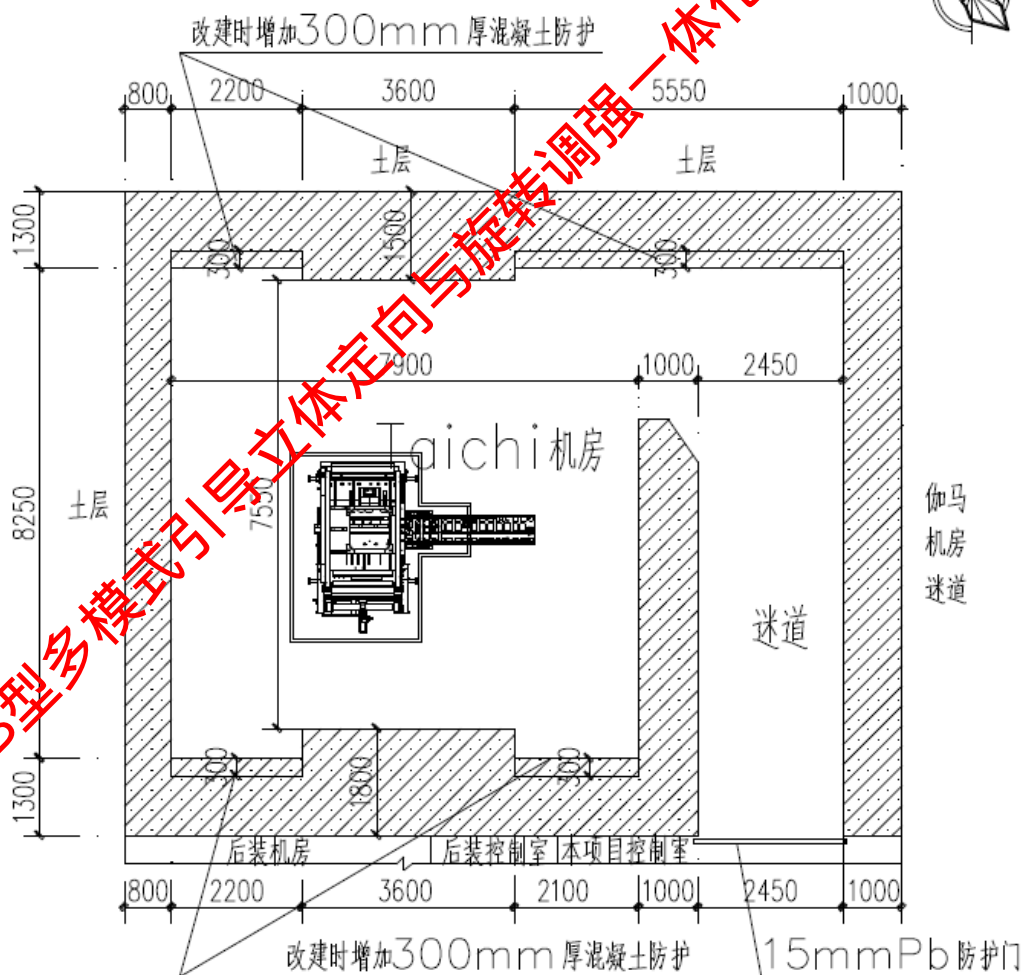


图10-3 机房防护布置平面图

(3) 机房入口处设置迷道和15mmPb防护门。有用线束不朝向迷道。

(4) 机房门口、迷道拐弯处和机房东墙各安装1个出束警告灯。

(5) 急停按钮：机房入口处、迷道拐弯处和东墙上各安装1个急停按钮，能够紧急停止放射源或加速器照射。

(6) 机房内设1个辐射监控器，1个辐射探测器，满足“ γ -刀治疗室应配置固定式剂量监测报警装置”的要求。

(7) 机房内正对设备的迷道内墙处，配备2台CCTV云台控制球形摄像机、1台监视器、1台对讲机；控制室内配备1台CCTV监视器和1台对讲机，便于治疗过程中观察患者状态和进行信息联络。

(8) 机房采用新风系统进行送风，排风口采用管道式轴流风机，风量为 $3700\text{m}^3/\text{h}$ ，可满足治疗室通风换气次数应不小于4次/h的要求。

(9) 应急指示灯布置：机房内设应急指示灯和疏散指示灯各1个。

项目机房通风、安全警示装置布置示意详见图10-4。

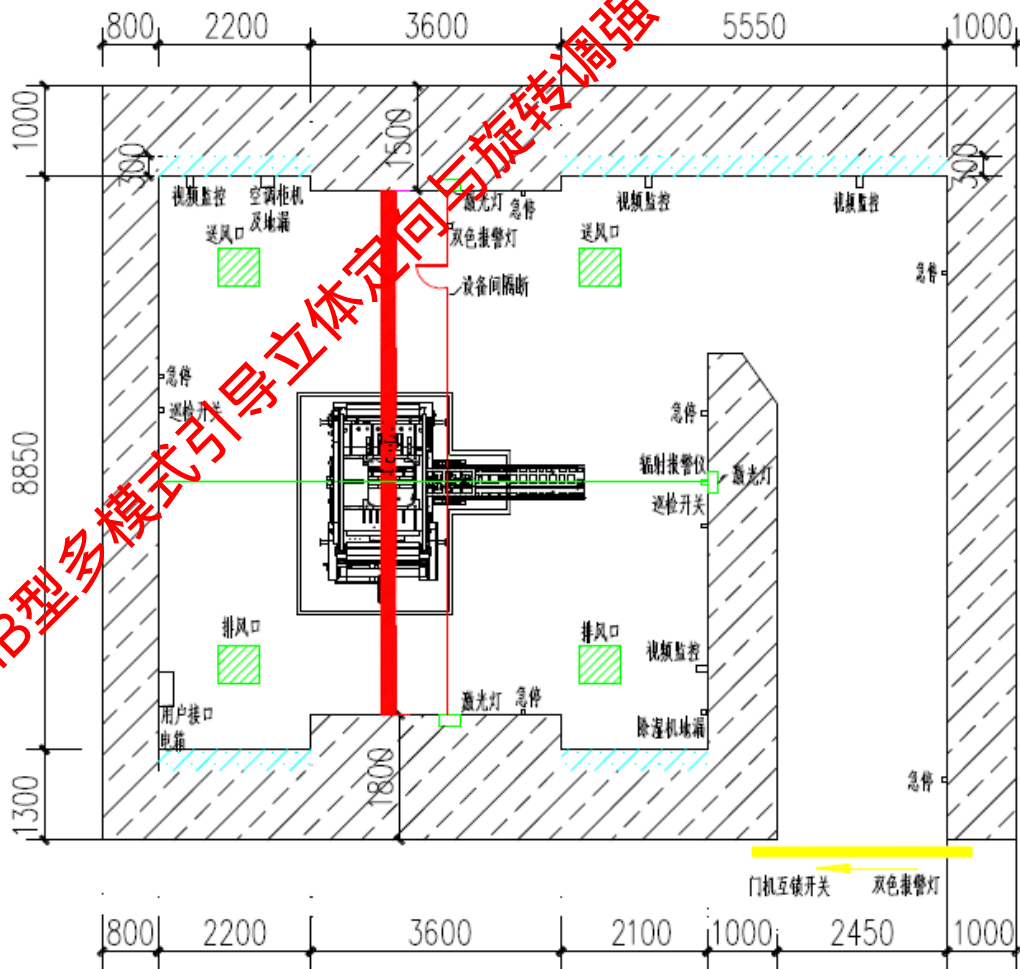


图10-4 机房通风、安全警示装置布置示意图

3、设备固有安全性

(1) 加速器治疗头自带防护措施

本项目6MeV加速器管90°方向为91mmPb、180°方向为86mmPb。射束对面的滚筒及底板屏蔽体为140mm铅+60mm钢。

加速器机头屏蔽体泄露辐射为0.1%，准直器泄露辐射为0.1%。

(2) 伽马刀聚焦治疗头自带防护措施

伽马刀聚焦头准直器结构为70mm钨+50mm钢，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面5cm任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过0.2mGy/h。

伽马聚焦头对面有平衡屏蔽锤体，不可伸缩。屏蔽平衡垂体由铅铋合金325mm（半值层按照13mm）加钢22mm组成，等效半值层为26个，阻挡能力是降低 6.7×10^7 倍。

(3) CBCT图像引导系统模块自带防护措施

CBCT图像引导系统模块屏蔽体为10mm厚钨铜合金，密度 $\geq 18\text{t/m}^3$ 。

(4) 设备自带的紧急停机按钮

设备主控制柜上设1个紧急停止按钮、机架接口电箱上设1个紧急停止按钮、两组侧壁控制器上各1个紧急停止按钮，操作台上设1个紧急停止按钮，可切断设备的动力电源。隔离变压器电箱上有1个设备紧急断电按钮，可切断总电源。所有紧急开关串联连接。

4、还需完善的其他安全措施

(1) 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。穿墙地沟在穿过辐射防护墙时，须成圆角R100mm角或转弯。设备电缆从电气柜进入穿墙地沟，穿墙到治疗区地坑，通过预埋穿线管与设备连接。其它用电设备电缆应从另外路径进入治疗区，出于辐射防护考虑，必须与墙面成45度角。穿墙地沟剖面图见图10-5。

通风口的设计需符合辐射防护要求，通风口应斜方向穿过墙体，并与射线方向垂直。位置尽量安排在治疗区防护门对角。空调管穿墙也依此原则，位置为设备非主射线方向，且距离通风口有一定距离。排风口和进风口在治疗室内对角线配置，排风口距离地面附近处，进风口位于顶棚。

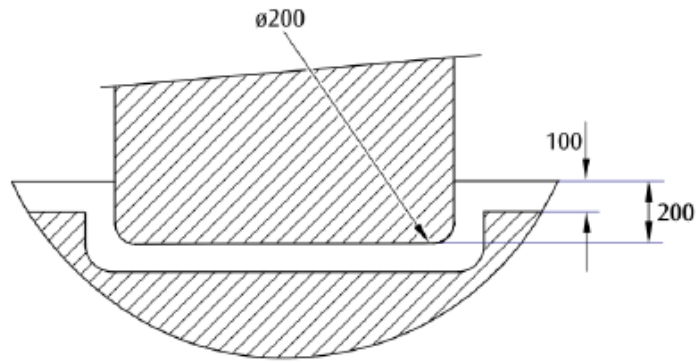


图10-5 穿墙地沟剖面图

(2) 机房外、治疗室内应张贴电离警示标志，伽马聚集头外表面应设置电离辐射警示标志；治疗室内应设置紧急开门按钮。

(3) 防护门应与放射源和加速器联锁，与放射源联锁设施应不少于两种。

(4) 机房门口工作状态指示灯应能够指示加速器和放射源的工作状态，放射源工作状态讯号灯应以黄色或橙色信号指示出束治疗，绿色信号指示非出束状态，红色信号指示紧急终止非预期运行状态。

(5) 本项目放射工作人员均应配备个人剂量计，并按要求佩戴。治疗过程中，现场至少要有两名放射治疗工作人员。

(6) 放射工作人员应经过辐射安全与防护培训和设备专业知识的相关培训，并经过考核合格后方可上岗。

(7) 工作人员应遵守各项操作规程，严格按照操作规程操作。

(8) 定期对门机联锁装置进行检查，发现异常及时妥善处理。

(9) 定期对放射性工作场所及其周围辐射水平进行监测，发现异常立即报告负责人，并采取有效措施妥善处理。

三废的治理

1、废气

项目运行期间产生的少量的臭氧和氮氧化物等有害气体。机房内拟安装新风系统和管道轴流风机，通风量为 $3700\text{m}^3/\text{h}$ ，设备机房体积约为 212m^3 ，每小时换气次数约为17次，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中要求“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”和《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》（GBZ 161-2004）

中“通风换气次数一般每小时3~4次”的要求。通过通风装置换气可以大大降低机房内臭氧、氮氧化物浓度。

2、固体废物

项目伽马聚焦头内安装18枚钴-60放射源，随着核素的自然衰变，放射源活度逐渐降低，当活度不能满足治疗需要时，需更换放射源，报废或退役的放射源由原厂家进行回收。

长安医院TaichiB型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备核技术应用项目

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

1、改建及装饰施工阶段

本项目机房为改建机房，目前正在建设阶段，尚未建设完成。建设阶段主要的污染因子有：噪声、废水、固体废物等。

(1) 噪声及防治措施

噪声主要来自于机房装修过程。通过选取噪音低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

(2) 废水及防治措施

建设阶段产生的废水主要为施工人员的生活污水。生活污水依托医院现有的生活污水处理系统，进入医院污水网管，处理达标后排入市政污水管网。

(3) 固体废物及防治措施

固体废物主要为装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的生活垃圾以及装修垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。

2、设备安装阶段

设备安装、装源及装源后的调试、检测和维修等由西安大医集团有限公司放射工作人员进行。在安装前西安大医集团有限公司会对机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后先进行设备及射线装置的安装调试，调试完成后才进行放射源安装、调试。

在设备安装、调试及装源阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各机房必须上锁并派人看守。在设备安装、调试及装源阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。

运行阶段对环境的影响

TaiChi B多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统分为2种使用模式，“加速器+CBCT治疗模式”和“伽马刀+CBCT治疗模式”，加速器和伽马刀不同时使用，CBCT主要用于三维成像，其最大管电压、最大管电流较小（150kV、64mA，距靶1m处最大剂量率 $<0.5\text{mGy/h}$ ），本项目机房防护条件在满足加速器（6MeV X射线）屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对CBCT开机产生X射线的防护，对辐射

环境影响较小，因此以下主要对加速器和伽马刀运行过程中的环境影响进行分析。

加速器治疗模式根据《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）中的相关内容进行估算；伽马刀治疗模式根据《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）中的相关内容进行估算。

一、基础参数

1、关注点设定

(1) 加速器治疗模式

在TaichiB多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统治疗室外设定关注点（关注点：在治疗室外、距机房外表面30cm处，选择人员受照剂量当量可能最大的位置作为关注点），由于机房所在区域无地下层、机房的北侧和东侧均为土层，人员无法停留，故上述位置不设关注点。本项目关注点的选取主要考虑可能对工作人员或公众产生影响的区域。

加速器治疗模式下关注点设定见图11-1、图11-2。

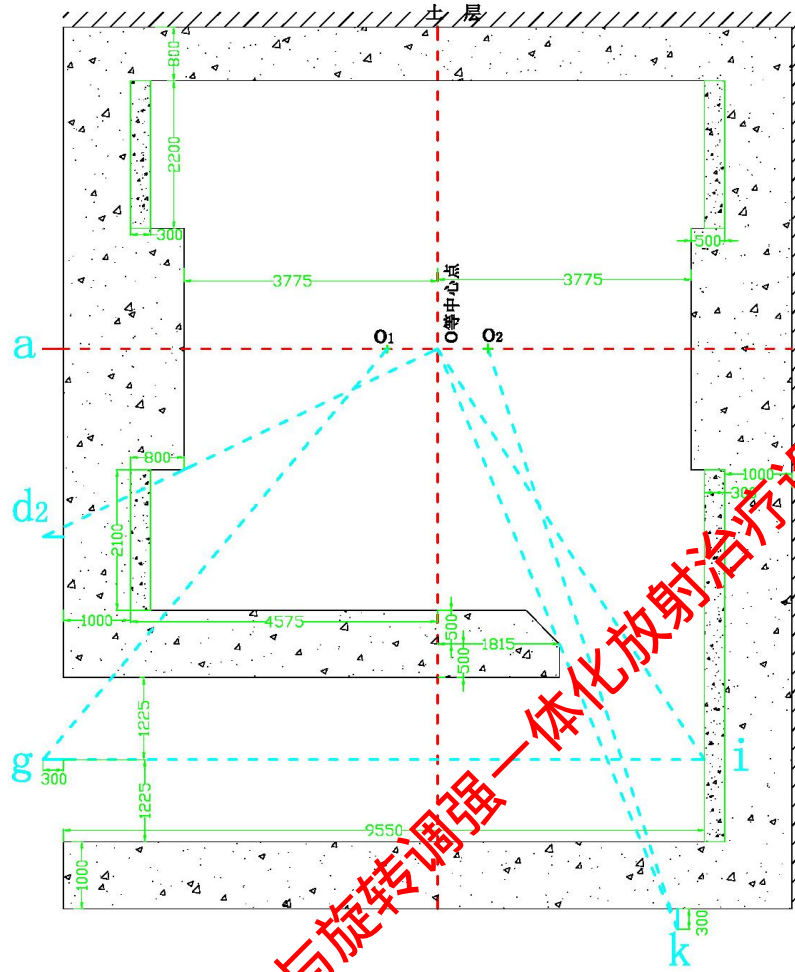


图11-1 机房四周关注点设定图

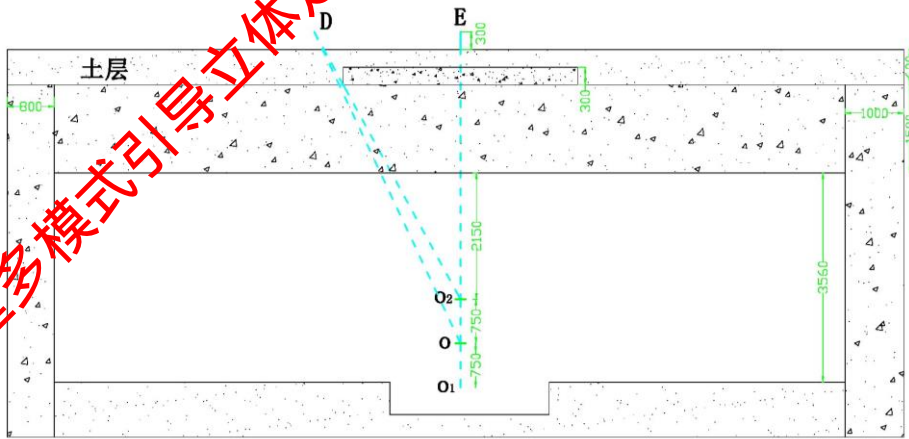


图11-2 机房屋顶关注点设定图

(2) 伽马刀治疗模式

伽马刀治疗模式下关注点设定见图11-1~图11-2。

由图11-1、11-2可知，设备在加速器和伽马刀治疗模式下关注点位置相同，g点在加速器治疗模式下考虑泄露辐射和患者一次散射辐射，在伽马刀治疗模式下考虑泄露辐射、患者一次散射辐射和泄露辐射一次散射辐射，其余关注点考虑的辐射束相同。

2、周工作负荷和周治疗时间

根据医院提供的资料，加速器治疗工作量为16人/天，每周工作5天，平均每野次治疗剂量为2Gy，照射4野次，周工作负荷 $W=16 \times 2 \times 4 \times 5=640\text{Gy/周}$ ，治疗照射时间 $t=640\text{Gy/周} \div 6\text{Gy/min}=106.7\text{min/周}=1.78\text{小时/周}$ ，按50周/年计，则出束时间为88.9h/a。治疗过程中，调强因子一般为2~4，《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）A.1.2显示，通常 $N=5$ ，因此本评价调强因子 $N=5$ 。

根据医院提供的资料，伽马刀治疗工作量为2人次/天，平均每人每次出束时间为30min，每周工作5天，则每周出束时间 $t=5\text{小时}$ ，每年按50周考虑，年出束时间为250小时。

周工作负荷和周治疗照射时间见表11-1。

表 11-1 两种治疗模式下的工作负荷

一、加速器治疗模式				
每天人次	周工作天数	单人次治疗剂量	单人次治疗时间	周治疗时间 t
16 人	5d	8Gy	3min	1.78h
二、伽马刀治疗模式				
每天人次	周工作天数	单人次照射时间	Do 设备最大照射剂量	周治疗时间 t
2 人	5d	30min	530cGy/min	5h

注：1、以每年 50 周计；2、泄露辐射的周治疗时间为 $t \times N$ 。

由表11-1可知，设备在加速器治疗模式下周治疗时间为1.78h，年治疗时间为88.9h；伽马刀治疗模式下周治疗时间为5h，年治疗时间为250h；设备周治疗总时间为6.78h，年治疗总时间为338.9h。

3、剂量率参考控制水平

(1) 加速器治疗模式

各关注点的剂量率参考控制水平由以下方法确定：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子，由《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A和机房外非控制区人员周剂量参考控制水平 $5\mu\text{Sv/周}$ 求得关注点的导出剂量率参考控

制水平 $H_{c,d}$;

b) 关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$:

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所, $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所, $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$;

c) 取a)、b) 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_c)。

加速器治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表11-2。

表 11-2 加速器治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点	辐射类型	使用因子 (U)	调强因子 (N)	居留因子 (T)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 计算值	最终取值 ($\mu\text{Sv/h}$)
a	西墙主屏蔽 墙外30cm (后装机控制室)	0.25	/	1	2.5	5	11.25	2.5
d2	西墙次屏蔽 墙外30cm (本项目控制室)	1	5	1	1.25	100	11.25	1.25
	患者一次散射辐射	1	5	1	2.5	100	11.25	2.5
k	南墙外30cm (伽马机房迷道)	1	5	1/4	5	5	2.25	2.25
	患者一次散射辐射	1	5	1/4	10	5	2.25	2.25
g	防护门外 30cm (走廊)	1	5	1/4	5	5	2.25	2.25
	患者一次散射辐射	1	5	1/4	10	5	2.25	1.12
E	顶棚主屏蔽 区上30cm处 (消防通道)	0.1	/	1/4	2.5	5	112.5	2.5
D	顶棚次屏蔽 区上30cm处 (消防通道)	0.1	5	1/4	1.25	5	2.25	1.25
	患者一次散射辐射	0.1	5	1/4	2.5	5	2.25	1.12

注: 1、U 使用因子参考同类项目, 射线投向地面的比例约为 0.4, 每面墙体 0.25, 屋顶 0.1, 下同。2、居留因子参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T 201.1-2007) (见表 7-2), 下同。3、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 201.1-2007) 附录 A A.2.2 复合辐射以 4.2.1b)、4.2.2a)、4.2.2b) 中的 $\dot{H}_{c,max}$ 的一半, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度; 将 A2.1b) 中的 (A.3 式中的 H_c 以 $0.5 H_c$ 代替, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度。

(2) 伽马刀治疗模式

伽马刀治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平根据《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）中4.1部分确定。

a) 使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，根据式（11-1）和机房外非控制区人员周剂量参考控制水平 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$;

$$H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-1)$$

b) 关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$:

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所， $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$;

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所， $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$;

c) 取a)、b)中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ H_c ）。

确定结果见表11-3。

表 11-3 伽马刀治疗模式下各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点	周工作负荷 $H_c(\mu\text{Sv}/\text{周})$	$t(\text{h})$	U	T	$H_{c,max}(\mu\text{Sv}/\text{h})$	控制水平 $H_c(\mu\text{Sv}/\text{h})$
a 西墙主屏蔽 墙外30cm (后装机控制室)	100	5	0.25	1	2.5	2.5
d2 西墙次屏蔽 墙外30cm (本项目控制室)	100	5	1	1	2.5	1.25
k 南墙外30cm (伽马机房迷道)	5	5	1	0.25	10	2
E 顶棚主屏蔽 区上30cm处 (消防通道)	5	5	1	0.25	2.5	2.5
D 顶棚次屏蔽 区上30cm处 (消防通道)	5	5	1	0.25	2.5	1.25
g 防护门外 30cm (走廊)	5	5	1	0.25	10	2

二、机房屏蔽体效果分析

1、加速器治疗模式

(1) 有用线束主屏蔽区宽度计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007），

宽束辐射的有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，可按式（11-2）确定。

$$Y_p=2[(\alpha+SAD)/\tan\theta+0.3] \quad (11-2)$$

式中：Y_p——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

α——等中心点至墙的距离，m。

估算结果见表11-4。

表 11-4 加速器治疗模式下机房主屏蔽范围计算表

机房	a (m)	SAD (m)	θ (°)	主屏蔽区范围理论计算的最小值 Y _p (m)	主屏蔽区范围设计值 (m)	结论
屏蔽墙体	3.7	1	13.9	2.87	3.6 (东墙) 3.6 (西墙)	满足要求
屋顶	3.5	1	13.9	2.78	4.00	满足要求

由表11-4可知，机房主屏蔽区范围满足加速器治疗模式下有用线束的屏蔽要求。

(2) 各面墙体屏蔽厚度核算

根据设备方及医院提供资料，加速器射束对面的滚筒及底板屏蔽体为140mm铅+60mm钢，屏蔽体与射束同步转动，有用线束经屏蔽体后再射向主屏蔽区墙体，因此对有用线束计算其经屏蔽体屏蔽后所需墙体厚度。

主屏蔽区、屋顶屏蔽主屏蔽（关注点a、E）仅考虑有用线束，计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。

与主屏蔽区相连的次屏蔽区、屋顶屏蔽主屏蔽及迷道外墙（关注点d2、D、k）需考虑泄露辐射和患者一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。

有用线束和泄露辐射屏蔽所需要的透射因子B按公式（11-3）计算，散射辐射的透射因子按式（11-4）进行计算，再按公式（11-5）估算所需要的有效屏蔽厚度X_e(cm)，再按照公式（11-6）获得屏蔽厚度X（cm）。

$$B=H_c \cdot R^2/(H_0 \cdot f) \quad (11-3)$$

$$B=H_c \cdot R^2/((H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400))) \quad (11-4)$$

$$X_e=TVL \cdot \log B^{-1}+(TVL_1-TVL) \quad (11-5)$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (11-6)$$

式中：

B —屏蔽投射因子；

H_c ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f —有用束为1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率；

α_{ph} —患者400 cm^2 面积上垂直入射X射线散射至距其1m（关注点方向）处的剂量比例，又称400 cm^2 面积上的散射因子；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角， $^\circ$ ；

TVL_1 和 TVL —辐射在屏蔽物质中的第一个半价层厚度和平衡半价层厚度，cm；

X_e —有效屏蔽厚度，cm；

X —墙体屏蔽厚度，cm。

估算结果见表11-5、11-6。由估算结果可知，加速器治疗模式下，机房各面墙的设计厚度满足理论计算最不利情况下的最小防护厚度。

表 11-5 加速器治疗模式下机房各面墙体主屏蔽区墙体屏蔽厚度核算

关注点	距离 (m)	$H_c(\mu\text{Sv/h})$	$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	经屏蔽体后 $H_0'(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	B	需要的屏蔽厚度 $X(\text{mm})$	设计厚度 (mm)	结论
西墙	a	2.5	3.60E+08	3.16E+05	3.73E-04	1172	1800	满足要求
屋顶	7.25	2.5	3.60E+08	3.16E+05	2.56E-04	1092	1500	满足要求

注：1、根据设备产品说明书，设备加速器管头 H_0 为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ （等中心处最高剂量率为 $6\text{Gy}/\text{min}$ ），后续计算均取此值。

2、屏蔽体为 140mm 铅+60mm 钢，根据 NCRP.151 附表 B.2，6MV 加速器有用线束对钢的 TVL 和 TVL_1 均为 100mm，对铅的 TVL 和 TVL_1 均为 57mm。

表 11-6 加速器治疗模式下机房次屏蔽区及迷道外墙屏蔽厚度核算

关注点	距离 (m)	Hc(μSv/h)	H ₀ (μSv·m ² /h)	B	θ(°)	需要的屏蔽厚度 X(mm)	设计厚度(mm)	结论		
西墙	d2	7.67	1.25	3.60E+08	1.09E-04	30	1039	1144	1300	满足要求
		7.67	1.25	3.60E+08	1.28E-05	26	1144			
迷道外墙	k	9.0	2.25	3.60E+08	5.06E-04	17	962	962	1000	满足要求
		9.3	1.12	3.60E+08	8.20E-05	23	790			
屋顶	D	4.5	1.12	3.60E+08	6.30E-05	35	1039	1157	1200	满足要求
		5.4	1.12	3.60E+08	8.19E-06	29	1157			

注：1、根据设备产品说明书加速器等中心处最大治疗野面积 F 为 40×40cm²。

2、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) 表 B.2, α_{ph} 取 2.77E-03; 查表 B.1 和 B.4, 有用束在混凝土中 TVL₁ 和 TVL 为 37cm、33cm, 泄露辐射在混凝土中 TVL₁ 和 TVL 为 34cm、29cm, 患者散射辐射对于混凝土 TVL 为 26cm。

3、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), 泄露辐射比率 f 为 0.1%; 附录 AA2.2 复合辐射 估算患者散射辐射及泄露辐射所需屏蔽厚度, 取两者屏蔽厚度较厚者作为该关注点的屏蔽设计。

(3) 防护门屏蔽厚度核算

防护门处的关注点g主要考虑泄漏辐射及患者散射辐射, 有用线束不向迷路内墙照射, 迷道入口g点的剂量H_{0g}小于g点剂量控制参考水平Hc的1/4时, 说明迷路内墙屏蔽厚度满足要求。在以上前提下核算迷路入口处防护门屏蔽厚度。

采用公式(11-7)估算迷路入口g点的患者一次散射辐射剂量, 再代入(11-8)估算透射因子, 再采用(11-5)、(11-6)估算防护门所需屏蔽厚度, 估算中, TVL₁=TVL, X_e=X (0°入射):

$$H_g = \alpha_{ph} \cdot (F/400) \cdot \alpha_2 \cdot A \cdot H_0 / (R_1^2 \cdot R_2^2) \quad (11-7)$$

$$B = (H_c - H_{0g}) / H_g \quad (11-8)$$

式中:

H—关注点g处的辐射剂量率, μSv/h;

H_g—关注点g处的患者一次散射辐射剂量率, μSv/h;

H_{0F}—经迷道内墙的泄露辐射到达F点处的剂量率, μSv/h;

α₂—墙入射的患者散射辐射的散射因子;

A—i处的散射面积m²;

R₁—第一次散射路径O-i, m;

R_2 —第二次散射路径i-g, m。

经迷道内墙屏蔽后到达F点的泄露辐射剂量估算结果见表11-7。

表 11-7 加速器治疗模式下迷道入口处泄露辐射剂量估算

距离 (m)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	θ ($^\circ$)	f	设计厚度	B	H_{0g} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
7.8	3.60E+08	51	0.005	100mm 混凝土 +15mmPb	4.21E-05	0.25

由表11-6可知，在泄露辐射情况下， H_{0g} 小于剂量率参考控制水平 H_0 的1/4 ($2.25/4=0.56\mu\text{Sv}/\text{h}$)，说明迷道内墙厚度满足屏蔽要求。

防护门屏蔽厚度估算结果见表11-8。

表 11-8 加速器治疗模式下防护门屏蔽厚度估算结果

R_1 (m)	R_2 (m)	α_2	α_{ph}	A (m^2)	H_g (μ Sv/h)	B	需要屏蔽厚度 Xe	设计屏蔽厚度	结论
7.3	9.7	0.022	1.39E-03	12.3	108.0	8.06E-05	11mmPb	15mmPb	满足要求

注： α_2 查《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)表B.3、B.6；散射面积A为12.3 m^2 。

由表11-8可知，在加速器治疗模式下防护门设计厚度满足理论计算最不利情况下的最小防护厚度。

2、伽马刀治疗模式

(1) 伽马刀聚焦头的屏蔽能力核算

根据设备的产品说明书，伽马聚焦头屏蔽体包括钨滚筒、箱体和准直器，根据屏蔽体设计厚度，对聚焦头照射方向15、16点，在关源状态下的屏蔽能力进行核算。

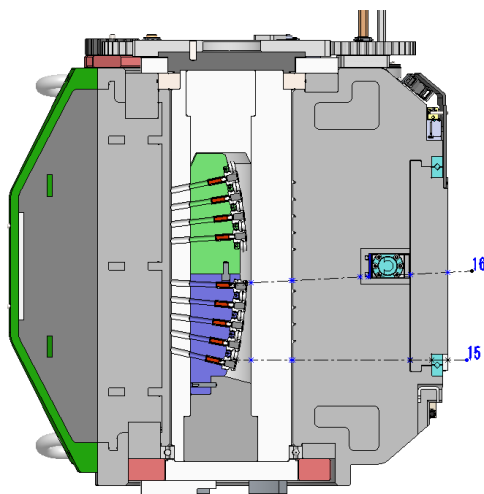


图11-3 伽马聚焦头屏蔽能力核算模拟点

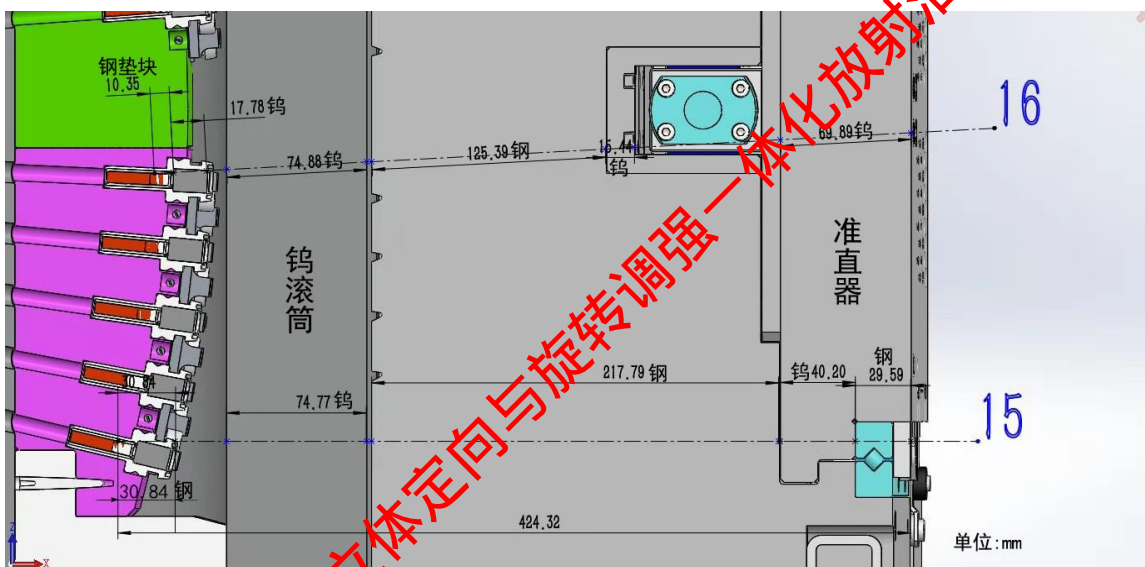


图11-4 伽马聚焦头屏蔽设计示意图

根据设备的说明书，伽马刀聚焦头使用钨、钢进行屏蔽， ^{60}Co 的空气比释动能率常数 K_{air} 为 $908\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。参考《辐射防护手册 第三分册》第30页中表2.12， ^{60}Co 对钨的半值层为9mm，什值层为31mm；对应铁的半值层为24mm，什值层为79mm。

使用半值层法估算放射源经屏蔽材料后的剂量率， n 个半值层的屏蔽厚度可使辐射减弱至 $1/2^n$ 倍。

表 11-9 伽马聚焦头屏蔽能力核算结果

模拟 点位	源关闭状态屏蔽体厚度		源到聚焦头表面5cm 处距离	聚焦头表面剂量率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	
	钢 (mm)	钨 (mm)		表面5cm处	表面1m处
15	278.22	114.97	469.37mm	55.4	11.7
16	135.74	177.99	456.06mm	28.0	5.8

由表11-9可知，本项目伽马刀聚焦头在源关闭状态下，距聚焦头表面5cm处的剂量率可以满足《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ168-2005）中“非治疗状态下设备周围的杂散辐射水平：距设备外表面5cm处 $\leq 200\mu\text{Gy/h}$ ，距设备外表面60cm处 $\leq 20\mu\text{Gy/h}$ ”。

(2) 各面墙体屏蔽厚度

有用线束和泄露辐射屏蔽所需要的透射因子 B 按公式（11-9）计算，散射辐射的透射因子按式（11-10）进行计算，再按公式（11-11）估算所需要的有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$ ，再按照公式（11-12）获得屏蔽厚度 $X(\text{cm})$ 。

$$B = H_c \cdot R^2 / (H_0 \cdot f) \quad (11-9)$$

$$B = H_c \cdot R_s \cdot R_0 / (H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)) \quad (11-10)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_I - TVL) \quad (11-11)$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (11-12)$$

式中：

B —屏蔽投射因子；

H_c —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离， m ；

f —有用束为1；对泄露辐射为泄露辐射比率；

R_s —等中心至关注点的距离， m ；

R_0 —放射源与等中心位置之间的距离， m ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上垂直入射X射线散射至距其 1m （关注点方向）处的剂量比例；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角， $^\circ$ ；

TVL_I 和 TVL —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度， cm ；

X_e —有效屏蔽厚度， cm ；

X —墙体屏蔽厚度， cm 。

根据设备产品说明书，伽马刀聚焦头对面有平衡屏蔽锤体，由325mm铅铋合金（半

值层按照13mm)加22mm钢组成,等效为26个半值层,阻挡能力是降低 6.7×10^7 倍,有用线束经屏蔽墙体后再射向主屏蔽区墙体,因此对有用线束计算其经屏蔽墙体屏蔽后所需墙体厚度。

主屏蔽区、迷道外墙(关注点a、D)仅考虑有用线束,与主屏蔽区相连的次屏蔽区(关注点d2)主要考虑患者一次散射辐射辐射泄漏,计算结果与设计厚度进行比较分析是否满足屏蔽厚度要求。

估算结果见表11-10、11-11。

表 11-10 伽马刀治疗模式下机房各面墙体主屏蔽区厚度核算

关注点	屏蔽考虑	距离(m)	Hc(μSv/h)	H ₀ (μSv/h)	f	B	需要的屏蔽厚度 X(mm)	设计厚度(mm)	结论
a	有用线束	6.6	2.5	2.61E+08	1	4.17E-07	1418	1800	满足要求
E	有用线束	6	2.5	2.61E+08	1	3.45E-07	1496	1800	满足要求

注:根据设备产品说明书,设备伽马刀使用放射源1m处H₀为 $1.79 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ (聚焦头初装源φ35准直器焦点剂量率为530cGy/min,焦点到源的距离为0.75m),后续计算均取此值。

表 11-11 伽马刀治疗模式下机房各面墙体次屏蔽区及迷道外墙屏蔽厚度核算

关注点	屏蔽考虑	距离(m)	Hc(μSv/h)	H ₀ (μSv/h)	f	B	需要的屏蔽厚度 X(mm)	设计厚度(mm)	结论	
d ₂	泄露辐射	5.8	1.25	2.61E+08	0.001	1.61E-04	747	977	1300	满足要求
	患者一次散射	6.5	1.25	2.61E+08	1	7.89E-06	977			
k	泄露辐射	9	2	2.61E+08	0.001	6.21E-04	691	968	1000	满足要求
	患者一次散射	9.3	2	2.61E+08	1	2.58E-05	906			
D	泄露辐射	5.1	1.25	2.61E+08	0.001	1.25E-04	768	1004	1500	满足要求
	患者一次散射	5.8	1.25	2.61E+08	1	6.28E-06	1004			

注:1、伽马刀聚焦头等中心处最大治疗野面积F为 $35 \times 35 \text{cm}^2$ 。
 2、本表关注点泄露辐射剂量率H₀*f根据《医用γ射线束远距离治疗防护与安全标准》(GBZ/T 161-2004)标准取 $20 \mu\text{Sv/h}$ (距放射源1m的任何位置上,不大于 0.02mGy/h)。
 3、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)表C.3,α_{ph}取30°时的值 $6.00 \text{E}-03$;TVL和TVL₁查表C.1和C.6,有用线束和泄露辐射在混凝土中为218mm、245mm,患者散射辐射TVL在混凝土中为213mm。

由表11-10、表11-11可知,伽马刀治疗模式下,机房各面墙、屋顶的设计厚度满足最不利情况下最小防护要求。

(3) 迷道内墙屏蔽厚度核算

依据GBZ/T201.3-2014中有用线束不向迷道内墙照射时,伽马刀泄露辐射经迷道

内墙屏蔽后在迷道入口g的辐射剂量，路径为“o₁-g”。核算结果取g处参考控制水平的1/4。计算结果见表11-12。

表 11-12 伽马刀治疗模式下机房迷道内墙屏蔽厚度核算

关注点	影响来源	路径	H _c (μSv/h)	R(m)	所需屏蔽厚度X(mm)	结论
g	泄露辐射	o ₁ -g	0.5	7.9	676	满足防护要求
	B	斜射角(°)	H ₀ (μSv/h)	f	设计厚度(mm)	
	1.20E-04	40	2.61E+08	0.001	1000	

o₁泄露辐射经迷道内墙屏蔽后，在迷道入口g处的辐射剂量率为：

表 11-13 伽马刀治疗模式下机房迷道入中 g 处辐射剂量率

计算点	影响来源	设计厚度(mm)	H ₀ (μSv/h)	R(m)	f	斜射角(°)	B	H _{og} (μSv/h)
g	泄露辐射	1000	2.61E+08	7.9	0.001	40	1.57E-07	0.006

由表11-13可知，伽马刀治疗模式下，迷道内墙的设计厚度满足屏蔽要求。

(4) 防护门屏蔽厚度核算

依据GBZ/T201.3-2014中有效线束不向迷道内墙照射时，迷路入口处的辐射剂量主要考虑：

① 受有用线束向下照射时，人体散射至i点的辐射并再次受墙的二次散射至g处的辐射，散射路径为“辐射源-o点人体-i-g”；

入口g处的散射辐射剂量率H_g按下式计算：

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot S}{R_2^2} \cdot \frac{H_0}{R_0^2}$$

式中：α_{ph}为400cm²面积上的散射因子，通常取散射角45°；

F为治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

α₂为混凝土墙对入射的患者散射辐射的散射因子，通常取i处的入射角为45°，散射角为θ₂；α₂值保守使用0.25MeV的值；

S为i处的散射面积，m²；

H₀为活度为A的放射源在距其1m处的剂量率，μSv/h；

R₁为“o-i”之间的距离，m；

R₂为“i-g”之间的距离，m；

R₀为放射源与等中心位置之间的距离，m。

② 至i点的泄露辐射受墙散射至g处的辐射，散射路径为“o₁-i-g”。入射到屏蔽

墙上的泄露辐射被散射至计算点的辐射剂量率 H_L ($\mu\text{Sv/h}$)按下式计算:

$$H_L = \frac{f \cdot H_0 \cdot S \cdot \alpha_w}{R_L^2 \cdot R^2}$$

式中: f 为治疗装置的泄露辐射比率, 通常取 10^{-3} ;

H_0 为活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

S 为散射面积, m^2 ;

α_w 为散射体的散射因子;

R_L 为泄露辐射始点至散射体中心点的距离, m ;

R 为散射体中心点至计算点的距离, m 。

表11-14 防护门处g关注点剂量率

影响来源	路径	α_{ph}	$F(\text{cm}^2)$	α_2	$S(\text{m}^2)$	$H_g(\mu\text{Sv/h})$	防护门处 累加剂量 率($\mu\text{Sv/h}$)
散射辐射	o1-o-i-g	3.7E-03	961.6	3.5E-02	12.3	3.47E+02	
		$H_0(\mu\text{Sv/h})$	$R_1(\text{m})$	$R_2(\text{m})$	$R_0(\text{m})$		
		2.61E+08	7.3	9.8	0.75		
泄露辐射 在屏蔽墙 的一次散 射	o-i-g	f	$H_0(\mu\text{Sv/h})$	$S(\text{m}^2)$	—	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	3.53E+02
		0.001	2.61E+08	12.3	—	6.39	
		α_w	$R_L(\text{m})$	$R(\text{m})$	—		
		1.02E-02	7.3	9.8	—		

③ 防护门g处的散射辐射能量约为 0.2MeV , 铅中的TVL值为 5mm , 防护门需要的屏蔽透射因子 B 按下式计算:

$$B = \frac{H_c - H_{og}}{H_g}$$

式中: H_c 为计算点剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

H_{cg} 为 o_1 位置穿过迷路内墙的泄露辐射在g处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_g 为入射g处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

表11-15 防护门处防护厚度估算

$H_c(\mu\text{Sv/h})$	$H_{cg}(\mu\text{Sv/h})$	$H_g(\mu\text{Sv/h})$	B	铅TVL (mm)	所需铅厚度 (mm)	设计厚度铅 门厚度(mm)	结论
2	0.006	3.53E+02	5.65E-03	5	11.2	15	满足

由表11-15可知, 伽马刀治疗模式下, 防护门的设计厚度满足屏蔽要求。

3、屏蔽厚度核算结果

(1) 设备运行状态

设备运行时处于加速器或伽马刀治疗模式下, 将上文估算的加速器治疗模式和伽

马刀治疗模式下各屏蔽体厚度理论估算值与设计值综合汇总见表11-16。

表 11-16 机房各屏蔽体理论计算值与设计值汇总表

屏蔽区		加速器治疗模式下 理论计算值 (mm)	伽马刀治疗模式下 理论计算值 (mm)	实际设计 值 (mm)	是否满 足要求
西 墙	主屏蔽区 (a)	1172	1418	1800	满足
	次屏蔽区 (d2)	1144	977	1300	满足
迷道外墙 (k)		962	968	1000	满足
防护门 (g)		11	11.2	15	满足
屋 顶	主屏蔽区 (E)	1092	1436	1500	满足
	次屏蔽区 (D)	1157	1004	1200	满足

由表11-16可知,在进行加速器治疗或伽马刀治疗的情况下,机房各墙体和防护门设计厚度满足最不利情况下的最小防护要求。

(2) 设备关机状态

当设备关机时,加速器不出束,伽马刀聚焦头处于关源状态,根据设备说明书,伽马刀聚焦头屏蔽体外表面5cm任一易接近位置由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过0.2mGy/h,满足《医用γ射束远距治疗防护与安全标准》(GBZ 161-2004)中“放射源置于贮存位置时,放射源防护屏蔽周围杂散辐射空气比释动能率的限值为:距放射源防护屏蔽表面5cm的任何可接近位置不大于0.2mGy/h”的要求。

不考虑机房的屏蔽作用,仅以距离进行估算,采用距离衰减公式(11-16)。

$$X=X_0 \left(R_0/R \right)^2 \quad (11-16)$$

式中:

X_0 —距离源 R_0 米处的剂量率, $\mu\text{Gy/h}$, 本项目为 0.2mGy/h ;

R_0 —与放射源的距离, m, 取 0.05m ;

R —计算点与放射源的距离, m;

X —距源 R 米处的剂量率, $\mu\text{Gy/h}$ 。

估算结果为:伽马聚焦头到机房外各关注点(4.5m~9.3m)的剂量率为 $5.78\text{E}-06 \sim 2.47\text{E}-05\text{mSv/h}$,远低于《医用γ射束远距治疗防护与安全标准》(GBZ 161-2004)中“治疗室的墙壁及顶棚必须有足够的屏蔽厚度,使距墙体外表面30cm的可达界面处,由穿透辐射所产生的平均剂量当量率低于 $2.5 \times 10^{-3}\text{mSv/h}$ ”的要求,因此机房在关机状态时也满足伽马刀聚焦头的屏蔽要求。

综上,设备机房在关机和开机治疗状态下均满足屏蔽要求。

三、运行期关注点剂量率估算

运行期设备有3种状态，设备关机状态、加速器治疗状态和伽马刀治疗状态。分别计算各状态下关注点处的剂量率。

(1) 设备关机状态下各关注点处剂量率

在设备关机状态下，将伽马刀聚焦头内18枚密封源近似为点源，根据屏蔽厚度和透射因子的转换公式（11-11）和距离衰减公式（11-16），取伽马聚焦头表面5cm的任何可接近位置杂散射辐射空气比释动能率为0.2mGy/h，以 $X_e=X(0^\circ \text{ 入射})$ 估算各关注点处的剂量率。

(2) 加速器治疗模式

在加速器治疗模式下，根据各屏蔽面的设计厚度，首先按式（11-17）估算有效厚度，再按式（11-18）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B；关注点剂量率(有用线束或泄漏)按式（11-19）计算；关注点剂量率（患者一次散射）按式（11-20）计算；防护门外剂量率采用式11-17计算。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-17)$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-18)$$

$$H = H_0 \cdot f \cdot B / R^2 \quad (11-19)$$

$$H = (H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400) \cdot B) / R^2 \quad (11-20)$$

$$H = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{leak} \quad (11-21)$$

式中：

H —关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_g —关注点g处的患者一次散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_{leak} —经迷道内墙的泄露辐射到达F点处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

各关注点处的剂量率再叠加伽马刀聚焦头关源状态时的剂量率（与设备关机状态一致），为实际加速器治疗模式下各关注点的剂量率。

(3) 伽马刀治疗模式

在伽马刀治疗模式下，根据公式（11-9）、（11-10）获得透射因子，再通过（11-11）、（11-12）获得除防护门外各点的剂量率。防护门外剂量率采用式11-21计算防护门外剂量率。

$$H = (H_{F1} + H_{F2}) \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{OF} \quad (11-21)$$

式中：

H —关注点F处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_{F1} —关注点F处的患者一次散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_{F2} —关注点F处的泄露辐射一次散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_{OF} —经迷道内墙的泄露辐射到达F点处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 各状态下估算结果汇总

估算结果汇总见表11-17。

表 11-17 设备运行期各关注点剂量率估算结果

关注点	H 设备关机状态 ($\mu\text{Sv/h}$)	H 加速器治疗模式($\mu\text{Sv/h}$)			H 伽马刀 治疗模式 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准 限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 满足	
		伽马刀聚焦 头关源状态	加速器出束 治疗状态	叠加结果				
西 墙	a	7.07E-16	7.07E-16	0.03	0.03	4.41E-02	2.5	满足
	d2	1.05E-15	1.05E-15	0.38	0.38	0.027	2.5	满足
迷道外墙 k	4.12E-16	4.12E-16	1.73	1.73	0.73	2.5	满足	
防护门 g	1.43E-07	1.43E-07	0.36	0.36	0.35	2.5	满足	
屋 顶	E	1.02E-15	1.02E-15	0.04	0.04	3.55E-07	2.5	满足
	D	1.08E-09	1.08E-09	0.05	0.05	0.003	2.5	满足

由表11-17可知，设备在关机状态下各关注点处的剂量率为 $4.12\text{E}-16 \sim 1.43\text{E}-07\mu\text{Sv/h}$ ；加速器治疗模式下各关注点处的剂量率为 $0.03 \sim 1.73\mu\text{Sv/h}$ ；伽马刀治疗模式下各关注点处的剂量率为 $3.55\text{E}-07 \sim 0.73\mu\text{Sv/h}$ 。

各状态下关注点的剂量率满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”和《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》(GBZ 161-2004)中“治疗室的墙壁和顶棚必须有足够的屏蔽厚度，使距墙体外表面30cm的可达界面处，由穿透辐射所产生的平均剂量当量率低于 $2.5 \times 10^{-3}\text{mSv/h}$ ”的标准要求。该设备运行期西墙、迷道、屋顶和防护门可以达到防护要求。

五、运行期个人剂量估算

(1) 公众人员剂量估算

各关注点的年附加有效剂量按公式11-18估算：

$$E = H \cdot U \cdot T \cdot W_T \cdot 10^{-3} \quad (11-22)$$

式中：

H—关注点的剂量当量， $\mu\text{Sv/h}$ ；

E—关注点的附加有效剂量， mSv/a ；

T—年工作负荷， h/a ；

U—居留因子；

W_T —组织权重因子，全身为1。

根据医院提供的资料，加速器模式年治疗工作时间为88.9h，伽马刀模式年治疗工作时间为250h，运行期公众人员的年附加有效剂量根据表11-17和公式（11-22）估算，估算结果见表11-18。

表11-18 运行期公众人员剂量估算结果

关注点	受照人群	U	T	加速器治疗模式		伽马刀治疗模式		年总受照剂量 E (mSv/a)	
				H($\mu\text{Sv/h}$)	t (h)	H($\mu\text{Sv/h}$)	t (h)		
西墙	后装机房及控制室 a	公众	0.25	1	0.03	88.9	4.41E-02	250	1.37E-02
	本项目控制室 d2	公众	1	1	0.38	88.9	0.027	250	4.05E-02
迷道外墙 k		公众	1	0.25	0.0001	1.73	0.73	250	4.56E-02
防护门 g		公众	1	0.25	0.50	0.36	0.35	250	3.30E-02
屋顶	E	公众	0.1	0.25	0.04	88.9	3.55E-07	250	8.89E-04
	D	公众	0.1	0.25	0.05	88.9	0.003	250	1.30E-03

由表11-18可知，运行期机房周围的公众受到的年附加有效剂量为 $8.89\text{E-}04 \sim 4.56\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本次环评提出的公众年剂量约束值（ 0.25mSv/a ），设备运行期公众受到的影响较小。

(2) 放射工作人员年附加有效剂量分析

放射工作人员在治疗前进入机房对患者进行摆位（包括加速器摆位和伽马刀摆位），在设备出束、患者进行治疗时位于控制室内。

① 患者治疗期间控制室内放射工作人员所受年有效剂量

本项目机房与控制室相连，以西墙次屏蔽外关注点d2的剂量率进行估算，加速器治疗模式下控制室内关注点剂量率为 $0.38\mu\text{Sv/h}$ ，伽马刀治疗模式下控制室内剂量率为

0.027 μ Sv/h，以加速器年治疗88.9h，伽马刀年治疗250h计算，控制室内放射工作人员年有效剂量为0.04mSv/a。

② 摆位所受年有效剂量

以单人次医生陪伴病人摆位1min进行计算，则放射工作人员每年进入治疗室的时间为1min \times (4000+500)人次/60=75h，根据设备产品说明书，伽马刀聚焦头屏蔽体外表面5cm任一易接近位置由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过0.2mGy/h，以放射工作人员摆位时距离聚焦头0.5m进行保守估算，则年受照剂量最大为75 \times 0.2 \times (0.05/0.5)²=0.15mSv/a。

综上，放射工作人员因本项目受到的年有效剂量为0.19mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及本次环评提出的年管理剂量约束值(5mSv/a)。

(3) 加速器治疗患者受到伽马刀放射源的年有效剂量估算

本项目设备兼具加速器和伽马刀治疗功能，二者不同时工作，在进行加速器治疗时，伽马刀聚焦头处于关源状态，但进行加速器治疗的患者仍然受到放射源的少量照射，因此对加速器治疗的患者受到的伽马刀放射源的年有效剂量进行估算。

根据设备说明书，伽马刀聚焦头屏蔽体外表面5cm任一易接近位置由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过0.2mGy/h，进行加速器治疗的患者具体治疗次数根据医生的处方确定，一般20~30次不等，每次照射时间取3min，则以每名患者治疗30次，受照总时长1.5h计算，受到的有效剂量为8.89E-4mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及本次环评提出的公众年剂量约束值(0.25mSv/a)。

六、臭氧影响分析

1、加速器治疗模式

在考虑通风情况下，加速器机房内空气中臭氧的平衡浓度Q(mg/m³)为：

$$Q=Q_0 \cdot T/V \quad (11-23)$$

式中：

Q_0 —臭氧的辐射化学产额，mg/h；

T —有效清洗时间，h；

V —加速器机房的体积，该项目取212.33m³。

臭氧的辐射化学产额 Q_0 (mg/h) 为:

$$Q_0=0.39 \cdot D_0 \cdot S \cdot R \cdot G \quad (11-24)$$

式中:

D_0 —距靶1m处的最大剂量率, 该项目取6Gy/min;

S —照射野面积, 该项目取0.16m²;

R —靶距机房墙的距离, 该项目取3.7m;

G —每吸收100eV辐射能量产生的臭氧分子数, 一般为6~10, 本次保守估算取10。

有效清洗时间 T (h) 为:

$$T=T_v \cdot T_d/(T_v+T_d) \quad (11-25)$$

式中:

T_v —换气一次所需的时间, h;

T_d —臭氧有效分解时间, 0.83h。

本项目机房通风量为3700m³/h, 机房每小时通风换气约9.6次, 换气一次所需时间为0.05h, 代入式(11-22)得有效清洗时间为0.05h。按式(11-21)和式(11-20)计算得加速器治疗模式下机房内空气中臭氧的平衡浓度为0.009mg/m³, 满足《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2007)中最高容许浓度0.3mg/m³。因此运行期加速器治疗模式下机房内臭氧浓度可以满足标准要求。

2、伽马刀治疗模式

根据《辐射防护手册》(第三分册), 假设在辐照期间无进行通风且无臭氧无分解, 臭氧在辐照室内均匀分布, 则机房内臭氧产额由下式进行估算。

$$Q_0=6.33 \times 10^{-4} \cdot A \cdot G \cdot V^{1/3} \quad (11-26)$$

式中:

Q_0 —照射时间内臭氧产额, mg;

A —钴-60放射源活度, 该项目取24000Ci;

G —空气吸收100eV的电离辐射能量产生的臭氧分子数, 取6;

V —伽马刀机房体积, 该项目取212m³;

根据以上公式估算臭氧产额, 再代入公式11-20、11-22, 计算得伽马刀治疗模式下机房内臭氧平均浓度为0.098mg/m³, 满足《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害

因素》(GBZ2.1-2007)中最高容许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

综上,运行期在任意一种治疗模式下,通过机房内轴流风机通风换气,机房内臭氧浓度均满足标准要求,对人体影响较小。

七、固体废物环境影响分析

本项目设备的检修、换装源等均由生产厂家完成,退役放射源由原厂家回收,对周围环境影响较小。

事故影响分析

1、该项目可能发生的辐射事故

本项目运行中可能发生的辐射事故如下:

(1) 机房安全联锁装置失效:因设备故障导致门机联锁装置失效,防护门未完全关闭即开机进行治疗,造成防护门外辐射剂量率升高,对防护门外活动人员产生不必要的照射;防护门未关闭人员误入治疗中的机房对其产生的不必要的照射。

(2) 工作人员误开机:机房内有人员滞留,工作人员误开机对滞留人员产生不必要的照射。

(3) 工作人员疏忽大意等,未按治疗计划剂量对患者进行治疗,对患者造成的一定的辐射影响。

(4) 设备故障,导致出束剂量与实际不符,对患者造成一定的辐射影响。

2、辐射事故影响分析

(1) 防护门未关闭或门机联锁失效状态

在防护门未关闭或门机联锁失效时,伽马刀治疗状态下,无防护门防护时此处辐射剂量率可以达到 $353\mu\text{Sv}/\text{h}$,人员在此处停留 0.84min 受到照射剂量为 $5\mu\text{Sv}$,即达到公众的周剂量限值 $5\mu\text{Sv}$;加速器治疗状态下,无防护门防护时此处辐射剂量率 $108.27\mu\text{Sv}/\text{h}$,人员在此停留 2.77min 即达到公众的周剂量限值 $5\mu\text{Sv}$ 。

(2) 机房内误照射

一旦人员误入或滞留机房,考虑人员受到泄露辐射的照射,在加速器治疗模式下,按照加速器距靶 1m 处最大剂量率 $6\text{Sv}/\text{min}$,泄露比率为1%进行估算,人员在距靶 2m 处停留 8s 即受到约 1mSv 照射剂量,达到公众年剂量管理限值 1mSv ;在伽马刀治疗模式

下，按照伽马聚焦头距放射源0.75m处焦点剂量率5.3Gy/min，泄露比率1%估算，人员在距聚焦头2m处停留1.34min即受到1mSv照射剂量，达到公众年剂量管理限值1mSv。

根据以上估算结果可以看出，事故状态下，短时间内即可对人员产生较大辐射影响，因此医院在日常工作过程中应做好日常检查维护，确保连锁装置、监控设施的有效性。加强管理，避免此类事故的发生。

3、采取的风险防范措施

针对该项目可能发生的辐射事故，采取以下风险防范措施：

(1) 定期认真地对设备和放射源的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

(2) 医院需制定严格的操作规范，运行期必须按操作规程执行，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

(3) 定期对设备、放射源的安全装置进行维护保养，确保设备处于正常工作状态。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年修改版），辐射工作单位应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员，因此，医院已成立了辐射防护管理委员会，并指定辐射管理人员职责。

人员组成：主任：郭宏林

副主任：唐华、蒋向农、党寅虎、崔立春、张晓峰委员：王琦、高建新、张巧玲、许艳、彭胜、贾晓康、马斌、汪洋秘书：周晓玲（办公室设在医工科）。

该领导小组应全面负责医院的辐射诊疗管理工作及相关工作，主要包含以下职责：对医院辐射安全和防护工作以及环境保护工作进行管理、监督和技术指导；负责辐射安全与环境保护日常事务的管理，统筹规划、督导、推行及定期检讨放射防护计划。

同时，医院也成了放射事故应急小组，负责放射防护和辐射事故应急处理具体措施的落实、实施、负责辐射事故报告工作。

辐射安全管理规章制度

长安医院有限公司已制定《辐射安全防护管理制度》《放射性工作安全制度》、《放射治疗室工作人员及伤病员的防护制度》、《放疗科设备维护检修制度》、《个人剂量监测管理制度》、《放射工作人员职业健康检查制度》、《放射工作人员培训教育管理制度》、《长安医院放射事故应急预案》、《放射事故报告制度》等规章制度

医院现有辐射安全和防护制度的建立落实、档案管理等方面运行正常，建议进一步完善安全操作规程、明确岗位职责、人员培训计划、监测计划等相关制度。

针对本项目，医院应制定多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统操作规范、相关岗位职责，并将本项目纳入应急预案、工作场所定期监测制度、放射性工作场所管理规定、放射性“三废”及废旧放射源处理等相关管理制度中。

人员培训和健康管理

1、人员培训

根据长安医院提供的资料，医院严格按照国家相关规定，所有从事放射工作的人员需参加相关部门的培训，长安医院共有辐射工作人员 80 人（含本项目拟设置的 7

名辐射工作人员), 均已参加了陕西省核安全局组织的辐射安全与防护培训, 培训均合格, 并取得培训合格证书。

本项目拟配备工作人员均从现有放射工作人员中调配, 所有人员均已取得《军队放射工作人员证》。

2、健康管理

长安医院已建立了放射工作人员健康体检档案, 2019 年已委托核工业四一七医院进行职业健康体检。截止目前为止未出现因从事放射工作而造成的放射职业病。

医院为每名放射工作人员配备了个人剂量计, 建立了全院放射工作人员个人剂量档案。根据医院提供的 2018 年 6 月~2019 年 6 月 4 个季度放射工作人员个人剂量监测报告(陕西高科辐射防护技术服务有限公司出具), 个人剂量未见异常。

医院现有的人员培训制度和健康管理制较为完善, 本项目放射工作人员均已纳入现有制度管理体系。

辐射监测

根据《放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求, 医院须对使用射线装置、辐射工作场所及放射从业人员开展辐射监测工作, 以确保辐射从业人员的职业健康, 控制放射性物质的照射, 保障环境安全, 规范辐射工作防护管理。

1、个人剂量监测

所有辐射工作人员均配备个人剂量计, 定期监测, 并建立了完善的个人剂量档案, 根据医院提供的最近一年的个人剂量检测结果统计, 长安医院现有放射性同位素与射线装置场所防护效果良好, 个人累积剂量均未超过标准限值要求, 均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量限值要求。

2、年度常规监测

根据《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) 的相关规定, 使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范, 对相关场所进行辐射监测, 并对监测数据的真实性、可靠性负责; 不具备自行监测能力的, 可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

医院将严格执行辐射监测计划, 定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对医

院的辐射工作场所进行年度监测。年度监测数据将作为本单位辐射安全和防护状况年度评估报告的一部分，每年1月31日前上报环保行政主管部门。

3、辐射工作场所监测计划

本项目投运后，日常工作中应使用辐射监测剂量仪定期对机房进行工作场所监测，在机房各屏蔽面关注点处进行监测，建立日常监测档案，发现异常立刻排查。同时每年应委托有资质单位对本项目设备工作场所进行监测并出具监测报告。

长安医院TaichiB型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备核技术应用项目

辐射事故应急

医院已成立了辐射环境安全管理领导小组和办公室，负责医院辐射安全防护和放射事故应急处置工作。医院已制定了《辐射安全应急预案》，当发生放射事故时由辐射环境安全管理领导小组组织有关部门人员进行事故的应急处理，并及时向环保、卫生、公安部门报告事故情况。辐射环境安全管理领导小组召集专业人员，制定事故处置方案，迅速安置受照人员就医，组织放射事故影响区域内人员撤离，及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。放射事故处理结束查找事故发生原因，吸取经验教训采取相应措施避免此类事故的再次发生。

医院运行至今，未发生放射性事故。医院应继续保持严格的管理，后续还需加强放射事故的应急演练工作，并根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 653 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》（环发〔2006〕145 号）、《突发环境事件信息报告办法》（环保部令 第 17 号）和陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》陕环办发〔2018〕29 号文件的有关规定，及实际工作中发现的问题，不断补充修改完善《放射事故应急预案》，一旦发生放射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。

环保投资和竣工验收清单

该项目建成运行前，长安医院应严格按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》自主开展环境保护验收。竣工验收清单见表 12-1。

表 12-1 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收项目	采取措施	效果和环境预期目标
1	辐射防护设施验收	机房墙体、屋顶、防护门能否达到防护技术要求；	在防护门处、屋顶和机房墙外 30cm 处的周围空气吸收剂量率不大于 2.5 μ Sv/h； 对工作人员、公众所致有效剂量低于相应人员年剂量限值(工作人员 5mSv/a，公众 0.25mSv/a)
2	安全设施	门机联锁装置、放射源与防护门联锁装置（不少于两种）、监视和对讲设备、机房和控制室分别设置急停开关、机房入口处安装醒目的照射指示灯及辐射标志、机房内设置紧急开门按钮、便携式剂量监测报警装置	满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）、《医用 γ 射束远距离治疗防护与安全标准》（GBZ 161-2004）、《X、 γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GBZ 168-2005）等要求、避免辐射事故的发生
3	通风设施	机房安装通风设施	核实通风设施通风量，确保机房通风换气次数不小于 4 次/h
4	辐射监测	对项目运行过程中工作人员、公众活动区域辐射水平进行监测； 工作人员按需求佩戴个人剂量计；配备相应辐射监测仪器	避免对环境造成辐射污染，保护职业人员、公众免受不必要的辐射
5	档案管理	定期对工作场所进行监测；定期对个人剂量进行检测；定期安排工作人员进行体检	建立监测档案、个人剂量档案和健康档案
6	管理机构	成立辐射安全管理机构，落实相关管理职责	成立辐射安全管理机构文件，确立辐射安全责任人
7	建立健全规章制度	相关《岗位职责》、《操作规程》、《辐射安全制度》、《辐射事故应急制度》等	不断补充完善相关规章制度和应急预案，并张贴上墙
8	培训及人员配备	制定培训计划，放射工作人员和辐射安全负责人参加辐射安全和防护知识培训	提高放射工作人员的技术水平，持证上岗

表 13 结论与建议

结论

为进一步改善当地医疗环境，医院拟引进 1 台 TaiChi B 型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统，该设备包含 1 个 6MeV 医用加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头（内含 18 枚 4.699×10^{13} ($1 \pm 10\%$) Bq 的钴-60 放射源）和 1 个 CBCT 图像引导系统模块，三者位于同一个滚筒中，可为人体相关病灶和肿瘤提供立体定向放射外科治疗与高精度放射治疗。设备拟安装于医技住院综合楼地下三层（无下层）北侧放疗中心的一间预留机房，预留机房正在改建，尚未投入使用。

1、辐射安全管理结论

长安医院已按照相关法规标准要求成立了辐射环境安全管理工作领导小组，负责医院辐射安全管理工作。医院《辐射安全防护管理制度》《放射性工作安全制度》、《放射治疗室工作人员及伤病员的防护制度》、《放疗科设备维护检修制度》、《个人剂量监测管理制度》、《放射工作人员职业健康检查制度》、《放射工作人员培训教育管理制度》、《长安医院放射事故应急预案》、《放射事故报告制度》等规章制度和《放射事故应急预案》，建议进一步完善安全操作规程、明确岗位职责、人员培训计划、监测计划等相关制度。

针对本项目，医院应制定多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统操作规范、相关岗位职责，并将本项目纳入应急预案、工作场所定期监测制度、放射性工作场所管理规定、放射性“三废”及废旧放射源处理等相关管理制度中。

2、辐射防护分析结论

根据估算结果，在进行加速器治疗或伽马刀治疗的情况下，机房各墙体和防护门设计厚度满足最不利情况下的最小防护要求。

3、环境影响分析结论

经估算，运行期机房各屏蔽墙体、屋顶和防护门在设备关机和开机治疗状态下均满足屏蔽要求。

设备在加速器治疗模式下各关注点处的剂量率为 $0.03 \sim 1.73 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。在伽马刀治疗模式

下各关注点处的剂量率为 $3.55E-07\sim 0.73\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；关机状态下各关注点处的剂量率为 $4.12E-16\sim 1.43E-07\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准》（GBZ 161-2004）中“治疗室的墙壁及顶棚必须有足够的屏蔽厚度，使距墙体外表面30cm的可达界面处，由穿透辐射所产生的平均剂量当量率低于 $2.5\times 10^{-3}\text{mSv}/\text{h}$ ”的标准要求。

根据计算，运行期机房周围的公众受到的年附加有效剂量为 $8.89E-04\sim 4.56E-02\text{mSv}/\text{a}$ ，放射工作人员年有效剂量约为 0.19mSv ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本次环评提出的公众年剂量约束值（ $0.25\text{mSv}/\text{a}$ ）、职业人员年管理剂量约束值（ $5\text{mSv}/\text{a}$ ）。

该项目机房安装通风设施通风量可达到每小时4次以上，参照《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2007）机房内臭氧浓度可以满足要求。项目退役放射源由原厂家回收，对周围环境影响较小。该项目运行后对周围环境和人员产生的辐射影响可以控制在标准范围之内。

4、环境可行性结论

该项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第21号《产业结构调整指导目录（2019年）》鼓励类中“六、核能、同位素、加速器及辐照应用技术开发项目”，符合国家相关法律法规和政策的规定，符合国家产业政策。

本项目主要用于医院患者治疗，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

综上所述，长安医院多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗系统项目的实践活动理由正当，在严格执行国家相关法律、法规及相关标准的要求，切实落实本报告表中提出的污染防治措施和建议后，该项目对放射性工作人员和公众产生的辐射影响可以控制在国家标准允许的范围之内。从环境保护和辐射防护角度分析，该项目是可行的。

建议和承诺

(1) 项目竣工后建设单位应对本项目配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收合格后方可投入运行。

(2) 定期对门机联锁、监视对讲设备、急停开关、照射指示灯和紧急开门装置进行检查，确保其工作正常。

(3) 定期对机房周围辐射水平进行日常监测并保存记录，发现数据异常及时采取有效措施妥善处理。

(4) 不断完善相关的规章制度、操作规程和应急预案。严格按操作规程进行，避免因操作不慎造成的事故的发生，发生事故时能及时按照应急预案进行处理，使事故影响降至最低。

(5) 将本项目设备使用过程的安全和防护状况纳入年度评估，并于每年1月31日前向辐射安全许可证颁发部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

长安医院TaichiB型多模式引导立体定向与旋转调强一体化放射治疗设备核技术应用项目

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日