

表 1 项目基本情况

建设项目名称		医用直线加速器项目				
建设单位		西安交通大学第一附属医院				
法人代表	施秉银	联系人	潘勇峰	联系电话	029-85323289	
注册地址		西安雁塔西路 277 号				
项目建设地点		西安市雁塔区朱雀大街与雁塔西路十字西北角西安交通大学第一附属医院内				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	500	项目环保投资 (万元)	200	投资比例 (环保投资/总投资)	40%	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	250	
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类			
		☐ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备PET用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☒ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类			
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类			
	其他					

1 项目概述

1.1 医院概况

西安交通大学第一附属医院是国家卫生计生委委管大型综合性三级甲等医院，是全国首批暨陕西省首家“三级甲等医院”、全国首批“百佳医院”，自 1956 年建院以来，坚持以精湛的医疗技术、严谨的治学态度、求实的科研作风和优秀的服务品质开展医疗、教学和科研工作，各项事业不断发展。医院开放床位 2541 张，医疗设施完善，设备先进，医疗技术和服务水平在西北地区居领先地位。

医院目前在职职工 3778 人，其中高级技术职称专业技术人员 502 名，双聘院士 1 名，“千人计划”学者 1 名，“杰青”2 名，“优青”1 名，教育部创新团队 1 个，国家“百千万人才工程”一、二层次入选者 1 名，省部级突贡专家 7 名，教育部新世纪优秀人才 10 名，享受国务院政府津贴专家 13 名。

医院学科设置齐全，泌尿外科（含肾移植科）为教育部国家重点学科；皮肤科为教

教育部国家重点培育学科；产科、重症、心内、普外、泌外、呼吸、肾内、肿瘤、医学影像、感染、骨科、检验、器官移植、老年病为国家临床重点建设专科；泌尿外科（含肾移植科）、心血管内科、妇产科、中医科、肿瘤外科、内分泌科 6 个学科为省级重点学科；影像医学、普外科、肝胆外科、传染科、神经外科、呼吸内科、血液内科 7 个学科为省级优势学科；心血管疾病、肾脏移植、呼吸、内分泌、血液、血液净化、麻醉、病理诊断、护理和消毒供应等 11 个专业为陕西省质量控制中心。

医院秉承“厚德、博爱、精医、卓越”的院训精神，坚持“生命至上，服务第一，爱院敬业，求实创新”，注重提高岗位管理、医疗技术、人才培养、科学研究、服务品质、经济保障等方面的竞争实力，争取医院早日成为重点学科齐聚、名医专家荟萃、医疗技术领先、转化能力突出、质量安全第一、服务水平一流的世界知名高水平大学的附属医院和国家区域性医学中心。

1.2 项目建设规模

西安交通大学第一附属医院拟在院区西侧建设医用直线加速器机房一座，建设时需拆除原后装设备用房部分区域，在原后装设备用房的东侧新建医用直线加速器机房 1 座，配备 1 台直线加速器（10MV、属 II 类射线装置），同时建设其他配套辅助用房。本项目配备 2 名放射工作人员，均由院内原有的放射科工作人员调配而来。本项目区域位置图见附图 1。

项目组成见表 1-1。

表 1-1 项目组成一览表

项目	组成	备注
直线加速器机房	1F，占地面积 250m ² ，总建筑面积 250m ² ，包括治疗室、控制室、水冷机房、候诊室等。	新建， 拟购直线加速器 1 台

1.3 项目由来

目前，医院为了加强医疗能力，提高诊疗水平，更好服务于患者，计划新购置 1 台医用直线加速器，同时新建直线加速器机房 1 座。本次评价包含的射线装置见表 1-2。

表 1-2 医用射线装置一览表

装置名称	规格型号	类别	状态	数量	所在场所
医用直线加速器	Versa HD	II	新增	1	新建直线加速器机房内

根据《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许可

管理办法》的有关规定，本次环评涉及的 1 台射线装置种类和范围根据《射线装置分类办法》属于Ⅱ类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》应进行环境影响评价，并编制环境影响报告表。

2016 年 9 月，西安交通大学第一附属医院正式委托陕西科荣环保工程有限责任公司对该医院射线装置的辐射环境影响进行评价。我公司在接受委托后，随即组织有关技术人员进行现场踏勘并收集相关资料，在对基础资料的分析和现状的调研，依据《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报告文件的内容和格式》（HJ/T10.1-2016），编制了《西安交通大学第一附属医院医用直线加速器项目环境影响报告表》。

1.4 项目周围环境

本项目拟建直线加速器机房位于园区西侧，直线加速器机房北侧、东侧约 2m 为西北伽马刀治疗大楼，西侧紧邻原放疗加速器机房后装设备用房，南侧 15m 为肿瘤放射治疗一病区。本项目位于西安交通大学第一附属医院院区内，无环境遗留问题，对生态环境影响较小。

1.5 医院现有辐射应用项目情况

西安交通大学第一附属医院已于 2011 年委托陕西椿源辐射咨询服务有限公司对其使用的射线装置及放射源进行了环境影响评价，并取得了环评批复（陕环批复[2011]572 号）。2014 年 10 月 27 日取得陕西省环保厅核发的辐射安全许可证，证书编号：陕环辐证[00073]，核准的种类和范围为：使用Ⅰ、Ⅲ类、Ⅴ类密封放射源，使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，生产、使用乙级、丙级非密封放射性物质（详见附件 2），具体见表 1-3。

表 1-3 陕环辐证 00073 核准使用的密封放射源、非密封放射物质和射线装置

(一) 放射源				
序号	放射源名称	放射源类别	批准的活度	活动种类
1	^{22}Na (1 枚)	V	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$	使用
2	^{22}Na (6 枚)	豁免	$3.7 \times 10^5 \text{Bq}$	使用
(二) 非密封放射性物质				
序号	工作场所等级	非密封放射物质	批准的日等效最大操作量	活动种类
1	乙级	^{18}F	$5.92 \times 10^7 \text{Bq}$	使用
(三) 射线装置				
序号	射线装置名称	射线装置类别	射线装置数量	活动种类

1	数字血管造影机（DSA）	II	5 台	使用
2	直线加速器	II	2 台	使用
3	16 排 CT	III	1 台	使用
4	PET-CT	III	1 台	使用
5	X 线拍片机	III	1 台	使用
6	牙片机	III	2 台	使用

陕西科荣环保工程有限公司

表 2 放射源

[illegible]

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）

[illegible]

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》(GB 18871-2002)

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	Versa HD	电子	10	600cGy/min	放射治疗	直线加速器机房	拟购

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三)中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μ A)	中子强 度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

陕西科荣环保工程有限公司

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
加速器 废靶	固态	/	/	/	/	/	暂无（加速器退役或更换靶时产生废靶）	经环保部门监测达到清洁解控水平作为一般废物处理，否则应作为放射性废物交城市放射性废物库处置。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2016 年 9 月）； (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月）； (3) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 253 号令）； (4) 《放射性同位素与射线装置放射防护条例》（国务院第 449 号令）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局第 31 号令）； (6) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定（国家环境保护部第 3 号令）； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部 18 号令）； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2015 年 6 月）； (9) 国家环境保护总局公告《射线装置分类办法》（2006 年第 26 号）； (10) 《陕西省放射性污染防治条例》（2014 年 10 月 1 日）；
技术标准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (2) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）； (3) 《医用 X 射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2002）； (4) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）； (5) 《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）； (6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001） (7) 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响报告文件的内容和格式》（HJ/T10.1-2016）。
其他	(1) 西安交通大学第一附属医院医用直线加速器项目环境影响评价委托书； (2) 医院平面布置图； (3) 医院简介； (4) 直线加速器机房平面布置图； (5) 直线加速器技术参数； (6) 辐射安全许可证。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

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 范围，根据医院射线装置的工作场所，本次评价的范围是射线装置机房、控制室及公众可达区域。

7.2 保护目标

根据西安市交通大学第一附属医院平面布置、机房位置及周围建筑物、人群分布情况，环境保护对象为医院从事射线装置操作的工作人员，工作场所周围活动的其他辐射工作人员和公众。环境保护对象与控制目标见表 7-1，机房周围环境保护目标见图 7-1。

表 7-1 环境保护对象与保护目标一览表

序号	保护对象		相对方位	距离	保护内容	控制目标
1	放射工作人员（控制室内）		S	紧邻	年有效剂量	辐射工作人员年有效剂量不大于 5mSv
2	机房周围的公众、其他工作人员	西北伽马刀治疗大楼	N、E	3m		公众年有效剂量不大于 0.25mSv
3		绿化办公室	WN	15m		
4		感染科门诊	N	20m		
5		候诊区、走廊	W	紧邻		
6		原放疗加速器机房	W	3m		
7		肿瘤放射治疗二病区	S	15m		

“本标准适用于能量在 50MeV 以下的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;

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围空气吸收剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;

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 X 射线能量超过 10MeV 的加速器,屏蔽设计时应考虑中子防护;

6.1.6 治疗室和控制室之间必须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)应安装醒目的辐照指示灯及辐射标志;

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。”

7.3.3 《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/T201.2-2011) 相关条款节选

“4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$:

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子,可以依照附录 A,由以下周剂量参考控制水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员: $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$;

2) 放射治疗机房外非控制区的人员: $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c, \max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$

2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c, \max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, \max}$, 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自然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 (或) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c, \max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量 (率) 的总和, 应按 4.2.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制;

□3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1) 和 2) 之后, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制 (可在相应处设置辐射告示牌)。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

8.1.项目地理和场所位置

西安交通大学第一附属医院位于西安市雁塔区朱雀大街与雁塔西路十字西北角，本次环评涉及的医用直线加速器拟设于院区原后装设备用房东侧新建直线加速器机房内。项目所在地地理位置见图 8-1，西安交通大学第一附属医院平面布置图见附图 2，直线加速器机房平面布局图见附图 3。



图 8-1 本项目地理位置图

8.2 辐射环境现状监测

8.2.1 评价对象

西安交通大学第一附属医院拟购医用直线加速器

8.2.2 监测因子

X 射线

8.2.3 监测时间

我公司委托西安志诚辐射环境检测有限公司对西安交通大学第一附属医院直线加速器机房拟建地周围进行了辐射环境现状监测，监测时间为 2016 年 10 月 18 日。西安志

诚辐射环境检测有限公司以 XAZC-JC-2016-063 出具了监测报告，见附件。

8.2.4 监测仪器及监测方法

本次监测采用的仪器为 FD-3013H 型 X- γ 辐射检测仪（监测仪器有关参数见表 8-1），监测仪器经上海市计量测试技术研究院检验合格，并在检定有效期内使用仪器。

表 8-1 监测方法、仪器及检出限

项目	监测方法	监测仪器名称、型号	检出限	校准证书编号	检定单位	有效期
空气吸收剂量率	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993） 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）	FD-3013H 型 X- γ 辐射检测仪	0.01 μ Gy/h ~200 μ Gy/h	2015H21-20-004695	上海市计量测试技术研究院	2015.12.15~2016.12.14

8.3.5 监测控制

监测时合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和代表性；在测量前后进行标准源检测；监测人员持证上岗；监测单位通过 CMA 质量认证（证书编号：162712050357）

8.3.6 监测结果

监测数据见表 8-2，监测点位见监测报告。

表 8-2 直线加速器机房拟建地周围空气吸收剂量率监测结果

序号	监测项目点位描述	空气吸收剂量率（ μ Gy/h）	
		测值范围	均值
1	拟建直线加速器机房北侧	0.06~0.12	0.09
2	拟建直线加速器机房东侧	0.08~0.13	0.11
3	拟建直线加速器机房南侧	0.07~0.14	0.11
4	拟建直线加速器机房西侧	0.06~0.13	0.10

8.3.7 监测结果评价

根据表 8-2，西安交通大学第一附属医院拟建直线加速器机房四周空气吸收剂量率在 0.06~0.14 μ Gy/h（60~140nGy/h）之间。根据 2012 年《陕西省辐射环境质量报告》，西安市 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在 94.9~103.8nGy/h，均值为 97.1 nGy/h，本项目拟建地空气吸收剂量率与西安市空气吸收剂量率监测值基本处在同一水平，说明该区域的辐射环境现状处于正常环境本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

本项目拟配备 1 台直线加速器，直线加速器 X 射线标称能量最大 10MV，电子线能量最大 15MeV。

(1) 设备组成及工作方式

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，它的结构单元有：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。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 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。医用电子直线加速器内部结构框图见图 9-1。

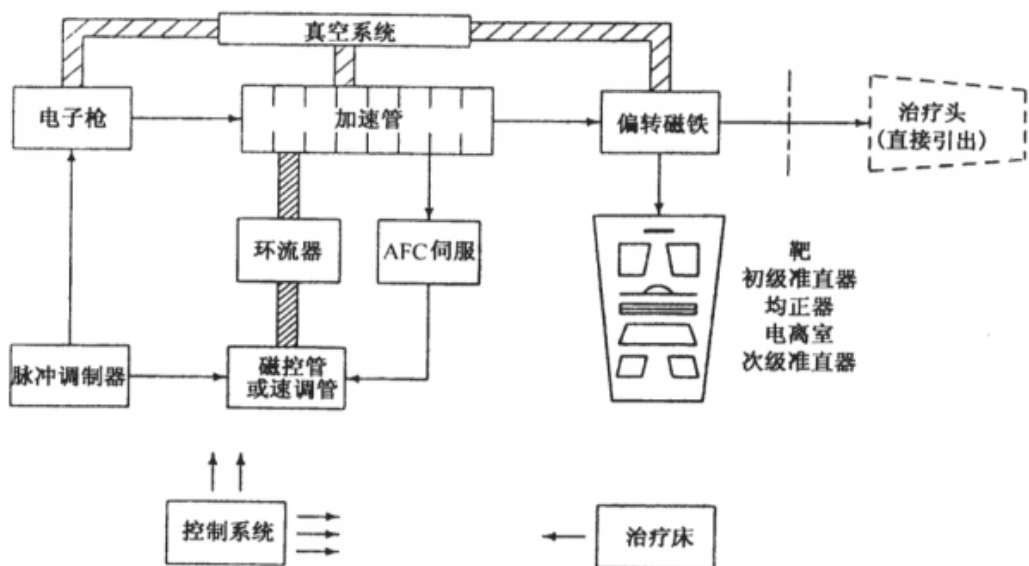


图 9-1 医用电子直线加速器内部结构框图

(2) 工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可以利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。这样就可以在不用切开人体组织的情况下，把癌细胞消灭或抑制，其次射线可以把射线的能量集中在预定的位置上，从而保护周围的正常组织。典型医院直线加速器示意图见图 9-2 所示。

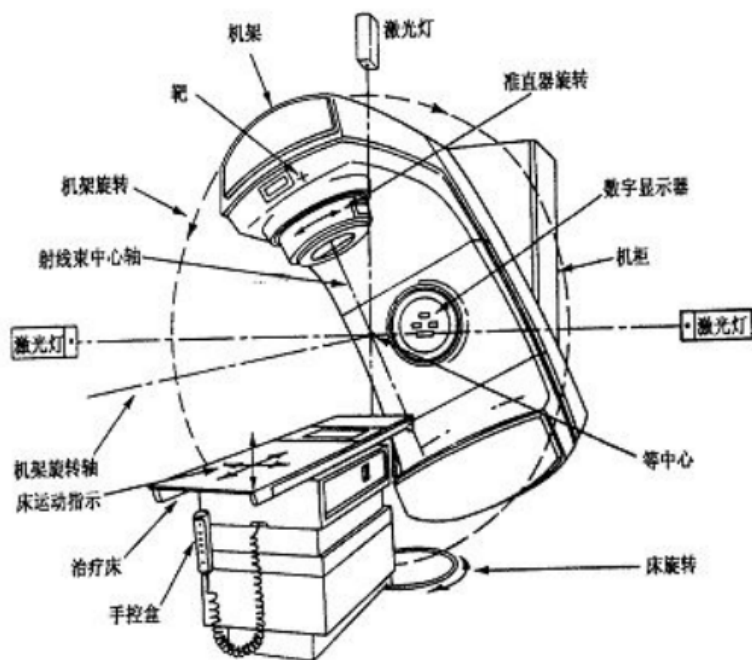


图 9-2 典型医院直线加速器示意图

(3) 工作流程

医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图见图 9-3。

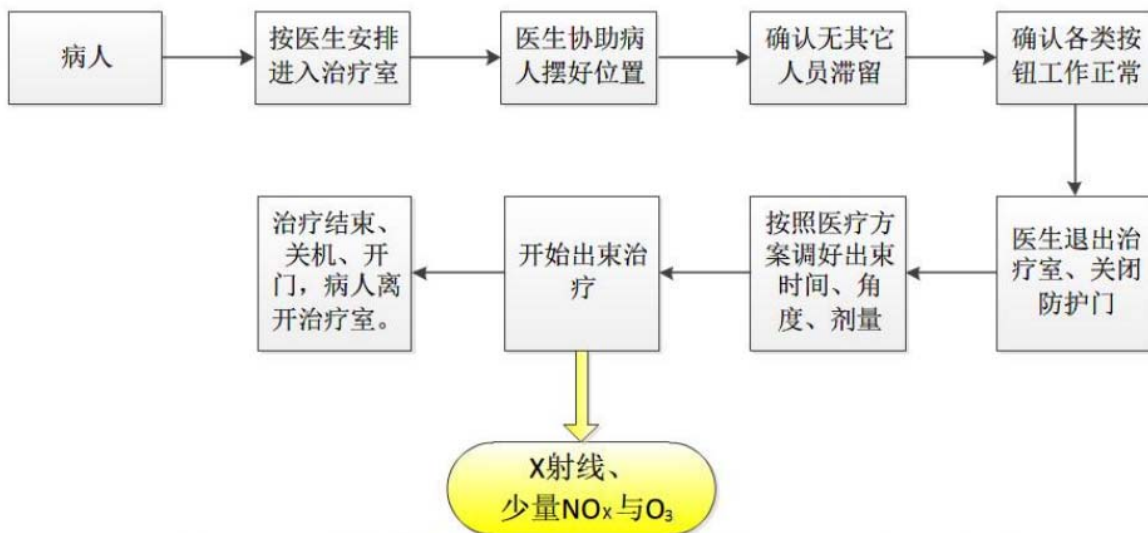


图 9-3 项目医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图

(4) 工作负荷

本项目使用的 1 台直线加速器每周开机 5 天，每天透照时间约 2h，加速器年照射时间约为 500h。

(5) 产污环节

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。此外，X 射线有很强的穿透力，能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化物，使周围环境受到辐射污染和臭氧、氮氧化合物的影响。同时，加速器退役或更换靶时将产生加速器废靶。

综上所述，10MV 直线加速器对患者进行治疗时，对环境可能造成污染的因素：

X 射线模式下工作，主要是 X 射线；

电子模式下工作，主要是电子线，伴有少量 X 射线；

有害气体：臭氧和氮氧化物。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期污染工序及产污情况

施工期主要为机房基础开挖、墙体浇筑、房屋装修，主要的污染物有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

(1) 噪声：主要来自于直线加速器机房及辅助用房建设、管线埋设、装修及现场处理等。由车辆运输、机械设备噪声声源可达 70~90dB (A)。

(2) 扬尘：主要为机房开挖、室内装修产生的粉尘。设置施工围墙，减少对院内正常诊疗活动的影响。

(3) 废水：主要为施工人员产生的少量生活污水及混凝土养护废水，少量养护废水回用于抑尘，生活污水依托医院现有的污水处理措施进行处理。

(4) 固体废物：主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工人员生活垃圾由环卫部门统一处置，建筑垃圾送合法的建筑垃圾堆放场处置。

9.2.2 营运期污染工序及污染情况

本项目营运期主要产生的污染物为直线加速器运行产生的 X 线以及电子线、有害气体等，本项目营运期污染因子见表 9-1。

表 9-1 本项目营运期主要污染因子一览表

污染源	使用场所	主要污染因子
直线加速器	直线加速器机房 (1F)	X 线工作模式：主要是 X 线； 电子工作模式：主要是电子线、少量 X 线； 有害气体：臭氧和氮氧化物。 加速器退役或更换靶：加速器废靶

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目工作场所布局

本项目直线加速器机房拟建于院区原后装设备用房东侧，处于西安交通大学第一附属医院辐射放疗区域内，人员活动量较小，能更好的保护病人及医院工作人员的安全。

直线加速器机房为 1 层建筑，建筑面积 250m²。直线加速器机房包括治疗室、控制室和各类辅助机房。控制室与治疗室分离，控制室位于治疗室南侧，治疗室面积约为 65m²，设置的迷道为直迷道，迷道口设置有防护门。本项目直线加速器机房符合《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“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《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”、“治疗室入口必须设置防护门和迷路”的规定。

辐射防护分区划分：医院将加速器机房治疗室（包含迷道）划分为辐射防护控制区，在治疗室入口及其他醒目位置粘贴符合规定的辐射警告标志；将治疗室外的控制室、辅助机房和水冷机房划分为监督区，在各监督区入口粘贴符合规定的辐射警告标志。

从环保角度分析，项目工作场所布局合理。

10.1.2 辐射防护屏蔽设计

本项目直线加速器治疗机房防护能力见表 10-1。

表 10-1 本项目直线加速器治疗机房防护能力

分类	屏蔽措施	
东墙	主屏蔽	290cm 钢筋混凝土，宽度 400cm
	次屏蔽	170cm 钢筋混凝土
北墙	160cm 钢筋混凝土	
南墙	160cm 钢筋混凝土	
西墙	迷道内墙	200cm 钢筋混凝土
	迷道外墙	121 cm 钢筋混凝土
房顶	主屏蔽	290cm 钢筋混凝土，宽度 490cm
	次屏蔽	170cm 钢筋混凝土
治疗室面积		65m ² （不含迷道）

10.1.3 直线加速器剂量照射安全防护

①控制台必须显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐照参数预选值。辐照启动必须与控制台显示的辐照参数预选值联锁，控制台选择各类辐照参数之前，辐照不得启动。

②直线加速器机房应设置多重连锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。门机连锁：采用电动、手动一体化防护门，与加速器启动电路应实行门机连锁方式，即防护门未关闭之前，加速器无法启动。系统连锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统连锁，不能发出射线。双剂量连锁：按照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）的要求，设置双剂量连锁以及其它连锁。

③两道剂量监测系统显示的剂量读数在辐照中断或终止后必须保持不变，辐照中断或终止后必须把显示器复位到零，下次辐照才能启动；由于元件或电源失效造成辐照中断或终止，失效时刻读数显示必须储存在一个系统内，以可读取方式至少保留 20min 以上。两道剂量监测系统采用双重组合情况下，当吸收剂量达到预选值时，两道系统必须都终止辐照。

④两道剂量监测系统为初/次级组合情况下，当吸收剂量达到预选值时，初级剂量监测系统必须终止辐照，次级监测系统必须在超过吸收剂量预选值不大于 15%或不超过等效于正常治疗距离上 0.4Gy 的吸收剂量时终止辐照。

⑤控制台必须配置带有时间显示的辐照控制计时器，并独立于其他任何控制辐照终止系统。当辐照中断或终止后，必须保留计时器读数，必须将计时器复零后，才能启动下一次辐照。

⑥若设备处于某一种状态下，在正常治疗距离上能产生高于规定最大值二倍的吸收剂量率时，则必须提供一连锁装置，以便在吸收剂量率超出规定最大值不大于二倍时终止辐照。在任何情况下，不得切断这一连锁装置。

⑦必须装备检查所有安全连锁的设施，用于在辐照间歇期间检查安全连锁（包括防止剂量率大于预选值十倍的连锁），确保各类系统终止辐照的能力和防止超剂量照射。

⑧控制台和治疗室内必须分别安装紧急停机开关，并设置中文标识。机房防护门处设置辐射危险及中文标识，并注明工作时，人员严禁入内。

⑨使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序必须加密，未经允许不得存取或修改；用于监视连锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，必须终止

辐照。

⑩医务人员均应配备剂量报警仪，进出治疗室随身携带。

⑪关门撤离时，检查人员情况，保证人员全部撤离；进行照射前，应通过视频监控装置确认无误后，才能进行下一步。

⑫配备环境剂量监测仪，监控机房周围区域的辐射剂量。

10.1.4 治疗室安全防护

①直线加速器室主屏蔽墙为 290cm 钢筋混凝土，与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚度为 170cm 的钢筋混凝土，迷路内墙厚度为 200cm 的钢筋混凝土，迷路外墙厚度为 121cm 钢筋混凝土，侧屏蔽墙厚度为 160cm 钢筋混凝土，顶棚主屏蔽厚度为 290cm 钢筋混凝土，顶棚次屏蔽厚度为 170cm 的钢筋混凝土，在此条件下，直线加速器机房墙体外周围剂量当量率均能满足《医用电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126—2011）要求的不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

机房的屏蔽墙体采用钢筋混凝土一次浇注完成，保证施工质量，委托有资质单位施工并进行施工质量的监理，防护门的生产、安装由有生产资质的厂家承担。

②直线加速器机房的防护门应当使用铅或者具有同等屏蔽效能的材料。直线加速器防护门须与墙体重叠上方 10cm、下方 15cm，左面 10cm、右面 10cm；大门为地轨式；驱动装置为电气；对大门底缝采用工字型嵌入地轨式，大门底面低于地平面 15cm。防护门须有防止挤压装置；须有声、光报警装置；须有关闭/开启正常指示灯、故障指示灯（关闭、开户启不到位）及黄色射线出束警示灯、绿色准备指示灯。防护门上须设置永久性辐射警示标志。

③本项目机房内设置排风系统，设计换气次数为 8~12 次/h，排风风机设置于屋面，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GB126-2011）中“治疗室通风换气次数不应小于 4 次/h”的要求。

④机房的控制电缆布设在电缆沟内，电缆沟穿墙部分采取 45° 角斜穿入地下 0.25m 深的“V”型结构方式，不影响墙体的屏蔽防护效果。电缆沟的穿墙部分剖面图见下图。

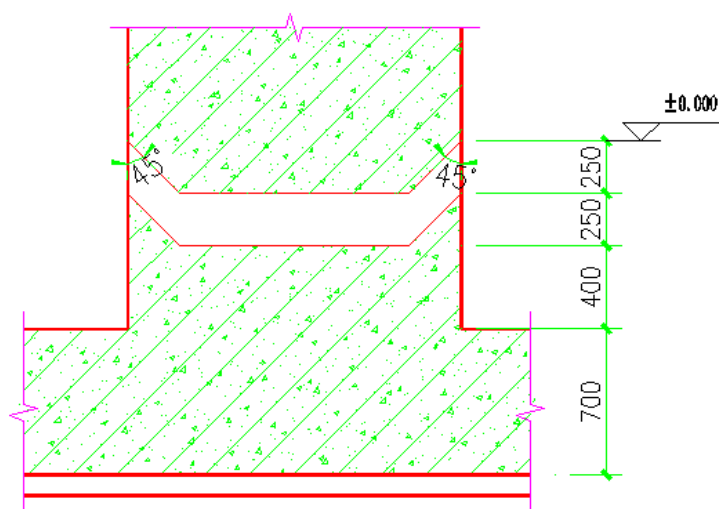


图 10-1 电缆沟穿墙部分剖面图

⑤通风管沿迷道顶部经由防护门上部，且在机房外侧通道屋顶标高以上穿越迷道入口处屏蔽外墙。屋面上新风口与排风口间距宜高于新风口有一定距离，尽量避免排风口排出废气返流至新风管进入室内。

⑥机房内净空高度应同时满足加速器机身高度、上不滑轨、进风和回风管道、吊顶（含灯具、进风口和回风口、空调室内机）等叠加空间尺寸。适当降低迷道出入口门洞高度，以较小散射面积，有利于减小散射面积，减轻铅门防护压力。

⑦水冷系统：由于电子直线加速器在运行过程会产生大量的热量，为保证设备正常运转，采用自备水箱和水管闭路循环的蒸馏水冷却系统，其中冷却水应循环使用。

⑧治疗室内须安装摄像设备视频监视器，能完全观察到机房。工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室须设置对讲设备，便于医务人员与患者之间进行交流。

⑨直线加速器治疗室共应设置多个急停机开关，分别安装在加速器机架、治疗床、控制台、治疗室、迷道上。紧急停机开关为红色按钮式开关，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和控制室内的人员及时终止照射。

⑩治疗室外醒目处以及防护门处必须安装辐照指示灯及辐射危险标志，并注明工作时严禁人员入内。

10.2 三废的治理

(1) 臭氧和氮氧化物

机房空气电离产生的臭氧和氮氧化物可通过机械通风降低室内臭氧和氮氧化物的浓度，臭氧在常温下可自行分解为氧气。拟建直线加速器机房治疗室设计机械通风系统每小时换气次数 8~12 次，因此，产生的臭氧和氮氧化物的排放对周围大气环境的影响很小。

(2) 医用直线加速器废靶

医用直线加速器废靶为固体放射性废物，环评要求建设单位将产生的医用直线加速器废靶交有资质单位处置。

陕西科荣环保工程有限公司

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工量小，医院的医疗服务工作仍将正常进行，施工产生的污染特别是扬尘和噪声可对周围环境有一定影响。

11.1.1 噪声影响及污染防治措施

本项目施工期间，各种机械产生较大的噪声，而施工场地紧邻周围建筑物，会造成周围一定范围内的噪声超标，对周围声环境产生一定的影响。另外，施工期工程车进出施工场地，会给交通带来压力，造成交通噪声污染。由于本项目工程量小，且施工期间产生的噪声具有阶段性、临时性和声源位置不固定性，因此，只要施工单位采取有效的噪声污染防治措施，本项目施工期间对周围声环境产生的影响减小到最低程度。

为了减小施工期间对周围环境的影响，施工单位应做到以下几点：场外运输作业尽量安排在白天进行，车辆行经声环境敏感地段时必须限速、禁鸣；尽可能选取噪声低、振动小、能耗小的先进设备；保持设备处于正常工况，减小噪声的排放；加强施工区内动力机械设备管理，将可在固定地点施工的机械设置在临时建筑房内作业，使较强声源尽可能远离周围建筑物。

11.1.2 废气影响及污染防治措施

施工期因土石方开挖、出渣、装卸、建筑材料运输等施工活动产生的二次扬尘在正常风况下，对施工区域周围 50~100m 范围以外的贡献值符合环境空气质量二级标准，但在大风（>5 级）情况下，施工粉尘对施工区域周围 100~300m 范围以外的 TSP 才能达二级标准。但本工程量少，施工期短，对周围敏感点的影响有限，在可接受的范围内。

为减小施工期间扬尘对周围环境的影响，施工单位应做到以下几点：加强施工现场运输车辆管理，经常进行冲洗；对土石方开挖、回填等产生的生产性粉尘，应进行适当的加湿处理。

11.1.3 废水影响分析及污染防治措施

主要为施工人员产生的少量生活污水及混凝土养护废水，少量养护废水经沉砂池沉降后回用于抑尘。施工人员生活污水依托医院的排水系统和污水处理设施，处理达标后进入市政污水网管。采取以上措施后，在施工中可大量减少地表水污染物，对环境的影响是可以接受的。

11.1.4 固体废物影响分析及污染防治措施

施工期产生的固体废物主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。建设单位应严格按市政府规定：运渣车辆必须加盖，根据渣场位置确定最优化的运输线路，并按照交通要求，将运输时间限制在夜间运输；运输过程中，注意车速，减少土石方的洒落；道路两旁建筑物多的地段禁止鸣笛，减少噪声对周围环境的影响。对固体废物从收集、清运到弃置实现严格的全过程管理；设垃圾筒收集生活垃圾。施工单位认真落实上述措施后，对环境的影响很小。

因此，本项目应合理安排施工时间及施工场地秩序，对施工场地进行适当的封闭，避免因本项目建设影响院内正常医疗活动及工作人员办公。由于本项目工程量小，施工期短，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目对外界的影响小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 机房混凝土屏蔽效果预测

医院提供的设计资料，直线加速器室由治疗室（机房）、迷道、控制室及其他辅助机房组成。直线加速器机房屏蔽防护设计详见前节表 10-1 所示，直线加速器主要技术参数见表 11-1。

表 11-1 本项目直线加速器主要技术参数

参数名	参数值
能量	X 射线：6MV、10MV
	电子线：4 MeV、6 MeV、8MeV、10 MeV、12 MeV、15MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
距靶 1m 处最高剂量率	X 射线：600cGy/min
	电子线：600cGy/min
最大照射野大小	40×40（cm×cm）
机架旋转角度	±180°

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）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在

加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利情况进行预测计算。本项目加速器机房的关注点设定如图 11-1，图 11-2。

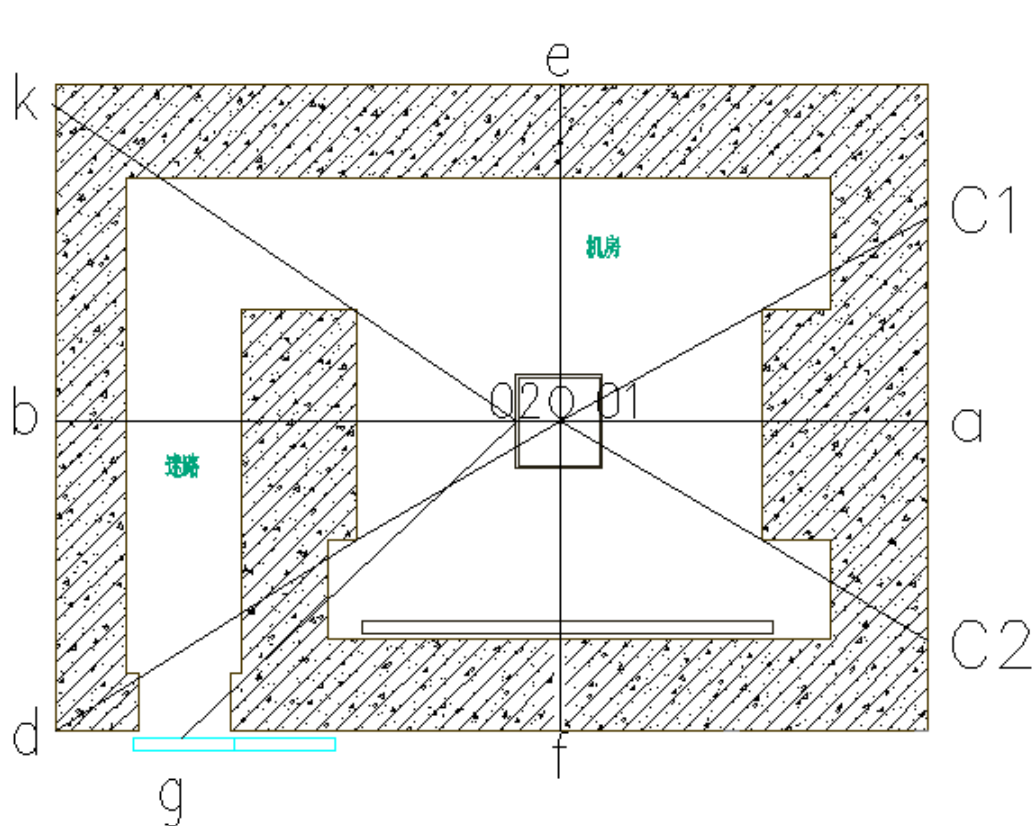


图 11-1 加速器机房各侧墙体关注点示意图

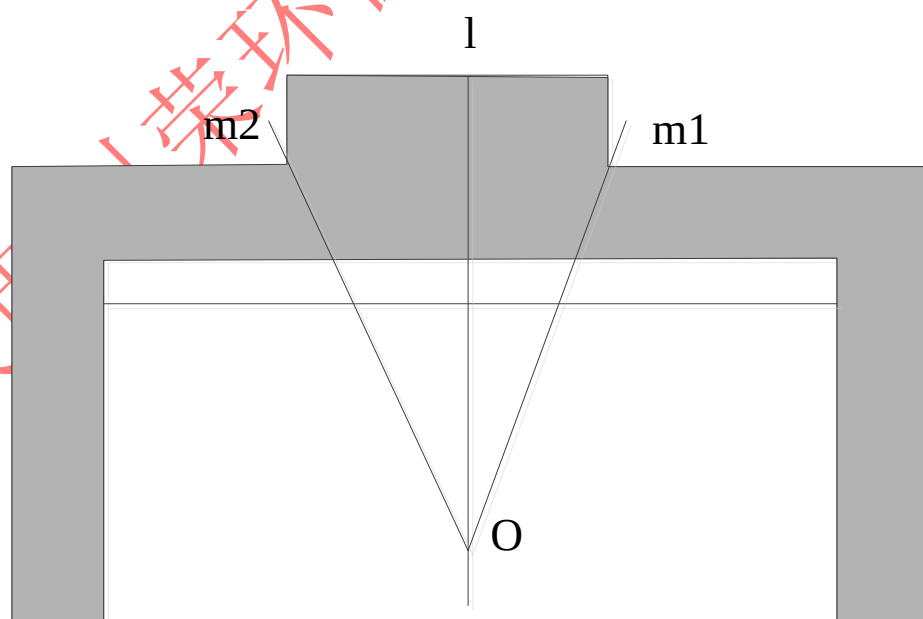


图 11-2 加速器机房屋顶关注点示意图

(1) 有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2011）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan \theta + 0.3] \quad \dots\dots (式 11-1)$$

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），即射线最大出射角的一半；

a—等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽墙向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽墙向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的外表面。

将各参数带入式 11-1，得出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-2。

表 11-2 主屏蔽区域宽度设计评价表

	东墙主屏蔽区	西墙主屏蔽区	房顶主屏蔽区
a (m)	4.7	4.15	5.55
SAD (m)	1	1	1
θ	14°	14°	14°
Y _p (m)	3.45	3.18	3.88
实际设计宽度 (m)	4	4	4.9
评价结果	满足	满足	满足

由上表可见，本项目的主屏蔽区设计宽度能够满足主射线的防护宽度要求。

(2) 主屏蔽屏蔽效果预测（a 点、b 点、l 点）

1) 射线路径（射线类型）：

O₂ → a（主射线）、O₁ → b（主射线）、O₃ → l（主射线）

2) 计算模式计参数选择

使用 GBZ/T201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式（11-2）计算有效厚度 X_e（cm），按照公式（11-3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式（11-4）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ （μSv/h）。

$$X_e = X / \cos \theta = X \cdot \sec \theta \quad \dots\dots\dots (式 11-2)$$

式中，X—设计屏蔽厚度，cm

θ —倾斜角。

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

式中，TVL₁ (cm) 和TVL (cm) 为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，当未指明TVL₁时，TVL₁=TVL。可根据加速器X射线能量查GBZ/T201.2-2011的附录B表B.1 及NCRP NO.151 的附录B 表B.2。

本项目中，主屏蔽的 B 值核算见表 11-3。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(式 11-4)}$$

式中， $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目保守取为 3.6×10^8 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)；

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm，即为 SAD+Oa =7.31m，SAD+Ob=8.74m，SAD+Ol=6.78m，

f—对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比。

3) 预测计算结果

将各参数带入模式计算，得出相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)，计算结果见表 11-3。

表 11-3 主屏蔽区屏蔽效果预测表

	东墙主屏蔽区 (a 点)	西墙主屏蔽区 (b 点)	房顶主屏蔽 (l 点)
X (cm)	290 钢筋混凝土	200+121 钢筋混凝土	290 钢筋混凝土
TVL (cm)	37	37	37
TVL ₁ (cm)	41	41	41
B	2.29×10^{-8}	1.58×10^{-9}	1.07×10^{-8}
R (m)	7.31	8.74	6.78
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	1	1	1
$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.154	0.007	0.084
H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足

(3) 侧屏蔽墙效果预测 (e 点、f 点)

1) 射线路径 (射线类型)：

O→e (泄漏射线)，O→f (泄漏射线)

2) 计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。

公式（11-3）的 TVL_1 和 TVL 为附录B表B.1 的泄漏辐射的什值层，分别为 $TVL_1=35$ ， $TVL=31cm$ ；公式（11-4）中，e点的 $R=O_e=5.93m$ ，f点的 $R=O_f=5.33m$ ； $f=0.001$ （泄漏辐射比率，根据《电子加速器放疗治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）要求，对于M区域外泄漏辐射（不包括中子），吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%）。

3) 预测计算结果

将各参数代入公式计算，计算结果如表 11-4。

表 11-4 侧屏蔽区屏蔽效果预测表

	北墙侧屏蔽区（e 点）	南墙侧屏蔽区（f 点）
X（cm）	160 钢筋混凝土	160 钢筋混凝土
TVL（cm）	31	31
TVL_1 （cm）	35	35
B	6.46×10^{-6}	6.46×10^{-6}
R（m）	5.93	5.33
H_0 （ $\mu Sv \cdot m^2/h$ ）	3.6×10^8	3.6×10^8
f	0.001	0.001
H （ $\mu Sv/h$ ）	0.066	0.066
H_c （ $\mu Sv/h$ ）	2.5	2.5
评价结果	满足	满足

（4）与主屏蔽区相连的次屏蔽区（ c_1 点、 c_2 点、d点、 m_1 点、 m_2 点）

1) 射线路径（射线类型）：

$O_2 \rightarrow O \rightarrow c_1$ （散射射线）、 $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_2$ （散射射线）、 $O_1 \rightarrow O \rightarrow d$ （散射射线）、 $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_1$ （散射射线）、 $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ （散射射线）。

$O \rightarrow c_1$ （泄漏射线）、 $O \rightarrow c_2$ （泄漏射线）、 $O \rightarrow d$ （泄漏射线）、 $O \rightarrow m_1$ （泄漏射线）、 $O \rightarrow m_2$ （泄漏射线）。

2) 泄漏辐射计算模式及参数

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区，按照公式（11-4）计算。 $f=0.001$ （泄漏辐射比率），根据《电子加速器放疗治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）要求， $TVL_1=35cm$ ， $TVL=31cm$ 。

3) 散射辐射计算模式及参数

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式（11-2）计算有效厚度 X_e （cm），

按照公式（11-3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s （其中患者散射辐射在混凝土中的什值层），查表 B.4 知，对于 10MV 射线，当散射角 30° 时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm），在按照公式（11-5）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots \text{（式 11-5）}$$

式中： $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目保守取为 3.6×10^8 （ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ）；

α_{ph} —为患者 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，又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ126-2011 表 B.2。其取值见表 11-5。

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目为 $40\times 40\text{cm}=1600\text{cm}^2$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

4）预测计算结果

将各参数带入模式计算，得出与主屏蔽相连的次屏蔽区屏蔽效果预测结果，见表 11-5。

表 11-5 与主屏蔽相连的次屏蔽区屏蔽效果预测表

		c ₁ 点	c ₂ 点	d 点	m ₁ 点	m ₂ 点
泄漏辐射	X (cm)	170 混凝土	170 混凝土	321 混凝土	170 混凝土	170 混凝土
	TVL (cm)	31	31	31	31	31
	TVL ₁ (cm)	35	35	35	35	35
	X _e (cm)	175.25	175.25	330.93	175.25	175.25
	R (m)	7.25	7.25	9.25	6.63	6.63
	B _L	3.02×10^{-6}	3.02×10^{-6}	3.16×10^{-11}	3.02×10^{-6}	3.02×10^{-6}
	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.021	0.021	<0.001	0.025	0.025
散射辐射	TVL (cm)	28	28	28	28	28
	TVL ₁ (cm)	28	28	28	28	28
	X _e (cm)	175.25	175.25	330.93	175.25	175.25
	R _s (m)	7.25	7.25	9.25	6.63	6.63
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.8×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B _s	5.5×10^{-7}	5.5×10^{-7}	1.58×10^{-12}	5.5×10^{-7}	5.5×10^{-7}

	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.048	0.048	<0.001	0.057	0.057
剂量率叠加值 ($\mu\text{Sv/h}$)		0.069	0.069	<0.001	0.082	0.082
H_c ($\mu\text{Sv/h}$)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足

(5) 迷道内墙设计核算 (g 点)

1) 射线路径 (射线类型):

$O_2 \rightarrow g$ (泄漏射线)

2) 计算模式及参数选择:

O_2 至g点的距离 $R=8\text{m}$, 迷道内墙等效厚度 $X_e=139.2\text{cm}$ 。

取泄漏因子 $f=0.001$, 公式(11-3)的 TVL_1 和 TVL 为附录B表B.1的泄漏辐射半值层值, 分别为 $TVL_1=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

3) 预测计算结果

各参数代入公式(11-3)计算得, $B=4.36 \times 10^{-5}$

各参数代入公式(11-4)计算得, g点瞬时泄漏辐射剂量率 $\dot{H}$ 为 $0.245\mu\text{Sv/h}$, 能满足《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4.3.2.5.1条关于“泄漏辐射在g处的剂量应为参考控制水平的一个分数(应小于1/4)”的要求(即 $\leq 0.625\mu\text{Sv/h}$)。

(6) 迷道外墙设计核算 (k 点)

1) 射线路径 (射线类型):

$O_2 \rightarrow k$ (泄漏射线)

2) 计算模式及参数选择:

穿过迷道外墙, 在k处的泄漏辐射剂量率应小于剂量率参考控制水平。

O_2 点至k点的距离 $R=9.5\text{m}$ 。

取泄漏因子 $f=0.001$, 公式(11-3)的 TVL_1 和 TVL 为附录B表B.1的泄漏辐射半值层值, 分别为 $TVL_1=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

3) 预测计算结果

各参数代入公式(11-3)计算得, $B=1.28 \times 10^{-4}$

各参数代入公式(11-4)计算得, g点瞬时泄漏辐射剂量率 $\dot{H}$ 为 $0.511\mu\text{Sv/h}$, 小于

剂量参考控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，迷道外墙屏蔽设计厚度满足辐射防护要求。

11.2.2 屏蔽效果评价

本项目直线加速器机年照射时间为 500h。根据表 11-3~11-5，直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-6。

表 11-6 加速器机房墙、顶、门外估算结果汇总表

屏蔽区	考察点	剂量率值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制结论	居留因子	年剂量率估算值 (mSv/a)	目标管理值 (mSv/a)	结论
东墙主屏蔽	a	0.154	2.5	满足	1/16	0.0048	0.25	满足
西墙主屏蔽	b	0.007	2.5	满足	1/4	<0.001	0.25	满足
房顶主屏蔽	l	0.084	2.5	满足	1/16	0.0026	0.25	满足
北墙侧屏蔽	e	0.066	2.5	满足	1/16	0.0021	0.25	满足
南墙侧屏蔽	f	0.066	2.5	满足	1	0.033	5	满足
东墙与主屏蔽相连的次屏蔽	c ₁	0.069	2.5	满足	1/16	0.0022	0.25	满足
	c ₂	0.069	2.5	满足	1/16	0.0022	0.25	满足
西墙与主屏蔽相连的次屏蔽	d	<0.001	2.5	满足	1/4	<0.001	0.25	满足
房顶与主屏蔽相连的次屏蔽	m ₁	0.082	2.5	满足	1/16	0.0026	0.25	满足
	m ₂	0.082	2.5	满足	1/16	0.0026	0.25	满足
迷道内墙屏蔽	g	0.245	2.5	满足	1/16	0.0077	0.25	满足
迷道外墙屏蔽	k	0.511	2.5	满足	1/16	0.016	0.25	满足

综上，本项目加速器机房四周墙体辐射屏蔽措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围空气吸收剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求；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）中“4.2.2 治疗机房顶的剂量当量控制要求”的相关规定，本项目加速机房房顶剂量控制要求为 $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，经计算，本项目加速器机房房顶辐射屏蔽措施能满足该剂量约束值得要求。

直线加速器机房应当按照《医用 X 射线诊断放射防护要求》、《电子加速器放射治疗放射防护要求》设计并满足相关要求，辐射工作人员应配备个人剂量报警仪，及时组织参加有资质单位举办的核与辐射安全知识培训，并取得辐射工作人员资格证书，方可上岗。

11.2.3 工作人员、公众剂量估算

本项目拟设 2 名辐射工作人员，公众主要指机房周围的公众。

工作人员剂量估算：由表 11-6 可知，本项目建成运行后，辐射工作人员年受照剂量约为 0.033 mSv/a，小于控制目标 5mSv/a。

机房周围公众剂量分析：直线加速器经防护后，当射线装置运行时，周围环境的辐射空气吸收剂量率满足相关标准限值的要求（0.25 mSv/a），所以直线加速器在运行时所产生的 X 射线对周围公众基本不产生附加有效剂量。对于候诊病人的陪护人员，由于候诊所处的位置距离射线装置防护墙体外至少在 1.0m 外，所以射线装置的运行对陪护人员基本不产生附加有效剂量。

11.2.4 电子线影响简要分析

本项目加速器电子线最大能量为 15MeV，根据《辐射防护导论》，能量为 E（MeV）的单能电子束，在低 Z 物质中的射程可由下列经验公式进行计算（第四章第二节）：

$$R = 0.53E - 1.06 \quad 2.5 \leq E < 20\text{MeV} \quad \dots\dots\dots \quad (\text{式 } 11-6)$$

根据公式（11-6）可由估算出 15MeV 的电子在混凝土中的射程约为 2.9cm，本项目加速器机房墙体厚度均大于 1m，能够满足本项目加速器电子束的防护要求。

综上所述，本项加速器电子线虽然能量相对 X 射线较高，但其贯穿能力远弱于 X 射线，该加速器机房能够满足本项目加速器电子线的防护要求。

11.2.5 选址合理性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其他源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，国家有关标准和文件对拟建项目的选址未加明确限制。

①射线装置位于单独的机房内，方便辐射防护的管理和屏蔽。项目位于放疗机房，放疗诊断治疗工作场所较集中，方便病人就诊。

②根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，有利于建设。

③建设单位根据国家有关辐射防护规定进行建设，项目运行后对周围环境的辐射影响满足评价标准的要求，环境可接受。

因此，从环境保护角度分析，本项目选址可行。

11.2.6 实践正当性分析

按照《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”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

直线加速器在医疗诊疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起到了重要的作用。项目营运以后，建设单位将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。

因此，本项目的建设在按照环评要求进行建设后，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.2.7 产业政策符合性分析

直线加速器的配置为疾病诊断、寻找病灶部位、制订治疗方案及治疗疾病提供了科学依据和手段。建设单位在加强管理直线加速器后，其产生的影响均满足相关国家法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。同时，本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（2011年本）》（2013年修正）鼓励类中第六小类——核能中的同位素、加速器及辐照应用技术开发项目，因此，本项目符合国家产业政策

11.3 事故影响分析

医院出现的辐射事故主要是放射工作人员或公众成员受到不必要的超剂量照射，具体分析如下。

（1）直线加速器机房安全联锁装置失效

分析：由于未及时检修，门机联锁、门灯联锁等联锁装置失效，门处于半开启状态，直线加速器仍能运行，人员进入直线加速器机房而受到照射。

防治措施：按操作规程定期对各个连锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，

及时修复；通过纵深防御以减少由于某个连锁失效或在某个连锁失效期间产生辐射。

(2) 直线加速器治疗时，工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室。

防治措施：开机运行前，工作人员认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

(3) 人误

不了解直线加速器的基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；治疗计划错误(治疗过量或欠量照射)；违反操作规程和有关规定，操作失误；设备维（检）修后未进行质量控制检测；管理不善、领导失察等。是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

防治措施：放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(4) 医疗照射不正当化

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

对策：放射工作人员必须认真考虑，只有确认该项检查、治疗对受检者的病情诊治和健康有好处时才进行 X 射线诊疗。

(5) 加速器维修时操作不当

分析：医用电子直线加速器结构复杂，故障率较高。常见故障有机械故障（如多叶准直器故障、限位开关损坏）、电气故障（如自动稳频故障、剂量异常、电离室损坏、磁控管损坏、测距灯/光野灯损坏）和软件故障（如电脑死机、网络传输故障）。这些故障的发生将导致设备无法正常运行，某些情况下可能导致患者或操作者受到伤害。

防治措施：医院在采购加速器时应充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性；在维护和维修时，决不可擅自解除联锁系统。

(6) 未进行质量控制检测

诊疗设备年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

对策：医院做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置 西安交通大学第一附属医院成立了放射诊疗管理委员会，负责领导和协调医院的辐射防护工作，相关人员见附件二。放射诊疗管理委员会的主要职责是： （1）认真学习《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射诊疗管理规定》等有关法律法规； （2）实行院长负责制，分级管理。负责本院放射安全与防护工作的计划和总结，对辐射安全控制效果进行评议，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况，辐射安全管理责任到人； （3）负责对全院辐射安全与防护工作进行监督，每年对放射性同位素与射线装置工作场所请有资质单位进行防护检测和设备质量控制性能检测，定期对设备做稳定性检测，并记录存档； （4）发生辐射事故，放疗防护管理委员会和使用部门立即采取应急预案，控制事故影响，并立即向上级部门报告，会同上级有关部门按有关规定调整和处理放射事故，并对有关人员提出处理决定。
12.2 辐射安全管理规章制度 西安交通大学第一附属医院已按照相关法律法规及环境保护主管部门要求，建立相应的规章制度，包括：《辐射事故应急预案》、《放射防护管理制度》、《影像诊疗技术操作规范》、《辐射人员培训制度》、《个人剂量及健康管理》、《放射防护安全规定》、《放疗技术人员职责》等规章制度。 针对新购置的医用直线加速器，还应制定以下规章制度：《直线加速器应急处理方案》、《直线加速器操作规程》、《直线加速器维修与保养规定》、《加速器安全制度》等规章制度。
12.3 辐射监测 12.3.1 监测仪器 医院已为每位辐射工作人员配备了个人剂量计，环评要求医院配备 X-γ 剂量率仪 1 台，同时直线加速器机房工作人员配备个人剂量报警仪。

12.3.2 监测方案

按照国家相关法律、法规和标准的要求,结合西安交通大学第一附属医院实际情况制定辐射环境监测方案如表 12-2,监测记录应清晰、完整,并纳入档案管理。

表 12-2 西安交通大学第一附属医院环境监测方案

序号	监测内容	监测区域及点位	监测频次
1	空气吸收剂量率	定点监测: 在工作状态和非工作状态对治疗室防护门、墙外表面及控制室进行监测。	医院定期进行一次自检
		周围环境巡测: 患者候诊处, 机房外走廊, 其他人员可到达位置	
2	个人累计剂量	辐射工作人员个人累计剂量	有资质单位每三个月监测一次
3	安全装置	警示灯, 警示标志, 设备安全装置、门机联锁、实时监控	每周自查一次

12.4 辐射事故应急

医院成立了放射诊疗管理委员会负责医院的事故应急管理工作,辐射事故一旦发生,应立即采取以下措施进行处理,并根据事故情况启动应急预案。

①射线无高压输入时即停止发射射线,因此处理此类事故的首要一条就是切断电源,切断电源可以停止照射。

②停电或意外事故中断治疗时,应使用强制装置强制放射源立即回到贮存位置。

③如因射线装置输出量异常发生人员受到异常照射的事故,应及时检修射线装置,并进行输出量计量校准。保存控制器上的照射记录,不得随意更改,以便事后对受照人员进行受照剂量估算。

④若事故后经检查为机器出现故障,应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障,医院不能擅自处理。

⑤发生辐射事故后,根据受照情况,应迅速安排事故受照人员的医学检查和医学监护。并在 2 小时内向医院领导及有关行政主管部门上报。并配合有关部门进行调查,查找事故原因,做好相关防范措施。

一般报告程序为:发现者将事故的性质、时间、地点向医院放射诊疗管理委员会报告,由其向区环保局、市环保局报告,并同时向市环保局辐射处核安全科报告,设备被损应同时向公安机关报告,造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。

12.5 环保投资与验收清单

本次环评涉及环境保护投资共计 200 万元,主要用于专用机房建设、污染防治措施、

辐射环境监测仪器、个人防护用品配置及人员培训。项目竣工环境保护验收清单见 12-2。

表 12-2 项目竣工环境保护验收清单

验收内容	验收方法	效果和环境预期目标
机房防护状况	在正常工况下监测机房周围空气吸收剂量率	机房屏蔽外 30cm 处空气吸收剂量率不大于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ ，机房外工作人员剂量约束值不大于 5mSv/a ，公众剂量约束值不大于 0.25mSv/a 。
辐射安全防护措施	①机房门外张贴醒目电离辐射警示标志及中文标识，安装工作状态指示灯，并实行门灯联锁。 ②机房墙体以及管线建设满足环评要求，保证质量。 ③制度上墙。 ④各机房应保持良好的通风和机房内不得堆放无关杂物。 ⑤直线加速器机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等采用“U”型。机房内设置通风装置，保持机房内空气流通。 机房通风换气次数不小于 4 次/h。 ⑥各机房内设置摄像监控装置以及通话音频设备。 ⑦设置多个急停按钮，并张贴中文标识。 ⑧机房应采用电动、手动一体化防护门。 ⑨所有放射工作人员均佩戴个人剂量计，并定期记录在个人剂量档案中，档案终身保存。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）要求。
安全联锁装置	检查机房防护门及声光警示装置的联锁状况	防护门未关闭到位或打开，射线装置断电，不出束；射线装置工作，声光报警装置示警
工作场所设立电离辐射警示标志	电离辐射警示标志符合 GB18871 的相关要求	警告无关人员不要靠近
辐射环境监测仪器	配备 1 台 X-γ 辐射剂量率仪，对放射性工作场所及其周围环境进行监测 直线加速器机房工作人员配备个人剂量报警仪	掌握辐射环境状况、保护人员免受不必要的辐射
管理机构	建立专门的辐射领导机构	负责整个项目辐射安全与环境管理工作
建立健全规章制度	制定相关的辐射安全管理制度	保障项目污染防治设施及射线装置正常运
个人剂量档案及健康监护档案	查阅辐射工作人员个人剂量档案和健康监护档案	确保辐射工作人员安全
培训及人员配备	组织所有辐射工作人员参加有资质单位组织的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格，并经过所从事专业技术培训	确保人员素质

	并取得 从业资格后方可上岗	
陕西科荣环保工程有限公司		

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

西安交通大学第一附属医院拟在院区西侧建设医用直线加速器机房一座，建设时需拆除原后装设备用房部分区域，在原后装设备用房的东侧新建医用直线加速器机房 1 座，配备 1 台直线加速器（10MV、属 II 类射线装置），同时建设其他配套辅助用房。机房建筑面积 250m²，共 1F。项目总投资 500 万元，其中环保投资 200 万元。

13.1.2 实践正当性

项目直线加速器的使用，对受电离辐射照射的个人所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.1.3 产业政策符合性

项目投入使用为疾病诊断、寻找病灶部位、制订治疗方案及治疗疾病提供了科学依据和手段。项目在加强管理后均满足相关国家法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。同时，本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》（2011 年）（2013 年）鼓励类中第六小类——核能中的同位素、加速器及辐照应用技术开发项目，符合国家产业政策。

13.1.4 拟建址环境质量现状

根据监测结果，西安交通大学第一附属医院拟建直线加速器机房四周空气吸收剂量率在 0.06~0.14μGy/h（60~140nGy/h）之间。根据 2012 年《陕西省辐射环境质量报告》，西安市 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在 94.9~103.8nGy/h，均值为 97.1 nGy/h，本项目拟建地空气吸收剂量率与西安市空气吸收剂量率监测值基本处在同一水平，说明该区域的辐射环境现状处于正常环境本底水平。

13.1.5 选址可行性及布局合理性

（1）选址可行性

本项目直线加速器机房拟建于院区原后装设备用房东侧，处于西安交通大学第一附属医院辐射放疗区域内，人员活动量较小，能更好的保护病人及医院工作人员的安全。机房为单独的新建机房，便于辐射屏蔽防护，且放射诊断治疗工作场所较集中，方便病人就诊治疗。根据现状监测结果，场址的辐射环境质量状况良好，选址可行。建设单位

根据国家有关辐射防护规定要求进行建设，项目运行后对周围环境的辐射影响满足评价标准的要求，环境可以接受。因此，从环境保护角度分析，本项目选址可行。

(2) 布局合理性分析

本项目直线加速器机房包括治疗室、控制室和各类辅助机房。控制室与治疗室分离，控制室位于治疗室南侧，设置的迷道为直迷道，迷道口设置有防护门。本项目直线加速器机房符合《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“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《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 45m^2 ”、“治疗室入口必须设置防护门和迷路”的规定。

辐射防护分区划分：医院将加速器机房治疗室（包含迷道）划分为辐射防护控制区，在治疗室入口及其他醒目位置粘贴符合规定的辐射警告标志；将治疗室外的控制室、辅助机房和水冷机房划分为监督区，在各监督区入口粘贴符合规定的辐射警告标志。

从环保角度分析，项目工作场所布局合理。

13.1.6 环境影响分析结论

(1) 墙体屏蔽的辐射防护

本项目拟建直线加速器机房东侧、房顶主屏蔽墙采用 290cm 钢筋混凝土，次屏蔽墙采用 170cm 钢筋混凝土，南、北侧屏蔽墙采用 160cm 钢筋混凝土，西侧迷道内墙采用 200cm 钢筋混凝土，迷道外墙采用 121cm 钢筋混凝土，屏蔽措施符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 的要求。

(2) 剂量估算

通过核算，从事本项目直线加速器的放射工作人员各自受到的年附加有效剂量均低于评价标准限值 5mSv/a ，但放射工作人员有可能从事多台设备的操作，因此要求放射工作人员工作时必须正确佩戴个人剂量计，正确剂量受到的有效剂量，保证不超过评价标准的限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 及相关标准的要求。

非放射工作人员和公众成员在机房外受到的年附加有效剂量小于评价标准限值 0.25mSv/a ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 及相关标准的要求。

13.1.7 辐射防护与安全措施

- ①机房各墙体厚度、防护门以及穿墙管线按环评要求建设，不能影响机房屏蔽效果。
- ②按照相关要求，设置相应的联锁装置、紧急停机、视频监视系统等。
- ③根据需要为医生、病人配置铅围裙、铅眼镜等防护用品。
- ④所有放射工作人员均佩戴个人剂量计，并定期进行测读，记录在个人剂量档案中；配备剂量报警仪，进出治疗室随身携带。
- ⑤机房设置水冷系统，设置通风装置，保证室内空气流通。
- ⑥医院应建立辐射相关规章制度，加强管理。
- ⑦从事放射工作的工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训考核，且每四年接受一次在培训。
- ⑧医院应为放射工作人员建立个人健康档案以及个人剂量档案并终身保存。

13.1.8 辐射与环境保护管理

医院成立了放射诊疗管理委员会，制订了相关管理制度，包括应急预案、设备操作制度、管理措施等，规章制度基本健全，具有可操作性，满足辐射管理的要求。医院拟采用内部调配的方式配备 2 名相关的专业人员操作，且均要求取得辐射安全与防护培训证。

13.1.9 综合结论

综上所述，该医院只要严格按照国家有关辐射防护规定执行，严格执行相关规章制度、应急预案，则该项目对放射性工作人员和公众产生的辐射影响就可以控制在国家标准允许的范围之内，从辐射环境保护角度就认为该项目可行。

13.2 建议和承诺

- (1) 在建造施工过程中，要保证施工质量，还应进行混凝土质样检测，确保墙体厚度达标。
- (2) 机房的通风管道应做包铅处理，防止辐射泄漏。
- (3) 直线加速器机房的管道不应水平设置，避免有用线束直接照射。
- (4) 加强对直线加速器的安全装置的管理，经常检查直线加速器的安全装置，保证其安全装置处于良好工作状态，防止发生意外照射事故的发生。
- (5) 环境监测仪器应按照鉴定周期按期鉴定。按照监测计划对周围辐射环境进行监测，按时向监管部门上报辐射环境评估报告。

(6) 及时进行竣工环境保护验收及申报辐射安全许可证。

(7) 定期开展预定场景的演练，做好演练记录、评价总结，不断完善应急预案内容，提高应急响应、处置能力，杜绝辐射事故发生。

(8) 对本项目拟配备的放射工作人员加强辐射防护与安全培训，且确保所有放射工作人员均持证上岗。

(9) 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。

陕西科荣环保工程有限公司

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：			
公章			
经办人		年	月 日
审批意见：			
公章			
经办人		年	月 日

陕西科荣环保工程有限公司