核技术利用建设项目

双滦肿瘤医院新建使用II类射线装置（医用电子直线加速器）项目

环境影响报告表

双滦肿瘤医院

2020 年 **7** 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

双滦肿瘤医院新建使用II类射线装置（医用电子直线加速器）项目

环境影响报告表

建设单位名称：双滦肿瘤医院

建设单位法人代表（签名或签章）：郑建东

通讯地址：承德市双滦区双塔山镇广仁岭商业街8号楼

邮政编码：067000　　**联系人：**张博

电子邮箱：zhangbo_86426@aliyuan.com　　**联系电话：**15333146426

打印编号：1587894872000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	0mvejh
建设项目名称	双滦肿瘤医院新建使用II类射线装置（医用电子直线加速器）项目
建设项目类别	50_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）
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	双滦肿瘤医院
统一社会信用代码	52130803MJ0804956C
法定代表人（签章）	郑建东
主要负责人（签字）	辛建会
直接负责的主管人员（签字）	张博
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	中核第四研究设计工程有限公司
统一社会信用代码	911301001043361316
三、编制人员情况	

1.编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
何占飞	2015035130350000003510130109	BH018152	

2.主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
何占飞	表1~表5	BH018152	
王兴华	表6~表13	BH018174	

姓名:
Full Name 何占飞

性别:
Sex 男

出生年月:
Date of Birth 1982年9月

专业类别:
Professional Type

批准日期:
Approval Date 2015年5月

持证人签名:
Signature of the Bearer

签发单位盖章:
Issued by

签发日期: 2015 年 10 月 13 日
Issued on

201503513035000000351013O109
管理号:
File No.

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发，它表明持证人通过国家统一组织的考试，取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.

中华人民共和国人力资源和社会保障部

approved & authorized by
Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China

中华人民共和国环境保护部

approved & authorized by
Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号: HP 00017317
No.

目　录

表 1　项目基本情况 1
表 2　放射源 6
表 3　非密封放射性物质 7
表 4　射线装置 8
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） 9
表 6　评价依据 10
表 7　保护目标与评价标准 12
表 8　环境质量和辐射现状 16
表 9　项目工程分析与源项 19
表 10　辐射安全与防护 23
表 11　环境影响分析 31
表 12　辐射安全管理 50
表 13　结论与建议 56
表 14　审批 60
附图与附件： 61

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">双滦肿瘤医院新建使用 II 类射线装置（医用电子直线加速器）项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">双滦肿瘤医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>郑建东</td><td>联系人</td><td>张博</td><td>联系电话</td><td colspan="2">15333146426</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">承德市双滦区双塔山镇广仁岭商业街 8 号楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">承德市双滦区双塔山镇广仁岭商业街 10 号楼西侧（独立半地下建筑）</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td>/</td><td colspan="2">批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>3000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>210</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>7%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建　□改建　□扩建　□其它</td><td>占地面积（m^2）</td><td>910</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□I 类　□II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□I 类（医疗使用）　□II 类　□III 类　□IV 类　□V 类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□乙　　□丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II 类　□III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

1.1 建设单位概况

双滦肿瘤医院是承德市双滦区政府重点项目，由院士团队发起创办，社会力量参与，以“患者满意、员工满意、政府满意”三满意为目标，以“高水平的专家、高质量的医疗、高品质的服务”为标准，围绕“全人全程”健康服务理念建设的国际化、智能化、标准化、人性化，集肿瘤预防、诊断、治疗为一体的非营利性新型肿瘤专科医院。

肿瘤治疗以手术、放射治疗、化疗为主要治疗手段的综合治疗。而医用电子直线加速器是目前较为先进的放射治疗设备，无永久放射源，在治疗的时候直接通过电能最终转化为 X 射线进行治疗，可有效减少操作人员的额外电离辐射，能更加精确的治疗肿瘤。根据统计，70%以上的肿瘤病人在病情的不同阶段需作放射治疗。包括：单独放射治疗，与手术，化疗配合进行。约 40%的综合治疗肿瘤病人可通过对原发灶的巩固治疗和避免转移灶的发生争取达到临床治愈。

直线加速器在放射治疗手段中具有明显优势，具有针对病灶的精确立体定位、精确治疗计划输出、精确摆位治疗从而对肿瘤组织进行有效的治疗的同时完成正常组织的最大保护，起到良好的治疗效果，提高就医者的 5 年生存率和生活质量。为更好的为患者服务，提高医疗质量，医院计划在 10#楼西侧建设独立半地下结构加速器机房 1 座，引进 1 台 6MV 医用电子直线加速器，本台加速器即为本次评价内容。

1.2 地理位置及周边环境概况

双滦肿瘤医院位于河北省承德市双滦区双塔山镇广仁街岭商业街 8#、9#、10#楼，拟建项目位于 10#楼（为该院住院楼）西侧独立半地下建筑，其中心地理坐标为北纬 40°58′53.33″，东经 117°50′54.25″。住院处院区周边南侧为广仁大街，东侧为汽车商行，北侧为承钢铁路专用线，隔铁路为广仁岭大街，西侧为广仁大街与广仁岭大街连接路，隔路为该院门诊及办公楼（8、9#楼）。本次拟建电子直线加速器机房位于该院 10#住院楼负一层西侧 1.6m 处，是一与住院楼负一层贯通的独立建筑，上为地表（突出地表 3.0m），下为地基基础地面。机房南、西、北三面均为土壤层，东面为住院楼负一层内的辅助用房、候诊大厅、模室、计划室、办公室、控制室等。电子直线加速器机房 50m 范围内敏感点主要为操作射线装置的职业工作人员，医院计划室及办公区、候诊大厅、住院楼、医院院内空地内工作人员和公众人员，东侧汽车商行、途径广仁大街、广仁岭大街的公众以及周边偶尔逗留的公众人员。不涉及新征用地，项目评价范围内无自然保护区、水源保护地、风景名胜区及重要自然和文化遗产保护地等特殊敏感目标。双滦肿瘤医院地理位置见图附图一。双滦肿瘤医院周边关系图见附图二。

1.3 项目建设内容

双滦肿瘤医院根据放射治疗的需要，拟新增 1 台医用电子直线加速器（以下简称“直线加速器”），这台加速器属于 II 类射线装置。主要用于患者肿瘤治疗，计划在医院 10#楼西侧半地下新建加速器机房中使用。同时配套建设控制室、辅助机房和水冷机房、CT 模拟定位室、CT 控制室和计划治疗室及相应环保防护工程等。本项目于 2019 年 8 月份建设，计划于 2021 年投入运行，具体建设内容见表 1-1。加速器机房的位置见附图三。

项目评价对象即为 1 台新增 6MV 直线加速器（属于 II 类射线装置），其该台加速器型号、X 射线能量等参数均已确定，具体参数详见表 1-2。

表 1-1 建设内容一览表

类别	房间名称	位置	使用面积（m^2）	用途
主体工程	加速器机房（含迷道）	10#病房楼负一层西侧（独立半地下建筑）	67	6MeV 加速器治疗用房
	加速器控制室	10#病房楼负一层南侧西起第二室	16	加速器控制用房
辅助工程	候诊大厅	10#病房楼负一层东北侧区域	25	候诊
	加速器辅助机房	10#病房楼负一层南侧西起第一室	16	加速器辅助工作用房
	CT 模拟定位室	10#病房楼负一层东侧北起第三室	14	模拟定位
	CT 控制室	CT 模拟定位室南侧	7	模拟定位控制用房
	计划治疗室	CT 模拟定位室北侧	13	诊断治疗
	办公室	计划室北侧	10	办公
	公共区域	加速器机房东侧	153	公用走廊
防护工程	加速器机房四周墙壁、顶棚、地板	东侧主屏蔽墙	220cm 厚度，370 宽度混凝土	
		东侧副屏蔽墙	130cm 厚度混凝土	
		西侧主屏蔽墙	220cm 厚度，370 宽度混凝土（外侧为土层）	
		西侧副屏蔽墙	130cm 厚度混凝土（外侧为土层）	
		南侧屏蔽墙	145cm 厚度混凝土（外侧为土层）	
		迷道内墙	110cm 厚度混凝土	
		迷道外墙	115cm 厚度混凝土（外侧为土层）	
		室顶主屏蔽墙	220cm 厚度，370 宽度混凝土	
		室顶副屏蔽墙	135cm 厚度混凝土	
	防护门	1cm 铅当量操作间防护门（门洞宽高为 1.6m×2.3m）		
	工作人员	个人防护用品	个人剂量计及个人剂量报警仪	
		辅助防护设施	电视监控、对讲系统、控制台急停按钮、声光提示等	
	患者和受检者	个人防护用品	电视监控、对讲系统、治疗床旁及迷道紧急停机按钮、铅衣、铅帽	
	加速器机房顶部地面	高出地表 3.0m，四周设立围栏，形成实体防护		
	排风系统	排风管道由迷道并在防护门上方采用“Z”方式穿出机房，其排气筒附着在 10#病房楼西南侧高于楼顶排放		

	监控系统	控制室通过音视频监控系统观察及联系机房内患者治疗	
	监测设备	便携式 X-γ 辐射剂量仪	检测机房周围剂量率
	其他	门灯连锁、室内急停按钮、空调通风、固定式剂量报警仪、辐射警示标志等	

表 1-2 本项目涉及/评价的加速器工作参数一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	X 射线能量（MV）	电子线能量（MeV）	性质	所在房间
1	直线加速器	NMSR600	II 类	6	/	新增	加速器机房

1.4 项目目的和任务由来

项目涉及的 1 台直线加速器属于 II 类射线装置，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》的要求，双滦肿瘤医院需对该核技术利用项目进行环境影响评价，编制环境影响报告表。

双滦肿瘤医院于 2019 年 10 月委托中核第四研究设计工程有限公司对该项目开展辐射环境影响评价。接受委托后，中核第四研究设计工程有限公司组织技术人员对本项目工作场所和周围环境进行现场调查、踏勘并委托河北冀辐源环保科技有限公司对本项目放射性工作场所进行辐射环境质量本底监测，结合项目的实际情况及建设方提供的相关资料进行分析，在此基础上编写完成本项目环境影响报告表。

1.5 建设单位前期环评等手续履行情况

1）环评手续

2013年7月11日，承德市广都森蓝房地产开发有限公司取得了承德市环境保护局出具的关于《承德市广仁岭风情商业街8-12号楼建设项目环境影响报告表》的批复，批复文号承环评（2013）60号，详见附件十六；

2017年12月18日，承德市广都森蓝房地产开发有限公司取得了承德市环境保护局出具的关于《承德市广仁岭风情商业街8-12号楼建设项目变更环境影响报告表》的批复，批复文号承环评（2017）38号，详见附件十七；

2018年12月21日，医院取得了承德市双滦区分局出具的关于《双滦肿瘤医院扩建项目环境影响报告表》的批复，同意其租赁现有独立商业楼8、9号楼进行建设，批文号为：承双滦环审（2018）44号详见附件十八；租赁协议见附件十九；

2019年8月13日，医院取得了承德市双滦区分局出具的关于《双滦肿瘤医院住院楼

扩建项目环境影响报告表》的批复，同意其租赁现有独立商业楼10号楼进行建设，批文号为：承双滦环审（2019）20号，详见附件二十。

2）验收手续

2018年4月23日，承德市广都森蓝房地产开发有限公司通过了《承德市广仁岭风情商业街8-12号楼建设项目》竣工环境保护验收，验收文号为：承双滦环验（2018）5号；详见附件二十一；

2019年4月10日，医院通过了《双滦肿瘤医院扩建项目》（租赁使用商业楼8、9号楼）竣工环境保护验收，验收意见详见附件二十二；

3）核技术利用情况

双滦肿瘤医院现使用 1 台型号为 NeViz16Classic 的 III 类射线装置 CT 和 1 台型号为 DT570 的 III 类射线装置 DR，2 台射线装置现均已完成备案并取得辐射安全许可证，其 DR 机使用场所位于医院 8 号楼一层西侧的 DR 室，CT 机拟放置于加速器机房 CT 模拟定位室。

目前，双滦肿瘤医院正同期建设核医学科，其环评手续正在办理过程中。

双滦肿瘤医院于 2019 年 11 月 19 日取得承德市行政审批局颁发的辐射安全许可证（冀环辐证[H1904]），允许其使用III类射线装置，许可的III类射线装置见表 1-3。辐射安全许可证详见附件二十三。

表 1-3 原许可使用的射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	用途
1	数字化 X 射线系统（DR）	III类	1	DT570	医用诊断 X 射线装置
2	X 射线计算机断层扫描（CT）	III类	1	Neuviz16Classic	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置

1.6 前期管理情况

双滦肿瘤医院目前有三类射线装置，已成立放射防护管理领导小组，针对已有的设备制定并实行了《放射科人员岗位职责》等规章制度，目前医院无辐射事故发生。

综上所述，双滦肿瘤医院前期各项环保手续齐全，无不符合环保要求的行为发生。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/								

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	医用直线加速器	II 类	1	NMSR600	电子	X 线：6MV；电子线：/	180	放射治疗	直线加速器机房	新增
/										
/										

（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（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
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	无	通过直线加速器机房的排风系统排入外环境。
/								
/								

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/m^3；年排放总量 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/m^3）和活度（Bq）

表 6　评价依据

法规文件	1）《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，2015 年 1 月 1 日起施行）； 2）《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六号，2003 年 10 月 1 日起施行）； 3）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第二次修正）； 4）《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行）； 5）关于修改《建设项目环境影响评价分类管理名录》部分内容的决定（生态环境部令 第 1 号，2018 年 4 月 28 日起施行）； 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，2019 年 3 月 2 日修订）； 7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第 3 号，环保部令第 47 号二次修改，2019 年 8 月 22 日起修订并实施）； 8）《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 5 月 1 日起施行）； 9）《关于发布射线装置分类办法的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会发布公告，2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日）； 10）《河北省环境保护条例》（河北省第十届人民代表大会常务委员会第十四次会议通过）； 11）《河北省辐射污染防治条例》（河北省第十二届人民代表大会常务委员会第四次会议于 2013 年 9 月 27 日通过）； 12）《河北省建设项目环境保护管理条例》（河北省第十届人民代表大会常务委员会第十四次会议修改，2005 年 3 月 25 日）。
技术标	1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 2）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）； 3）《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）； 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》

准	（GBZ/T201.2-2011）； 5）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）； 6）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）。
其他	1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 2）环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序（第三版）（2012 年 3 月）； 3）双滦肿瘤医院委托书、承诺书、辐射安全防护和管理等各项工作制度； 4）建设单位提供的工程基础资料等。

表 7　保护目标与评价标准

评价范围

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），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。本项目加速器机房周边情况评价范围见图 7-1。

图 7-1　直线加速器所在房间及评价范围（50m）

由图 7-1 可知，本项目的评价目标为直线加速器，加速器所在机房布置在 10#住院楼西侧独立半地下建筑，位于该院住院楼负一层西侧 1.6m 处，是与住院楼负一层贯通的独立建筑。机房南侧为南侧为广仁大街，东侧为汽车商行，北侧为承钢铁路专用线，隔铁路为广仁岭大街，西侧为广仁大街与广仁岭大街连接路，隔路为该院门诊及办公楼（8、9 号楼）。此外，还要考虑本项目加速器所在房间上下楼层所对房间。加速器机房上为地表（突出地面 3.0m），下为地基基础地面，机房南、西、北侧均为

土壤层，针对本项目而言，评价因子是：

1）直线加速器机房周围 30cm 处，评价因子为剂量率水平；

2）直线加速器机房周围 50m 范围内对工作人员、公众有可能产生辐射影响的位置，评价因子为年有效剂量。

保护目标

本项目的主要环境保护目标为使用加速器装置所涉及的职业工作人员，以及距加速器装置机房实体屏蔽物为边界向外延伸 50m 范围内的公众（包括周边其他科室医务人员）。主要考虑加速器运行过程中对辐射工作人员和在机房周围停留的公众的影响，使其受照剂量低于本报告提出的剂量约束值确保加速器运行时职业工作人员和公众的安全。

本项目拟购医用加速器位于 10#住院楼负一层西侧 1.6m 处，是一与住院楼负一层贯通的独立建筑。本项目环境保护目标主要分布于加速器治疗室周围。本项目具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 项目主要环境保护目标

类型	保护目标	相对位置	与加速器靶源装置的距离（m）
负一层			
职业照射	6MV 直线加速器辐射工作人员（操作人员）	控制室，位于加速器机房东侧	约 12m
公众照射	计划室及办公区医务人员	加速器机房东北侧	约 24m
	就诊及陪同人员	候诊大厅，加速器机房东北侧	约 18m
地面			
公众照射	临时停留人员	地面上层空间，加速器机房上方	约 8m
	商业楼	机房上方东侧	约 48m

评价标准

1、周围剂量当量率

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011），在加速器迷道口处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

2、职业照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 B 剂量限值：应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作为任何追溯性平均），20mSv。

结合本项目所在地生态环境主管部门的要求，根据辐射防护最优化原则并结合本项目特点，取 5mSv/a 作为本项目职业工作人员的剂量约束值。

3、公众照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 B 剂量限值：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值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

根据辐射防护最优化原则并结合本项目特点，本项目公众照射年有效剂量管理约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）公众照射剂量限值 1mSv 的四分之一执行，即 0.25mSv/a 作为本项目公众的剂量约束值。

4、机房屏蔽要求

4.1 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）

本标准规定了医用电子加速器用于临床治疗时的放射防护要求。本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。

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。

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。

3）穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

4）X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

5）治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6）治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 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。

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。

9）治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

4.2 《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）

迷路的防护门结构应考虑门因自身重量而发生形变、频繁开关门的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等问题。防护门应尽可能减小缝隙泄漏辐射，通常防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。

4.3 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：一般原则》（GBZ/T 201.2-2011）

对不需要人员到达并只借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv/h 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

4.4 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）可知，附录 B 中有关“有害性气体的产生和排放计算”中表明：

空气在辐射照射下产生臭氧（O_3）和氮氧化物（NOx）等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要是考虑臭氧的产生及其防护。

5、不同场所的居留因子

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）附录 A，放射治疗机房及周围不同场所的居留因子的选取详见表 7-2。

表 7-2 环境保护目标中人员距离射线装置的距离

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

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

本次评价委托河北冀辐源环保科技有限公司于 2020 年 4 月 29 日对本项目辐射工作场所的辐射环境质量背景水平进行了监测，监测报告编号为冀辐源环检字[2020]第 030 号，监测数据如表 8-1，监测报告见附件十七。

1、项目地理和场所位置

双滦肿瘤医院位于承德市双滦区双塔山镇广仁岭商业街，本项目拟新增的 1 台直线加速器位于医院 10#住院楼新建的直线加速器机房处。加速器平面布置及周边关系见附图二。本底监测时 50m 评价范围内无其它辐射设备工作。

2、环境现状的评价对象、监测因子和监测点位

1）评价对象

评价对象为本项目评价范围内的环境现状辐射水平。

2）监测因子

监测因子为 X-γ 辐射空气吸收剂量率。

3）监测点位

辐射环境现状监测点位布置在新建加速器机房。X-γ 辐射空气吸收剂量率现状监测共布设 9 个监测点位，具体监测点位见图 8-1。

3、监测方案、质量保证措施和监测结果

1）监测方案

（1）监测项目

X-γ 辐射空气吸收剂量率。

（2）监测布点

监测点位置详见图 8-1。

（3）监测方法

《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）。

（4）数据记录及处理

每个点位读取 5 个数据，待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值。

（5）监测仪器

采用的监测仪器性能参数及其检定情况见表 8-1。

表 8-1 采用的监测仪器性能参数及其检定情况

仪器名称	X、γ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E-10
检定单位	河北冀辐源环保科技有限公司
检定证书编号	GFJGJL2006181465B12
测量范围	1nSv/h~100μSv/h
检定有效期	2019 年 12 月 25 日~2020 年 12 月 25 日

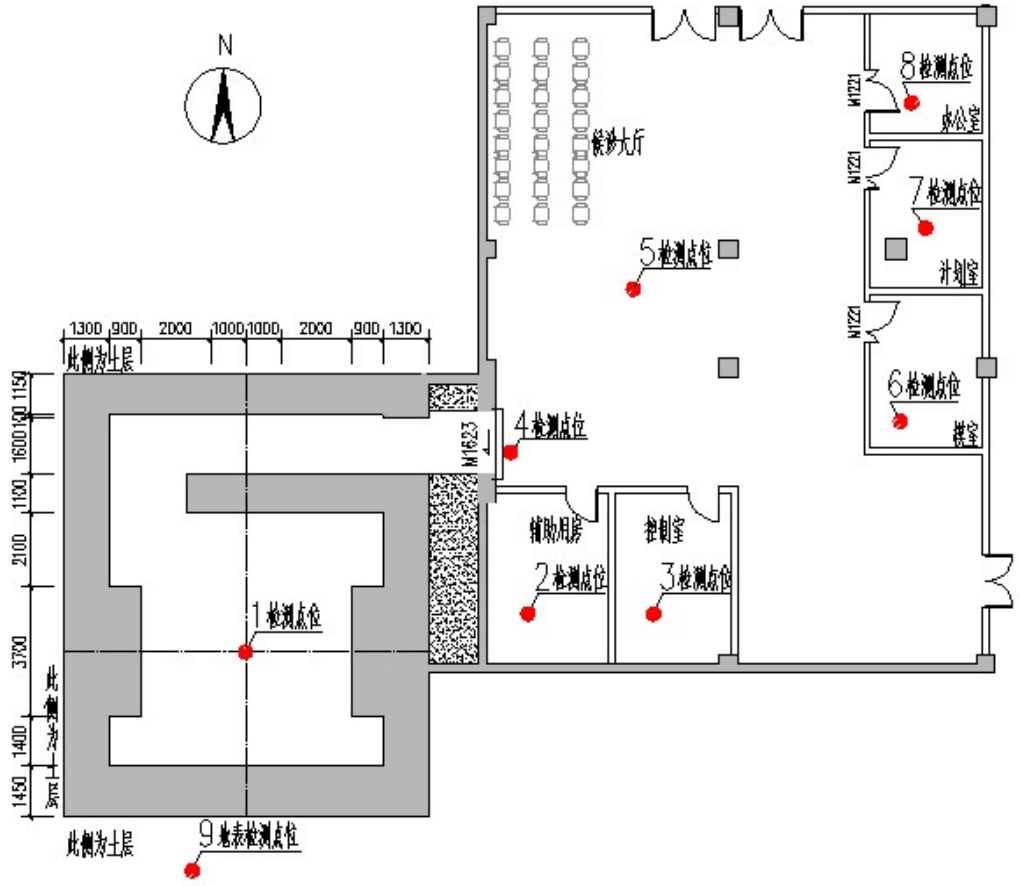


图 8-1 监测点位置示意图

2）质量保证措施

（1）监测单位计量认证

河北冀辐源环保科技有限公司拥有河北省质量技术监督局颁发的《检验检测机构资质认定证书》，其编号为 180312341856，有效期至 2024 年 5 月 10 日。

（2）监测日期及监测条件

监测日期：2020 年 4 月 29 日

天　　气：晴

环境温度：25℃

相对湿度：35%

（3）监测布点

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）确定监测布点范围，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）规定的监测布点要求进行监测布点。

（4）监测过程质量控制质量保证

按照 CMA 计量认证的规定和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）的要求，实施全过程质量控制。

（5）监测人员质量保证

本项目监测人员均已通过辐射环境监测技术培训并持证上岗。

3）监测结果

加速器机房评价范围内 X-γ 辐射空气吸收剂量率监测结果见表 8-2。

表 8-2　本项目 X-γ 辐射剂量率本底检测结果（nSv/h）

序号	检测对象	检测点位置		γ 辐射剂量率（nGy/h）
1	加速器	1 号检测点位	机房内部	36.6
2		2 号检测点位	辅助用房	58.0
3		3 号检测点位	控制室	56.7
4		4 号检测点位	迷道口	54.2
5		5 号检测点位	候诊大厅	59.3
6		6 号检测点位	模室	67.2
7		7 号检测点位	计划室	59.5
8		8 号检测点位	办公室	58.4
9		9 号检测点位	机房屋顶次屏蔽处南侧	40.8

备注：已扣除宇宙射线响应值（14.8 nGy/h）

4）环境现状调查结果的评价

根据《中国环境天然放射性水平》得知：河北省承德市建筑物室内辐射剂量率为 91.4~122.5 nGy/h，室外 50.8~132.2 nGy/h。从表 8-2 中可知，本项目室内监测值为 36.6nGy/h~67.2 nGy/h，室外监测值 40.8nGy/h，与全国环境天然放射性本底调查承德市辐射本底值的水平相当。综上，本项目拟建场址辐射环境处于本底状态。

表 9　项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1、项目组成

双滦肿瘤医院拟在院区改建 10#住院楼负一层西侧 1.6m 处新建加速器机房，机房为半地下结构型式，与住院楼负一层贯通的独立建筑，上为地表（突出 3.0m），下为地基基础。使用 1 台医用电子直线加速器（属于 II 类射线装置）。本项目直线加速器的关键技术参数详见表 9-1：

表 9-1 直线加速器的关键参数

名称	X 射线能量	电子束能量	X 射线剂量率	X 射线最大照射野	射线泄漏率	治疗角度	治疗距离	出束时间
直线加速器	6 MV	/	300cGy/min	40cm×40cm	≤0.1%	360 度	100cm	625h/a

2、工作原理及工艺流程

2.1 加速器的工作原理及工艺流程

1）工作原理

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，因此，医用电子直线加速器可利用 X 射线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。直线加速器可根据所诊疗癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射诊疗。

2）设备组成

直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪发射电子，在由磁控管或速调管为功率源的加速管中加速，当达到所需能量时，经散射箔和准直器得到治疗电子束。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 射线，经初级准直器和均整器形成剂量均匀的 X 射线束，再通过监测电离室和次级准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。典型医用电子直线加速器组成及内部结构分别见图 9-1 及图 9-2。

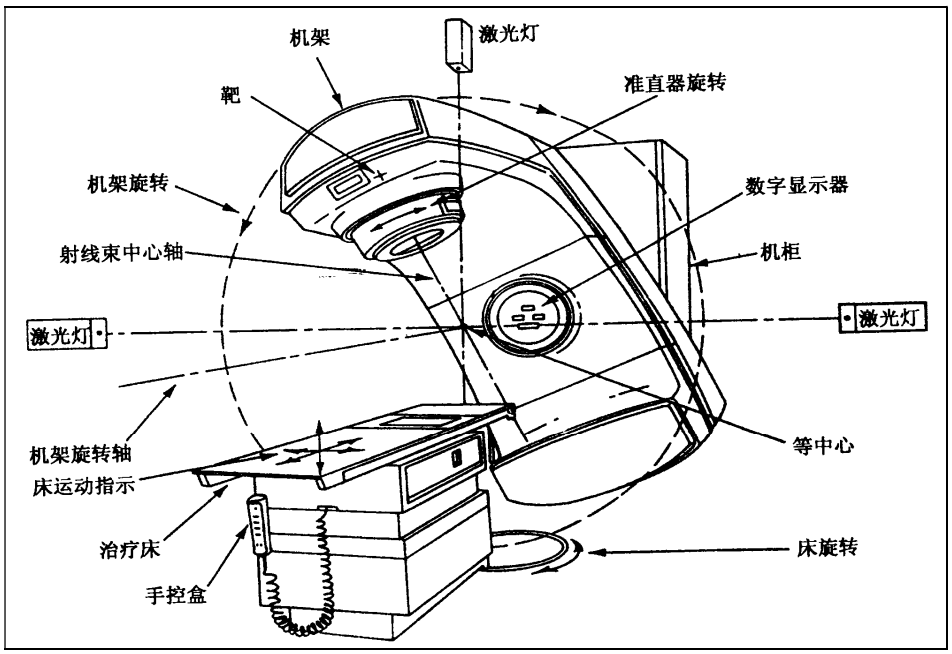


图 9-1　典型医用电子直线加速器结构示意图

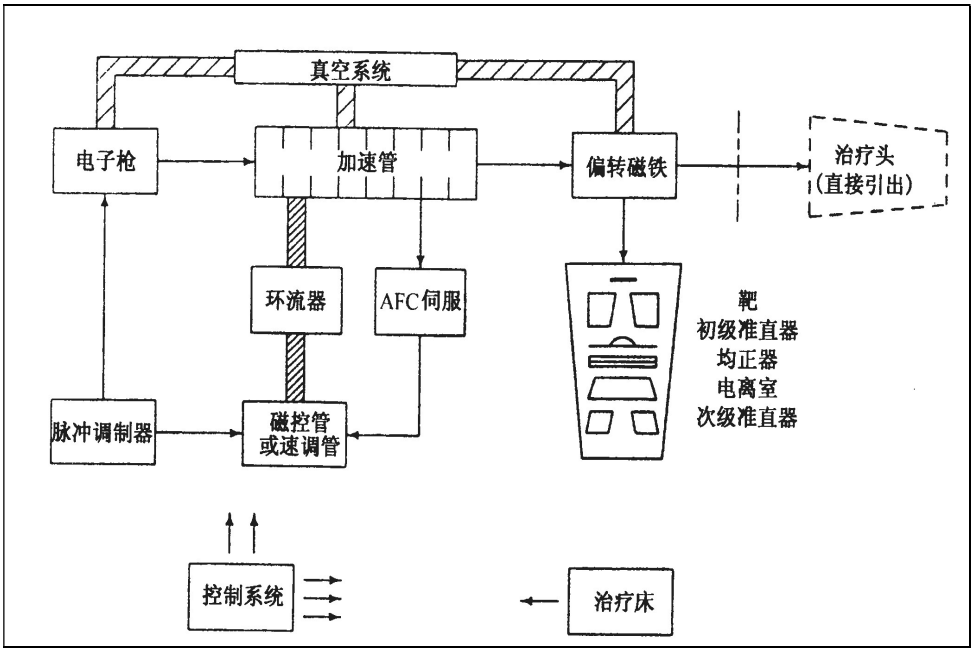


图 9-2　典型医用电子直线加速器内部结构框图

3）工作流程

直线加速器治疗流程为：接诊病人，放射治疗确定→病情评估→定位，勾画靶区→制定治疗计划→确定治疗计划→出束治疗→治疗完成。

（1）接诊病人，需要接受治疗的患者进行定位前准备；

（2）病人先在体架上进行塑模，然后在模拟定位机下进行定位，而后勾画治疗靶区；

（3）确定治疗靶区后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成；

（4）治疗计划制定后，病人在技术工作人员的协助下，依据计划在治疗床上进行摆位，确定病人位置及治疗坐标，每位病人的摆位时间平均约 3min，该过程在治疗机房治疗床上完成；

（5）摆好位后，技术人员进入操作间，确定患者的治疗计划及所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射，治疗期间直线加速器机房门不能从外面打开，当机房内出现异常情况时，操作人员应立即启动控制面板上的紧急停机按钮并迅速撤出相关人员；

（6）照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

直线加速器大致治疗流程及产污环节示意图详见图 9-3。

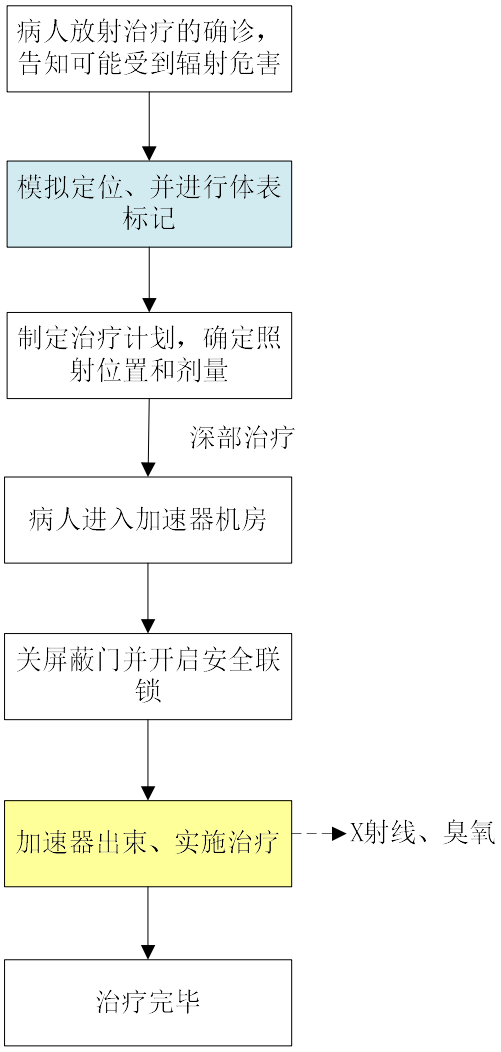


图 9-3 项目医用直线加速器治疗流程及产污环节示意图

2.2 工作时间及人员编制

项目建成投入运营后的工作制度，按每周工作 5 天，年工作 50 周考虑。

直线加速器每周开机照射 12.5h，年照射 625h。

直线加速器机房拟配备 9 名从事辐射工作职业人员，其中医师 4 人、技师 4 人、物理师 1 人。

污染源项描述

由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，受到金属靶的阻止而产生高能 X 射线，这种 X 射线随机器的开、关而产生和消失。本项目新增的直线加速器最高输出的是 6MV 的 X 射线，由于 X 射线的贯穿能量极强，可能对职业工作人员、公众人员及周围环境造成辐射污染。根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中 6.15 条“X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子的辐射防护”。本项目直线加速器能量为 6MV，不大于 10MV，故不考虑中子辐射防护。本项目主要的污染源项如下：

1）X 射线及高能电子束

项目直线加速器利用 X 射线对患者病灶进行照射。X 射线随加速器的开、关而产生和消失。项目中直线加速器利用 X 射线对患者进行治疗过程中有用线束和漏射、散射的 X 射线对周围环境造成辐射污染。

2）非放射性有害气体

项目直线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（NOx）。

综上所述，本项目加速器产生的主要放射性污染物为 X 射线造成的外照射影响，产生的非放射性气体为臭氧和氮氧化物（NOx）。加速器装置在使用过程中无其它放射性废气、废水产生。

表 10　辐射安全与防护

项目安全设施

1、项目工作场所布局、分区原则和区域划分情况

1.1 工作场所布局

加速器机房拟建于医院 10#住院楼西侧，为独立半地下建筑，与该住院楼负一层相连通，上为地表（突出地表 3.0m），下为机房地基基础，机房南、西、北侧均为土壤层。东面为 10#住院楼负一层内的候诊大厅、CT 模拟定位室、计划室、办公室、控制室等。加速器机房所在平面布置图详见附图四。

1.2 辐射工作场所分区

1.2.1 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在放射性工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。控制区的进出口及其他适当位置应设置醒目的电离辐射警告标志。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下该区域通常不需要专门防护手段或安全措施，但需经常对职业照射条件进行监督和评价。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

1.2.2 控制区与监督区划分

1）区域划分

结合项目诊治过程中辐射防护和环境情况特点进行放射性工作场所分区划分，本项目放射性工作场所分区的具体划分情况见表 10-1 及图 10-1。

表 10-1　本项目放射性工作场所分区表

区域	楼层	控制区	监督区
放疗科	10#住院楼	直线加速器机房	直线加速器机房邻近辅助用房、控制室、CT 模拟定位室

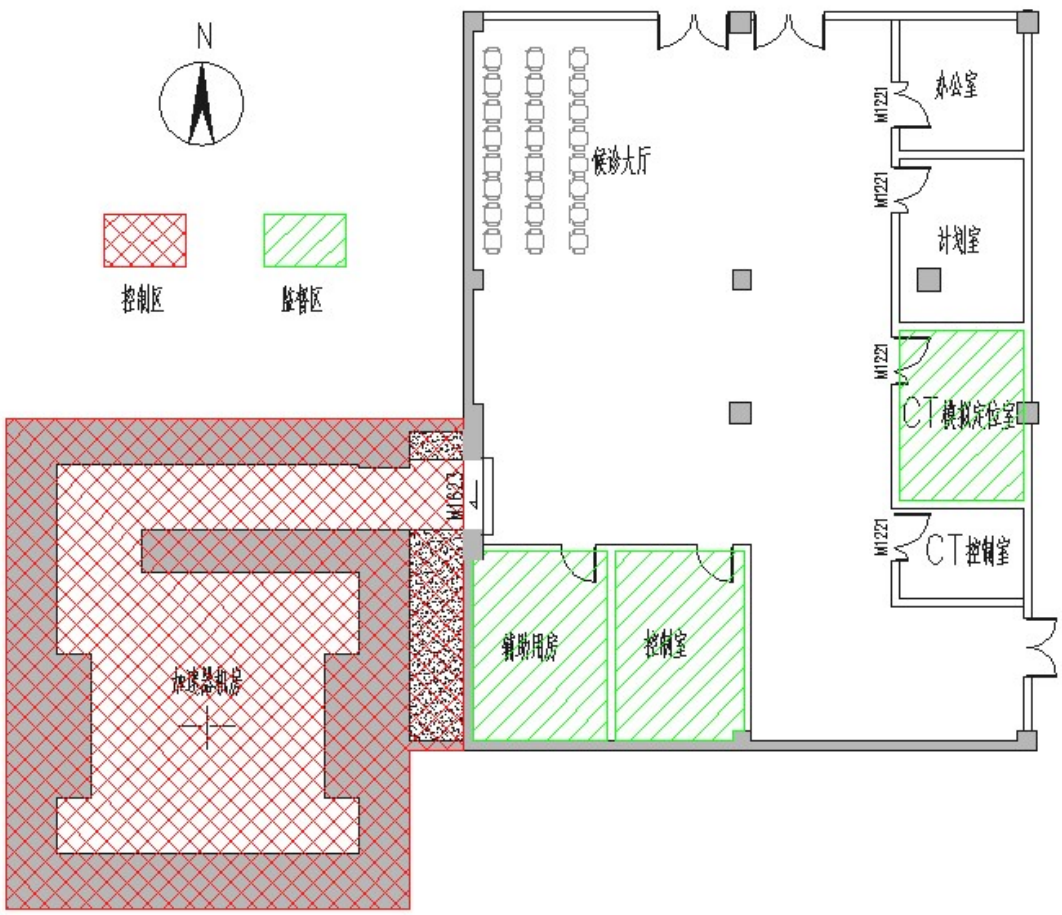


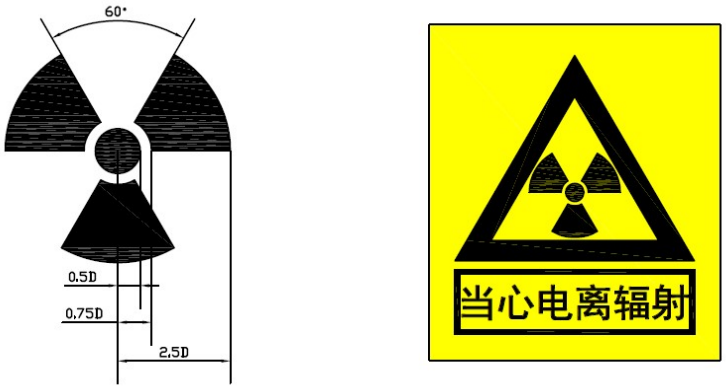
图 10-1 医用直线加速器辐射防护分区示意图

2）防护手段与安全措施

控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目单位应做到：

（1）控制区的防护手段与安全措施：

①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-2）；



a 电离辐射标志　　b 当心电离辐射警告标志

图 10-2 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制人员进、出控制区；

④定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

（2）监督区的防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

2、工作场所辐射安全及防护措施

项目直线加速器主要辐射为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

2.1 屏蔽防护

本项目 6MV 直线加速器辐射工作场所的辐射防护屏蔽设计如下：

直线加速器机房位于 10#住院楼负一层，机房墙体及顶板为混凝土浇筑（密度 2.35g/cm^3）。该机房主体内部尺寸（长（主屏蔽）×宽×高）为 7.8m×7.2m×3.6m，包括迷道在内的总面积约为 67m^2，总容积约为 241m^3 。机房迷道为 L 型，迷道内口宽度为 2.2m，迷道宽为 1.8m，迷道外口宽度为 1.6 m。

机房东侧主屏蔽墙为 220cm 混凝土，次屏蔽墙为 130cm 的混凝土；西侧主屏蔽墙为 220cm 混凝土，次屏蔽墙为 130cm 的混凝土；顶部主屏蔽墙为 230cm 混凝土，次屏蔽墙为 135cm 的混凝土；南侧侧屏蔽墙为 145cm 的混凝土；北侧的迷道内墙屏蔽为 110cm 混凝土，迷道外墙为 115cm 混凝土；主屏蔽宽度为 370cm。机房各屏蔽墙体参数示意图见图 10-3，加速器机房各屏蔽墙体参数详见下表 10-2。

直线加速器机房防护门洞尺寸 1600mm×2300mm，防护门尺寸 2200mm×2550mm。机房门与门洞的上搭接宽度为 200mm，下搭接宽度为 50mm，左搭接宽度为 300mm，右搭接宽度为 300mm。机房门与墙之间的缝隙不超过 10mm。加速器机房采用铅防护门，防护门中铅板的厚度为 10mm，铅门表面为不锈钢板。

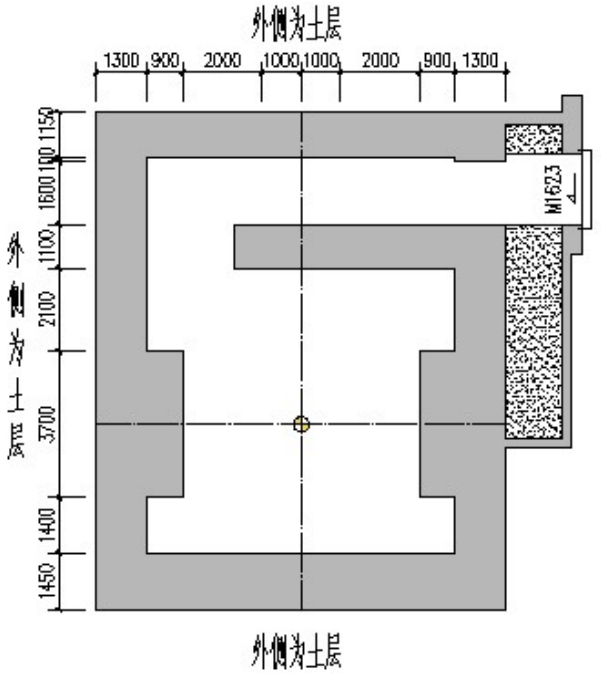


图 10-3 直线加速器机房各屏蔽墙体参数示意图 1

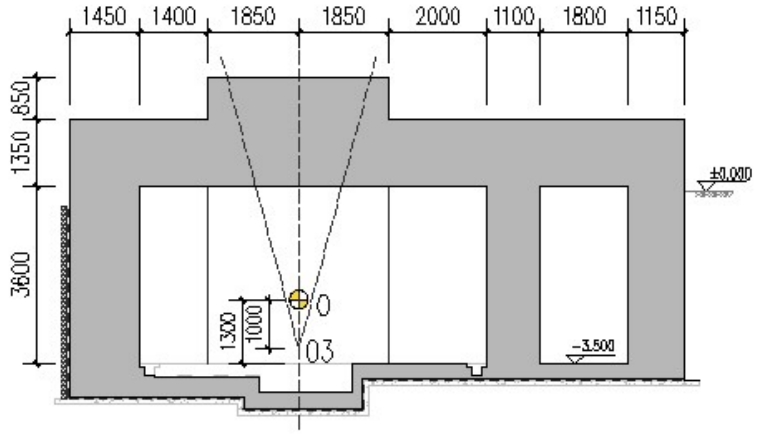


图 10-3 直线加速器机房各屏蔽墙体参数示意图 2

表 10-2 直线加速器机房各屏蔽墙体参数一览表

防护措施		防护材料	厚度，cm	主屏蔽宽度，cm
东墙	主屏蔽墙	混凝土	220	370
	副屏蔽墙	混凝土	130	
西墙	主屏蔽墙	混凝土	220（外侧为土层）	370
	副屏蔽墙	混凝土	130（外侧为土层）	
南墙	屏蔽墙	混凝土	145（外侧为土层）	
北墙	迷道内墙	混凝土	110	
	迷道外墙	混凝土	115（外侧为土层）	

室顶	主屏蔽墙	混凝土	220	370
	次屏蔽	混凝土	135	
防护门（门洞宽高为 1.6m×2.3m）		铅	1cm 铅当量	

2.2 源项控制

本项目医用电子直线加速器有用线束内杂散辐射和泄漏辐射不会超过《电子加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011）规定的限值。医师会根据肿瘤定位结果来判断病情状况，针对不同的病人会制定不同的放疗计划（包括放疗时间和放疗剂量），并通过可调限束装置进行参数设置，尽量避免不必要的照射，有效进行源项控制。

2.3 距离防护

本项目治疗区域将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受不必要的照射。同时将控制室尽可能的隔墙远离加速器机房，距离机房有 8m 远，办公室距离机房达到 24m。同时将机房顶突出地面位置将设置围栏，禁止相关人员靠近机房。

2.4 时间防护

在满足诊断的要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊疗之前，根据诊断要求和病人的实际情况制定最优化的治疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

2.5 辐射安全装置

1）操作人员隔室操作：本项目直线加速器控制室与机房之间以墙体隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监控系统观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲机与机房内患者联系。

2）门机联锁装置：加速器与屏蔽门之间设置联锁装置。屏蔽门未关好，加速器不能出束；加速器工作期间屏蔽门不能打开。

3）紧急制动装置和紧急开门按钮：除了加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上自带的紧急制动按钮外，机房内墙非主射线位置上、迷道门出口处均设置有紧急制动按钮，以使误入人员按动紧急制动按钮就能使加速器停机；迷道出口处设

置了紧急开门按钮。

4）工作状态显示及警示标识：加速器机房门外顶部设置工作状态指示灯。加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。加速器机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

5）在加速器机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），用于监测机房内的辐射水平并帮助工作人员判断设备工作状态，提示人员不能进入机房，以防人员误入。

6）个人防护：加速器机房的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

7）加速器将由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维修）。

8）其他要求：机房内安装应急照明装置，设置火宅自动报警装置等。

9）进风管道从防护门上方穿入，沿迷道吊顶上方引进至迷道处，进风管道口布置在迷道中部吊顶处，利用迷道走向与送风口形成对角布置；排风口设置在机房内东南侧墙角处，排风口高度距地面 0.5m 处，沿地下经“Z”型穿出，再沿 10#楼西侧南墙外立面引至本楼顶，高出楼顶进行排放。

10）加速器机房线缆采用“S”型方式穿过屏蔽墙。

以上辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响，辐射防护安全装置配备综合要求。

2.6 辐射安全装置落实情况对比分析

为防止发生辐射事故，根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》中对医用II射线装置辐射防护安全装置的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见表 10-3。

表 10-3 辐射安全防护设施汇总对照分析表

序号	项目	规定的措施	落实情况	备注
直线加速器	控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
		控制台有紧急停机按钮	设备自带	/
		电视监视与对讲系统	设备自带	/
		治疗室门与束流联锁（门-机联锁）	/	配置
		治疗室内准备出束音响提示	/	配置
	警示装置	入口电离辐射警示标志	/	配置

	治疗室紧急设备	入口有加速器工作状态显示（门-灯联锁）	/	配置
		迷道入口处设置紧急开门按钮并配备中文说明	/	配置
		治疗室及迷道有紧急停机按钮并配备中文说明	/	配置
		治疗床有紧急停机按钮	设备自带	/
		紧急照明或独立通道照明系统	/	配置
	监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	/	配置
		个人剂量报警仪	/	配置
		个人剂量计	/	配置
		便携式 X-γ 辐射监测仪	/	配置
	其它	通风系统	/	配置
		火灾报警	/	配置
		灭火器材	/	配置

3、工作场所安防措施

为确保本项目加速器装置的使用和安置贮存安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-4。

表 10-4 直线加速器工作场所安防措施一览表

工作场所	措施类别	对应措施
直线加速器工作场所	防盗和防破坏	1）医用直线加速器机房及附属设施纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏； 2）工作场所根据需要设置监控摄像头实行 24h 实时监控； 3）安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗窃事件，并立即向公安机关报案； 4）机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防射线泄漏	1）本项目所使用的医用直线加速器出厂时加速器的杂散辐射和泄漏辐射不会超过《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）规定的限值； 2）本项目机房已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和标准要求进行建设，加速器在使用过程中产生的泄漏辐射较少，对周围环境影响较小。

4、环保投资

为保证本项目安全持续开展，根据相关要求，医院将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-5。

表 10-5 环保设施及投资估算一览表

项目	辐射安全防护设施		数量（套/个）	投资金额（万元）
医用电子直线	实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1	173
		铅防护门	1	6.9
	联锁装置	门机联锁+门灯联锁	1	4.5

加速器	警示装置	入口电离辐射警示标志	1	0.001
		入口加速器工作状态显示	1	0.2
	紧急装置	紧急开门按钮	1	0.5
		监控、对讲装置	设备自带	设备自带
		固定式剂量报警仪	1	6.4
		机房内紧急停机按钮	设备自带	设备自带
	监测设施	个人剂量报警仪	5	6
		个人剂量计	9	3.5
		便携式 X-γ 剂量率仪	1	8
	患者个人防护用品	铅衣、铅帽	2	2
	合计			≈210

三废治理

1、废水

项目医用直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。

施工废水和工作人员生活污水依托医院已有设施进行处理。

2、废气

本项目 6MV 医用电子加速器在出束曝光过程中将产生少量的臭氧等废气。

为减少废气对人员产生影响，加速器机房设置独立的通排风系统，设计通排风量为 5000m^3/h，机房容积约 241m^3，可使加速器机房每小时换气 4 次以上。加速器在治疗过程中排风系统保持持续工作状态。加速器机房采用机械进排风方式。进风管道从防护门上方穿进来，沿迷道吊顶上方引进至迷道处，进风管道口布置在迷道中部吊顶处，利用迷道走向正与送风口形成对角布置；排风口设置在机房内东南侧墙角处，排风口高度距地面 0.5m 处，沿地下经“Z”型穿出，再沿 10#楼南侧外立面引至本楼顶，高出楼顶进行排放。

加速器机房通风量设计能满足辐射工作场所换气要求，产生的臭氧废气浓度低、分解时间段且引致室外循环、排放。从保护患者、医护人员的健康安全角度来看，本项目辐射场所换气次数及通风系统进、排风口位置的设置均是合理可行的。

3、固体废物

施工期产生的固废依托固废收集设施和市政环保设施处理。

运营期本项目加速器工作过程中不产生固体废物。工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾医院进行统一集中回收并交由环卫部门统一处理。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目医用直线加速器机房依托医院主体工程修建，医院主楼及其配套工程建设环境影响已编制了《双滦肿瘤医院环境影响报告表》，并取得了该报告及环评批复中提出的各项环保措施，并加强管理，项目施工期过程中产生的废水、废气、噪声及固体废物的排放均满足相关环保要求。

项目直线加速器机房所在新建医用直线加速器机房主体工程已完成建设，其关于《双滦肿瘤医院住院楼扩建项目环境影响报告表》审批意见见附件五。直线加速器机房楼在装修调试等过程中会产生扬尘、废水、固废、噪声等对周围环境产生影响，因此，需要在装修等过程中采取一定措施减弱建设阶段的环境影响。该过程产生的污染物及治理措施如下：

1）扬尘及其防治措施

本项目建设期可能会产生扬尘，采用洒水、围挡等方式抑尘。

2）废水及其防治措施

施工废水：本项目施工废水主要为混凝土搅拌产生的含泥废水，产生量较小，用于施工场地泼洒抑尘，不外排。

生活污水：本项目施工人员的生活污水可利用医院现有卫生设施处理。

3）固废及其防治措施

施工期固体废物主要包括建筑垃圾和施工人员生活垃圾，建筑垃圾运送政府指定的建筑垃圾消纳场处置；施工人员生活垃圾经收集后，定期送指定的垃圾收运点，交环卫部门统一处理。

4）噪声其防治措施

施工期噪声污染主要由施工作业设备产生，施工单位应尽量选用低噪声、低振动的机械设备，以控制施工噪声对周围环境的影响。

运行阶段对环境的影响

本次环评对新增的 1 台直线加速器（属于 II 类射线装置）产生的辐射影响进行分析、预测和评价。针对这台加速器，主要对其周围剂量率水平，职业工作人员和周边公众所受的年有效剂量进行定量分析，并与标准要求进行对比，得出是否满足标准要

求的结论，最后对事故风险进行分析并给出预防措施及应急预案。

根据建设单位和设备供货单位提供的资料，医院新增 1 台医用直线加速器， X 射线最大能量为 6MV，医用直线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为 300cGy/min，机头周围的泄漏率与最大吸收剂量的比值不超过 0.1%设备出束射线角度：±15°。医用直线加速器有用束野范围最大为：40cm×40cm。

加速器机房现各屏蔽墙的厚度详见下表 11-1。

表 11-1 加速器机房的屏蔽措施一览表

屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）	主屏蔽宽度	备注
机房四周墙体				
东墙	主屏蔽	220cm 混凝土	370cm	
	次屏蔽	130cm 混凝土	/	
南墙	侧屏蔽	145cm 混凝土	/	
西墙	主屏蔽	220cm 混凝土	370cm	
	次屏蔽	130cm 混凝土	/	
迷道				
北墙	迷道内墙	110cm 混凝土	/	
	迷道外墙	115cm 混凝土	/	
屋顶				
屋顶	主屏蔽	220cm 混凝土	370cm	
	次屏蔽	135cm 混凝土	/	
机房迷道防护门				
防护门	/	10mm	/	

1、加速器技术参数及工作负荷

本报告对 X 射线能量为 6MV 的医用直线加速器对环境产生的影响进行评价。医用直线加速器的技术参数及工作负荷见表 11-2。

表 11-2 医用直线加速器的技术参数及工作负荷明细表

	设备名称	医用直线加速器
技术参数	生产厂家	沈阳东软医疗系统有限公司
	型号	NMSR600
	电子线能量	/

	X 线能量	6MV
	最大输出剂量率	300cGy/min
	照射野范围	40cm×40cm
	机架旋转范围	±180°
	泄漏率（X 线、电子线、中子）	X 线：≤0.1%
工作负荷	1 个治疗时间（摆位、出束、完成）	12min
	每个病人每次出束时间	5min
	每天治疗的人次数量	30 人
	年工作时间	250 天
	年曝光时间	625h

2、机房面积符合性分析

本项目加速器机房的可使用面积约为 67m^2，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“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”的规定要求。

3、机房的屏蔽分析

1）有用线束主屏蔽区宽度核算

本项目设计的医用直线加速器机房主屏蔽区包括屋顶及墙体的部分位置。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），主屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下式计算：

$$Y_P = 2\left[(a + SAD)\tan\theta + 0.3\right] \quad \text{（式 11-1）}$$

式中：

Y_P：机房有用束主屏蔽区宽度，m；

a：等中心点到最近主屏蔽墙的垂直距离，m；

SAD：源轴距，项目取 1m；

θ：治疗束的最大张角（相对束中的轴线），单位为°；根据建设单位提供的资料，拟购医用直线加速器主射线方向最大出束方向最大出束张角为 30°，则θ=15°；

本项目直线直线加速器机房有用线束屏蔽墙宽度计算参数及结果如下表 11-3 所示：

表 11-3　有用线束屏蔽墙宽度计算参数及结果

参 数	取 值		
	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a（m）	3.9	3.9	4.5
SAD（m）	1	1	1
θ（°）	15	15	15
校核宽度Y_P（m）	3.2	3.2	3.5
设计宽度（m）	3.7	3.7	3.7
评 价	满足	满足	满足

由上表可知，本项目直线加速器所在机房的东、西墙、屋顶主屏蔽墙最大宽度分别需要 3.2m、3.2m、3.5m，本项目中直线加速器治疗室东、西墙、屋顶主屏蔽墙宽度的设计值分别为 3.7m、3.7m、3.7m，符合要求。

2）屏蔽透射因子 B 的计算

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》（GBZT 201.2-2011）“5 屏蔽估算方法”中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，首先计算有效厚度 Xe（cm），估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e = X / \cos\theta = X \bullet \sec\theta \quad \text{.....（式 11-2）}$$

式中：

X —设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角；

X_e—射线在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm。

$$B = 10^{-(Xe+TVL-TVL_1)/TVL} \quad \text{.....（式 11-3）}$$

式中，TVL_1（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TVL_1时，TVL_1=TVL。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

3）主屏蔽屏蔽墙效果预测（A 点、C 点、H 点）

射线路经（射线类型）：O_2→A（主射线）、O_1→C（主射线）、O_3→H（主射线）。如图 11-1 和图 11-2 所示。根据式（11-4）可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量

率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-4 所示。

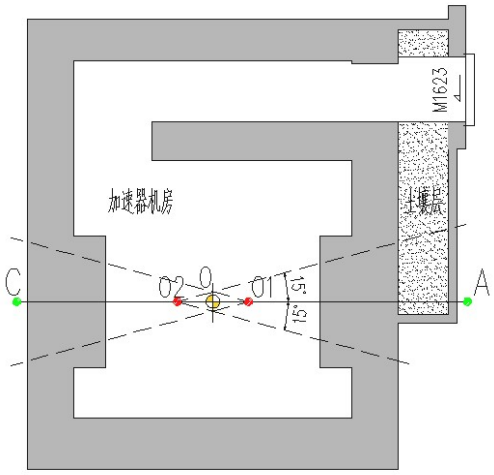


图 11-1　加速器运行时四周墙体周围的射线路径示意图

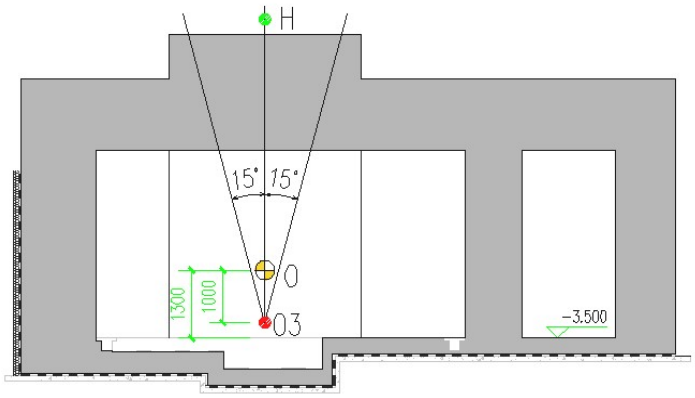


图 11-2　加速器运行时屋顶周围的射线路径示意图

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \bullet f \bullet B / R^2 \quad \text{.....（式 11-4）}$$

式中：

H_0—相应辐射在屏蔽体外关注点　的剂量率水平，μSv/h；

$\dot{H}_0$ —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，μSv・m^2/h（以 Sv・m^2/min 为单位的值乘以 6×10^7），本项目为 1.80×10^8μSv・m^2/h；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—对有用线束为 1；对泄漏辐射为泄露辐射比率，本项目泄漏率为 0.1%；

B—辐射屏蔽透射因子，根据式（11-3）计算。

将各个参数代入相应公式进行计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-4 所示。

表 11-4　主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	东墙主屏蔽（A 点）	西墙主屏蔽（C 点）	屋顶主屏蔽（H 点）
X（cm）	220 混凝土	220 混凝土	220 混凝土
Xe（cm）	220 混凝土	220 混凝土	220 混凝土
TVL（cm）	33	33	33
TVL_1（cm）	37	37	37
B	2.85×10^{-7}	2.85×10^{-7}	2.85×10^{-7}
R（m）	6.5/12（控制室）	6.5	5.8
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	1.80×10^{8}	1.80×10^{8}	1.80×10^{8}
f	1	1	1
$\dot{H}$（μSv/h）	**1.21（A 点位）** **0.356（控制室处）**	**1.21**	**1.52**
H（μSv/h）剂量率参考控制水平	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足

注：Xe 由图纸中直接测量所得。

4）侧屏蔽墙屏蔽效果预测（B 点、D 点）

射线路经（射线类型）：O1→B（泄漏射线）、O1→D（泄漏射线）。根据式（11-4），可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-5 所示。加速器运行时与侧屏蔽墙区射线路径示意图如图 11-3。

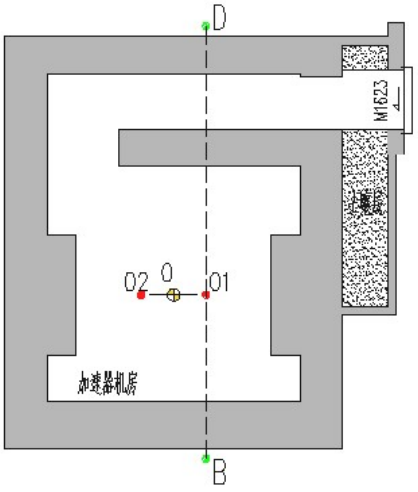


图 11-3　加速器运行时与侧屏蔽墙区射线路径示意图

表 11-5　直线加速器机房周围关注点剂量率

参数	南侧屏蔽墙（B 点）	北侧屏蔽墙（D 点）
X（cm）	145 混凝土	110 混凝土（迷道内墙）+115 混凝土（迷道外墙）
Xe（cm）	145 混凝土	225 混凝土
TVL（cm）	29	29
TVL_1（cm）	34	34
B	1.49×10^{-5}	2.59×10^{-8}
R（m）	5.0	8.2
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	1.80×10^{8}	1.80×10^{8}
f	0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	1.07×10^{-1}	**6.9×10^{-5}**
H（μSv/h）剂量率参考控制水平	2.5	2.5
评价结果	满足	满足
注：Xe 由图纸中直接测量所得。		

5）与主屏蔽区相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测（a1、a2 点、c1、c2 点 k1、k2 点）

加速器运行时与主屏蔽区相连的次屏蔽区射线路径示意图如图 11-4。

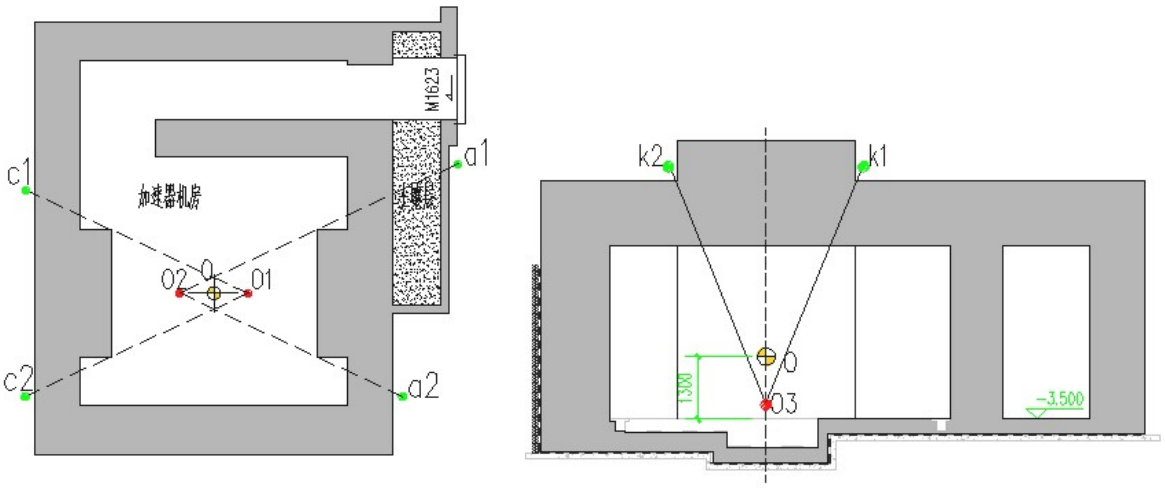


图 11-4　加速器运行时与主屏蔽区相连次屏蔽区射线路径示意图

①射线路经（射线类型）：O2→O→a1（散射射线）、O2→O→a2（散射射线）、O1→O→c1（散射射线）、O1→O→c2（散射射线）、O3→O→k1（散射射线）、O3→O→k2（散射射线）。

O2→a1（泄漏射线）、O2→a2（泄漏射线）、O1→c1（泄漏射线）、O1→c2（泄漏射线）、O3→k1（泄漏射线）、O3→k2（泄漏射线）。

对于位置 a1 点、a2 点、c1 点、c2 点和 k1 点、k2 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

②泄漏辐射计算

泄漏辐射屏蔽估算利用式（11-4）进行计算。f=0.001，为泄漏辐射比率。TVL_1 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL_1=34cm，TVL=29cm。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 Xe（cm），估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，对于 6MV 射线，当散射角为 30°时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm，再按照式（11-5）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet \alpha_{ph} \bullet (F/400)}{R_S^{\,2}} \bullet B \quad \text{.....（式 11-5）}$$

式中：

$\dot{H}$ —经患者身体一次散射辐射，在屏蔽体外关注点的剂量率水平，μSv/h；

$\dot{H}_0$ —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，μSv·m^2/h（以 Sv·m^2/min 为单位的值乘以 6×10^7），本项目为 1.80×10^{8}μSv·m^2/h；

α_{ph} —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；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

R_S—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

B—辐射屏蔽透射因子，根据式（11-3）计算。

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 H 相比较，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-6。

表 11-6　与主屏蔽区相连的次屏蔽区外关注点剂量率计算结果

参数		东墙次屏蔽（a1、a2 点）	西墙次屏蔽（c1、c2 点）	屋顶次屏蔽（k1、k2 点）
X（cm）		130 混凝土	130 混凝土	135 混凝土
Xe（cm）		143.4 混凝土	143.4 混凝土	145.6 混凝土
H_0（μSv·m²/h）		1.80×10^{8}	1.80×10^{8}	1.80×10^{8}
泄漏辐射	*TVL*（cm）	29	29	29
	TVL_1（cm）	34	34	34
	B	1.69×10^{-5}	1.69×10^{-5}	1.42×10^{-5}
	R（m）	7.1	7.1	5.3
	f	0.001	0.001	0.001
	H_d1	**6.02×10^{-2}**	**6.02×10^{-2}**	**9.09×10^{-2}**
散射辐射	*TVL*（cm）	26	26	26
	TVL_1（cm）	26	26	26
	R_s（m）	8.1	8.1	6.3
	α_{ph}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}
	B	3.05×10^{-6}	3.05×10^{-6}	2.51×10^{-6}
	F(cm²)	1600	1600	1600
	H_p（μSv/h）	**9.26×10^{-2}**	**9.26×10^{-2}**	**1.26×10^{-1}**
H_d 泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）		**1.53×10^{-1}**	**1.53×10^{-1}**	**2.17×10^{-1}**
H（μSv/h）剂量率参考控制水平		2.5	2.5	2.5
评价结果		满足	满足	满足

注：Xe 由图纸中直接测量所得。

6）迷道外墙屏蔽效果预测（d 点）

加速器运行时迷道外墙射线路径示意图如图 11-5。

射线路经（射线类型）：O1→d（为有用线束向迷路内墙照射时的泄漏射线）、O1→O→d（散射射线）。

根据式（11-4）和式（11-5），可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-7 所示。

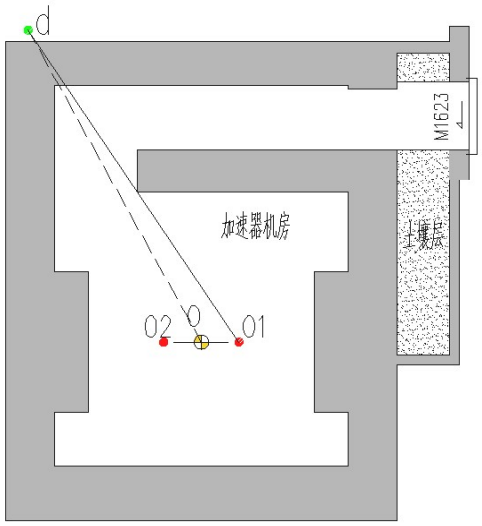


图 11-5　加速器运行时迷道外墙 d 处射线路径示意图

表 11-7　迷道外墙屏蔽区外关注点剂量率计算参数和计算结果

参数		迷道外墙屏蔽（d 点）
X（cm）		115 混凝土（迷道外墙）
Xe（cm）		138 混凝土
H_0（μSv·m²/h）		1.80×10^{8}
泄漏辐射	TVL（cm）	29
	TVL1（cm）	34
	B	2.46×10^{-5}
	R（m）	10.0
	f	0.001
	H_d（μSv/h）	**4.42×10^{-2}**
散射辐射	TVL（cm）	26
	TVL1（cm）	26
	R（m）	11.0
	α_{ph}	8.24×10^{-4}
	B	4.63×10^{-6}
	F（cm²）	1600
	H_p（μSv/h）	**6.93×10^{-2}**
H_d 泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）		**1.13×10^{-1}**
H（μSv/h）剂量率参考控制水平		2.5
评价结果		满足

注：Xe 由图纸中直接测量所得。

7）迷道防护门处屏蔽效果预测（g 点）

加速器运行时迷道防护门处射线路径示意图如图 11-6。

射线路经（射线类型）：

（A）O1→O→i→g（患者受有用线束照射，散射至 i 点的辐射并再次受墙的二次散射至 g 处的辐射）；（B）O→i→g（至 i 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射）；（C）O1→h→n→g（有用线束穿出人体达到人体位置 h，受主屏蔽墙散射至 n 处迷道外墙再次散射，到达 g 处的辐射）；（D）O1→g（泄漏射线贯穿迷道内墙）。

参照 GBZ/T201.2-2011 标准中 4.3.2.5.1，在估算 g 点处累积辐射剂量率时，可忽略 B、C 两项，因此，只需考虑以上 A、D 两种剂量的剂量叠加。

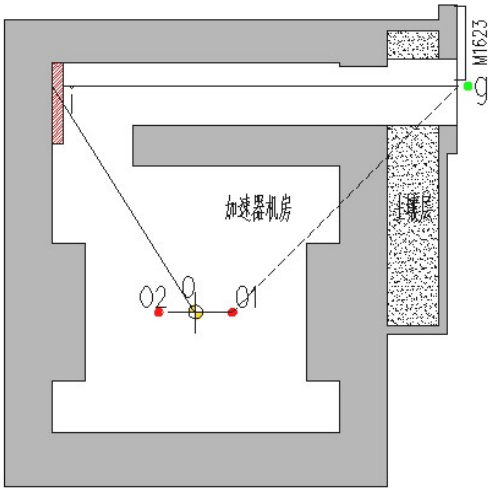


图 11-6　加速器运行时迷道防护门 g 处的射线类型及路径

（1）经患者散射的迷道防护门 g 处的散射辐射剂量率计算

自加速器的靶点 O1 向位置 O 的患者照射至迷道 i 点的散射角接近 60°；i 处墙向 g 处的二次散射的散射角小于 10°，通常按 0°对待。i 处墙的散射面积为自入口（g）和等中心位置 O 共同可视见的区域（见图 11-4 的 A 区），包括治疗机房吊装顶上方的区域。经患者散射的入口 g 处的散射辐射剂量率按式（11-6）计算。

$$\dot{H}_{g2}=\frac{\alpha_{ph}\bullet(F/400)}{R_1^2}\bullet\frac{A\bullet\alpha_2}{R_2^2}\bullet\dot{H}_0 \quad \text{.....（式 11-6）}$$

$\dot{H}_{g2}$ —g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 60°散射角的值；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

A —i 处的散射面积，m^2；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.3）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°，α_2 值见附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

R_1 —“O—i”之间的距离，m；

R_2 —“i—g”之间的距离，m。

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h，本项目为 1.80×10^8μSv·m^2/h；

（2）迷道防护门口 g 处的泄漏辐射（未考虑防护门屏蔽作用）

迷道防护门口 g 处的泄漏辐射剂量率根据式（11-4）进行计算。

根据式（11-3）、式（11-4）和式（11-6），可以得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-8 所示。

表 11-8　加速器机房迷道防护门 g 处关注点剂量率计算结果

参数		迷道防护门口处屏蔽（g 点）
患者散射辐射	$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）	1.80×10^8
	α_{ph}	8.24×10^{-4}
	F	1600
	α_2	6.40×10^{-3}
	A（m^2）	10.58
	R_1（m）	7.1
	R_2（m）	9.4
	$\dot{H}_{g2}$（μSv/h）	**6.78**
泄漏辐射	X（cm）	110 混凝土（迷道内墙）
	Xe（cm）	155 混凝土
	$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）	1.80×10^8
	TVL（cm）	29
	TVL1（cm）	34
	B	6.46×10^{-6}
	R（m）	7.4
	f	0.001
	H_{g1}（μSv/h）	**6.8**

注：Xe 由图纸中直接测量所得。

当加速器运行时，防护门处于关闭状态，则此时防护门外的辐射剂量率 H_g 按式（11-7）计算。

$$H = H_{g2} \bullet 10^{-\left(Xe/TVL_{Pb}\right)} + H_{g1} \bullet 10^{-\left(Xe/TVL\right)} \quad \text{.....（式 11-7）}$$

式中：

TVL_{Pb}—铅的十值层，mm（引用 GBZ/T201.2-2011 中，迷道防护门处 X 射线散射辐射能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值为 0.5cm，泄漏辐射按照初级射线铅的 TVL 值为 51mm）；

Hg—加速器迷道入口门外处的 X 射线散射辐射剂量率，μSv/h；

Xe—防护门铅当量，本项目防护门设计为 10mmPb。

经计算，H **=0.081μSv/h**，满足门外 30cm 处的剂量率限值 2.5μSv/h 的要求。

根据上述计算结果可知：本项目新增直线加速器机房周围 30cm 处剂量率水平最大值出现在直线加速器屋顶主屏蔽区外 30cm 处，为 1.52μSv/h，小于《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）标准要求的墙外及门外 30cm 处的剂量率限值 2.5μSv/h。其中，直线加速器机房下方为土壤，因此可不考虑其剂量率的问题。

8）加速器相关人员年有效剂量估算

根据医院提供的图纸资料，直线加速器机房内的设备年出束时间为 625h，控制室位于机房的东侧，相距机房加速器器机头 12m，则根据式（11-3）计算得出控制室所处的剂量率，再根据式（11-8）计算出相关人员年有效剂量率。医用直线加速器机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量如表 11-9 所示。

相关人员所受年有效剂量的计算公式为：

$$H_p = 10^{-3} \times \dot{H} \times t \times q \times 1 \quad \text{.....（式 11-8）}$$

式中：

H —人员所受年有效剂量，mSv/a；

$\dot{H}$ —剂量率水平，μSv/h；

t —工作时间，h/a；

q—居留因子。

表 11-9　直线加速器机房周围相关人员年有效剂量

序号	点位	人员类别	年受照时间（h/a）	剂量率（μGy/h）	居留因子	年有效剂量（mSv/a）
1	加速器控制室	职业工作人员	625	3.56×10^{-1}	1	**2.23×10^{-1}**
2	加速器辅助用房		625	9.36×10^{-1}	1/16	**9.14×10^{-3}**
3	加速器候诊厅	公众人员	625	2.12×10^{-2}	1/4	**3.13×10^{-3}**
4	防护门处		625	2.12×10^{-2}	1/8	**1.66×10^{-3}**
5	屋顶主屏蔽墙处		625	1.52	1/16	**1.48×10^{-2}**
6	屋顶次屏蔽墙处		625	2.17×10^{-1}	1/16	**8.48×10^{-3}**

注：1）机房上方为地面，拟将安装围栏，因此上方不存在公众照射情况；
2）加速器候诊厅处剂量率保守考虑加速器机房防护门处的剂量。

由上表计算结果可知，直线加速器机房控制室职业工作人员所受年有效剂量为 2.23×10^{-1}mSv/a，小于 5mSv/a 的职业工作人员年有效剂量限值要求；直线加速器机房的公众人员所受的年有效剂量最大值为 1.48×10^{-2}mSv/a，小于公众人员年有效剂量限值 0.25mSv/a。因此，双滦肿瘤医院直线加速器机房周围职业工作人员和公众人员的年有效剂量均满足年有效剂量限值的要求。

综上，本项目加速器运行时产生的 X 射线经机房墙体和防护门屏蔽后，屏蔽体外 30cm 处剂量当量率满足 GBZ126-2011 的要求，对周围职业人员和公众的照射剂量均满足 GB18871 的辐射剂量限值和本报告提出的照射剂量约束值，表明本项目加速器机房的屏蔽防护满足要求。

4、加速器运行时产生的 O_3 和氮氧化物分析

空气中的 O_2 在 γ 光子的作用下，生成自由基，与空气中的 O_2 结合生成 O_3，O_3 是与辐射相关的非辐射危害因素。O_3 的主要毒性是氧化作用，对粘膜有很强的刺激作用，中毒症状为肺功能下降，呼吸道感染、鼻炎等。氮氧化物主要引起神经毒性的症状和体征：嗜睡、精神萎靡、注意力涣散、记忆力减退、四肢麻木、小腿肌痉挛等。

1）O_3 的分析

（1）估算方法

根据《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 VoL，2，P101,1994），加速器辐射所致 O_3 的产额估算方法如下：

① 有用线束所致 O_3 的产额

$$P = 2.43 \times \dot{D}_0 (1 - \cos\theta) \times R \times G \quad \text{.....（式 11-9）}$$

式中：

P——O_3 产额，mg/h；

$\dot{D}_0$——辐射有用线束在距靶 1m 处的输出量，Gy·m^2/min；

R——靶到屏蔽物（墙）的距离，m；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数（文献估算时取值 G=10）；

θ——有用线束的半张角。

②泄漏辐射的 O_3 产额

将泄漏辐射看成 4π 方向均匀分布的点源（包括有用线束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内 O_3 的产额增加 10%，O_3 的产额 P（mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \times \dot{D}_0 \times G \times V^{1/3} \quad \text{.....（式 11-10）}$$

式中：

V——加速器机房的体积，m^3，该机房容积（含迷道）V≈64m^3；

其余符号同上。

② O_3 的浓度

机房内的产生臭氧一部分由通风系统排到室外，另一部分自然分解。空气中臭氧的平均浓度可用（式 11-10）计算。

$$Q = \frac{P_0 T}{V}(1\text{-}e^{-t/T}) \quad \text{.....（式 11-11）}$$

式中：

Q——机房内 t 时刻臭氧的平均浓度，mg/m^3；

P_0——臭氧的辐射化学产额，为有用线束和泄漏辐射产额之和，mg/h；

V——机房的体积，m^3；

T——有效清除时间，h。

如果照射时间很长（t＞＞T），则机房最高饱和 O_3 浓度（mg/m^3）为：

$$Q = \frac{P_0}{V}\bar{T} \quad \text{.....（式 11-12）}$$

式中：

V——加速器机房的体积，m^3；

$\bar{T}$——O_3 的有效清除时间，h。

设 O_3 的分解时间为 td（通常取为 0.83h），机房通风换气周期为平均每次换气需通风时间为 tv（h）。计算公式如下：

$$\bar{T}=\frac{t_v-t_d}{t_v+t_d} \quad \text{.....（式 11-13）}$$

式中：

t_v——机房换气一次所需通风时间，h；

t_d——O_3 的分解时间，通常取 0.83h；

（2）估算结果

① O_3 的产额

加速器机房内 O_3 产额的计算参数及结果如下表 11-10 所示：

表 11-10　加速器产生 O_3 产额的计算参数及结果

序号	加速器机房	D_0，Gy • m^2/min	R，m	半张角 θ，°	机房体积 V，m^3	有用线束 O_3 产额，mg/h	泄漏辐射的 O_3 产额，mg/h	总的 O_3 产额，mg/h
1	治疗室	3	3.0	14	241	6.49	0.62	7.11
注：根据建设单位提供的机房设计方案，加速器机房通风系统换气次数为 4 次/h。								

③ O_3 的浓度

以每小时通风换气次数为 4 次计算，t_v=0.25h，t_d=0.83h，按式（11-13）计算得出 $\bar{T}$=0.192h，V 为含迷道机房体积。则加速器机房内产生的 O_3 浓度计算结果见表 11-11。

表 11-11　加速器机房内产生的 O_3 浓度

序号	加速器机房	t_v，h	t_d，h	$\bar{T}$，h	P，mg/h	V，m^3	Q，mg/m^3
1	治疗室	0.25	0.83	0.192	7.11	241	5.67×10^{-3}

综上，加速器机房内加速器工作时，O_3 产额分别 7.11mg/h，设计的通风换气次数为 4 次/小时，则机房内 O_3 最大饱和浓度为 5.67×10^{-3} mg/m^3，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“O_3 最高容许浓度不超过 $0.3mg/m^3$”的规定。

2）氮氧化物的分析

在多种氮氧化物（NO_X）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的三分之一，工作场所中的限值为 O_3 浓度的 1.5 倍，《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的外部环境中 NO_2 的浓度限值与 O_3 相近。可见 NO_X 的危害小于 O_3，在 O_3 浓度能满足标准要求的情况下，氮氧化物的浓度也能满足标准要求。

事故影响分析

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置放射防护条例》的有关规定，为预防放射性事故的发生，加强对放射事故的有效处理，减轻事故造成的后果，双滦肿瘤医院制定了放射性事故应急处理预案，成立了放射性事故应急处理小组，对放射性事故进行了较全面的识别并列出相应应急行动，主要内容如下：

1、事故风险评价目的

本项目事故风险评价目的是分析、预测射线装置在使用过程中存在的潜在危险和有害因素，可能发生的突发性事件或事故（一般不包括人为破坏及自然灾害），引起电离辐射泄漏，所造成的人身安全与环境影响和损害程度，提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以防止辐射事故发生，尽量降低辐射事故后果的负面影响。

2、风险识别

项目拟使用的直线加速器属于中危险射线装置，事故时可使受照人员产生一定程度的辐射损伤。直线加速器在开机出束时产生 X 射线，环境风险因子为 X 射线，根据其工作原理分析，运行期间可能发生的事故工况主要有以下几点情况：

表 11-12 项目环境风险和潜在危害及事故隐患

设备名称	类型	环境风险因子	可能发生辐射事故
6MV 直线加速器	II类射线装置	X 射线	1）由于安全联锁系统失效，在防护门未关闭的情况下即进行照射操作，对误入人员或防护门周围活动人员造成不必要的照射。 2）工作人员或病人家属还未全部撤离机房，操作间人员启动设备，造成机房滞留人员的误照射。

3、事故工况下的辐射影响分析

本次评价以直线加速器机房为例分析，事故工况下环境影响考虑可能发生的最大

辐射事故，即：

——加速器运行时，机房内误入人员或滞留人员受到误照射；

1）事故情景

——假设加速器以标称最大能量 6MV 运行，主射束方向、距靶 1m 处的 X 射线剂量率为 180Gy/h（3Gy/min）；

——假设误入人员在未采取任何屏蔽防护措施下进入机房内，在位于机房内迷道口时发现设备处于开机状态，立即撤离至迷道内；鉴于机房迷道内设有紧急停机开关，只要按下此按钮就可以停机。故假定受到误照射时间为 0.5min。

2）预测结果

根据依据《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），剂量计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B \quad \text{.....（式 11-14）}$$

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 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h；

f——对有用线束为 1；对泄漏辐射为 10^{-3}；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

在上述事故情景假设条件下，误入人员得到受照剂量结果见表 11-13。

表 11-13　加速器事故情况下人员受照剂量值

事故受照人员	位置	射束方向	H_0（μSv·m^2/h）	*f*	*R*（m）	受照时间 *t*	受照剂量
误入人员	机房内迷道口处	泄漏	1.8×10^8	10^{-3}	4.2	0.5min	0.085mSv/次

由上表可见，在上述事故情景假设条件下，误入人员处于迷道口时受照剂量为 0.085mSv/次，因此，设备检修人员受照剂量超 GB18871-2002 中特殊情况下公众剂量限值（1mSv）。

4、辐射事故预防措施

为预防放射性事故的发生，加强对放射事故的有效处理，减轻事故造成的后果，保证放射人员及公众与环境的辐射防护安全，双滦肿瘤医院特成立了放射事故应急处理机构，并根据《中华人民共和国职业病防治法》及《放射性同位素与射线装置放射防护条例》的有关规定，制定了《放射性事故应急处理预案》，主要应急响应行动计划如下：

1）定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

2）凡涉及对医用射线装置进行操作，必须有明确的操作规程，并做到“制度上墙”（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在放射诊断操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人防护。

3）每月检查门机联锁装置和门灯联锁装置，确保安全联锁装置运行；每月对使用射线装置的安全进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

4）加强辐射工作人员的管理，医用射线装置开机前，必须确保无关人员全部撤离后才可开启；加强辐射工作人员的业务培训，防止误操作，以避免工作人员和公众受到意外辐射。

5）加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

6）建设单位应按环评报告要求建立事故应急预案和事故防范措施，避免辐射事故发生。

表 12　辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

双滦肿瘤医院按照《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》等法律法规和辐射安全许可管理的相关要求，成立了专门的辐射安全和环境保护工作领导小组。本项目的辐射安全与环境保护工作纳入医院现有辐射安全与环境保护工作领导小组统一管理，现有辐射安全与环境保护工作领导小组的设置、人员配备与职能如下：

组长：　辛建会（院长）

副组长：张博（副院长）

成员：　李永金（放射科主任）　　记欣欣（办公室主任）

　　杨宗海（核医学科主任）　张艳强（保卫科主任）

领导小组职责主要为：

1）依法贯彻国家有关放射性同位素与射线装置安全和防护的法律法规，研制制定医院辐射安全与环境保护工作方案；

2）全面领导落实医院的放射诊疗工作的质量保证、防护安全及监督管理工作，定期分析，针对薄弱环节，不断完善管理；

3）充分保障辐射安全与环境保护所需经费、物资和设施的配备；

4）负责突发放射事件的应急处置的领导和组织，包括应急救治，环境监测、人员防护、信息上报等。

辐射安全管理规章制度

本项目建设单位涉及使用II类射线装置，根据国家生态环境部2008年发布的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部令第3号），和《环境保护部辐射安全与监督检查技术程序》的相关要求中的相关规定，双滦肿瘤医院制定规章制度如下：

1）《辐射安全与防护管理制度》；

2）《辐射事故应急处理预案》；

3）《医用直线加速器操作规程》；

4）《医用直线加速器机房放射防护安全管理制度》；

5）《辐射监测制方案》；

6）《辐射监测仪器检测校验管理制度》；

7）《放射工作人员培训管理制度》；

8）《放射性设备检修和维护制度》；

9）《放射工作人员岗位职责》；

10）《放射工作人员个人剂量管理制度》

11）《受检者放射防护管理制度》。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估算电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

1、工作场所监测

对于现有加速器场所，医院制定了监测方案，每年委托有相应计量认证资质的单位对医院现有辐射工作场所的安全和防护状况进行了监测，并建立监测档案。同时，医院开展辐射工作场所自行监测，配备便携式X-γ剂量率仪，各射线装置所在科室自主监测每月一次，并建立辐射环境自行监测记录或报告档案，妥善保存，以备主管部门的监督检查。

2、个人剂量监测

个人剂量监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季度。并按照相关制度建立了个人剂量监测档案，职业照射个人监测档案应终身保存。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般佩戴在左胸前。

辐射事故应急

双滦肿瘤医院设有放射卫生突发事件应急处理领导小组，负责指导放射事故的应急处理工作，组长1名，副组长1名，成员由相关科室成员担任。双滦肿瘤医院定期组织各放射科室进行放射事故应急处理现场演练，并有记录。

加速器工作过程中一旦发生事故，应采取以下措施：

1）利用紧急停机按钮，迅速中断装置出束；

2）人员撤离高辐射区，并管制入口；保护工作不正常的装置，不随意启动或改变当时的状态；

3）及时报告放射诊疗意外与事故，按国家辐射事故管理规程尽快向有关管理部门报告；

4）迅速估计人员受辐射照射的剂量，测量个人剂量计，并据其损伤状况迅速组织到医院进行诊断检查与治疗。

5）回顾事件与事故过程，配合管理部门的事故与剂量调查和测量工作，确认人员实际受照剂量。

6）查明事件与事故原因，排除故障，并经专门检验确认装置已恢复正常。按国家辐射事故管理规定结案并建立事故档案；

本项目应急预案详细内容见附件。

从事辐射活动能力分析

国家生态环境部 2019 年修订的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令 7 号修正，2019 年 8 月 22 日起施行）第十六条提出了使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证应具备的八个条件；2011 年发布的《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）中对使用放射性同位素和射线装置的单位也提出了相应的管理要求；此外，《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》的 P187~188 中，列明了医用电子直线加速器使用场所应具备的辐射安全防护设施和管理制度。

生态环境部第 7 号令、环保部第 18 号令和《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求与承德市双滦肿瘤医院达到的条件对比情况如下：

表 12-1　生态环境部第 7 号令要求及双滦肿瘤医院达到条件对照表

法规要求		双滦肿瘤医院达到的条件	结论
《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 47 号）	（一）使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已设有辐射安全与环境保护工作领导小组，辛建会为组长，张博为副组长，相关部门负责人为组员，负责全院的辐射安全与环境保护管理工作。	符合要求
	（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	制定了人员培训计划，本项目拟派遣 9 名工作人员通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习	符合要求

		相关知识并参加考核，通过后持证上岗。	
	（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目只涉及射线装置。	不涉及
	（四）放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	屏蔽门上方安装有工作状态指示灯，门口及相关场所明显位置处设电离辐射标志及中文警示说明。加速器机房设置门机连锁装置。	符合要求
	（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	9 名职业工作人员共配备 9 台个人剂量计，配备 1 台便携式 X-γ 剂量率仪、配备 5 台个人剂量报警仪、加速器机房配备固定剂量报警仪。	符合要求
	（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	制定了《辐射安全与防护管理制度》、《医用直线加速器机房放射防护安全管理制度》、《放射工作人员培训管理制度》、《辐射监测方案》、《放射工作人员岗位职责》等规章制度。	符合要求
	（七）有完善的辐射事故应急措施。	制定了专门的《辐射事故应急处理预案》。	符合要求
	（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目产生的非放射性气体为臭氧和氮氧化物（NOx），通过加速器机房内的通风系统及时排出。	符合要求

表 12-2　环保部第 18 号令要求及双滦肿瘤医院达到条件对照表

《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）	第五条　生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	直线加速器机房设有门机联锁，所有射线装置使用机房的屏蔽门上方均安装有工作状态指示灯，门口及相关场所明显位置处设电离辐射标志及中文警示说明，防止人员受到意外照射。	符合要求
	第九条　生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政	每年委托有资质的单位对医院射线装置使用场所辐射水平进行监测，并出具监测报告；根据制定的《辐射监测方案》，定期对医院射线装置使用场所辐射	符合要求

	府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	水平进行自行监测，并建立辐射环境监测记录或报告档案，妥善保存，以备主管部门的监督检查。	
	第十二条　生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	依法对本单位射线装置工作的安全和防护状况进行年度评估，编写年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报原发证机关。	符合要求
	第十七条　生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	制定了人员培训计划，本项目拟派遣 9 名工作人员通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识并参加考核，通过后持证上岗。	符合要求
	第二十三条　生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	已为 9 名从事射线装置操作的人员应建立个人健康档案，每季度送检个人剂量计一次，每两年对从事放射性操作的人员至少进行一次健康体检。	符合要求

从以上对比可知：双滦肿瘤医院符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求应当具备的八个条件，和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第五条、第九条、第十二条、第十七条、第二十三条要求应当具备的条件，具备从事放射性活动的技术能力。

与《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求与承德市双滦肿瘤医院达到的条件对比情况如下表 12-3。

表 12-3 与“医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序”对照检查情况

	序号	监督检查程序要求		双滦肿瘤医院达到条件	是否满足要求
辐射安全防护设施	1	A 装置安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设置	建设单位已承诺落实，待落实后符合
	2		控制台紧急停机按钮	设置	
	3		电视监控对讲装置	设置	
	4		治疗室门与束流联锁	设置	
	5	B 警示装置	入口处电离辐射警示标志	设置	
	6		入口有加速器工作状态显示	设置	
	7	C	治疗室内有紧急停机按钮	在控制台、迷道防护门内侧和治疗	

		紧急设施		床处各设1个紧急停机按钮	
	8		治疗床有紧急停机按钮	设置	
	9	D 监测设备	便携式辐射监测仪器仪表	医院配有1台便携式X-γ剂量率仪	
	10		个人剂量计	现有人员已配置，为新增辐射工作人员增配，确保每人1套。	
	11		个人剂量报警仪	设置	
	12		固定式剂量率仪	设置	
管理制度	1	A 综合	辐射安全管理规定	已制定《辐射安全与防护管理制度》	符合要求
	2	B 场所设施	操作规程	已制定《医用电子直线加速器操作规程》	
	3		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）	已制定《放射性设备检修和维护制度》，含辐射安全和防护设施维护维修内容。	
	4	C 监测	监测方案	已制定《辐射监测方案》	
	5		监测仪表使用与校验管理制度	已制定《辐射监测仪器检测校验管理制度》拟制定	
	6	D 人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定《放射工作人员培训管理制度》、《放射性工作人员个人剂量管理制度》，包括了辐射工作人员个人剂量管理及培训情况。	
	7		辐射工作人员培训/再培训制度		
	8	E 应急	辐射事故/事件应急预案	已制定《辐射事故应急处理预案》	
	9	F 三废	放射性“三废”管理规定	本项目不产生放射性废气、废液。产生的固体废物为靶件，有资质单位进行回收。	

表 13　结论与建议

结论

1、实践的正当性

双滦肿瘤医院共新增 1 台医用电子直线加速器（属于 II 类射线装置）用于放射治疗。本医用射线装置应用项目符合《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，2019 年 3 月 2 日修订并施行）的规定和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

2、选址可行性和布局合理性

双滦肿瘤医院位于河北省承德市双滦区双塔山镇广仁街岭商业街 8、9、10#楼，拟建项目位于 10#楼（住院楼）西侧，独立半地下建筑，其中心地理坐标为北纬 40°58′53.33″，东经 117°50′54.25″。住院处院区周边南侧为广仁大街，东侧为汽车商行，北侧为承钢铁路专用线，隔铁路为广仁岭大街，西侧为广仁大街与广仁岭大街连接路，隔路为该院门诊及办公楼（8、9 号楼）。项目 50m 范围内东侧有商业楼环境敏感点，拟建机房周围辐射环境背景值处于承德市放射性环境本底水平内，因此，选址可行。加速器机房工作场所设置了控制区和监督区，相关配套设施等能够避免公众、工作人员收到不必要的外照射，因此，本项目加速器机房布局合理。

3、项目概况

双滦肿瘤医院根据发展需要，新购置 1 台 6MV 医用电子直线加速器（II 类射线装置），将布置在 10#住院楼，用于肿瘤治疗及科研需求。本项目新增设备的直线加速器具体参数详见表 13-1。

表 13-1　本项目新增加速器参数表

直线加速器机房	X 射线能量	电子束能量	X 射线剂量率	X 射线最大照射野	射线泄露率	治疗角度	治疗距离	备注
X 射线能量	6 MV	/	300cGy/min	40cm×40cm	≤0.1%	360 度	100cm	新购

4、主要污染因子及防治措施

本项目的主要污染因子为射线装置使用过程中产生的 X 射线和少量臭氧、氮氧化物等，无其它放射性及非放射性的废气、废液、固废产生。

新增的 6MV 直线加速器布置在屏蔽良好的机房内，屏蔽厚度满足相关标准要求，并配备了适量的辐射防护用品，工作人员配备了个人剂量计，有切实可行的射线装置

操作规程。

5、环境影响分析及评价

本项目评价表明：

1）双滦肿瘤医院新建使用直线加速器（属于 II 类射线装置）机房的使用面积和通风情况，均可满足标准要求，机房内臭氧浓度低于 0.3mg/m^3。

2）加速器机房墙外及防护门 30cm 处剂量率均低于 2.5μSv/h，满足剂量率控制值要求；

3）本项目职业工作人员年有效剂量为 2.23×10^{-2}mSv/a，小于 5mSv/a 的剂量约束值要求；公众年有效剂量为 1.48×10^{-2}mSv/a 小于 0.25mSv/a 的剂量约束值要求。

6、辐射环境管理

双滦肿瘤医院针对射线装置的治疗工作，成立了以相关部门领导为组长的辐射安全和环境保护工作领导小组，指导、监督、检查各部门射线装置的管理使用工作，制定了《辐射安全与防护管理制度》、《辐射事故应急处理预案》、《医用直线加速器操作规程》、《放射性设备检修和维护制度》、《医用直线加速器机房放射防护安全管理制度》、《辐射监测制度方案》、《辐射监测仪器检测校验管理制度》、《放射工作人员培训管理制度》、《放射工作人员岗位职责》等规章制度，制度具有可操作性。

7、环保可行性结论

在切实落实本报告中规定的防护安全措施及各种规章制度后，双滦肿瘤医院新建使用 II 类射线装置（医用直线加速器）项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）等的标准要求，从环境保护角度考虑，本项目的建设是可行的。

建议和承诺

双滦肿瘤医院承诺把本环评报告中的屏蔽及安全措施落到实处，确保本项目的运行对环境及人员的影响在法规标准允许的范围之内。

1）该项目运行过程中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降到最低。

2）各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操

作，确保其安全可靠。

3）定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

4）项目建成后，应及时按照相关规定要求组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会督查，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

验收内容

验收项目	验收内容及要求
剂量率 及剂量约束值	1）直线加速器机房墙外及防护门 30cm 均小于 2.5μSv/h 限值要求； 2）职业工作人员每年所接受的有效剂量不超过 5mSv/a； 3）公众每年所接受的有效剂量不超过 0.25mSv/a。
辐射安全 培训及考核	本项目拟配备 9 名工作人员，医院将根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项》的公告，尽快组织这 9 名工作人员通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识并参加考核，通过后持证上岗。
电离辐射标识 及警告标志	加速器所在机房明显位置处设电离辐射标识及中文警示说明。
安全环保措施	直线加速器机房设有门机联锁，加速器使用机房的屏蔽门上方均安装有工作状态指示灯，门口及相关场所明显位置处设电离辐射标志及中文警示说明，防止人员受到意外照射。 本项目所有机房通风换气次数均能满足标准要求。
管理规章制度	已设有专门的辐射防护委员会，由相关领导担任主任委员及副主任委员，相关部门负责人为组员，负责全院的辐射安全与环境保护管理工作。 制定了《辐射安全与防护管理制度》、《辐射事故应急处理预案》、《医用直线加速器操作规程》、《受检者放射防护管理制度》、《放射性设备检修和维护制度》、《医用直线加速器机房放射防护安全管理制度》、《辐射监测制度方案》、《辐射监测仪器检测校验管理制度》、《放射工作人员培训管理制度》、《放射工作人员岗位职责》等各项规章制度。对职业工作人员个人剂量进行常年追踪监测，建立职业工作人员健康档案，各项管理规章制度得到落实，记录完备。
个人剂量档案	9 名辐射工作人员各配 1 套个人剂量计，共计 9 台，并建立个人剂量档案。
辐射防护仪器	医院配有 1 台便携式 X-γ 剂量、5 台个人剂量报警仪、一套固定式剂量报警仪。
患者个人防护用品	铅衣、铅帽
臭氧浓度	直线加速器机房内臭氧浓度低于 0.3mg/m^3。
实体屏蔽措施	直线加速器机房：南墙为 145cm 混凝土（外侧为土层），东墙、西墙和室顶主屏蔽墙为 220cm 混凝土，副屏蔽墙为 130cm 混凝土，北侧迷道内墙 110cm 混凝土、迷道外墙 115cm 混凝土，防护门为 10mm 铅。

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