

核技术利用建设项目
医用直线加速器应用项目
环境影响报告表
(公示稿)

杭州市下沙医院

二〇一九年九月

环境保护部监制

目 录

表 1	项目基本概况.....	1
表 2	放射源.....	10
表 3	非密封放射性物质.....	10
表 4	射线装置.....	11
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	12
表 6	评价依据.....	13
表 7	保护目标与评价标准.....	15
表 8	环境质量及辐射现状.....	16
表 9	项目工程分析与源项.....	21
表 10	辐射安全与防护.....	24
表 11	环境影响分析.....	26
表 12	辐射安全管理.....	46
表 13	结论与建议.....	51
表 14	审批.....	53

表 1 项目基本情况

建设项目名称	医用直线加速器应用项目				
建设单位	杭州市下沙医院				
法人代表	孙雍容	联系人	翁**	联系电话	1*****
注册地址	杭州市杭州经济开发区下沙路 368 号				
项目建设地点	杭州市杭州经济开发区下沙路 368 号杭州市下沙医院肿瘤中心一层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	1000	项目环保投资 (万元)	200	投资比例(环保 投资/总投资)	20%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input 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 type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			

1.1 项目建设单位情况

杭州市下沙医院（即浙江大学医学院附属邵逸夫医院下沙院区，以下简称为“医院”），是一家集临床、教学、科研、预防为一体的公立非营利性三级甲等综合性医院，由杭州市人民政府、浙江大学、杭州经济技术开发区管委会共同组建。医院总床位 1200 张，总占地面积 196 亩，建设用地面积 145.7 亩，总建筑面积 17.5 万平方米，设有普外科、神经外科、骨科、泌尿外科、呼吸内科、肿瘤内科、康复医学科等 20 个科室（包括专家门诊）。院筹建于 2008 年，于 2013 年正式开张营业，目前由浙江大学医学院附属邵逸夫医院经营管理。

1.2 建设目的和任务由来

医院于 2014 年建成 2 间直线加速器机房，并购置 1 台直线加速器（型号：Trilogy、最大

能量：10MeV）于当年投入使用，另一间直线加速器机房为预留机房，目前空置。为满足服务病人需要，医院拟再投资 1000 万元，利用现有预留直线加速器机房，新增 1 台直线加速器（型号：TrueBeam Varian、最大能量：10MV）。

对照中华人民共和国原环境保护部令第 44 号《建设项目环境影响评价分类管理名录》及生态环境部令第 1 号《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》，本项目属于五十、核与辐射：191、核技术利用建设项目，本次评价的辐射内容主要为使用 II 类射线装置，应编制辐射环境影响报告表，并在环评批复后及时向浙江省生态环境厅重新申领《辐射安全许可证》。

为保护环境，保障公众健康，杭州市下沙医院于 2019 年 7 月 22 日正式委托浙江问鼎环境工程有限公司（证书编号：国环评证乙字 2053 号）对本项目进行辐射环境影响评价，环评委托书见附件 1。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、监测、收集有关资料等工作，结合本项目特点，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文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的辐射环境影响报告表（报批稿），供建设单位上报审批。

1.3 评价目的

（1）对医院1#直线加速器预留机房及周围环境进行辐射环境本底水平检测，以掌握该拟建地的辐射环境背景水平；

（2）通过理论计算和类比监测相结合的方法进行环境影响评价，预测辐射项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据；

（3）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

（4）提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目运行期辐射环境保护管理提供科学依据。

1.4 建设内容与规模

经与医院核实，本次辐射环评内容为：新增 1 台直线加速器（用途：诊疗），型号 TrueBeam Varian，最大能量 10MV。

1.5 项目选址和周边环境保护目标

1.5.1 医院地理位置

杭州市下沙医院位于杭州经济技术开发区下沙路 368 号（经度：120.31617，纬度：30.30009），医院东侧为幸福河，隔幸福河为幸福南路；南侧为下沙路；西侧为七格北路；北侧为海通街。其地理位置见附图 1，周围环境关系见附图 2。

1.5.2 本次环评辐射工作场所位置

本次环评拟新增医用电子直线加速器位于医院肿瘤中心一层现有的 1#直线加速器机房。肿瘤中心位于医院北侧，中心东侧为非机动车停车场，南侧为医疗综合楼，西侧为机动车停车场，北侧为绿地（见附图 3）。1#直线加速器机房位于医院肿瘤中心一层西南角，东侧为控制室及候诊区；南侧为医院院内道路；西侧为机动车停车场；楼上为闲置房间；北侧为 2#直线加速器机房，无地下层。

1.5.3 相关规划及选址合理性分析

本项目为射线装置应用，其相关规划及选址合理性分析如下：

1、主体功能区规划、土地利用总体规划及城乡规划符合性

本项目位于杭州经济技术开发区下沙路 368 号杭州市下沙医院肿瘤中心大楼内，用地性质为医疗卫生用地（见附图 10），符合主体功能区规划、土地利用总体规划及城乡规划的要求。

2、环境功能区划符合性

根据《杭州市区（六城区）环境功能区划》，本项目属于“下沙人居环境保障区（0104-IV-0-07）”，为人居环境保障区。本项目为射线装置应用项目，不属于所在环境功能区负面清单中禁止类建设项目，也不属于管控措施中禁止新建、扩建项目，符合杭州市环境功能区划要求。

3、产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用，根据国家发展和改革委员会第 21 号令《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 年修订）相关规定，本项目不属于限制类、淘汰类项目符合国家当前的产业政策。同时不属于《杭州市产业发展导向目录与空间布局指引（2013 年本）》中限制和禁止类项目，符合地方产业政策。

4、达标排放符合性分析

经辐射环境影响预测，本项目经营过程中产生的电离辐射，经采取定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的，可以做到达标排放。

5、选址合理性分析

本项目评价范围 50m 内除北侧为海通街，其余各侧主要为院区内各功能用房和道路，无居民区和学校等环境敏感点（见附图 2）。同时本项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素，因此，本项目的选址是合理可行的。

1.6 原有核技术利用项目许可情况

1.6.1 原有核技术利用项目环评及验收情况

该院核技术利用项目建设，目前先后进行了五次环评和 III 类 X 射线装置的备案登记：

2009 年 7 月：医院委托国家环境保护总局辐射环境监测技术中心完成《杭州市下沙医院磁共振仪和 DSA 等医用辐射装置项目（新建）环境影响报告表》编制。2010 年 4 月 21 日，杭州市环境保护局以“杭环辐评批[2010]0029 号”文对该环评文件进行了批复；

2014 年 3 月：医院委托浙江国辐环保科技中心完成《杭州市下沙医院医用放射性同位素项目（扩建）环境影响报告表》编制。2014 年 7 月 3 日，浙江省环境保护厅以“浙环辐[2014]19 号”文对该环评文件进行了批复；

2014 年 10 月：医院委托浙江国辐环保科技中心完成《杭州市下沙医院医用密封源及射线装置项目（扩建）环境影响报告表》编制。2014 年 12 月 2 日，杭州市环境保护局以“杭环辐评批[2014]11 号”文对该环评文件进行了批复；

2015 年 8 月：医院委托浙江国辐环保科技中心完成《杭州市下沙医院 DSA 及普通 X 光机项目（扩建）环境影响报告表》编制。2016 年 8 月 25 日，杭州市环境保护局以“杭环辐评批[2016]43 号”文对该环评文件进行了批复；

2017 年 4 月：医院委托四川省核工业辐射测试防护院完成《医用放射性同位素及射线装置应用项目（扩建）环境影响报告表》编制。2017 年 6 月 27 日，杭州市环境保护局以“杭环辐评批[2017]17 号”文对该环评文件进行了批复；

2016 年 6 月：杭州市下沙医院完成《CT 等 III 类射线装置应用项目（扩建）环境影响登记表》编制。2016 年 10 月 24 日杭州市经济开发区环保局以“杭经开环登备[2016]15 号”文对该备案登记文件进行了批复；

2017 年~2019 年杭州市下沙医院依次完成了双螺旋 CT、移动 C 臂机、DR 的环保备案登记手续。

2015年5月12日，杭州市环境保护局以“杭环辐验〔2015〕18号”文批复同意2009年环评中的1台DSA、1台CT、2台DR、1台数字平板胃肠机、1台1.5T磁共振仪通过竣工环保验收；

2016年3月3日，杭州市环境保护局以“杭环辐验〔2016〕5号”文批复同意2009年环评中的1台CT、1台乳腺X线机、1台移动DR、1台移动式C臂机项目和2014年环评中的1台直线加速器通过竣工环保验收；

2016年4月21日，浙江省环境保护厅以“浙环辐验〔2016〕17号”文批复同意医用放射性同位素项目通过竣工环保验收；

2017年12月7日，杭州市下沙医院自主验收了2015年环评中的2台DSA、1台口腔X射线机、1台牙片机；2009年环评中的1台3.0T磁共振仪、1台DR机；

2019年6月27日，杭州市下沙医院自主验收了2016年8月25日“杭环辐评批[2016]43号”文批复中的2台DSA；2017年6月27日“杭环辐评批[2017]17号”文批复中的新增1台PET-CT，1台SPECT-CT；新增1枚⁶⁸Ge密封放射源（活度 5.5×10^7 Bq，属于V类源）；新增乙级非密封工作场所，具体使用放射性同位素¹⁸F、¹³¹I、^{99m}Tc、²⁰¹Tl、⁶⁷Ga、⁸⁹Sr、¹⁵³Sm、³²P。

历年辐射项目环评批复及验收意见见附件4。

1.6.2 辐射安全许可证的许可种类和范围

医院持有浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[A0146]，有效期至2024年6月4日，使用种类和范围为：使用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，乙级非密封放射性物质工作场所。

现有射线装置内容及规模见表1-1，密封源应用内容及规模见表1-2；非密封源应用内容及规模见表1-3。

1.6.3 历年辐射工作情况

(1) 医院已成立了以张松英为主席的放射安全和防护委员会，负责全院辐射安全与防护监督管理工作。该管理机构的基本组成涵盖各射线装置使用部门，在框架上基本符合要求，见附件5。

(2) 医院已制定《放射治疗安全防护制度》、《操作规程》、《放射性同位素的使用管理制度》、《核素登记保管制度》、《放射工作人员培训制度》、《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《射线装置使用登记制度》、《辐射环境监测方案》、《设备检修制度》、

《核医学科质量保证大纲和质控计划》、《放射事故与核事故应急处理预案》等辐射相关规章制度，并张贴上墙于相关辐射工作场所。医院现有辐射管理制度较为全面，符合相关要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

(3) 医院现有 344 名辐射工作人员，均参加了辐射安全和防护知识培训，并取得培训合格证，并四年一复训，部分培训证书见附件 6。

(4) 医院现有辐射工作人员全部配备了个人剂量计，已委托有资质的单位定期进行个人剂量检测，并建立了个人剂量档案，见附件 7。由检测报告结果可知：现有辐射工作人员年度的个人剂量检测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(5) 医院所有辐射工作人员均开展了职业健康体检，并建立了职业健康监护档案，见附件 8。辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作。

(6) 医院现有辐射工作场所均设置有电离辐射警示标志、报警装置和工作状态指示灯。

(7) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，并落实了年度评估制度，编制了《辐射安全和防护状况年度评估报告》，并于每年 1 月 31 日的向发证机关提交上一年度的评估报告。

(8) 医院已制定《放射事故与核事故应急处理预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事故与核事故应急处理预案进行完善和修订。经与医院核实，自辐射活动开展以来，各射线装置运行和维护状况良好，未发生过任何辐射事故。

表 1-1 医院现有的射线装置基本情况统计表

序号	名称	类别	数量	型号	主要技术指标	用途	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况	备注
1	DSA	II类	1台	Allura Xper	125kV/1000mA	放射治疗	放射科 2 楼	杭环辐评 批[2010] 0029 号	已获许可	已验收	在用
2	CT	III类	1台	Lightspeed VCT	140kV/800mA	诊断	放射科 2 楼		已获许可	已验收	在用
3	大口径 CT	III类	1台	SOMATOM Definition AS	140kV/666mA	诊断	放射科 2 楼		已获许可	已验收	在用
4	DR	III类	1台	Ysio	150kV/650mA	诊断	放射科 2 楼		已获许可	已验收	在用
5	DR	III类	1台	Ysio	150kV/650mA	诊断	放射科 2 楼		已获许可	已验收	在用
6	DR	III类	1台	Definium 6000	150kV/800mA	诊断	体检中心 5 楼		已获许可	已验收	在用
7	数字平板胃 肠机	III类	1台	AXIOM LuminosDRF	150kV/800mA	诊断	放射科 2 楼		已获许可	已验收	在用
8	乳腺 X 线机	III类	1台	Senographe	49kV/100mA	诊断	放射科 2 楼		已获许可	已验收	在用
9	移动 DR	III类	1台	Mobilett Mira	150kV/650mA	诊断	急诊科、ICU 病房		已获许可	已验收	在用
10	C 臂机	III类	1台	OEC Fluorostar Compact D	110kV/20mA	诊断	手术室		已获许可	已验收	在用
11	直线加速器	II类	1台	Trilogy	X 射线能量： 6MV、10MV	放射治疗	肿瘤中心一层 2# 直线加速器机房	杭环辐评 批（2014） 11 号	已获许可	已验收	在用

续表 1-1 医院现有的射线装置基本情况统计表

序号	名称	类别	数量	型号	主要技术指标	用途	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况	备注
12	DSA	III类	1台	Artis zee III biplane	125kV/1000mA	放射治疗	1号 DSA 扫描间	杭环辐 评批 [2016]43号	已获许可	已验收	在用
13	DSA	III类	1台	Artis zee III ceiling	125kV/1000mA	放射治疗	2号 DSA 扫描间		已获许可	已验收	在用
14	DSA	III类	1台	Allura Xper	125kV/1000mA	放射治疗	3号 DSA 扫描间		已获许可	已验收	在用
15	DSA	III类	1台	Allura Xper	125kV/1000mA	放射治疗	4号 DSA 扫描间		已获许可	已验收	在用
16	口腔 CT 机	III类	1台	Pan exam plus	90kV/16mA	诊断	4楼口腔科		已获许可	已验收	在用
17	牙片机	III类	1台	X-MIND DC	70kV/8mA	诊断	4楼口腔科		已获许可	已验收	在用
18	移动 CT	III类	1台	UDR3701 型	150kV/800mA	诊断	住院部 4 楼	杭经开环 登备 [2016]15号	已获许可	验收 不作要求	在用
19	移动 DR	III类	1台	NL4000 型	150kV/650mA	诊断	住院部 4 楼		已获许可		在用
20	全身骨密度仪	III类	1台	ProdigyAdvance	76kV/630mA	诊断	骨密度室		已获许可		在用
21	双螺旋 CT	III类	1台	SOMATOM Force	150kV/800mA	诊断	放射科	备案登记	已获许可	验收 不作要求	在用
22	移动 C 臂机	III类	1台	GE OEC Fluorostar Compect D	110kV/3mA	诊断	综合科 4 楼		已获许可		在用
23	DR	III类	1台	Udr 588i	110kV/3mA	诊断	入院准备中心		已获许可		在用
24	PET-CT	III类	1台	Discovery MI	150kV/800mA	放射治疗	PET-CT 机房	备案登记	已获许可	在用	
25	SPECT-CT	III类	1台	Infinia VCH4	140kV/2.5mA	放射治疗	SPECT-CT 机房		已获许可	在用	

表 1-2 医院现有密封源基本情况统计表

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	环评情况	许可情况	验收情况	备注
1	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.11×10 ⁹ ×1 枚	V类	使用	皮肤敷贴治疗	核医学科	2014 年已环评	已获许可	/	暂未购买
2	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷ Bq×1 枚	V类	使用	PET-CT 校正源	核医学科	2014 年已环评	已获许可	已验收	在用
3	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ Bq×1 枚	V类	使用	PET-CT 校正源	核医学科	2014 年已环评	已获许可	/	备用

表 1-3 医院现有的非密封放射性物质基本情况统计表

序号	核素名称	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	使用场所	场所 等级	环评情况	许可情况	验收情况	备注
1	^{99m} Tc	使用	3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁷	8.14×10 ¹²	SPECT 诊断	肿瘤中心	乙级	2017 年已环评	已获许可	已验收	在用
2	¹³¹ I		3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ⁹	3.85×10 ¹²	甲亢及甲癌治疗		乙级	2017 年已环评		已验收	
3	⁸⁹ Sr		2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷	1.776×10 ¹⁰	骨转移治疗		乙级	2017 年已环评		已验收	
4	⁶⁷ Ga		3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁵	3.848×10 ¹⁰	SPECT 诊断		丙级	2017 年已环评		已验收	
5	³² P		1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷	1.776×10 ¹⁰	腔内注射治疗		乙级	2017 年已环评		已验收	
6	¹⁵³ Sm		6.22×10 ⁹	6.22×10 ⁸	7.464×10 ¹¹	骨转移治疗		乙级	2017 年已环评		已验收	
7	²⁰¹ Tl		3.7×10 ⁷	3.7×10 ⁶	3.848×10 ¹⁰	SPECT 诊断		丙级	2017 年已环评		已验收	
8	¹⁸ F		1.11×10 ⁸	1.11×10 ⁷	2.442×10 ¹²	PET-CT 诊断		丙级	2017 年已环评		已验收	
9	¹²⁵ I 粒 子源		3.7×10 ⁷	3.7×10 ⁶	4.44×10 ¹¹	粒子植入治疗	放射科	乙级	2017 年已环评	/	暂未 购买	

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
本项目不涉及								

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
本项目不涉及										

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	直线 加速器	II类	1台	TrueBeam Varian	电子	X射线能量：10 MV； 电子线能量：22MeV	X射线最大剂量率： 2000cG/min	诊疗	肿瘤中心一层1# 直线加速器机房	新增， 本次环评
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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
本项目不涉及									

(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	
本项目不涉及													

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
O ₃ 、NO _x	气态	——	——	极少量	极少量	极低浓度	——	经大气扩散稀释,其影响可不考虑

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

法律文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法(2014年修订)》，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法(2018年修订)》，2018年12月29日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号，2017年10月1日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例(2019年修改)》，国务院令第709号，2019年3月2日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2019年修改)》，生态环境部令第7号，2019年8月22日修改；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(9) 《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，原国家环境保护总局，2006年9月26日起施行；</p> <p>(10) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函(2016)430号，原环境保护部办公厅，2016年3月7日起施行；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，原环境保护部令第44号；《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1号令，2018年4月28日起施行；</p> <p>(12) 《浙江省建设项目环境保护管理办法(2018年修改)》，浙江省人民政府令第364号，2018年3月1日起施行；</p> <p>(13) 《浙江省辐射环境管理办法》，浙江省人民政府令第289号，2012年2月1日起施行；</p> <p>(14) 关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2015年本)》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单(2015年本)》的通知，浙环发(2015)38号，原浙江省环境保护厅，2015年10月23日起施行；</p> <p>(15) 《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》浙</p>
------	---

	环函 [2019] 248 号 浙江省生态环境厅 、浙江省卫生健康委员会，2019 年 7 月 18 日。
技 术 标 准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)，2016 年 4 月 1 日实施；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)，2003 年 4 月 1 日实施；</p> <p>(3) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)，2012 年 6 月 1 日实施；</p> <p>(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/T 201.2-2011)，2012 年 6 月 1 日实施；</p> <p>(5) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)，2001 年 8 月 1 日实施；</p> <p>(6) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)，1994 年 4 月 1 日实施；</p> <p>(7) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)，2016 年 1 月 1 日实施。</p>
其 他	<p>(1) 环评委托书，见附件 1；</p> <p>(2) 院方提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 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》（HJ 10.1-2016）的规定：“以项目实体为中心，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置的评价范围，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）”，结合本项目的辐射污染特点（II 类射线装置），确定本项目的评价范围为直线加速器机房的实体边界外 50m 区域，评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

据医院总平面布置图及现场踏勘，确定本项目主要环境保护目标为机房辐射工作人员、机房附近的其他工作人员及周围公众人员，直线加速器机房边界外 50m 评价范围内无学校、幼儿园、居民区等环境敏感目标。为保障工作人员和周围公众的安全，确保项目运行所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。详见表 7-1。

表 7-1 项目环评范围内环境保护目标一览表

序号	方位	保护对象		人数	距离	年剂量约束值
1	控制室	职业	控制室操作人员	4 人	/	5mSv
2	治疗室		治疗室医护人员	4 人	/	
3	肿瘤中心及其南侧的医疗综合楼	公众	医院其他工作人员及病人	约 65 人	0.3~50m	0.25mSv
4	1#直线加速器机房周边		周边公众	流动	0.3~50m	

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.1.1, 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。对于不具有正当性的实践及该实践中的源, 不应予以批准。

4.3.2.1, 应对个人受到的正常照射加以限制, 以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外, 由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录 B) 中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

4.3.3.1, 对于来自一项实践中的任一特定源的照射, 应使防护与安全最优化, 使得在考虑了经济和社会因素之后, 个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平; 这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束的潜在照射危险约束为前提条件 (治疗性医疗照射除外)。

6.4.1, 控制区

6.4.1.1, 注册者和许可证持有者应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, 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的范围。

6.4.2, 监督区

6.4.2.1, 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区: 这种区域未被定为控制区, 在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施, 但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

B1.1., 职业照射

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

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均), **20mSv**;
本项目取其四分之一即 5mSv 作为年剂量管理约束值。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

a) 年有效剂量, **1mSv**;

本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为年剂量管理约束值。

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

本部分适用于 30MeV 以下的加速器放射治疗机房。

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

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水平

$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

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

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

7.3.3 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）

本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子直线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 GB 18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

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

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30 cm 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 X 射线能量超过 10 MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 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。

表 8 环境质量及辐射现状

8.1 环境现状评价对象

拟建项目区域及周边环境

8.2 监测因子

X- γ 辐射剂量率

8.3 监测点位

根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）等要求，结合现场条件，对本项目 1#直线加速器预留机房处进行监测布点，共布设 7 个监测点位，布点情况见图 4-1，监测报告见附件 10。

8.4 监测方案

- (1) 监测单位：浙江鼎清环境检测技术有限公司
- (2) 监测时间：2019 年 5 月 31 日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）等
- (5) 监测频次：依据 GB/T 14583-1993 标准予以确定
- (6) 监测工况：辐射环境本底
- (7) 天气环境条件：天气：多云；温度：21℃；相对湿度：79%
- (8) 监测仪器

表 8-1 监测仪器的参数与规范

仪器型号	BG9512（内置探头：BG9512；外置探头：BG7030）
生产厂家	贝谷科技股份有限公司
仪器编号	DQ2015-XJ37
能量范围	内置探头：50keV~1.3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 ^{137}Cs 661keV）；外置探头：25KeV~3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 ^{137}Cs 661keV）；
量程	内置探头：0.05 $\mu\text{Sv/h}$ -30mSv/h，外置探头：30nGy/h-200 $\mu\text{Gy/h}$
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书	2018H21-20-1565849001
检定有效期	2018 年 8 月 28 日~2019 年 8 月 27 日

8.5 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗。
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术负责人审定。

8.6 监测结果及评价

监测结果见表8-2。

表 8-2 直线加速器机房 X- γ 环境辐射剂量率背景水平检测结果

拟建辐射场所名称	检测点位编号	监测点位置	辐射剂量率 (nGy/h)	
			平均值	标准偏差
直线加速器 工作场所	★1	机房东侧	103	2
	★2	机房南侧	110	1
	★3	机房西侧	102	2
	★4	机房北侧	104	1
	★5	机房中部	111	1
	★6	机房迷道处	102	1
	▲7	机房楼顶	207	2

注：监测结果未扣除宇宙射线的响应。

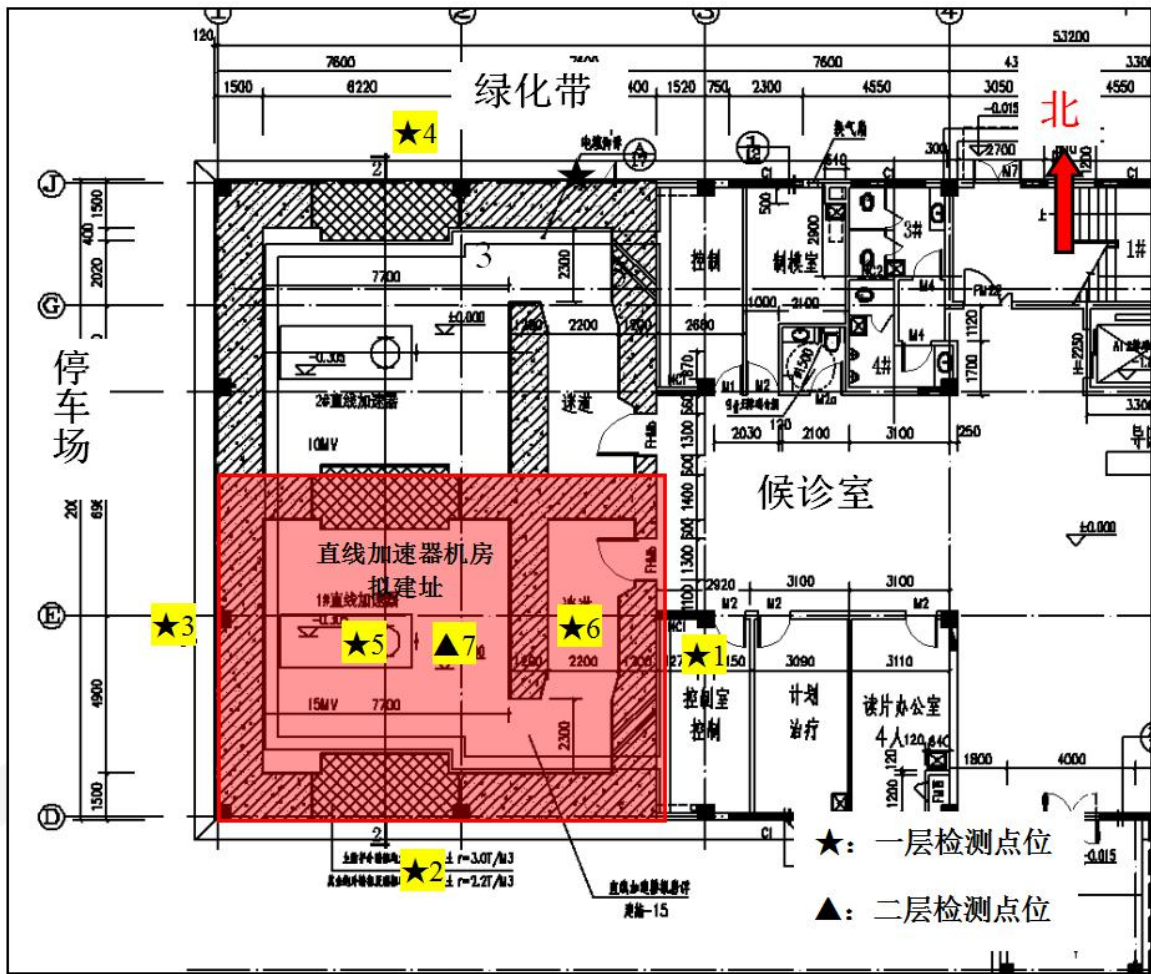


图8-1 本项目监测点位示意图

由表8-2的监测结果可知：本项目1#直线加速器预留机房的 γ 辐射剂量率在102~207nGy/h之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，杭州市区室内的 γ 辐射剂量率在56.0~443.0nGy/h之间，可见本项目相关辐射工作场所拟建址的 γ 辐射剂量率处于一般本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 医用直线加速器工作原理

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，也可利用X射线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。

9.2 设备组成

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。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的目的。

医院典型医用直线加速器见图9-1，直线加速器内部结构见图9-2。

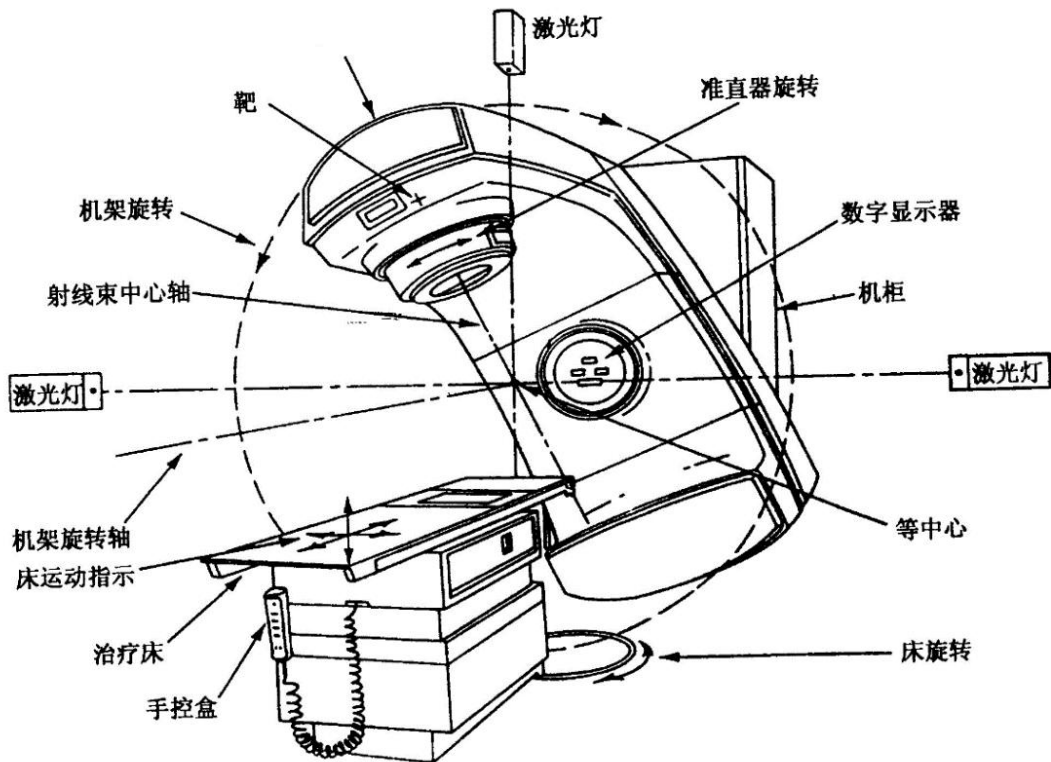


图9-1 医院典型医用直线加速器

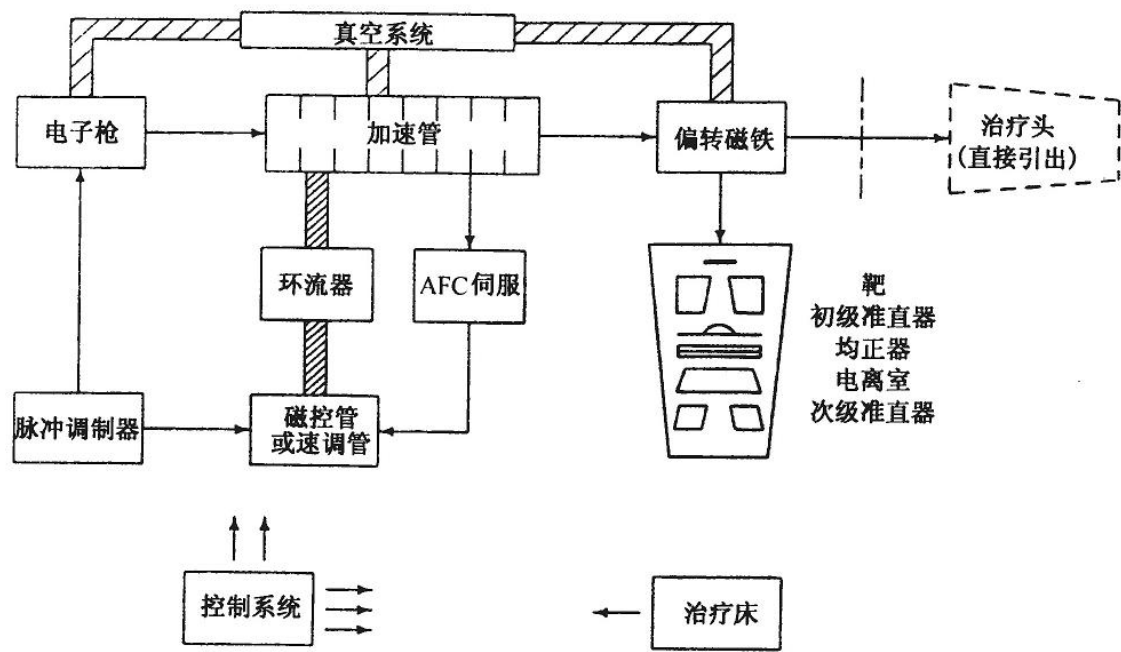


图9-2 典型医用直线加速器内部结构框图

9.3 操作流程

- a、进行定位。先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。
- b、制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。
- c、固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。
- d、开机治疗。

9.4 污染因子

由加速器的工作原理可知，医用直线加速器用于 X 射线治疗时，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能 X 射线，其可能对工作人员及公众造成一定危害。这种 X 射线随机器的开、关而产生或消失。氧气分子受到 X 射线束照射时，会分解成原子。氧原子的不稳定性极强，与氧气、氮气反应时，就形成了臭氧和氮氧化物。

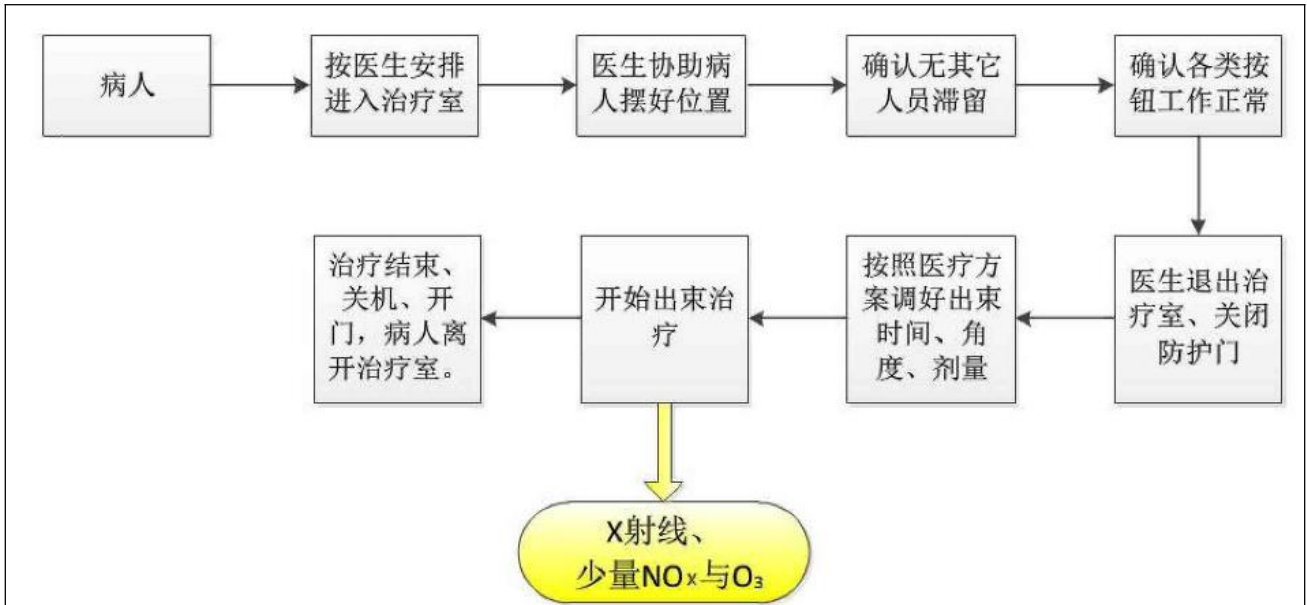


图 9-3 典型医用直线加速器工作流程及产污环节图

污染源项描述：

(1) 电子束

电子直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流。电子束虽然占据的体积小，但是能量非常集中。电子束的贯穿能力相当于X射线比较弱，加速器四周的混凝土墙可将其完全屏蔽。

(2) X射线

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 射线随机器的开、关而产生和消失。

(3) 中子

在加速器工作时，高能电子束与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与加速器部件以及空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应，放出中子。根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“6.1.5 X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护”，本项目拟建的医用直线加速器能量为 10MV，故可不考虑中子辐射，仅考虑 X 射线的防护问题。

(4) 有害气体

在开机期间X射线与空气作用将产生臭氧、氮氧化物等有害气体。

因此，本项目直线加速器在开机期间X射线为主要污染因子，其次为臭氧、氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 直线加速器工作场所布局

本项目拟新增的 1#直线加速器机房位于医院肿瘤中心一层西南角，治疗机房与其他辅助设施分离，迷道位于机房的东部，有用束照射方向为南、北方向。机房的东侧为控制室及病人候诊室，南侧为院内道路，西侧为医院停车场，北侧为 2#直线加速器机房，楼上为闲置房间，无地下层。平面布局见附图 5。

10.1.2 分区管理

10.1.2.1 分区依据和原则

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》（GB 18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。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（包括门锁和联锁装置）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，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。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，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

10.1.2.2 项目区域划分

结合项目诊治、辐射防护和环境情况特点，本项目将 1#直线加速器机房治疗室划为控制区，而 1#直线加速器机房东侧的控制室及机房防护门外 1m 划为监督区。控制区（包括机房防护门外 1 米处）设置黄色警戒标志，本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1 和附图 5。结合辐射防护和环境情况特点，本项目直线加速器工作场所的控制区和监督区划分如下。

表 10-1 本项目控制区和监督区划分情况

场所名称	控制区	监督区
直线加速器	直线加速器机房治疗室	直线加速器机房控制室及机房防护门外 1m

电离辐射标志和电离辐射警告标志如图 10-1 所示：

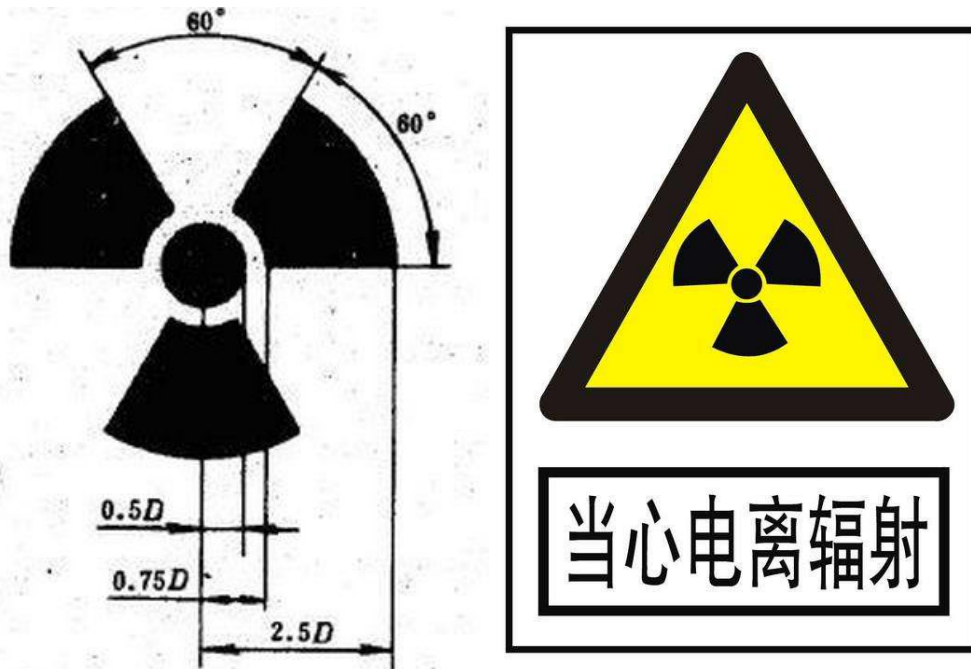


图10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

10.1.3 直线加速器工作场所屏蔽设计

本项目直线加速器有用束照射方向为南、北方向，机房治疗室净面积约 75m²，治疗室内部净高 3.9m，设计采用密度 3.0 t/m³ 的重晶石混凝土浇筑。加速器机房屏蔽防护措施详见表 10-2。加速器治疗室平面及剖面图见图 10-2 及 10-3。

表10-2 直线加速器机房屏蔽防护措施一览表

工作场所	设计面积 (m ²)	屏蔽体	设计值
肿瘤中心一层 1#直线加速器机房 (10MV)	75	北侧主屏蔽墙 (与 2#直线加速器机房南墙共用)	2250 mm 重晶石混凝土
		北侧次屏蔽墙 (与 2#直线加速器机房南墙共用)	1300mm 重晶石混凝土
		迷道外墙 (东侧)	1200 mm 重晶石混凝土
		南侧主屏蔽墙	2300 mm 重晶石混凝土
		南侧次屏蔽墙	1400 mm 重晶石混凝土
		西侧墙体	1400 mm 重晶石混凝土
		迷道内墙 (东侧)	1100 mm 重晶石混凝土
		顶棚主屏蔽墙	2300 mm 重晶石混凝土 (外凸)
		顶棚次屏蔽墙	1300 mm 重晶石混凝土
		迷道外防护门	15 mm 铅板+100 mm 厚含硼聚乙烯复合防护材料

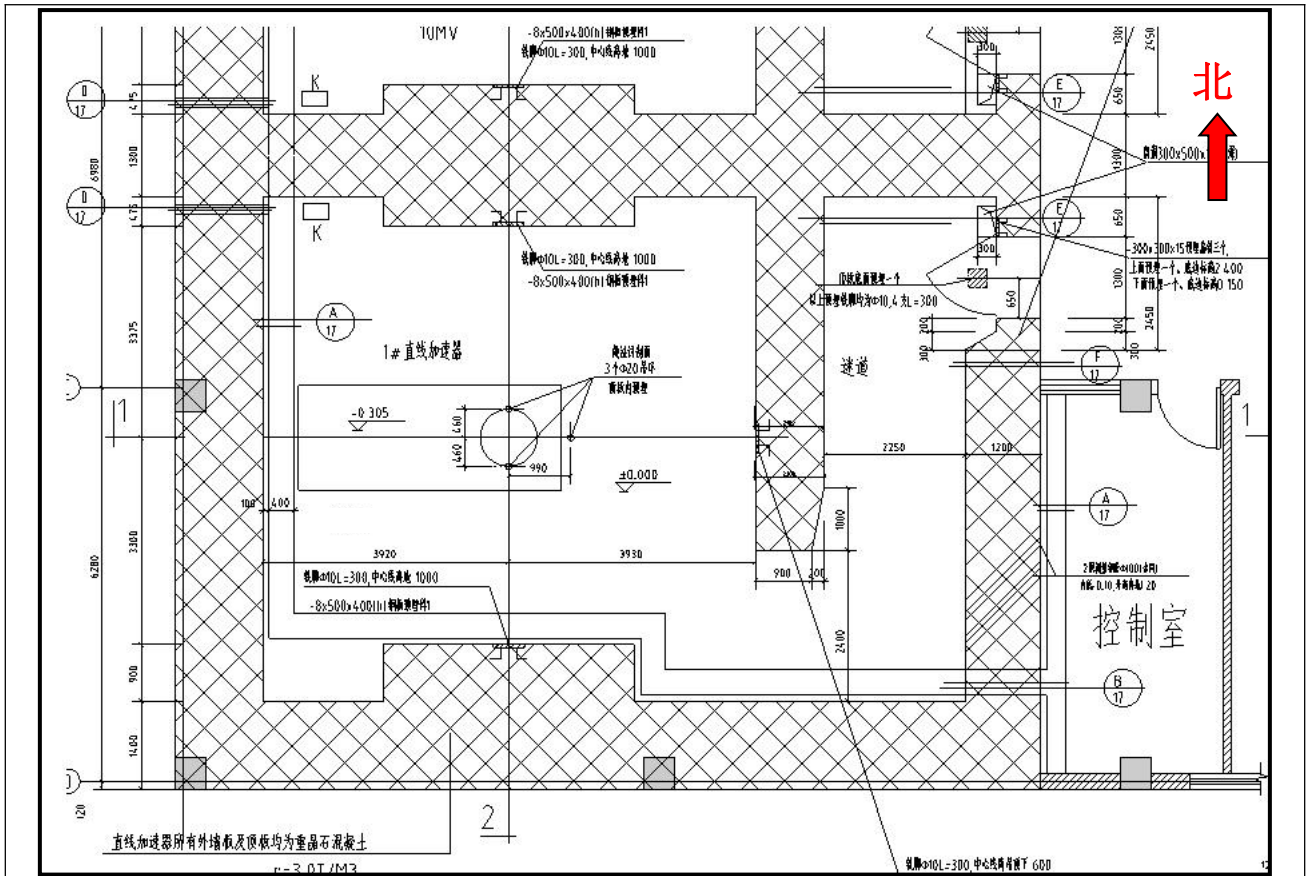


图 10-2 加速器治疗室平面图

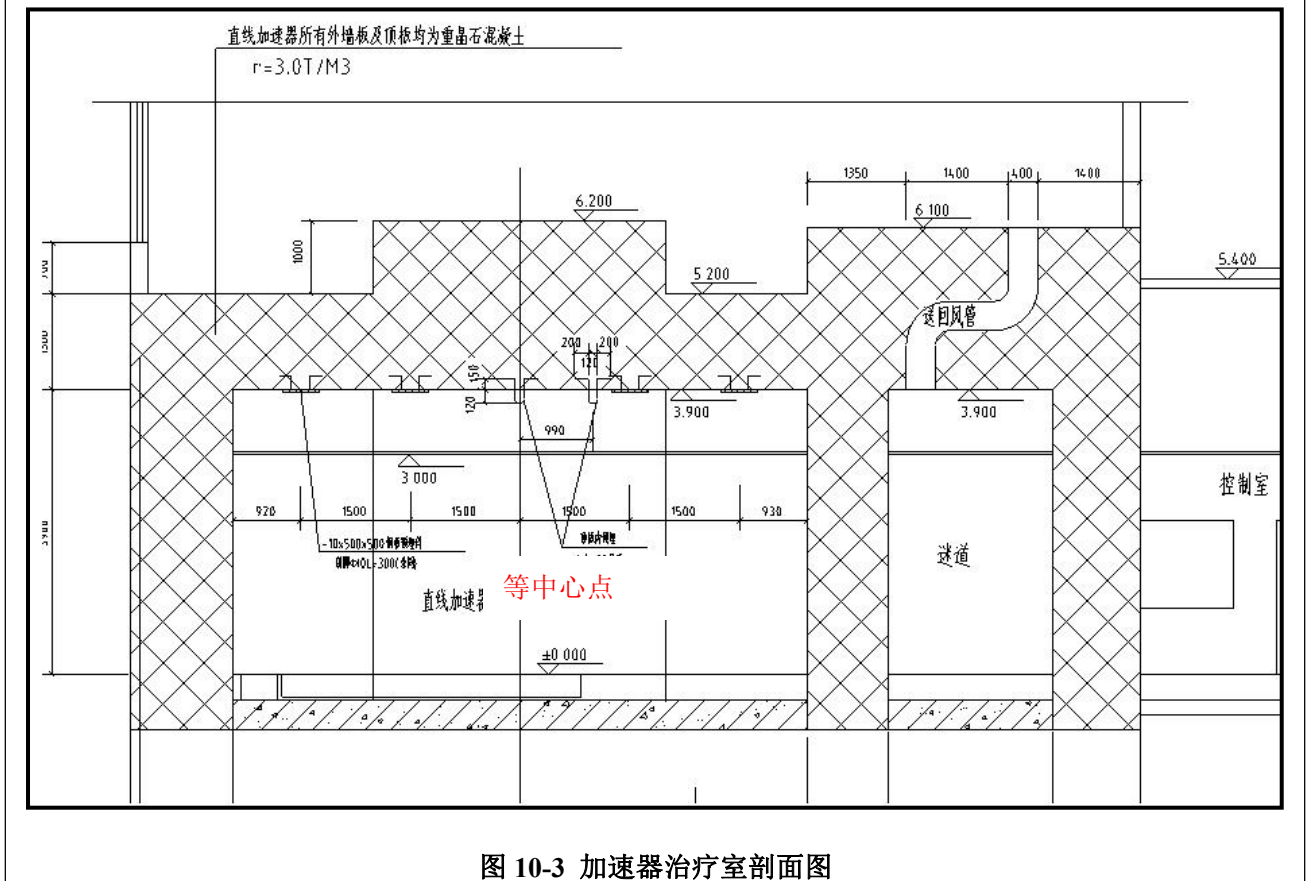


图 10-3 加速器治疗室剖面图

10.1.4 直线加速器拟采取的污染防治措施

- 1、穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果；
- 2、治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备；
- 3、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；
- 4、相关位置（例如治疗室人口处上方等）立安装醒目的射指示灯及辐射标志；
- 5、治疗室通风换气次数应不小于4次/h；
- 6、控制室、迷道、治疗机房、治疗床下设置紧急停机按钮与加速器高压联锁，触动紧急停机按钮，加速器自动断电停机防止误照事故的发生；
- 7、水冷系统与加速器高压联锁，系统故障触动加速器高压切断，防止误照事故的发生；
- 8、控制台上仅有供授权人专用的钥匙，只有经过授权的医务人员才能使用钥匙开关开启控制台；
- 9、加速器控制台设置复位确认按钮，联锁触动停机后须人工复位才能重启加速器；
- 10、治疗机房内安装火灾自动报警装置，配备灭火器材，火灾报警装置与通风联锁。设置必要的应急照明设备和紧急出口标志；
- 11、职业人员配备个人剂量计并定期送检，同时建立个人剂量档案，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案，个人剂量档案应当保存至辐射职业人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年；
- 12、治疗机房内安装火灾自动报警装置，配备灭火器材，火灾报警装置与通风联锁，设置必要的应急照明设备和紧急出口标志；
- 13、建立清场巡更系统。

10.2 三废的治理

医用直线加速器在运行中产生的 X 射线造成空气电离而产生的少量臭氧和氮氧化物，可通过机房排风系统排入室外空气中。本项目直线加速器机房拟设 1 套机械排风系统，要求排风量不小于 1500m³/h，其排风方案如下：

- 1、抽风口布置在治疗室内远离迷路处，由于臭氧等比重大，抽风口应尽量靠近地面，排风管道为迷宫式结构，预留面积 300*300 mm。治疗室墙外侧排风口装风机，风机排风量应保证正常时治疗室内应每小时换气 4 次。应在防护上考虑由于排风管路引起的水泥墙体（或屋顶）的减弱，作适当的补偿。洞口加装防鼠金属网。

2、进风口在迷路内靠近门上方的墙上。为了使有人的区域尽量少受辐射，进风口布置得越高越好。在进风口和排风口设计上，应尽量减少穿过墙的面积，预留口为300mm*300mm，进风口为迷宫式结构。应在防护上考虑由于进风口引起的水泥墙体（或屋顶）的减弱，作适当的补偿。

3、进风口处放过滤网，对进入的空气进行过滤，滤掉大部分直径大于10 μ m的粒子。

由于臭氧产生量小、容易分解为氧气，故本项目直线加速器运行时产生的废气不会对大气造成影响。建议风口和通风管均应采用铅皮防护，确保满足防护要求。

加速器治疗室通风设计平面图见附图8。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

由于 X 射线装置在建设和安装过程中不需要通电，因此在设备的建设安装过程中不产生 X- γ 射线，对项目周围的辐射环境无影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

本项目采用理论计算和类比监测结合的评价方法预测直线加速器工作场所运行后产生的辐射环境影响。

11.2.1 直线加速器

(一)、理论计算

1、设备技术参数

本项目医用电子直线加速器主要性能指标见表11-1。

表11-1 拟配置加速器主要性能指标一览表

设备名称	直线加速器
设备位置	1#直线加速器机房（肿瘤中心一层西南角）
设备型号	TrueBeam Varian
加速器最大X射线能量	10MV
输出量	正常运行情况下,有用束中心轴距靶 1m 处位置的输出量 2000cGy/min
泄漏率	$\leq 0.1\%$
主射野扩散角度	$\pm 14^\circ$
最大射野尺寸	40cm \times 40cm

本项目中，加速器机房为混凝土结构，主要评价加速器运行过程中，关注点处的瞬时剂量率对机房外周围环境影响是否满足剂量率控制要求。

2、电子直线加速器治疗室设计参数

根据建设单位提供资料，本项目医用电子直线加速器治疗室平面图见图11-1，剖面图见图11-2，各部分具体尺寸见表10-2。

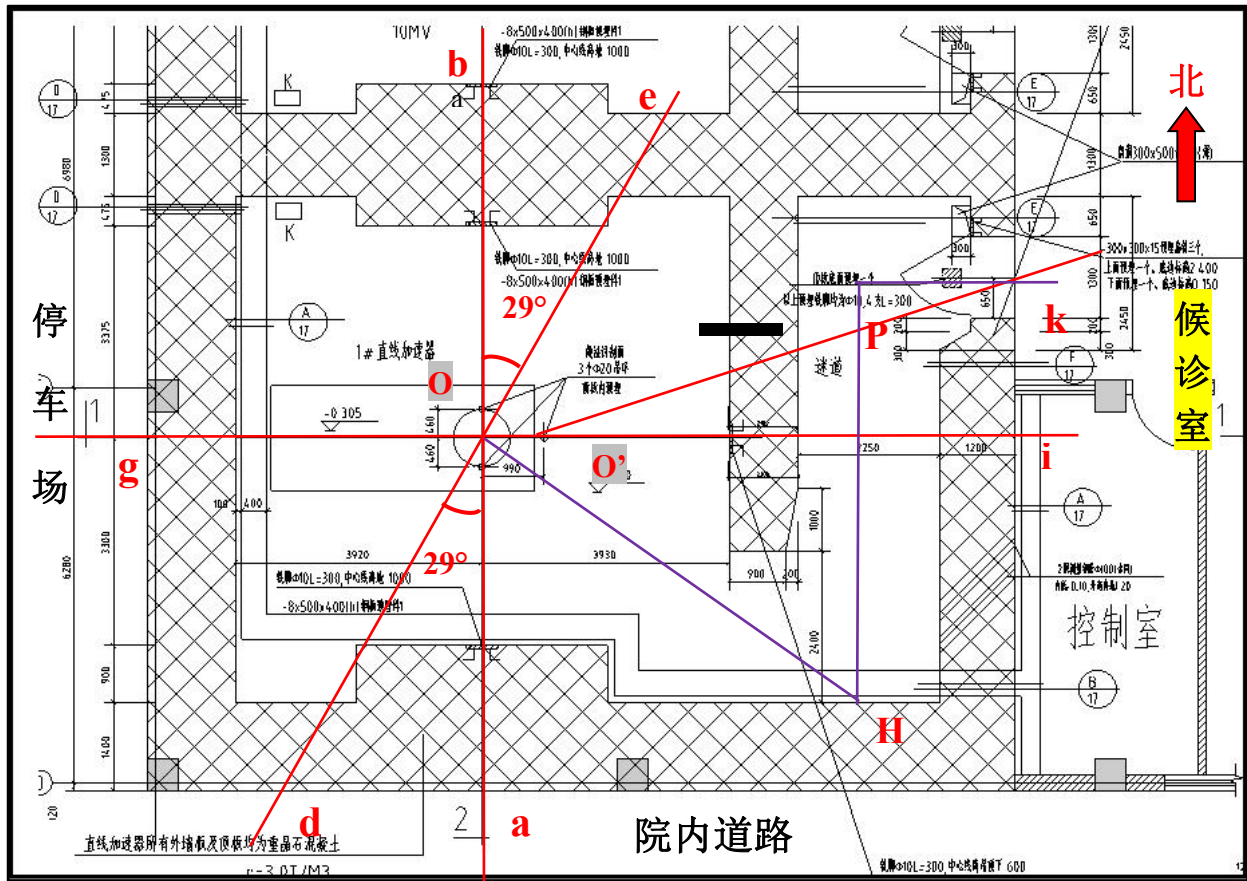


图11-1 直线加速器治疗室平面图 (单位mm)

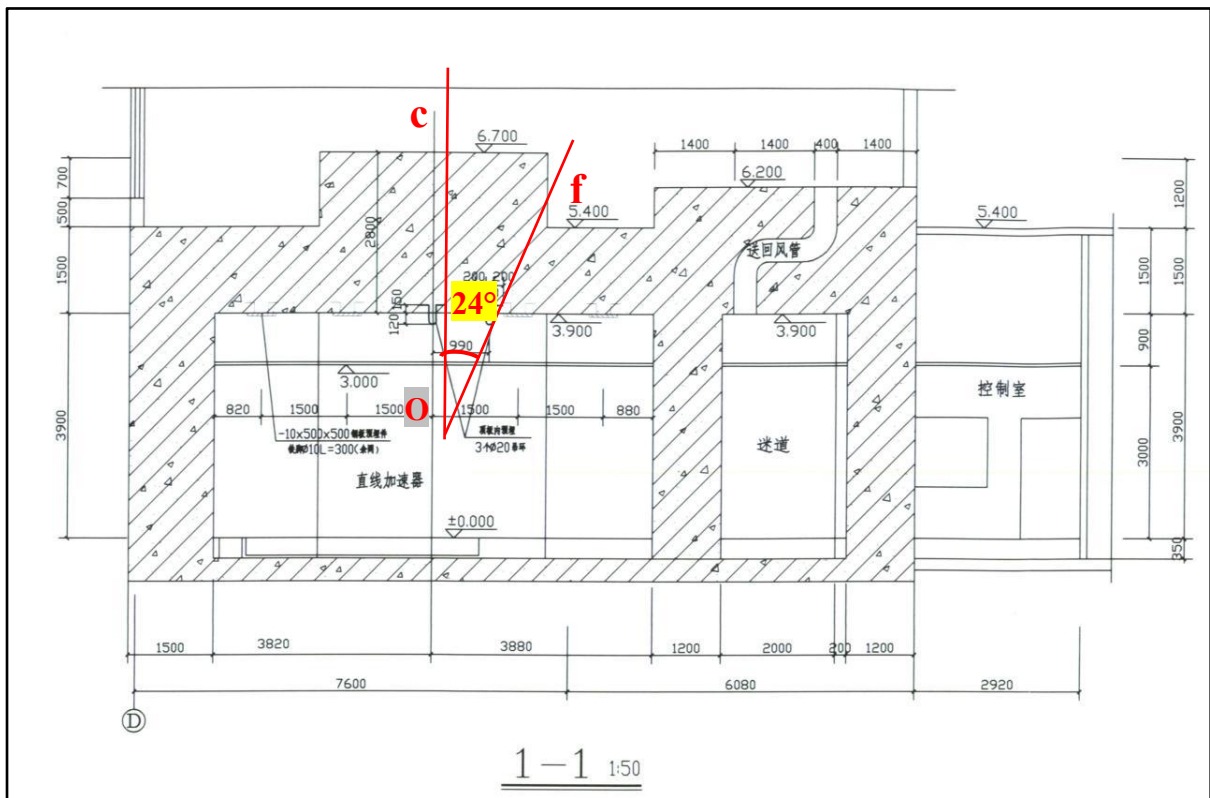


图11-2 直线加速器治疗室剖面图 (单位mm)

3、电子直线加速器治疗室屏蔽防护计算

按照加速器X射线的最大输出参数，最不利条件下，计算各关注点经过屏蔽后的辐射剂量率水平，1#电子直线加速器机房屏蔽示意图和关注点分布见图11-1～图11-2。

机房主屏蔽区主要考虑由加速器直接输出的原射线（主射束）的辐射影响，次屏蔽区主要考虑散射线和漏射线的辐射影响。

(1) 有用线束主屏蔽区（关注点a、b、c）

采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中推荐的公式计算主屏蔽墙体外表而30cm处的辐射剂量率水平：

①有效屏蔽厚度：

$$X = X_e \cdot \cos \theta \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

X ：屏蔽物质厚度，cm；

X_e ：射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm；

θ ：入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽透射因子

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

B ：屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X_e ：有效屏蔽厚度，cm；

TVL ：辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚，cm；

TVL_1 ：辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm；

③主射线和漏射线剂量率：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

\dot{H} ：关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ：距靶1m处的有用线束或泄漏的辐射剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f ：对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率 0.001。

④相关参数

根据业主提供资料，1#直线加速器 X 射线线最大能量分别为 10MV，进行放射治疗时距靶 1m 处最高输出剂量率为 2000cGy/min ($1.2 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$)。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 附录B中表B.1可知，有用线束和泄漏辐射在混凝土中的什值层厚度见表11-7。

表 11-2 有用线束和泄漏辐射在混凝土中的什值层

MV	有用束		90° 泄露辐射	
	TVL ₁ (cm)	TVL(cm)	TVL ₁ (cm)	TVL(cm)
10MV	41	37	35	31

根据式 11-1~式 11-3 计算可得 a、b、c 点剂量率如下表所示：

表11-3 主屏蔽墙外参考点剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	有效屏蔽层厚度 X _e (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R(m)	剂量率 (μSv/h)
1#直线加速器机房 (10MV)	a	230 (重晶石混凝土, 3.0t/m ³)	293	1.546×10^{-8}	5.90	0.533
	b	225 (重晶石混凝土, 3.0t/m ³)	287	2.246×10^{-8}	5.80	0.801
	c	230 (重晶石混凝土, 3.0t/m ³)	293	1.546×10^{-8}	6.00	0.515

注：有效屏蔽层厚度换算成密度为 2.35 t/m³ 混凝土厚度。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 4 2.1 款，从上表计算结果可知，加速器主屏蔽外参考点辐射剂量率最大为 0.533 μSv/h，低于 2.5 μSv/h，顶棚主屏蔽区参考点辐射剂量率为 0.801μSv/h，低于 2.5 μSv/h，因此南、北侧主屏蔽和顶棚屏蔽厚度符合要求。

(2) 与主屏蔽相连的次屏蔽区 (关注点 d、e、f)

计算与主屏蔽区相连的次屏蔽区关注点处剂量率时，考虑泄露辐射和患者散射辐射的复合作用，电子直线加速器最大照射野为 40cm×40cm，泄漏辐射率≤0.1%。

①泄漏辐射

根据式 11-1~式 11-3，得 d、e、f 点剂量率如下表所示：

表 11-4 与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点泄漏辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	$\theta (^{\circ})$	有效屏蔽层厚度 Xe(cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R(m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#直线加速器机房 (10MV)	d	140 (重晶石混凝土, 3.0t/m^3)	29	204	3.535×10^{-7}	7.994	0.084
	e	130 (重晶石混凝土, 3.0t/m^3)	29	189	1.08×10^{-6}	6.245	0.033
	f	130 (重晶石混凝土, 3.0t/m^3)	24	181	1.95×10^{-6}	5.12	0.089

注：有效屏蔽层厚度换算成密度为 2.35 t/m^3 混凝土厚度。

②患者散射辐射

采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201 2-2011) 中推荐的公式，患者一次散射辐射的剂量估算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11-4})$$

式中

\dot{H} ：关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ：距靶 1m 处的有用线束或泄漏的辐射剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

F ：最大照射野面积， 1600 cm^2 ；

R_s ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} ： α_{ph} 与 X 射线的 MV 值及散射角（散射方向与入射方向的夹角）有关，其值为 3.18×10^{-3} （本项目 10MV 电子直线加速器散射角按 30° 计算）。散射辐射在砼中的 TVL 值为 28cm（散射角按 30° 计算）。

表 11-5 与主屏蔽区相连的次屏蔽区墙外参考点患者散射辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	θ (°)	有效屏蔽层厚度 X_e (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R (m)	患者散射剂量率贡献值 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#直线加速器机房 (10MV)	d	140 (重晶石混凝土, 3.0t/m^3)	29	204	3.535×10^{-7}	7.994	0.085
	e	130 (重晶石混凝土, 3.0t/m^3)	29	189	1.08×10^{-6}	6.245	0.423
	f	130 (重晶石混凝土, 3.0t/m^3)	24	181	1.95×10^{-6}	5.12	1.135

注：有效屏蔽层厚度换算成密度为 2.35 t/m^3 混凝土厚度。

则与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点剂量率如下表所示：

表 11-6 与主屏蔽相连的次屏蔽区墙外参考点剂量率

直加机房	参考点	泄漏辐射剂量率贡献值 ($\mu\text{Sv/h}$)	患者散射剂量率贡献值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#直线加速器机房 (10MV)	d	0.084	0.085	0.169
	e	0.033	0.423	0.456
	f	0.089	1.135	1.224

由上表可知，与主屏蔽相连的东、西次屏蔽区墙外参考点辐射剂量率最大值 $0.456 \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；顶棚次屏蔽区参考点辐射剂量率最大值为 $1.224 \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，因此东、西墙及顶棚次屏蔽厚度符合要求。

(3) 侧屏蔽墙（关注点g）

根据式11-1~式11-3，得g点剂量率如下表所示：

表11-7 侧屏蔽墙墙外参考点泄漏辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	θ (°)	有效屏蔽层厚度 X_e (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#直线加速器机房 (10MV)	g	140 (重晶石混凝土, 3.0t/m^3)	0	178	2.438×10^{-6}	5.620	0.093

注：有效屏蔽层厚度换算成密度为 2.35 t/m^3 混凝土厚度。

由上表可知，侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率最大为 $0.093 \mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，符合屏蔽要求。

(4) 迷路外墙 (关注点 i)

根据式 11-1~式 11-3, 得 i 点剂量率如下表所示:

表 11-8 迷路外墙墙外参考点泄漏辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	$\theta(^{\circ})$	有效屏蔽层厚度 X_e (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R(m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#直线加速器机房 (10MV)	i	120+110 (重晶石混凝土, 3.0t/m ³)	0	293	4.758×10^{-10}	8.762	0.00001

注: 有效屏蔽层厚度换算成密度为 2.35 t/m³ 混凝土厚度。

由上表可知, 迷路外墙墙外参考点辐射剂量率最大为0.00001 $\mu\text{Sv/h}$, 低于2.5 $\mu\text{Sv/h}$, 符合屏蔽要求。

(5) 加速器机房的迷路入口 (关注点k)

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) 第4.7.4 条款指出: 对于大于10 MV的X射线治疗机房, 迷路入口的防护门应同时考虑X射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获 γ 射线。《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 第6.1.5条款也指出: X射线能量超过10 MV的加速器, 屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

本项目直线加速器产生的最大X射线能量为10 MV, 因此, 不需要考虑中子的辐射防护问题。加速器机房为L型迷路, 有用线束不向迷路照射, 迷路入口处的辐射剂量考虑如下:

① 泄漏辐射

加速器的泄漏辐射 (以偏离O的位置O'为中心) 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口k的辐射剂量, 路径“O'-k”, 核算结果应为k处的参考控制水平的一个分数 (应小于1/4), 此处取0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

根据式11-1~11-3, 得k点剂量率如下表所示:

表11-9 加速器机房迷路入口泄漏辐射剂量率

直加机房	参考点	屏蔽墙厚度 X (cm)	$\theta(^{\circ})$	有效屏蔽层厚度 X_e (cm)	屏蔽透射因子 B	靶点至参考点距离 R(m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#直线加速器机房 10 MV)	k	110(重晶石混凝土, 3.0t/m ³) +15mmPb (防护门)	18	267	3.282×10^{-9}	8.52	0.0001

注: 有效屏蔽层厚度换算成密度为 2.35 t/m³ 混凝土厚度, 1mmPb 折算为 8cm 密度为 2.35 t/m³ 混凝土厚度。

由上表可知，加速器机房迷路入口辐射剂量率最大为0.0001 μSv/h，低于0.5 μSv/h，符合屏蔽要求。

② 散射辐射

入口k处的散射辐射剂量率 \dot{H}_k 按（式11-6）计算：

$$\dot{H}_k = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式11-5})$$

式中：

\dot{H}_k ：k处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} ：患者400cm²面积上的散射因子，见附录B表B.2，通常取45° 散射角的值，10 MV 加速器取1.35×10⁻³；

F ：治疗装置有用线束在等中心点处的最大照射野面积，1600 cm²；

α_2 ：砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录B表B3）的散射因子，通常取H处的入射角45°，散射角为0°， α_2 值见附录B表B.6，通常使用其0.5 MeV栏内的值，即22.0×10⁻³；

A ：H处的散射面积；

R_1 ：等中心点至散射墙面的距离，m；

R_2 ：迷道散射墙面至入口处的距离，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·m²/h

根据式11-5，得k点散射辐射剂量率如下表所示：

表11-10 加速器机房迷路入口散射辐射剂量率（防护门屏蔽前）

直加机房	参考点	α_{ph}	α_2	A (m ²)	R_1 (m)	R_2 (m)	剂量率 (μSv/h)
1#直线加速器 机房（10 MV）	k	1.35×10 ⁻³	22.0×10 ⁻³	18.16	7.17	8.52	346.87

③ 防护门外辐射剂量

在给定防护门的铅屏蔽厚度X（cm）时，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} （μSv/h）按（式11-6）计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_k \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{ok} \quad (\text{式11-6})$$

式中：

H ：防护门外的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_k ：入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ：防护门铅屏蔽厚度， cm ；

TVL ：迷道入口处散射射线在铅的什值层厚度， 0.5cm ；

H_{ok} ：泄漏辐射在迷路入口处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，见表11-9；

根据式11-6，计算得电子直线加速器机房防护门外的辐射剂量率如下表所示：

表11-11 加速器机房迷路入口散射辐射剂量率（防护门屏蔽后）

直加机房	参考点	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	防护门铅屏蔽 厚度 (cm)	泄露辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#直线加速器机房 (10MV)	k	346.87	1.5	0.0001	0.308

综上所述，本项目直线加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率最大值为 $0.801\mu\text{Sv/h}$ ，各点处辐射剂量率均满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的相关要求，即“在加速器迷宫口处、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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，符合屏蔽要求。

（6）主束屏蔽墙宽度分析

《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）第4.3.3条款给出了主束屏蔽层宽度的计算方法，有用束在机房屏蔽墙的投影区宽度的计算见（式11-7）。

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD)\tan\theta + 0.3] \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

Y_p ：机房有用束主屏蔽区的宽度， m ；

SAD ：源轴距，取 1m ；

θ ：治疗束的最大半张角（相对束中的轴线），本项目为 14° ；

α ：等中心点至与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙内表面或到外凸式主屏蔽墙外表面的距离， m 。

见图11-3所示。

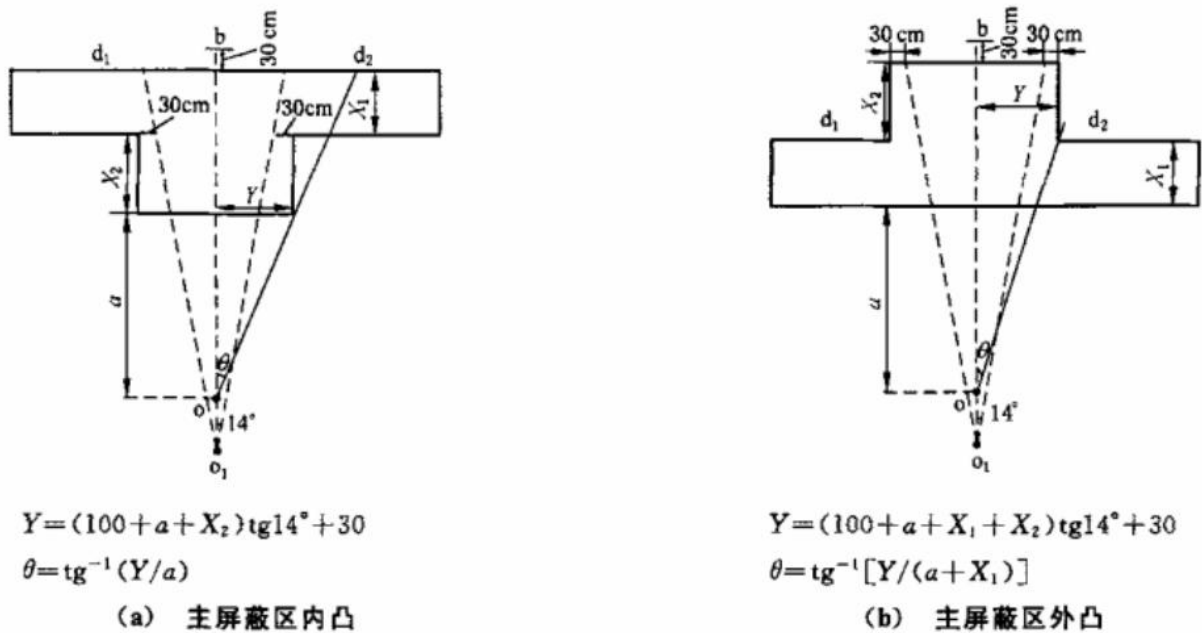


图11-3 主束屏蔽宽度要求示意图

以南侧主屏蔽墙为例估算主束屏蔽层的最小宽度。根据设计资料，加速器机房南侧主屏蔽层厚度为2.3m，次屏蔽层厚度为1.4m，等中心点到主屏蔽墙内侧的最大距离为3.3m，有用射线束张角为28°，据此计算南侧主屏蔽墙的宽度要求不少于 $[(3.3+0.9+1.0) \tan 14^\circ + 0.3] \times 2 = 3.2\text{m}$ 。

同理，可以推算出加速器机房顶部主屏蔽的宽度要求不少于 $[(2.9+2.3+1.0) \tan 14^\circ + 0.3] \times 2 = 3.7\text{m}$ 。

本项目加速器机房主屏蔽墙宽度均为4m，满足屏蔽主束和散射辐射的要求。

(7) 辐射照射所致有害气体的环境影响分析

1) 臭氧

依据王时进等人发表的“辐射所致臭氧的估算与分析”（中华放射医学与防护杂志，1994年4月第14卷第2期）给出的公式，估算加速器X射线所致臭氧的产额和浓度。

① 有用线束的O₃产额

计算有用射线束所致O₃产额的公式如下：

$$P = 2.43 \times D_0 \times (1 - \cos \theta) \times R \times G \quad (\text{式11-8})$$

式中：

P ：为O₃的产额；

D_0 ：为有用线束在距1m处的输出量，Gy/min；

R ：为射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，m；

G ：为空气吸收100eV辐射能量产生的 O_3 分子数，文献估算时取值为10；

θ ：为有用束的半张角。

②泄漏辐射的 O_3 产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑治疗室墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加10%， O_3 的产额 P (mg/h)为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \times \dot{D}_0 \times G \times V^{1/3} \quad (\text{式11-9})$$

式中：

V ：治疗室容积（含迷道）， m^3 。

本评价选取加速器有关参数如下： $\dot{D}_0 = 20 \text{ Gy/min}$ （最大值）； $R = 8.4\text{m}$ （最大值）； $\theta = +14^\circ/-14^\circ$ ； $G = 10$ ；治疗室容积（含迷道） $V = 310.5\text{m}^3$ 。

根据（式11-8）得出有用线束 $P = 121.3\text{mg/h}$ 。根据（式11-9）得出泄漏辐射的 $P = 4.5\text{mg/h}$ 。二项合计， $P_{\text{总}} = 125.8\text{mg/h}$ 。保守估计加速器治疗人数400人次/周，20000人次/年，年出束时间1667h，则臭氧的年产量约为209.7g。

③臭氧浓度

治疗室内的产生臭氧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：

$$Q(t) = \frac{Q_0 \times T}{V} \times (1 - e^{-t/T}) \quad (\text{式11-10})$$

式中：

$Q(t)$ ：为治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度， mg/m^3 ；

Q_0 ：为臭氧的辐射化学产额， mg/h ；

V ：为治疗室的体积， m^3 ；

T ：为有效清除时间，h。

如果照射时间很长（ $t \gg T$ ），则：

$$Q(t) = \frac{Q_0 \times t}{V} \quad (\text{式 11-11})$$

若以 t_v 表示换气一次所需时间 h； t_d 表示臭氧的有效分解时间（取 0.83h），则有效清除时间为：

$$t = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \quad (\text{式 11-12})$$

正常通风时治疗室的换气次数达到 4 次/h，即 $t_v=0.25\text{h/次}$ 。由（式 11-12）计算得 T 为 0.19h。当 $t \gg T$ 时，臭氧达饱和浓度，由（式 11-11）得到在正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 0.13mg/m^3 ，低于工作场所中 O_3 浓度限值《工作场所有害因素职业接触限值—化学有害因素》（GB22.1-2007），浓度限值为 0.3mg/m^3 。

治疗室内产生的臭氧通过排风系统高空排放，经过大气的稀释和扩散作用其浓度逐步降低，远低于大气环境质量标准中 O_3 浓度限值（《环境空气质量标准》（GB3095-2012），1h 平均浓度为 0.2mg/m^3 ），对周围大气环境的影响十分轻微。

2) 氮氧化物

在多种氮氧化物（ NO_x ）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半。工作场所中 NO_2 的浓度限值（GBZ2.1-2007，浓度限值为 5mg/m^3 ）超出 O_3 的 10 多倍，环境空气中其浓度限值（《环境空气质量标准》（GB 3095-2012），1h 平均浓度为 0.2mg/m^3 ）与 O_3 的浓度限值相同。因而， NO_2 的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

（二）类比法

1、类别对象的选取：本次评价选取杭州市下沙医院目前已投入运行的2#直线加速器机房作为类比对象，对其运行时产生的辐射环境影响水平进行监测，模拟类比分析本项目拟新增直线加速器机房投入运行后对周围环境产生的影响。

（数据来源：来源于浙江建安检测研究院有限公司编制的《杭州市下沙医院医用电子直线加速器性能和工作场所放射防护检测》（2018年12月），GABG-XF/CF 18235052-4）

2、类比可比性分析

表11-12 设备技术参数对比一览表

序号	本项目设备规格		类比对象设备规格	
	设备	技术参数	设备	技术参数
1	拟新增直线加速器（1# 直线加速器机房）	10 MV	运行中直线加速器（2# 直线加速器机房）	10 MV

表11-13 本项目及类比对象机房屏蔽防护参数一览表

		本项目机房屏蔽材料及厚度	类比对象机房屏蔽材料及厚度
位置		1#直线加速器机房（肿瘤中心一层西南角）	运行中 2#直线加速器机房（肿瘤中心一层西北角）
防护设施	北侧主屏蔽墙	2250 mm 重晶石混凝土（与 2#直线加速器机房北墙共用）	2050mm 重晶石混凝土
	北侧次屏蔽墙	1300mm 重晶石混凝土（与 2#直线加速器机房北墙共用）	1400mm 重晶石混凝土
	迷道外墙（东侧）	1200 mm 重晶石混凝土	1200 mm 重晶石混凝土
	南侧主屏蔽墙	2300 mm 重晶石混凝土	2250 mm 重晶石混凝土（与 1#直线加速器机房北墙共用）
	南侧次屏蔽墙	1400 mm 重晶石混凝土	1300 mm 重晶石混凝土（与 1#直线加速器机房北墙共用）
	西侧墙体	1400 mm 重晶石混凝土	1400 mm 重晶石混凝土
	迷道内墙（东侧）	1100 mm 重晶石混凝土	1100 mm 重晶石混凝土
	顶棚主屏蔽墙	2300 mm 重晶石混凝土（外凸）	2300 mm 重晶石混凝土（外凸）
	顶棚次屏蔽墙	1300 mm 重晶石混凝土	1300 mm 重晶石混凝土
	迷道外防护门	15 mm 铅板+100 mm 厚含硼聚乙烯复合防护材料	15 mm 铅板+100 mm 厚含硼聚乙烯复合防护材料

从类比对象的设备技术参数以及机房防护屏蔽能力可知，类比对象与本项目直线加速器机房具有很好的可比性。

3、类比监测

杭州市下沙医院 2#直线加速器运行工况：X 射线能量：10MV，射野尺寸：40cm×40cm，剂量率：6.0 Gy/min。运行中 2#直线加速器机房的类比监测点位图见图 11-4，监测结果见表 11-14。

表 11-14 类比直线加速器机房周围 X-γ 辐射剂量率监测结果

序号	监测点位描述	检测条件	检测结果 (μSv/h)
1	机架 0°, 东墙外 30cm	直准器角度 0°, 等中心 无模体	0.15~0.19
2	机架 0°, 南墙外 30cm		0.17~0.20
3	机架 0°, 西墙外 30cm		0.16~0.20
4	机架 0°, 北墙外 30cm		0.17~0.20
5	机架 0°, 防护门外侧 30cm	直准器角度 0°, 等中心 放置模体	1.01~1.22
6	机架 90°, 南墙外 30cm	直准器角度 45°, 等中 心无模体	0.17~0.25
7	机架 90°, 南墙外 30cm (a 点)		0.20
8	机架 90°, 南墙外 30cm (b 点)		0.25
9	机架 90°, 南墙外 30cm (c 点)		0.19
10	机架 90°, 防护门外侧 30cm	直准器角度 45°, 等中 心放置模体	1.01~1.22
11	机架 90°, 北墙外 30cm	直准器角度 45°, 等中 心无模体	0.17~0.26
12	机架 270°, 北墙外 30cm (d 点)		0.20
13	机架 270°, 北墙外 30cm (e 点)		0.26
14	机架 270°, 北墙外 30cm (f 点)		0.22
15	机架 270°, 防护门外侧 30cm	直准器角度 45°, 等中 心放置模体	1.01~1.10
16	机架 180°, 防护门外侧 30cm		1.01~1.20
17	机架 0°, 工作人员操作位 1	直准器角度 0°, 等中心	0.17
18	机架 0°, 工作人员操作位 2	无模体	0.16
本底值			(<0.12)~0.16

标准限值:

根据 GBZ126-2011 标准, 在加速器迷宫处、控制室和机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

注 1: 上表所列检测值均未扣除本底值;

2: 451P 便携式 X、γ 射线巡测仪/05032609 的探测下限为 0.12 μSv/h;

3: 等中心放置的检测模体为 30cm×30cm×20cm 水模。

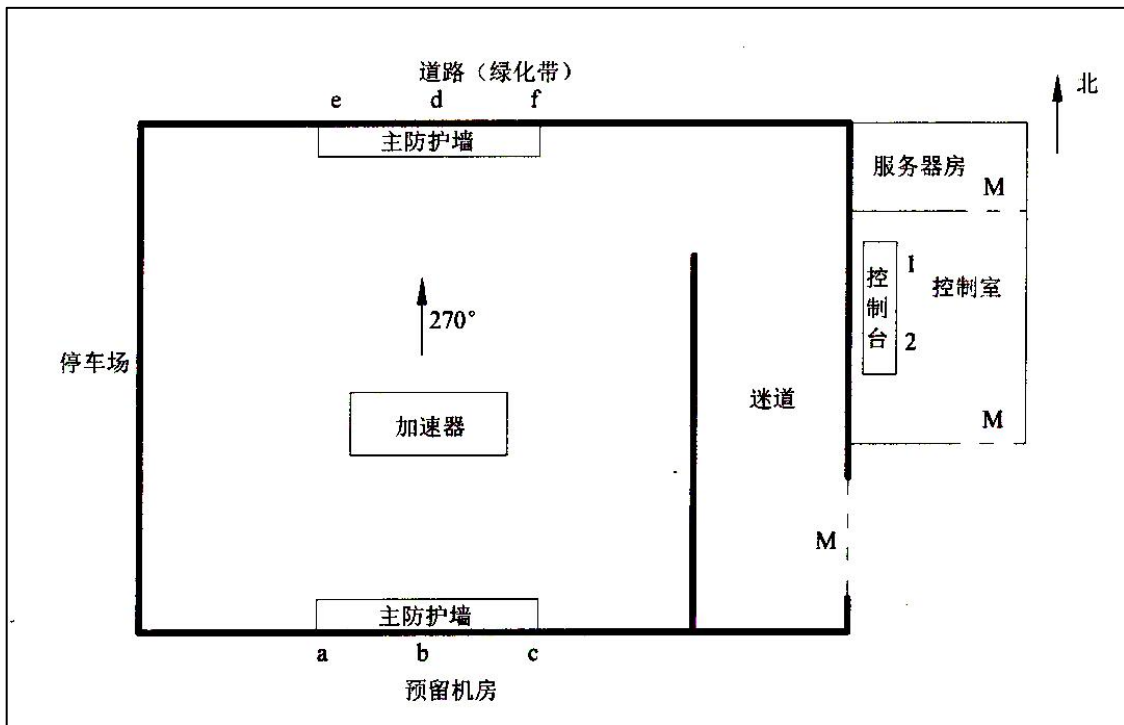


图 11-4 类比直线加速器机房监测点位图

由类比监测结果可知，直线加速器机房在正常使用条件及不同机头朝向的出束条件下，各点处辐射剂量率均满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的相关要求，即“在加速器迷宫口处、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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，符合屏蔽要求。当机架 90° 时，南墙外 30cm 处（即 1# 直线加速器机房内）辐射剂量率最大为 $0.25\mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的相关要求，即“在加速器迷宫口处、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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。机房周围环境及工作人员操作位的 X- γ 辐射剂量率未见明显异常（杭州市区室内的 γ 辐射剂量率在 $56.0\sim 443.0\text{nGy/h}$ 之间），且开机工作时，辐射工作人员均位于操作位，故辐射工作人员和公众成员均不会受到额外的辐射照射。

（三）人员所受辐照剂量估算

计算公式

按照 UNSCEAR--2000 年报告附录 A，X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{Er} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-13})$$

其中：

H_{Er} ——X- γ 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv；

D_r ——X- γ 射线空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

t ——X- γ 年照射时间，小时；

0.7——剂量换算系数： Sv/Gy 。

根据理论计算结果，按照（式 11-13）对辐射工作人员和公众年有效剂量进行保守估算，医生操作位辐射剂量率最大以 $0.308\mu\text{Sv/h}$ ，2 号加速器机房内（1#加速器机头朝北时）辐射剂量率最大以 $0.801\mu\text{Sv/h}$ ，公众辐射剂量率最大以 $0.533\mu\text{Sv/h}$ 计。根据医院的工作方案，每台设备扫描人数为 1667 人/月，每次扫描的曝光时长为 300s，一名辐射工作人员以年工作时间 250 天计，公众人员居留因子取 1/4。

由（式 11-13）计算可知：医生操作位、2 号加速器机房工作人员及公众成员年有效剂量分别为 0.36mSv/a 、 0.93mSv/a 及 0.16mSv/a ，低于职业照射的年剂量管理约束值（ 5mSv ）及公众照射的年剂量管理约束值（ 0.25mSv ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于剂量限值的要求。

11.3 事故影响分析

直线加速器属于 II 类射线装置，为中危险射线装置，事故可能引起急性放射性损伤。长时间、大剂量照射甚至导致死亡。本项目辐射事故多为人员误留或误入治疗机房产生的误照射事故，主要有：

①辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

②治疗期间工作人员或其他人员误留在照射室内，致使其受到大剂量辐照；

③由于射线装置安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入机房内受到误照射；

④射线装置维修调试过程中，因维修人员误操作导致误照射；

应急方案与准备：

①医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射；

②机房门外应有电离辐射警告标志、辐射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；

③工作人员每次上班时首先要检查防护门上的灯光警示装置等是否正常。如果失灵，应立即修理，恢复正常；

④当发生上述意外事故，人员受照事件后，应迅速将受照人员撤离现场，并估算人员受

照剂量。如受照人员未携带个人剂量计，则可根据人员所在部位，射线装置照射条件，初步估算人员受照剂量。根据初步剂量估算结果确定受照人员是否要进行医学观察及治疗。

⑥当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

总之，医院应加强管理，建立健全相关的操作规程和辐射安全管理制度，并在实际工作中不断完善；加强安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的生态环境主管部门（以下简称“发证机关”），经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

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

12.1.1 机构设置

根据《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》等法律法规要求，使用 II 类射线装置的单位应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；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。

杭州市下沙医院即浙江大学医学院附属邵逸夫医院下沙院区，目前由浙江大学医学院附属邵逸夫医院经营管理。浙江大学医学院附属邵逸夫医院成立了放射安全与防护委员会，明确以张松英为主席，乔凯、沈水珍、胡红杰为副主席，小组成员共 28 名，负责全院辐射安全与防护监督管理、知识普及宣传，制度落实，工作联系以及事故应急处理等辐射工作。该管理机构的基本组成涵盖各射线装置各使用部门，在框架上基本符合要求。

12.1.2 辐射人员管理

1、辐射安全和防护知识培训

医院现有辐射工作人员共 344 名，均参加了辐射安全和防护知识培训，考核合格后持证上岗，部分证书见附件 6。

2、个人剂量检测

医院现有辐射工作人员全部配备了个人剂量计，已委托有资质单位定期进行个人剂量检测，并建立了个人剂量档案，见附件 7。个人累计剂量均未超过标准限值要求。

3、职业健康体检

医院对所有辐射工作人员进行了在岗期间的职业健康体检，并建立了职业健康监护档案，职业健康检查报告书见附件 8。辐射工作人员在岗期间的职业健康检查结果：受检人员未见职业健康损害，可继续从事放射工作。

须完善、补充内容如下：

本项目所需辐射工作人员全部从现有人员中调配，如需增加新的辐射工作人员，需要及时组织参加环境保护主管部门的辐射防护与安全培训、持证上岗，并按时接受再培训，根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙环函

[2019] 248号)，各单位对辐射工作人员的辐射安全与防护培训或放射诊疗培训互相认可，医院辐射工作人员可无需重复培训；新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托相关资质单位对放射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院现已制定《放射治疗安全防护制度》、《操作规程》、《放射性同位素的使用管理制度》、《核素登记保管制度》、《放射工作人员培训制度》、《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《射线装置使用登记制度》、《辐射环境监测方案》、《设备检修制度》、《核医学科质量保证大纲和质控计划》、《放射事故与核事故应急处理预案》等（见附图5）。

上述各项规章制度基本能满足现有核技术利用项目的工作需要，而且在实际工作中已得到有效的执行和落实。

医院应根据本项目的具体工作开展补充《辐射安全管理制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》等规章制度。并根据项目开展特点，重新制定相应的工作制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、台账管理制度等，并落实执行。

需要上墙的规章制度：《辐射安全管理制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急预案》应悬挂于辐射工作场所。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目。

医院应根据规章制度内容认真组织实施，加强日常辐射安全管理，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度制定，使之符合相应环保要求。只要项目建设单位能够结合项目实际，建立、健全上述各项规章制度，本次环评认为，项目建设单位的辐射安全管理制度符合《辐射安全许可证》发放条件的要求。

12.3 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，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，公司需建立辐射剂量监测制度，包括个人剂量监测和工作场所监测。

12.3.1 辐射监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，医院计划1#直线加速器机房工作场所配备1台X- γ 辐射剂量监测仪及1台个人剂量报警仪，每名辐射工作人员均计划配备个人剂量计。

12.3.2 监测计划

一、个人剂量监测和职业健康检查

个人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（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。辐射工作人员职业健康检查应至少每2年进行1次，并建立职业健康监护档案且长期保存。

须完善、补充内容如下：

(1) 如果在单个季度出现个人剂量超过1.25mSv时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过5mSv的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地生态环境主管部门。单年剂量超过20mSv标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门。同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。医院须建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要保存30年，如果辐射工作人员一直从事辐射工作到退休，个人剂量档案要保存到75岁。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

(3) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或停止辐射工作三十年。

二、辐射工作场所及周围环境监测

1、年度常规监测

委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

2、日常自我监测

定期自行开展或委托有资质的单位进行辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为1次/季。

3、监测内容和要求

(1) 监测内容：X-γ空气吸收剂量率。

(2) 监测布点及数据管理：监测布点应参考本环评提出的监测计划（见表12-1）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

表12-1 辐射工作场所监测计划建议

场所名称	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
直线加速器机房	X-γ空气吸收剂量率	加速器迷路防护门及四周门缝处、控制室和加速器机房墙外30cm处（包括楼上）和各电缆管道口	1次/季	1次/年

(4) 监测质量保证

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用的国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

③制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

12.4 辐射事故应急

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）第四十三条规定，应急预案主要包括下列内容：

- (一) 应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）；
- (二) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (三) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (四) 辐射事故的调查、报告和处理程序；

（五）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

须完善、补充内容如下：

根据医院目前已制定辐射事故应急预案（详见附件5），医院还需补充完善关于直线加速器相关的应急预案，细化应急所需的装备、物资及落实应急专用资金，完善事故信息公开制度，制定公众宣传方案等。医院应定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练，演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性，针对性、完整性。在发生辐射事故时，能够立即启动本单位的应急预案，采取应急措施，及时向当地人民政府生态环境主管部门报告，同时向当地人民政府、公安部门和卫生主管部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 实践正当性分析

杭州市下沙医院拟开展的医用直线加速器应用项目，目的在于开展放射诊疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，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。

13.1.2 选址合理性分析

本项目拟建辐射场所实体边界外50m评价范围内无环境敏感点。经辐射环境影响预测，本项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后不会对周围环境与公众造成危害，故本项目的选址是合理的。

13.1.3 辐射安全与防护结论

（1）辐射安全防护措施

①医院拟建辐射机房的防护设计已考虑了其周边工作人员和公众的辐射安全，其防护性能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。

②项目拟采取的污染防治措施详见本报告10.1.4章节。

（2）辐射安全管理

①医院已成立辐射安全和防护管理领导委员会，负责辐射安全与环境保护管理工作。医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。

②医院应组织所有辐射工作人员参加辐射安全和防护知识培训，经考核合格后方可持证上岗工作，取得培训合格证书后，每四年复训一次。

③医院应为所有辐射工作人员配备个人剂量计，且每3个月到有资质的单位检测一次，并建立个人剂量档案。辐射工作人员在上岗前和离职后都须在有资质的单位进行职业病健康体检，且须在岗期间每两年进行一次职业病健康体检，并建立完整的个人健康档案，档案保存时限为工作人员年满75岁或工作人员停止辐射工作后30年。

（3）事故风险与防范

医院应按本报告提出的要求制定辐射事故应急预案和安全规章制度，项目建成投运后，

应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.1.4 环境影响分析结论

(1) 主要污染因子

直线加速器的污染因子主要考虑X射线。

(2) 辐射环境影响预测

根据理论计算和类比监测结果分析表明：在正常工况下，医院相关辐射工作人员所受的附加年有效剂量，低于职业人员的年剂量管理约束值（5 mSv/a），公众人员所受的附加年有效剂量，低于公众人员的年剂量管理约束值（0.25 mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。

13.1.5 环保可行性结论

综上所述，杭州市下沙医院在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求，医院将具备相应从事的辐射活动的技术能力。根据报告表分析结果，杭州市下沙医院的辐射工作人员、其他非辐射工作人员、公众成员受到的额外照射剂量限值均能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中年有效剂量管理限值的相关要求，本次评价的直线加速器运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

- 1、医院承诺将根据报告表和环保主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求；
- 2、环评报批后并建成，医院需及时向生态环境主管部门换领辐射安全许可证；
- 3、建设项目竣工后，医院应当按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定的程序和标准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，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和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。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日

审批意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日