

核技术利用建设项目

瑞安市人民医院瑞祥院区医用电子直线加速器应用项目（迁扩建）环境影响报告表 （公示稿）

瑞安市人民医院

2021年4月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

瑞安市人民医院瑞祥院区医用电子直线加速器应用项目（迁扩建）环境影响报告表

建设单位名称：瑞安市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：瑞安市万松路 108 号

邮政编码：325200

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目基本概况.....	1
表 2 放射源.....	11
表 3 非密封放射性物质.....	11
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 环境质量和辐射现状.....	20
表 9 项目工程分析与源项.....	23
表 10 辐射安全与防护.....	28
表 11 环境影响分析.....	35
表 12 辐射安全管理.....	54
表 13 结论与建议.....	57
表 14 审批.....	60

表 1 项目基本情况

建设项目名称		瑞安市人民医院瑞祥院区医用电子直线加速器应用项目（迁扩建）			
建设单位		瑞安市人民医院			
法人代表	■	联系人	■	联系电话	■
注册地址		瑞安市万松东路 108 号			
项目建设地点		瑞安市安阳街道瑞枫大道 168 号医院瑞祥院区综合楼负一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资	3000	项目环保投资（万元）	300	投资比例（环保投资/总投资）	10%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积	-
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 项目概述					
1.1.1 建设单位情况					
<p>瑞安市人民医院（温州医学院附属第三医院）是瑞安地区规模最大的集医疗、科研、教学、预防、保健、康复于一体的大型综合性医院，是浙江省卫健委核准的综合性三级乙等医院。目前医院已形成一个总院，两个分院，一个体检中心的总体结构格局。本项目所涉及的院区是瑞安市人民医院瑞祥分院。医院目前开放床位 2008 张，共设临床专业学科 47 个，病区 54 个，拥有 35 间洁净手术间和功能齐全的重症监护中心。瑞祥院区逐步开启创建感染（肝病）中心、骨科中心、脑科中心、肾内透析中心、肿瘤治疗中心，口腔医学中心。</p>					

1.1.2 项目建设目的和任务由来

瑞安市人民医院瑞祥院区综合楼地下负一层 1 号加速器机房已配有 1 台 15MV 医用电子直线加速器，根据瑞安市政府的规划，万松院区的加速器机房需要拆掉改建门诊大楼，因此医院计划将 1 台 15MV 医用电子直线加速器搬迁到瑞祥院区综合楼负一层 2 号加速器机房。

对照《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 66 号），本项目拟搬迁的医用电子直线加速器属 II 类射线装置。根据建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）（生态环境部 部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置”，应编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，瑞安市人民医院委托杭州旭辐检测技术有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘的基础上，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016），编制该项目的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设规模

经与建设单位核实，本次建设内容为：拟将万松院区 1 台 15MV 医用电子直线加速器搬迁至瑞祥院区综合楼负一层 2 号加速器机房内。

1.2 项目周边保护目标及场址选址

1.2.1 医院地理位置

瑞安市人民医院瑞祥院区位于瑞安市安阳街道瑞枫大道 168 号，其东、西、北侧均为山体；其中西侧山体紧邻一道观；东南侧与玉青禅寺相邻；南侧紧邻瑞枫大道。医院地理位置见附图 1，医院总平面图见附图 2。

1.2.2 辐射工作场所位置及周边保护目标

本项目 2 号加速器机房位于瑞祥院区南侧综合楼负一层，其北侧为山体，南侧为院区停车场和瑞枫大道，西侧为院区小广场，东侧与本项目最近的建筑为玉青禅寺，距离约为 45m，医院周边环境示意图见附图 3。

1.2.3 项目选址合理性分析

本项目所在的综合楼位于医院南侧，用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。2 号加速器机房位于综合楼地下一层北侧，周围 50m 范围除东南侧院外的玉青禅

寺（距离综合楼约 20m）外，主要为院内建筑和道路，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对周围环境与公众造成的辐射影响是可以接受的，故本项目的选址是合理可行的。

1.3 “三线一单”符合性分析

1.3.1 生态保护红线

本项目位于瑞安市安阳街道瑞枫大道 168 号，根据《瑞安市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目所在区域属于浙江省温州市瑞安市中心城区生活重点管控单元，环境管控单元编码：ZH33038120013，未涉及其划定的生态保护红线。

1.3.2 资源利用上线

本项目营运过程中消耗一定量的电源、水资源等资源消耗，项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。

1.3.3 环境质量底线

本项目不产生生产废水，不会对周围水环境造成影响；本项目运行过程中产生的感生放射性、臭氧及氮氧化物经排风系统可降低其浓度，基本不会对周围大气环境造成影响；本项目建设于瑞祥院区综合楼负一层，无临时占地，实施过程中不会改变所在地土壤性质；符合环境质量底线要求。

1.3.4 环境准入负面清单

根据《瑞安市“三线一单”生态环境分区管控方案》瑞安市环境管控单元图（见附图 4），本项目所在区域属于“ZH33038120013-浙江省温州市瑞安市中心城区生活重点管控单元”，属于“重点管控单元 39”。根据生态环境部《建设项目环境影响评价分类管理名录》，本项目属于“四十九、卫生，108 医院 841；专科疾病防治院（所、站）8432；妇幼保健院（所、站）8433；急救中心（站）服务 8434；采供血机构服务 8435；基层医疗卫生服务 842”类别，项目不属于负面清单内的工业项目，符合管控措施要求。并结合本项目所在环境管控单元的环境准入清单（见表 1-1）可知本项目满足生态环境准入清单的要求。

表 1-1 本项目所在管控单元分类准入清单

环境管控单元		“三线一单”生态环境准入清单编制要求			
分类	名称	空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求
重点 管控 单元 39	浙江省温州市瑞安市中心城区生活重点管控单元	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。工业功能区（包括小微园区、工业集聚点等）外，在不加大环境影响、符合污染物总量控制的基础上，原有工业用地在土地性质调整之前，可以从事符合当地产业定位的二类工业。	严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河（或湖或海）排污口，现有的入河（或湖或海）排污口应限期拆除，但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，推进生活小区“零直排”区建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。加强土壤和地下水污染防治与修复。	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	/

综上所述，本项目符合瑞安市“三线一单”生态环境分区管控方案要求。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

医院已取得《辐射安全许可证》（浙环辐证[C0045]），种类和范围：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。有效期至2025年10月20日。

医院原有核技术利用项目环评、许可及验收履行情况见表1-2、表1-3。

表 1-2 非密封放射性物质工作场所环评、许可及验收履行情况

序号	名称	场所等级	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况
1	Tc-99m	乙级	1.85×10^7	4.63×10^{12}	瑞祥院区 8 号楼一层核医学科	浙环辐 [2014]18 号	已许可	未开展
2	F-18	乙级	1.11×10^7	2.78×10^{12}	瑞祥院区 8 号楼一层核医学科	浙环辐 [2014]18 号	已许可	未开展
3	Sr-89	乙级	2.96×10^6	7.4×10^{10}	瑞祥院区 8 号楼一层核医学科	浙环辐 [2014]18 号	已许可	未开展
4	I-131	乙级	2×10^8	1.04×10^{11}	瑞祥院区 8 号楼一层核医学科	浙环辐 [2014]18 号	已许可	未开展

表 1-3 射线装置环评、许可及验收履行情况

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况	许可情况
1	直线加速器	II	1	Clinac 23ex	万松院区肿瘤大楼放疗机房	浙环建 [2004]10 8 号	浙环辐验 [2006]13 号	已许可
2	模拟机	III	1	Acuity	万松院区肿瘤大楼放疗模拟机房	浙环建 [2004]10 8 号	浙环辐验 [2006]13 号	已许可
3	DR	III	1	VX3733-SYS	万松院区医技楼三楼	备案号: 20173303810000020		已许可
4	DR	III	1	Digital Diagnost	万松院区医技楼三楼 2 号拍片室	温环辐 [2008]41 号	浙环辐验 [2008]52 号	已许可
5	DR	III	1	Digital Diagnost	万松院区医技楼三楼 3 号拍片室	温环辐 [2014]10 号	温环辐验 [2017]16 号	已许可
6	乳腺机	III	1	Senographe Essential	万松院区医技楼三楼乳腺机房	备案号: 20173303810000020		已许可
7	DSA	II	1	ZEE CEILING	万松院区手术室 DSA	温环辐 [2014]10 号	温环辐验 [2017]16 号	已许可
8	CT	III	1	Brilliance (6 slice) slice	万松院区医技楼一楼 CT 室 (4)	浙环建 [2004]108 号	浙环辐验 [2008]52 号	已许可
9	CT	III	1	Definition AS	万松院区医技楼二楼 CT 室 (1)	温环辐 [2014]10 号	温环辐验 [2017]16 号	已许可

续表 1-3 射线装置环评、许可及验收履行情况

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况	许可情况
10	CT	Ⅲ	1	Sensation 16	万松院区医技楼二楼CT室(2)	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
11	骨密度仪	Ⅲ	1	Prodigy	万松院区新场所门诊2楼	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
12	全景机	Ⅲ	1	OC200	万松院区医技楼三楼全景机房	备案号: 20173303810000020		已许可
13	牙片机	Ⅲ	1	Focus	万松院区医技楼4楼牙片室	备案号: 20173303810000020		已许可
14	碎石机	Ⅲ	1	Compaceta delta II	万松院区医技楼4楼1号碎石机房	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
15	碎石机	Ⅲ	1	Compaceta delta II	万松院区医技楼4楼2号碎石机房	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
16	床边机(移动)	Ⅲ	1	Practix 160	万松院区无固定场所	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
17	床边机(移动)	Ⅲ	1	Practix 160	万松院区无固定场所	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
18	床边机(移动)	Ⅲ	1	POLYMOBIL Plus	万松院区新生儿科放射机房	备案号: 20173303810000020		已许可
19	移动C臂机	Ⅲ	1	BV Endure	万松院区ERCP房	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
20	移动C臂机	Ⅲ	1	BV Libra	万松院区手术室	温环辐[2014]10号	温环辐验[2017]16号	已许可
21	数字胃肠机	Ⅲ	1	PLD9000A	万松院区医技楼三楼造影机房	备案号: 201833038100000370		已许可
22	床边机	Ⅲ	1	uDR370i	万松院区无固定场所	备案号: 202033038100000668		已许可
23	CT	Ⅲ	1	Optima CT620	万松院区医技楼一楼CT室(3)	备案号: 202033038100000221		已许可

续表 1-3 射线装置环评、许可及验收履行情况

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况	许可情况
24	DR	III	1	uDR780i	万松院区医技楼三楼1号拍片室	备案号： 202033038100001274		已许可
25	DSA	II	1	FD20	瑞祥院区手术室 DSA	温环辐 [2017]10 号	2019年自主验收	已许可
26	CT	III	1	Perspective	瑞祥院区放射科 CT 室 (1)	备案号： 201733038100000020		已许可
27	DR	III	1	Ysio Max	瑞祥院区放射科 1 号 DR 机房	备案号： 201733038100000020		已许可
28	DR	III	1	Ysio Max	瑞祥院区放射科 2 号 DR 机房	备案号： 201733038100000020		已许可
29	牙片机	III	1	Focus	瑞祥院区门诊三楼牙片室	备案号： 201733038100000020		已许可
30	口腔 CBCT	III	1	OP300	瑞祥院区放射科 3 号机房	备案号： 201833038100000082		已许可
31	移动 C 臂机	III	1	BV Endure	瑞祥院区手术室	备案号： 201833038100000082		已许可
32	移动 C 臂机	III	1	BV Endure	瑞祥院区手术室	备案号： 201833038100000082		已许可
33	移动 C 臂机	III	1	BV Endure	瑞祥院区手术室	备案号： 201933038100000462		已许可
34	移动 C 臂机	III	1	BV Libra	瑞祥院区手术室	备案号： 201833038100000082		已许可
35	DR	III	1	uDR780i	瑞祥院区放射科 5 号 DR 机房	备案号： 201933038100000462		已许可
36	床边机	III	1	Mobilett Mira Max	瑞祥院区无固定场所	备案号： 201733038100000020		已许可
37	床边机	III	1	uDR370i	瑞祥院区无固定场所	备案号： 202033038100000668		已许可
38	移动 C 臂机	III	1	uMC560i	瑞祥院区感染楼拍片室	备案号： 202033038100000054		已许可

续表 1-3 射线装置环评、许可及验收履行情况

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况	许可情况
39	移动 C 臂机	III	1	uMC560i	瑞祥院区科研楼 8 层 8-801 室	备案号: 202033038100000054		已许可
40	大孔径 CT	III	1	Discover y RT	瑞祥院区综合楼地下 1 层 3-B122 室	备案号: 201933038100000294		已许可
41	DR	III	1	uDR226i	瑞祥院区感染楼拍片室	备案号: 202033038100000668		已许可
42	CT	III	1	uCT530	瑞祥院区科研楼 8 层 8-801 室	备案号: 202033038100000668		已许可
43	DR	III	1	uDR596i	瑞祥院区科研楼 8 层 8-803 室	备案号: 202033038100000668		已许可
44	骨密度仪	III	1	Prodigy Advance	瑞祥院区科研楼 8 层 8-813 室	备案号: 202033038100001211		已许可
45	CT	III	1	uCT550	瑞祥院区科研楼 2 层 8-207 室	备案号: 202033038100000668		已许可
46	DR	III	1	uDR780i	瑞祥院区科研楼 2 层 8-204 室	备案号: 202033038100000668		已许可
47	CT	III	1	Optima CT 540	瑞祥院区感染楼 CT 机房	备案号: 202033038100001149		已许可
48	DR	III	1	DRX-Evolution	妇幼保健院拍片室	备案号: 201933038100000194		已许可
49	钼靶机	III	1	Performa MGF	妇幼保健院钼靶机房	备案号: 201933038100000194		已许可
50	胃肠机	III	1	HF51-5	妇幼保健院造影机房	备案号: 201933038100000194		已许可
51	CT	III	1	Emotion 16	妇幼保健院 CT 机房	备案号: 201933038100000194		已许可
52	口腔全景机	III	1	OC200	妇幼保健院全景机房	备案号: 201933038100000194		已许可
53	DR	III	1	Digital Diagnost	红十字医院拍片室	备案号: 201933038100000195		已许可

续表 1-3 射线装置环评、许可及验收履行情况

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况	许可情况
54	DR	III	1	Digital Diagnost	红十字医院拍片室	备案号：201933038100000195		已许可
55	DR	III	1	Digital Diagnost	红十字医院拍片室	备案号：201933038100000195		已许可
56	口腔全景机	III	1	eXam7-1	红十字医院口腔全景机房	备案号：201933038100000195		已许可
57	CT	III	1	Brilliance	红十字医院CT室	备案号：201933038100000195		已许可
58	DR	III	1	1000M	看守所门诊部	备案号：201733038100000181		已许可
59	SPECT-CT	III	1	Optima NM/CT 640	瑞祥院区 8 号楼 1 层 SPECT-CT 机房	浙环辐【2019】19 号	尚未运行	已许可
60	直线加速器	II	1	Elekta Infinity	瑞祥院区综合楼地下 1 层 1 号直线加速机房	温环辐[2017]10 号	尚未运行	已许可
61	床边机	III	1	DRX-Revolution	万松院区无固定场所	备案号：202033038100001875		已许可

由表 1-3 可知，温州市人民医院已许可的射线装置共有 61 台，其中万松院区已许可的 II 类射线装置共 2 台（其中一台直线加速器计划搬迁至瑞祥院区），III 类射线装置共 23 台，瑞祥院区已许可的 II 类射线装置共 2 台，III 类射线装置共 23 台，妇幼保健院已许可的 III 类射线装置共 5 台，红十字医院已许可的 III 类射线装置共 5 台，看守所门诊部已许可的 III 类射线装置共 1 台。

1.5 原有核技术利用项目辐射安全管理情况

1) 辐射安全防护管理机构

医院已成立了辐射安全管理委员会，明确了各成员职责。

2) 辐射工作制度

医院已制定《放射安全委员会制度》、《放射防护管理制度》、《放射工作人员职业健康管理办法》、《辐射事故报告制度及应急处理预案》、《放疗科辐射事故应

急预案》、《核素登记保管制度》、《监测方案》、《人员培训计划、体检及保健制度》、《设备检修维护制度》、《直线加速器操作规程》、《模拟定位机操作规程》等规章制度。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。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) 个人剂量检定情况

辐射工作期间，辐射工作人员佩戴了个人剂量计，每三个月送浙江正安检测技术有限公司检测一次，并建立了个人剂量档案，终生存档保存。

4) 职业健康体检情况

医院已组织现有的辐射工作人员在温州市人民医院参加职业健康体检，不超过两年检查一次，并建立了职业健康监护档案。

5) 职业资格培训情况

医院已组织现有辐射工作人员参加辐射安全与防护培训并考核合格。

6) 年度评估

医院于 2020 年底编制了辐射安全与防护状况评估报告，对现有的放射性同位素与射线装置台帐、辐射环境管理相关法律法规执行情况、辐射安全管理制度及措施的建立和落实情况、辐射安全和防护设施的配备、运行与维护状况、辐射工作人员管理情况以及事故和应急情况进行了年度总结和评估，并上传全国核技术利用网。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度 种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
	此表空白							

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
	此表空白									

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	医用电子直 线加速器	II类	1	Clinac 23ex	电子	15MV X 射线、 22MeV 电子射 线	600cGy/min ($3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)	放射治疗	瑞祥院区综合 楼地下 1 层 2 号 加速器机房	由万松院区 搬迁到瑞祥 院区

(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
此表空白									

(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 (μA)	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	
此表空白													

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
感生放射性废气	气体	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等	/	极少量	极少量	极低浓度	/	感生放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其浓度降低。
O_3 、 NO_x	气体	气体	/	/	极少量	极少量	极低浓度	/
放射性固废	固态	固态	/	/	加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，树脂的更换周期一般 3~5 年。			

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/m^3) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月；</p> <p>(3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年；</p> <p>(4) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 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》（2017 修正版），中华人民共和国环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月；</p> <p>(7) 《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日修改）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年第二次修订）》，国务院令第 449 号，于 2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(9) 《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，于 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 浙江省环保厅关于发布《省环境保护行政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《设区市环境保护行政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，2015 年 9 月 23 日；</p> <p>(11) 《浙江省辐射环境管理办法》（2021 年修正），浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行；</p> <p>(12) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021 年修正），浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行；</p> <p>(13) 《国家危险废物名录》，生态环境部令第 15 号，2021 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(14) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生计生委，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(15) 《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，原国家环保总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日）。</p>
------	--

	<p>(16) 《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019年本)>的通知》(浙环发[2019]22号)；</p> <p>(17) 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》(浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会,浙环函【2019】248号)。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》, HJ 10.1-2016, 环境保护部。</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)；</p> <p>(4) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)；</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(6) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)；</p> <p>(7)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第一部分:一般原则》(GBZ/T201.1-2007)；</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第二部分:直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2--2011)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 事业单位法人证书(见附件1)；</p> <p>(2) 委托书, 2019年6月14日(见附件2)；</p> <p>(3) 《辐射安全许可证》浙环辐证[C0045](见附件3)；</p> <p>(4) 环境本底检测报告(见附件4)；</p> <p>(5) 放射安全委员会(见附件5)；</p> <p>(6) 放射事件应急预案(见附件6)。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，同时结合《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）的相关规定，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。

因此，本项目的评价范围为 2 号加速器机房屏蔽墙边界外 50m 范围。

7.2 保护目标

据现场踏勘，本项目 2 号加速器机房周围 50m 范围内除东侧的玉青禅寺外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校、办公楼等其他环境敏感区。

本次评价范围内主要环境保护目标为直线加速器机房周围从事放射治疗的工作人员以及周围其他非辐射工作人员和公众成员。具体详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

环境保护目标		方位	最近距离	年有效剂量约束值
2 号加速器机房	2 号加速器机房控制室工作人员	南	南侧防护墙外	职业：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 作为管理约束值。
	2 号加速器机房外候诊区病人及公众	南	南侧防护墙外	公众：年有效剂量，1mSv；本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理约束值。
	模拟定位候诊区病人及公众	东	东侧防护墙外	
	地面公众	上方	顶棚外	
	玉青禅寺	东面	约 45 米	

7.3 评价标准

(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。

①防护与安全的最优化

第 4.3.3.1 款 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)。

②剂量限值

第 4.3.2.1 款, 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。

第 B1.1.1.1 款, 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** 作为管理限值。

第 B1.2 款 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** 作为管理限值。

③分区

第 6.4.1 款 控制区

第 6.4.1.1 款 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位控制区, 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。

第 6.4.2 款 监督区

第 6.4.2.1 款 注册者和许可证持有者应将下述区域定位监督区: 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。

(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)

4 治疗机机房一般屏蔽要求

4.1 屏蔽所考虑的环境条件

4.1.1 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变, 并根据相应条件确定所需要的屏蔽。

4.1.2 在设计和评价治疗机房顶屏蔽时，应充分考虑“天空散射辐射”和“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射。

4.2 治疗机房布局要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

4.2.3 X 射线管治疗在装置的治疗机房可不设迷路。 γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

4.4 治疗机房屏蔽的考虑因素

4.4.5 治疗机房外围不同场所中的人员区域居留因子（T），参见表 7-2。

表 7-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子（T）		停留位置
	典型值	范围	
全停留	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、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	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
偶然停留	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

4.6 缝隙、管孔和可能的薄弱环节的屏蔽考虑因素

4.6.1 治疗机房以混凝土为屏蔽体时，应一次整体浇筑并有充分的震捣，以防出现裂缝和过大的气孔。

4.6.2 当治疗机房预留治疗装置安装口或主、次屏蔽墙采用不同密度的混凝土时，交界处应采用阶梯式衔接。

4.6.3 当 X 射线管治疗机房设有观察窗时，带有屏蔽的观察窗应略大于窗口并镶嵌在所衔接的屏蔽墙内。

4.6.4 在治疗机房内、外墙上的电器部件（如配电箱、激光定位灯等）的部位，应与同侧墙具有同等的屏蔽。对嵌入式安装造成局部屏蔽减弱的地方，应进行屏蔽补偿。

4.6.5 穿过治疗机房墙的管线孔（包括通风、电器、水管等）应避开控制台等人员高驻留区，并采用多折曲路，有效控制管线孔的辐射泄漏。

（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）

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水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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）《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（以下简称加速器）用于临床治疗时的放射防护要求。包括基本要求、加速器的放射防护性能要求、治疗室防护和安全操作要求、剂量控制要求及其监测方法。

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。

6 治疗室防护和安全操作要求

6.1 治疗室的防护要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙(包括天棚)按初级辐射屏蔽要求设计,其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 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 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 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。

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 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

瑞安市人民医院瑞祥院区位于瑞安市安阳街道瑞枫大道 168 号，其东、西、北侧均为山体；其中西侧山体紧邻一道观；东南侧与玉青禅寺相邻；南侧紧邻瑞枫大道。医院地理位置见附图 1。

本次评价的 2 号加速器机房位于瑞祥院区南侧综合楼，其北侧为山体，南侧为院区停车场及瑞枫大道，西侧为院区小广场，东侧与本项目最近的建筑为玉青禅寺，距离约为 45m。

8.2 环境现状评价的对象、检测因子和检测点位及结果

(1) 环境现状评价的对象

本项目辐射工作场所周围。

(2) 检测因子

γ 辐射剂量率

(3) 检测点位

检测点位布点详见图 8-1。

(4) 检测方案

- 1、检测单位：杭州旭辐检测技术有限公司
- 2、检测日期：2021 年 1 月 19 日
- 3、检测方式：现场检测
- 4、检测依据：环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993
- 5、检测频次：依据标准予以确定
- 6、检测工况：辐射环境本底
- 7、天气环境条件：环境温度：13℃；环境湿度：52%；天气状况：晴。
- 8、检测设备

表 8-1 γ 辐射剂量当量率仪参数与规范

仪器名称	环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪
仪器型号	JC-5000
生产厂家	上海见驰辐射检测设备有限公司
能量响应	48KeV~3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 ^{137}Cs ）

量程	1nGy/h~200uGy/h, 1nSv/h~200uSv/h
检定证书	上海市计量测试技术研究院 (检定证书编号: 2020H21-10-2449496001) 有效期: 2020年4月26日-2021年4月25日

(5) 质量保证措施

- a 合理布设检测点位, 保证各检测点位布设的科学性和可比性。
- b 检测方法采用国家有关部门颁布的标准, 检测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 检测仪器每年定期经有相应资质的计量部门检定, 并在有效期使用期内。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常, 确保仪器正常后方可进行监测。
- e 检测人员经过省级培训机构的监测技术培训, 并经考核合格, 做到持证上岗。
- f 检测人员按操作规程操作仪器, 测量方法选用质量手册有关本次检测项目的检测实施细则, 并做好记录。
- g 检测单位已通过了浙江省质量技术监督局计量认证。

(6) 检测结果

本项目辐射工作场所周围的 γ 辐射剂量率背景水平检测结果见表 8-2(环境本底检测报告见附件 4)。

表 8-2 本项目辐射工作场所周围的 γ 辐射剂量率检测结果

检测点位	检测点位描述	辐射剂量率 (nGy/h)	
		平均值	标准差
▲1	2 号加速器机房内	124	0.5
▲2	2 号加速器机房控制室内	113	0.5
▲3	水冷机房内	102	0.4
▲4	模拟定位机房内	131	0.6
▲5	模拟定位候诊区	125	0.5
▲6	二次候诊区	131	0.6
▲7	1 号加速器机房内	127	0.6
▲8	1 号加速器机房控制室内	123	0.5

注: 检测结果未扣除宇宙射线的响应。

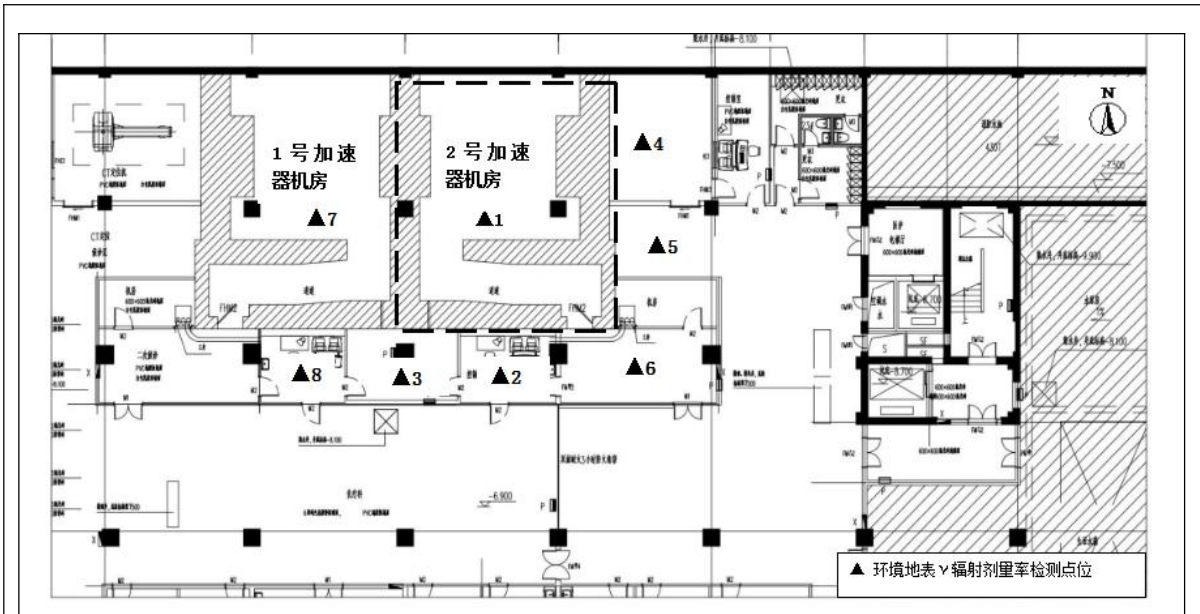


图 8-1 本项目拟建址周围现状检测点位示意图

由表 8-2 的检测结果可知，本项目 2 号加速器机房周围各现状检测点位的 γ 辐射剂量率在 102~131nGy/h 之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，温州市室内的 γ 辐射剂量率在 73~198nGy/h 之间，该拟建址 γ 辐射本底水平未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 医用直线加速器

(1) 设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟搬迁的医用电子直线加速器的主要参数见表 9-1。

表 9-1 医用电子直线加速器主要辐射技术参数

参 数 名 称	参 数 值
能量	15MV X 射线、22MeV 电子射线
泄漏率	X 射线：≤0.1% 中子：≤0.05%
正常治疗距离（NTD）	100cm
常用最大剂量率	600cGy/min ($3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)
最大照射野大小	400mm×400mm
等中心高度	1295mm
机架旋转角度	±180°

(2) 工作原理

直线加速器根据被加速的高能电子轰击重金属靶而产生高能 X 射线的原理，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗；同时也能直接利用初始电子束进行治疗。

X 射线治疗工作原理：电子从发射源射出，进入真空加速管加速，经磁偏转装置转向射向高原子序数的金属靶，电子同金属靶的原子核相撞，速度骤减并损失部分能量转换为 X 射线，经平板滤片过滤不必要的射线，剩余有用线束经二次准直射出。

电子线束治疗工作原理：电子从发射源射出，进入真空加速管加速，经磁偏转装置转向（一般为 90° 或 270°），电子扩散箔使电子均匀射出，形成电子线束。经散射箔扩大射束直径，再通过光阑提高电子野的均整性，最后由输出窗射出达到患者病灶实现治疗的目的，即初始电子束直接引出并经散射、均整后用于患者的治疗。

典型医用直线加速器见图 9-1。

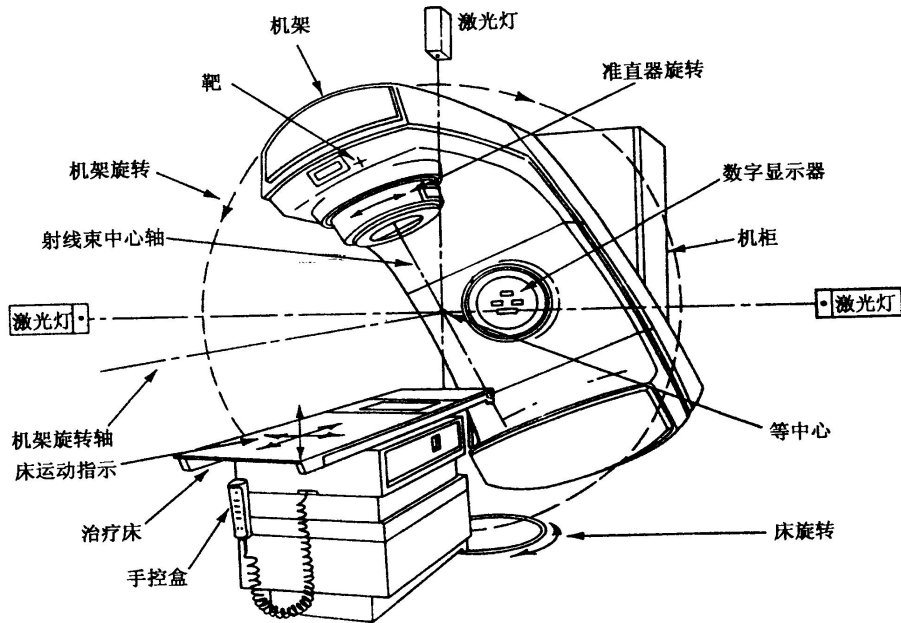


图 9-1 医用电子直线加速器示意图

(3) 设备组成

医用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目的。

医用直线加速器内部结构见图 9-2。

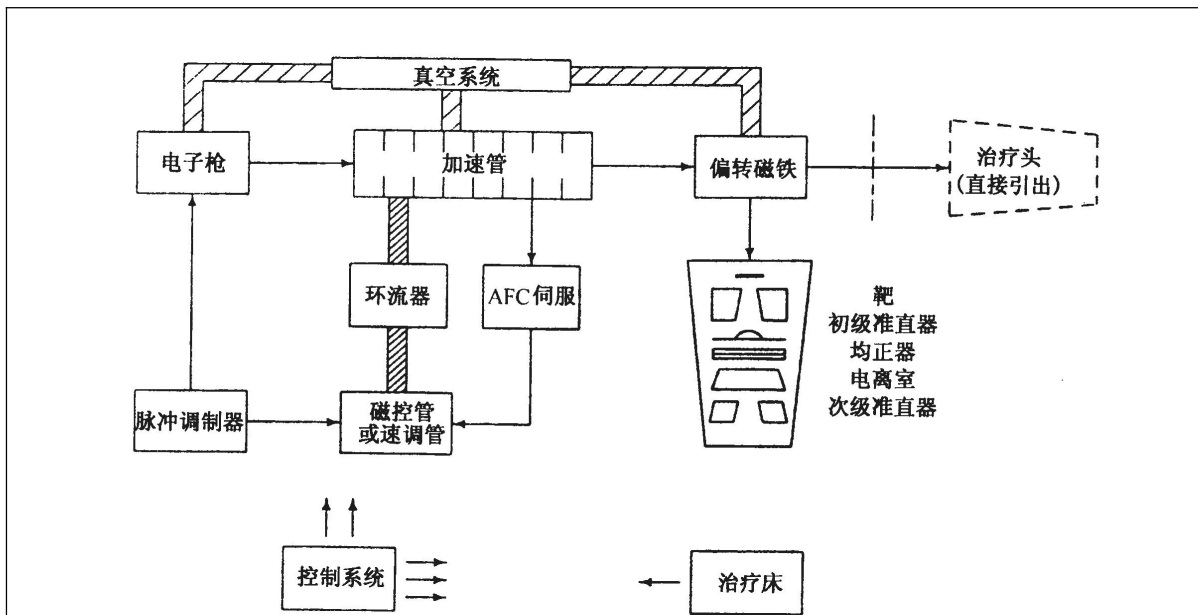


图 9-2 典型医用直线加速器内部结构图

(4) 操作流程

- a. 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间。
- b. 预约病人首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤具体位置和形状。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. 确定肿瘤位置和形状后，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。
- d. 治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员的协助下，依据计划在治疗床上进行摆位，确定照射位置和面积，每人次的摆位时间平均约 3min，该过程在治疗机房治疗床上完成。
- e. 摆好位后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动加速器进行照射。
- f. 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。

(5) 产污环节

正常工况的瞬时辐射：开机状态下，加速器会产生 X 射线、中子和中子俘获 γ 射线；一旦切断电源，X 射线、中子和中子俘获 γ 射线就会消失。故正常工况时，加速器治疗出束时污染源主要为开机状态下产生的 X 射线，其次为中子和中子俘获 γ 射线；另外，当采用电子模式治疗时，会有电子产生。

正常工况下的感生放射性：当直线加速器处于 X 射线治疗模式且档位较高时，无论是 X 射线状态还是电子束状态，都会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：①加速器结构材料等的感生放射性；②气态感生放射性核素。医用直线加速器在治疗中发出的电离辐射通过空气时，当辐射的能量达到或超过 (C, n) 反应的阈能时会产生 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性气体。其中核反应 $^{14}\text{N}(\text{C}, \text{n})$ 反应的阈能为 10.16MeV，所产生的核素 ^{13}N 的半衰期为 10min，核反应 $^{16}\text{O}(\text{C}, \text{n})$ 反应的阈能为 15.17MeV，产生的核素 ^{15}O 的半衰期为 124s，核反应 $^{12}\text{C}(\text{C}, \text{n})$ 反应的阈能为 18.17MeV， ^{11}C 的半衰期为 20.5min。电子线最大能量为 22MeV，故 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 均可产生。加速器产污环节示意图见图 9-3。

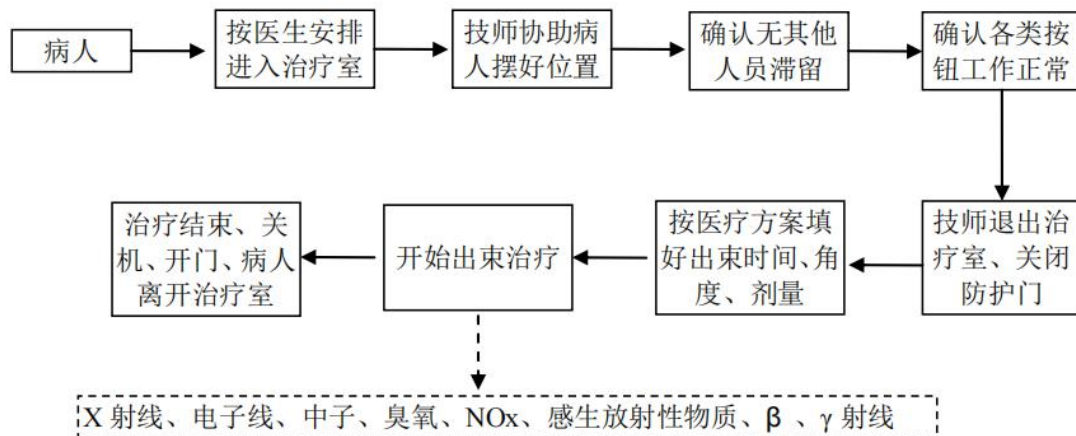


图 9-3 加速器产污环节示意图

(6) 污染因子

① X 射线和中子辐射

医用直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射 X 射线，其辐射可分为瞬发辐射和感生辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（被加速的电子）及其与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的次级辐射 X 射线等。瞬发辐射在加速器运行时产生，关机后即消失。剩余是指加速器的初级电子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性。剩余辐射在加速器关机后仍存在。而且随加速器的运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增加而减弱。但只有当粒子的能量大于核反应的阈能时，才会产生感生放射性。

本项目加速器产生的电子最高能量为 21MeV，电子与靶物质作用产生韧致辐射 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产

生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。在加速器开机的时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

当加速器 X 射线标称能量大于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 (γ, n) 光核反应，产生中子辐射。GBZ126-2011 中规定，X 射线标称能量大于 10MV 的加速器对感生放射性应加以限制，并在屏蔽设计（主要是防护门的设计）时考虑中子的防护。本项目加速器的 X 射线最大能量为 15MV，因此，加速器开机工作时还必须考虑感生放射性和中子辐射的防护。

②感生放射性

当治疗过程中用的 X 射线的能量超过 (γ, n) 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即 β^+ 射线， β^+ 射线在空气中的射程只有几米。放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其浓度降低。

加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性。在加速器运行时，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素 ^{15}O 、 ^{16}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，且产生量很少，只需放置一定的时间其活度就可以衰减到较低的水平。

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

③非放射性有害气体

加速器在开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO_x)。机房设有通风系统，通风次数大于 4 次/h，可明显降低其浓度。

因此，本项目医用直线加速器的评价因子主要为 X 射线、中子、感生放射性废气、放射性固废，非放射性污染因子为臭氧和氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局

本项目拟搬迁的直线加速器位于综合楼负一层北侧 2 号加速器机房，其东侧为模拟定位机房和候诊区，南侧为控制室与水冷机房，西侧为 1 号加速器机房，北侧为地下岩土层，机房有用线束正上方为室外空地。2 号加速器机房主防护墙为东、西侧墙体和顶盖的相关部位。2 号加速器机房所在综合楼负一层的区域位置见附图 5。

表 10-1 辐射工作场所位置及四周布局一览表

辐射场所	位置	东	南	西	北	上	下
2 号加速器机房	综合楼负一层	模拟定位机房、候诊区	控制室、水冷机房	1 号加速器机房	地下岩土层	室外空地	地下岩土层

10.1.2 工作场所分区

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）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指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的区域。本项目将 2 号加速器治疗机房划为控制区，控制室及二次候诊区划为监督区。本项目控制区和监督区划分情况见表 10-2。

表 10-2 本项目控制区和监督区的划分情况

场所名称	控制区	监督区
2号加速器机房	治疗室	控制室、二次候诊区

10.1.3 辐射屏蔽设计

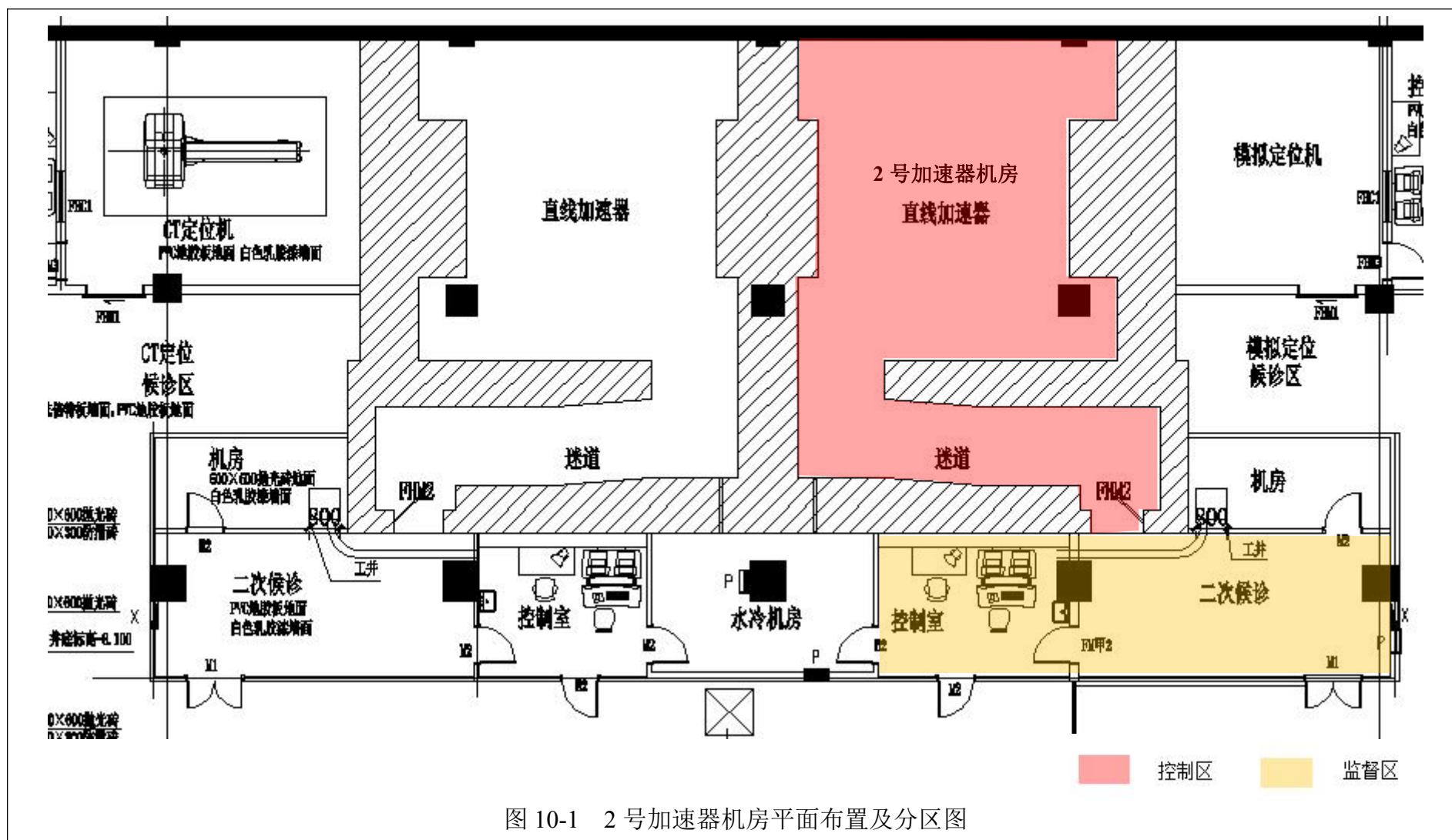
本项目 2 号加速器机房内净面积约为 60m²（不含迷道），设置有迷道和防护门，有用线束不向迷路照射。机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“新建治疗室不应小于 45m²”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定。2 号加速器机房尺寸及辐射防护屏蔽设计见表 10-3 和表 10-4, 2 号加速器机房平面布局见图 10-1。

表 10-3 2 号加速器机房设计尺寸一览表

名称	尺寸/mm
机房长度（南北）	8100
机房宽度（东西）	6400
迷道宽度	2000
迷道内入口宽度	2200
迷道外入口宽度（门洞）	1300
机房高度	3700
等中心到东侧、西侧主防护墙距离	3000
等中心到北侧防护墙距离	3900
等中心到主防护顶盖距离	2700
主防护墙宽度	4000
主防护顶盖宽度	4000

表 10-4 2 号加速器机房辐射防护屏蔽设计参数表

名称	屏蔽材料及厚度	标准要求	符合性
西侧主防护墙	2800mm 标准混凝土	有用线束直接照射的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙体按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求；加速器迷道门处、操作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 μ Sv/h。	符合
西侧副防护墙	1500mm 标准混凝土		
东侧主防护墙	2900mm 标准混凝土		
东侧副防护墙	1500mm 标准混凝土		
迷道内墙	1000~1200mm 标准混凝土		
迷道外墙	1200~1400mm 标准混凝土		
北侧副防护墙	400mm 标准混凝土（主要是考虑承重，北墙外侧为地下岩土层可不采取屏蔽）		
顶盖（主防护部分）	2900mm 标准混凝土		
顶盖（副防护部分）	1500mm 标准混凝土		
防护门	15mm 铅板+160mm 聚乙烯+40mm 含硼聚乙烯		
注：标准混凝土密度为 2.35t/m ³ ，铅板密度为 11.3t/m ³ 。			



10.1.4 辐射安全和防护、环保相关设施

1、辐射安全装置和保护措施

为保障电子加速器安全运行，避免在加速器治疗期间人员误留或误入治疗机房内而发生误照射事故，该院 2 号加速器机房拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 钥匙开关联锁：操作台有操纵钥匙开关，只有当钥匙开关插入钥匙孔打开锁定，加速器各项功能才能启动。

(2) 辐照启动与辐照参数预选数联锁：控制台设有辐射类型、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射参数显示标识，只有当各项参数给出预选值显示，辐照才能启动，否则辐射不得启动。

(3) 计时器与辐射联锁：控制台配置有时间显示的辐照控制计时器，并独立于其它控制辐照系统，当辐照中断或终止后，必须保留计时器读数，只有将计时器复零后，才能启动下一次辐照。

(4) 防护门与照射联锁：只有将加速器机房门完全关闭，照射才能启动。在照射过程，如将门开启，闭合处脱离限位开关，照射立即自动停止。

(5) 本项目加速器机房防护门为电动移门，须安装手动强制开门装置；

(6) 控制台上设置紧急停机开关，在治疗室内加速器立柱和治疗床，以及迷道内入口处亦分别安装紧急停机开关。由于治疗室内多处设置急停开关，当遇到意外情况，可不必穿越主射线束随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束。治疗室迷道外入口处安装防护门应急启闭开关，遇到紧急情况可在治疗室内开启防护门。

(7) 迷路门外安装工作状态指示灯，门外拟设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

(8) 控制室设置照射监控系统：治疗室内设有摄像机，可对治疗室全景及治疗病员的状况进行扫描监控，此外，有对讲系统便于操作人员与患者对话，指导患者配合治疗。

(9) 工作人员监护。本项目加速器工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，同时建立个人剂量档案，均应开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

2、电缆布设

本项目加速器与其控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分拟以地沟形式在

地坪以下部位布设，并在非主射线投照部位以“U”字形从地坪下方穿越墙体而过。其它所有电、水、风管布设，走向拟避开控制台等人员驻留区，在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖。在加速器机房内墙上布设的激光灯等电器盒时，拟在盒背衬贴铅片等屏蔽物，以达到同侧墙体相同的屏蔽效果。

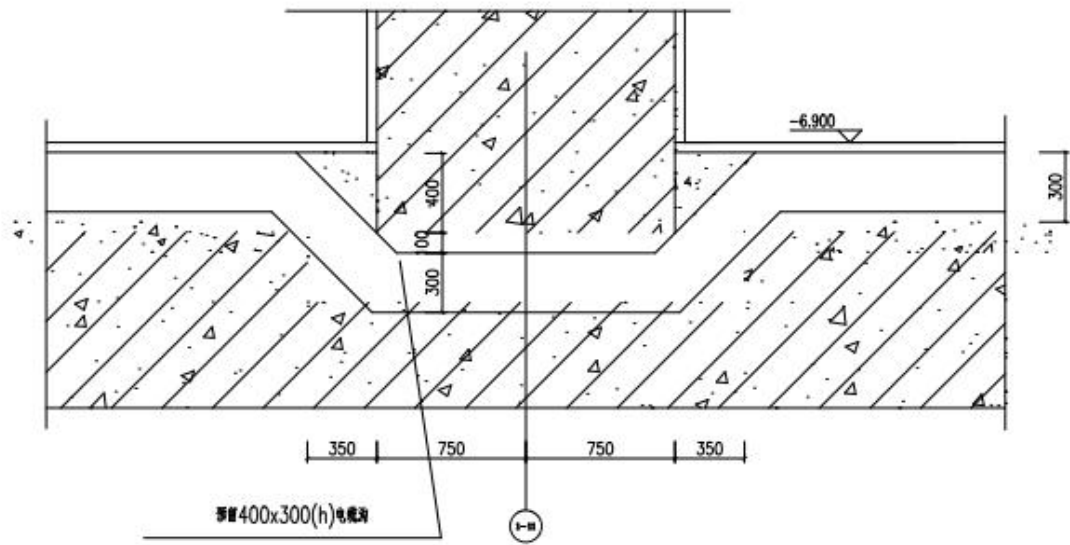


图 10-1 机房内电缆铺设图

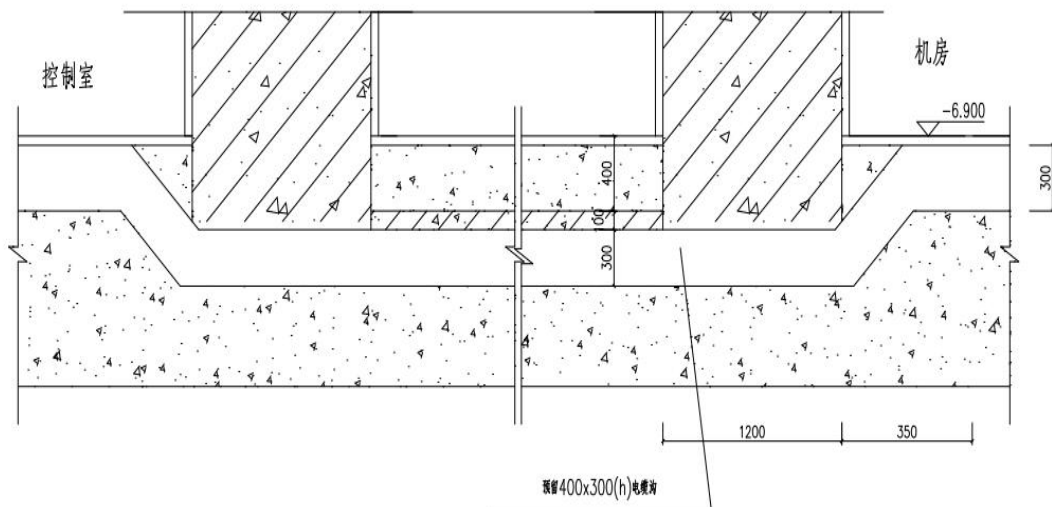


图 10-2 穿墙管线布局图

3、通风系统

本项目加速器机房新风管道和排风管道拟由防护门上方紧贴顶板经防护迷道及

内入口进入机房，机房内拟设置 2 个进风口，1 个排风口，排风风管底部（吸风口）离地 30~40cm。排风管道在机房内拟避免布置于主射线照射部位，通风系统的管道穿墙部分拟采取“U”型并进行屏蔽补偿以免影响屏蔽效果。

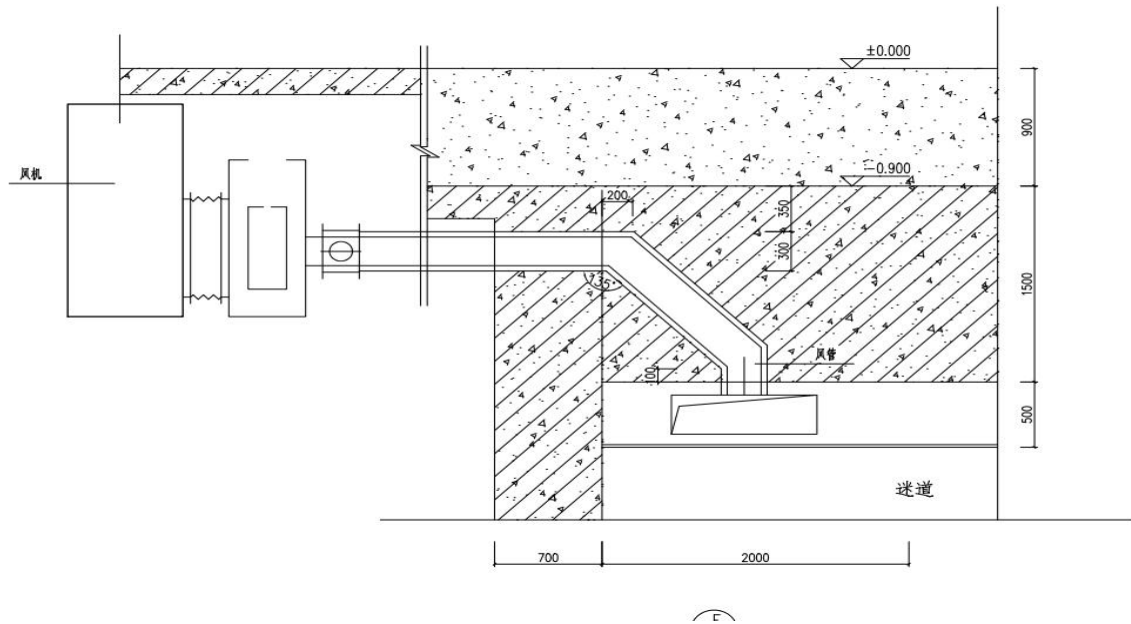


图 10-3 风机及通风管路布局图

据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）的相关要求，加速器机房通风换气应不小于 4 次/h。本项目加速器机房体积为 230m³（包括迷道）估算，风机额定通风量应不小于 920m³/h，本项目拟在加速器机房安装一台额定功率不小于 1200 m³/h 的风机，机房通风换气约为 5 次/h，可以满足相关通风要求。

10.2 三废的治理

（一）废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物 NO_x 产额为 O₃ 的 1/3。本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时不小于 5 次。能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

当治疗过程中用的 X 射线的能量超过 (γ, n) 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生 ¹¹C、¹³N、¹⁵O 等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即 β⁺ 射线，β⁺ 射线在空气中的射程只有几米。放射性气体产额很低，半衰期较短，本项目

加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时不小于 5 次。

（二）循环冷却水

加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性。在加速器运行时，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素 ^{15}O 、 ^{16}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，且产生量很少，只需放置一定的时间其活度就可以衰减到较低的水平。

（三）放射性固体废物

本项目直线加速器所产生的放射性固体废物，主要来源于两个方面：一是加速器内循环水系统中使用离子交换树脂，吸附极少量较长半衰期的放射性核素，长期积累后，更换的树脂具有一定的放射性；二是加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，含有一定的放射性。树脂的更换周期一般 3~5 年，放射性水平相对较低。废靶件是加速器所产生的主要固体废物，它不但有短半衰期放射性核素，还有长半衰期的核素，因而应妥善处理。

根据医院提供的资料，被污染的树脂及靶件将全部由生产厂家负责回收。任何情况下不得私自处置，因而放射性固体废物正常情况下不会对环境造成明显影响。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

建设期不涉及射线装置的操作，故不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废弃物产生。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 直线加速器

本项目电子线的穿透能力弱于 X 射线，一般情况下，满足屏蔽 X 射线防护要求时即可满足屏蔽电子线的防护需要。加速器 X 射线最大能量为 15MV，需要考虑对中子的屏蔽，由于中子的泄漏率比 X 射线低，且中子在普通混凝土中的 TVT 值低于 15MV X 射线的 TVT 值，故在计算机房主、副屏蔽墙外辐射剂量时可以忽略中子的影响，在计算防护门外辐射剂量时考虑中子的影响。

11.2.1.1 屏蔽计算

1、屏蔽计算的有关参数

15MV 医用电子加速器，采用最大加载条件进行估算，即加速器最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行：

- (1) 标称能量：15MV X 射线、22MeV 电子射线；
- (2) 正常治疗距离（NTD）：100cm；
- (3) 常用最大剂量率：600cGy/min ($3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)；
- (4) 等中心高度：1295mm；
- (5) X 射线泄漏率： $\leq 0.1\%$ ；
- (6) 中子射线泄漏率： $\leq 0.05\%$ ；
- (7) 最大照射野：400mm×400mm。

2、加速器机房布置示意图

本项目 2 号加速器机房设置于综合楼负一层北侧，2 号加速器机房北墙外为地下岩土层，2 号加速器机房有用射线束正上方为室外空地，机房主防护墙位于东、西侧墙体和顶盖的相关部位。2 号加速器机房平面图、剖面图如图 11-1 和图 11-2 所示。

2 号加速器机房尺寸及屏蔽防护设计参数见表 10-3、表 10-4。

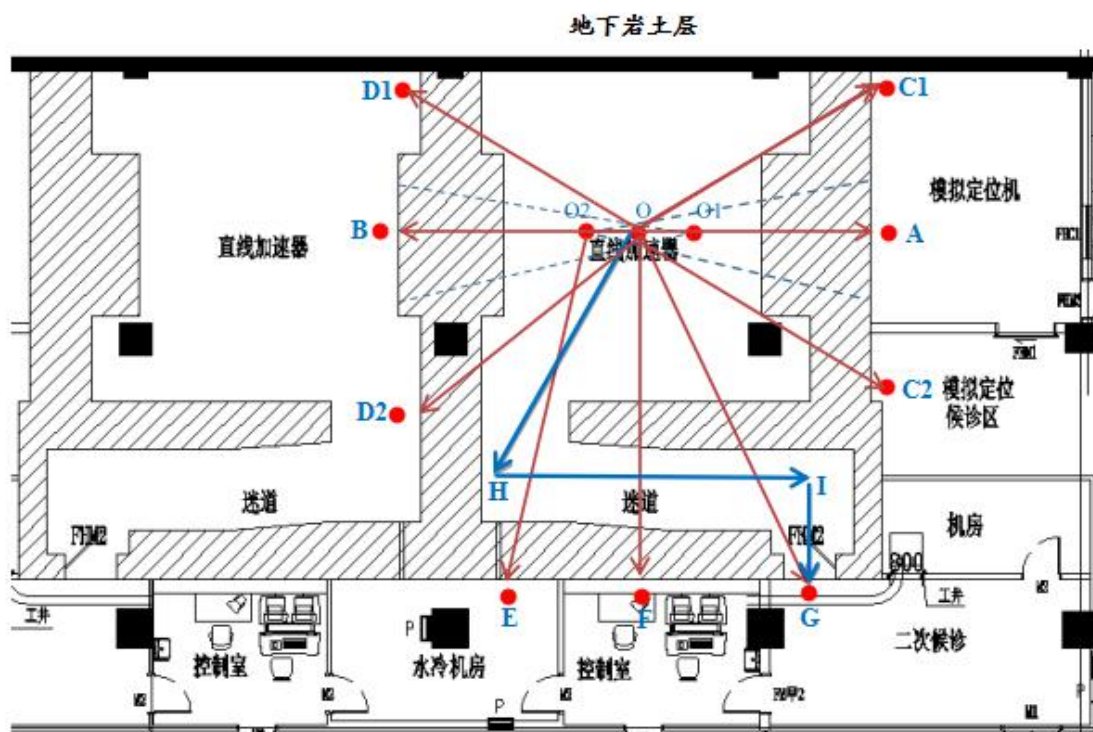


图 11-1 2号加速器治疗室平面布置示意图

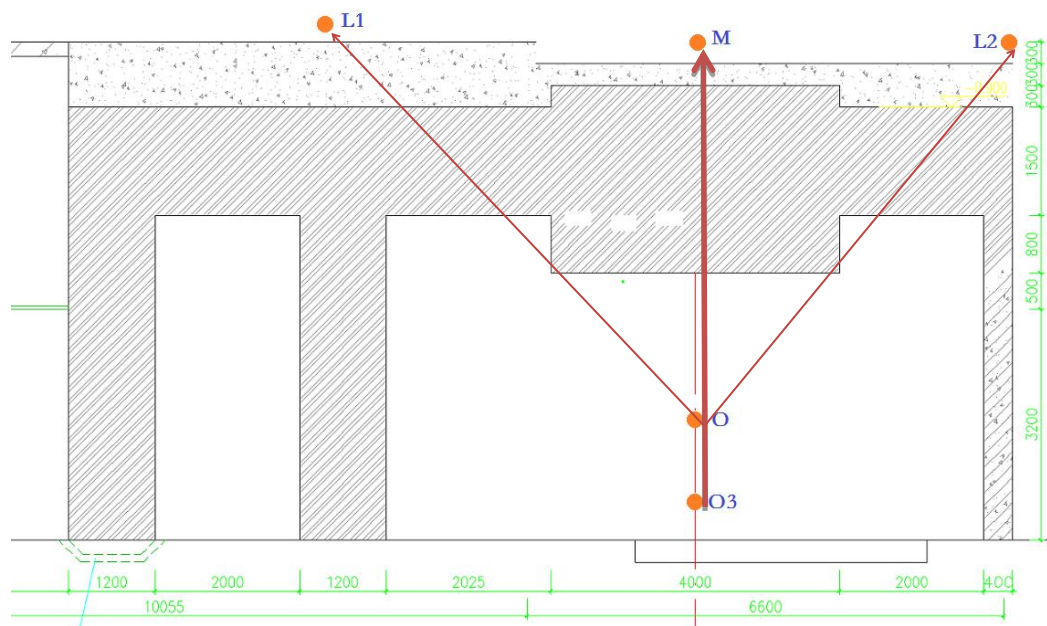


图 11-2 2号加速器治疗室剖面布置示意图

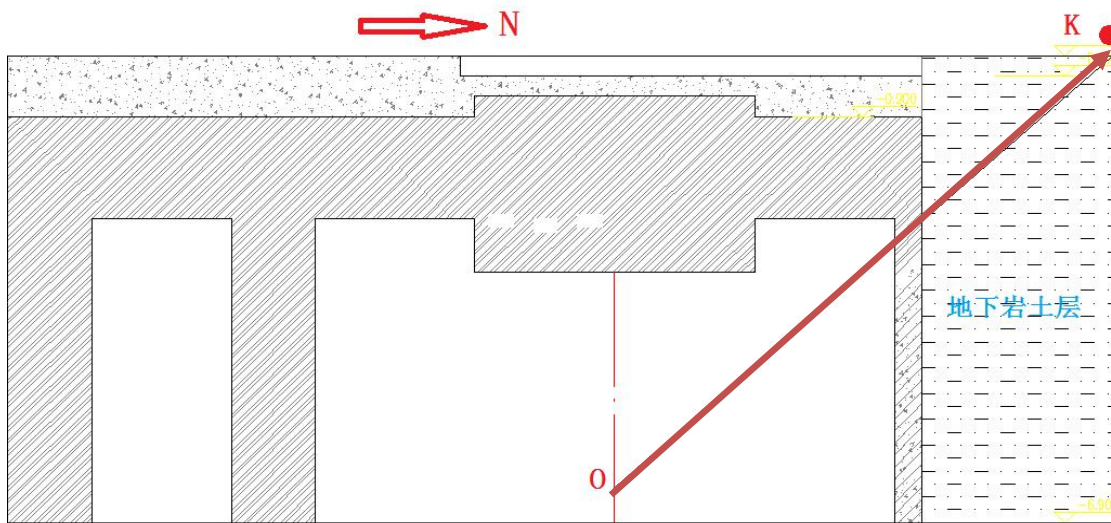


图 11-3 2号加速器治疗室北侧地面 K 点计算示意图

本项目加速器机房主要关注以下 14 个点，具体分布位置分别见图 11-1、图 11-2 和图 11-3。

- A 点：东侧主防护墙中点东侧 30cm 处，模拟定位机房；
- C₁、C₂ 点：东侧主、副防护墙连接处外 30cm 处，模拟定位机房和候诊区；
- B 点：西侧主防护墙中心点西侧 30cm 处，（相邻 1 号加速器机房内）；
- D₁、D₂ 点：西侧主、副防护墙连接处外 30cm 处，（相邻 1 号加速器机房内）；
- F 点：迷道外墙南侧 30cm 处，控制室；
- E 点：迷道外墙南侧 30cm 处（对应内入口），水冷机房；
- G 点：防护门外 30cm 处，二次候诊区；
- H 点：迷路内墙端
- M 点：主防护顶盖中心点上方，室外空地；
- L₁、L₂ 点：主、副防护顶盖连接处上方，室外空地；
- K 点：北侧岩土层上面室外 K 点（离地 30cm）。

3、屏蔽墙的计算

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)中给出的方法计算。

(1) 加速器治疗室主屏蔽区宽度计算

在等中心距离为 100cm，最大射野为 40cm×40cm 时，加速器东墙、西墙、屋顶主屏蔽宽度核算可采用如下公式。

$$D=2 \times [(1+a+X_2) \operatorname{tg}14^\circ+0.3] \quad (11-1)$$

式中：D 表示主束墙宽度（m）；

a 为等中心点到屏蔽墙的距离（m）；

X_2 为主屏蔽区相对次屏蔽区增加的墙体厚度（m）。

根据式(11-1)，可得加速器治疗室的东墙、西墙、屋顶主屏蔽区宽度见表 11-1。

从表 11-1 核算结果可知，加速器治疗室主屏蔽区的宽度均符合要求。

表 11-1 加速器治疗室主屏蔽区宽度的核算

加速器治疗室	主屏蔽区	D (m)	
		核算	设计
15MV	西墙	3300	4000(内凸)
	东墙	3000	4000(内凸)
	屋顶	3000	4000(内凸)

(2) 主屏蔽区（关注点：图 11-1，A、B 点；图 11-2，M 点）

主要考虑对有用线束的屏蔽。对于给定的屏蔽物质厚度 X（cm），按式（11-2）计算有效屏蔽厚度 X_e （cm），相应的辐射屏蔽透射因子 B 见式（11-3），最后按式（11-4）来计算屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e=X \cdot \sec\theta \quad (11-2)$$

式中， θ 为斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TVL_1)/TVL} \quad (11-3)$$

式中，B 为辐射屏蔽透射因子； X_e 为有效屏蔽厚度，cm； TVL_1 和 TVL 为 X 射线第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。15MVX 射线的有用线束在混凝土的 TVL_1 和 TVL 分别为 44cm 和 41cm。

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

式中， \dot{H} 为相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 为加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f 为比例因子，对有用线束为1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率；

R为辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

U 为使用因子，取1。

表 11-2 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点	X 屏蔽墙厚度(cm)	有效屏蔽层厚度 X _e (cm)	屏蔽透射因子 B	参考点距靶点距离 R(m)	剂量率 μSv/h
A(O ₂ -A)	290	290	1.0×10 ⁻⁷	7.2	0.69
B(O ₁ -B)	280	280	1.75×10 ⁻⁷	7.2	1.22
M(O ₃ -M)	290	290	1.0×10 ⁻⁷	6.3	0.91

(3) 侧屏蔽墙（关注点：图 11-1，E、F 点）

主要考虑对泄漏辐射的屏蔽，估算方法同主屏蔽，偏保守考虑入射角均为 0°，使用因子 U 取 1。

其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} ；15MVX 射线的 90° 泄漏辐射在混凝土中的 TVL₁ 和 TVL 分别为 36cm 和 33cm。

表 11-3 侧屏蔽墙外关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点	X 屏蔽墙厚度 (cm)	有效屏蔽层厚度 X _e (cm)	屏蔽透射因子 B	参考点距等中心距离 R (m)	剂量率 μSv/h
E(O ₂ -E)	140	140	7.05×10 ⁻⁵	8.9	0.32
F(O-F)	220	220	2.66×10 ⁻⁷	8.8	1.23×10 ⁻³

(4) 与主屏蔽相连的次屏蔽（关注点：图 11-1，C₁、C₂、D₁、D₂，图 11-2 中 L₁、L₂）

剂量计算需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用：

$$H_{\text{次}} = \dot{H}_{\text{漏}} + \dot{H}_s \quad (11-5)$$

(a) 泄漏辐射剂量

加速器泄漏辐射，以位置 O 为中心，使用因子 U 取 1，屏蔽墙的斜射角接近 30°。泄漏辐射的辐射剂量估算方法同侧屏蔽墙，其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} 。

(b) 散射辐射剂量

有用线束经人体后的散射辐射，以等中心位置 O 为散射体中心，散射角接近 30°，屏蔽墙的斜射角与散射角相同。

有效屏蔽厚度计算方法同泄漏辐射剂量中的有效屏蔽厚度计算方法。

$$B = 10^{-X_c / TVL_s} \quad (11-6)$$

式中， B 为辐射屏蔽透射因子； X_e 为有效屏蔽厚度，cm； TVL_s 为患者散射辐射在混凝土中的什值层，15MVX 射线散射角 30° 为 31cm。

散射辐射剂量：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \cdot U \quad (11-7)$$

式中， H_s 为关注点散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

R_s 为患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F 为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

U 为使用因子，取 0.25。

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。对于本项目，患者散射角取 30° 。为保守起见， α_{ph} 取 18MV X 射线、散射角 30° 对应的值 2.53×10^{-3} 、 30° 的 α_{ph} 取为 2.53×10^{-3} 。

表 11-4 与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点	照射方式	路径	X屏蔽墙厚度 (cm)	有效屏蔽层厚度 X_e (cm)	屏蔽透射因子 B	参考点距等中心距离 R (m)	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	
东侧墙外表面 30cm(次) (CT定位场所)	漏射	O-C ₁ (C ₂)	150	173.2	6.96×10^{-6}	7.5	0.04	0.21
	散射	O ₂ -O-C ₁ (C ₂)	150	173.2	2.59×10^{-6}	7.5	0.17	
西侧墙外表面 30cm(次) (1号加速器机房)	漏射	O-D ₁ (D ₂)	150	173.2	6.96×10^{-6}	6.6	0.06	0.28
	散射	O ₁ -O-D ₁ (D ₂)	150	173.2	2.59×10^{-6}	6.6	0.22	
屋顶外表面 30cm(次)	漏射	O-L ₁ (L ₂)	150	173.2	6.96×10^{-6}	6.9	0.05	0.25
	散射	O ₃ -O-L ₁ (L ₂)	150	173.2	2.59×10^{-6}	6.9	0.20	

(5) 防护门的估算与分析

对大于 10MV 加速器的机房，迷路散射辐射应考虑下列各项：

(1) 总中子注量 Φ_B 。

图 11-1 迷路的中子散射路径为“O₁-O-H-I-G”。H 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 H 点的总中子注量 Φ 按式 (11-8) 计算：

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (11-8)$$

式中的三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中：

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 H 处的总中子注量。(中子数/m²)/Gy；

Q_n —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy；查 NCRP No.151 的表 B.9，取 18MV 加速器的 $Q_n=0.46 \times 10^{12}$ (中子数/Gy)用于本项目 15MV 加速器的计算。

d_1 —等中心点 O 至 H 点的距离，m；本项目 $d_1=7.27\text{m}$ 。

S —治疗机房的总内表面积 (m²)，包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。本项目 $S=2 \times 8.9 \times 8.025 + 2 \times 4.5 \times (8.9 + 8.025) \approx 295\text{m}^2$ 。

(2) 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率 (\dot{H}_r)

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线，机房入口门外 30cm(G)处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率按式(11-9)计算：

$$\dot{H}_r = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \quad (11-9)$$

式中：

6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子，Sv/(中子数/m²)；

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 H 处的总中子注量，(中子数/m²)/Gy；

d_2 —H 点至机房入口(G)的距离，m； $d_2=d_{HI}+d_{IG}=10.6\text{m}$ ；

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离(称为什值距离)，对于 15MV 加速器为 3.9m；

\dot{H}_0 —等中心点处治疗 X 射线剂量率($\mu\text{Gy/h}$)； $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

(3) 机房入口的中子剂量率 (\dot{H}_n) $\dot{H}_n (\mu\text{Sv/h})$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm(G)处无防护门时的剂量率见式 (11-10) :

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{S_0 / S_1} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o \quad (11-10)$$

式中:

2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子, Sv/(中子数/m²);

S_0 —迷路内口的面积, m²; $S_0=2.2\text{m} \times 4.5\text{m}=9.9\text{m}^2$ 。

S_1 —迷路横截面积, m²; $S_1=2.0\text{m} \times 4.5\text{m}=9.0\text{m}^2$ 。

d_2 ——H 点到迷路入口(G)的距离, m; $d_2=10.6\text{m}$ 。

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分式(10)方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离(m), 称为什值距离。Tn 是一个经验值, 与迷路横截面积有关。

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad (11-11)$$

(4) 入口门屏蔽

入口门屏蔽设计时, 通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率。对于中子俘获 γ 射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼(5%)聚乙烯屏蔽。当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时, 防护门外的辐射剂量率见式 (11-12) :

$$H = H_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/\text{TVL}_\gamma)} + H_n \cdot 10^{-(X_n/\text{TVL}_n)} + H_{OG} \cdot B_{OG} \quad (11-12)$$

式中:

X_γ 和 X_n 分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度, cm;

TVL_γ 和 TVL_n 分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, cm;

H_γ 和 H_n 分别为按式 (11-9) 和式 (11-10) 计算的入口处防护门内的辐射剂量率; H_{OG} 为图 11-1 中的 O_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 G 处的剂量率, 算法同次屏蔽墙的泄漏辐射剂量计算方法, 算出 H_{OG} 为 $0.29\mu\text{Gy/h}$; B_{OG} 为防护门对 H_{OG} 的屏蔽透射因子, 对于 15mm 铅, 15MV 散射线透射因子为 0.41。

(5) 计算结果

由式 (11-8) 可得, 在 H 点的总中子注量 $\Phi_B \approx 3.88 \times 10^9$ (中子数/m²)/Gy;

由式 (11-9) 可得, 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率 $H_\gamma \approx 1.84 \mu\text{Sv/h}$;

由式 (11-10) 可得, 机房入口的中子剂量率 $H_n \approx 67.70 \mu\text{Sv/h}$ 。

由建设单位提供的材料可知,防护门结构为 15mm 铅板+160mm 聚乙烯+40mm 含硼聚乙烯。IAEA No.47 报告指出对于长度大于 5m 的迷道,迷道门口 γ 射线所对应的铅 TVL 可降为 6mm。根据 NCRP No.151 报告,中子经迷路壁多次散射后,迷道外入口处中子的平均能量约为 100keV,在聚乙烯中的 TVL=45mm;热中子在含硼聚乙烯(5%硼,重量比)中的 TVL 为 12mm。

根据公式(11-12)计算得出,防护门外的辐射剂量率 H 约为 0.12 μ Sv/h,符合本报告表规定的周围剂量当量率控制要求(2.5 μ Sv/h)。

(6) 北侧岩土层上面室外 K 点(离地 30cm)辐射剂量计算

主要考虑对泄漏辐射的屏蔽,估算方法同主屏蔽,偏保守考虑入射角均为 0°,使用因子 U 取 1。

$$\dot{H}_k = \frac{\dot{H}_0 \cdot f \cdot U}{R^2} \cdot B_{\text{墙}} \cdot B_{\pm} \quad (11-13)$$

式中, $B_{\text{墙}}$ 为北侧墙体辐射屏蔽透射因子; B_{\pm} 为地下岩石土层的辐射屏蔽透射因子,泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} ; 15MVX 射线的 90°泄漏辐射在混凝土中的 TVL_1 和 TVL 分别为 36cm 和 33cm。

$$B_{\pm} = b \times e^{-\mu T} \quad (11-14)$$

式中

μ ——线性减弱系数: $\mu = \mu_p \cdot \rho_{\pm}$, 其中 μ_p (质量衰减系数) = 0.023cm²/g, ρ_{\pm} = 1600kg/m³ = 1.6g/cm³;

T——穿越岩土层的厚度, cm;

b——积累因子, 取 13.62。

表 11-5 侧屏蔽墙外关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点	X屏蔽墙厚度 (cm)	北侧墙体辐射屏蔽透射因子 $B_{\text{墙}}$	地下岩石土层的辐射屏蔽透射因子 B_{\pm}	参考点距等中心距离 R (m)	剂量率 μ Sv/h
K(O-K)	40cm混凝土 +370cm岩土层	0.075	1.66×10^{-5}	9.6	4.86×10^{-3}

(6) 屏蔽防护预测计算结果

加速器治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果见表 11-6。

由表 11-6 可知，加速器运行过程中治疗室主屏蔽区、次屏蔽区、侧屏蔽墙以及迷路入口的剂量当量率均能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

表 11-6 加速器治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果

关注点	路径	到靶点距离, m	设计屏蔽体厚度 mm	屏蔽后剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
东墙主屏蔽区外表面 30cm (A 点)	O ₂ -A	7.2	2900	0.69
西墙主屏蔽区外表面 30cm (B 点)	O ₁ -B	7.2	2800	1.22
屋顶主屏蔽区外表面 30cm (M 点)	O ₃ -M	6.3	2900	0.91
迷道外墙南侧 30cm 处 (水冷机房 E 点)	O ₂ -E	8.9	1400	0.32
迷道外墙南侧 30cm 处 (控制室 F 点)	O-F	8.8	2200	1.23×10^{-3}
东墙次屏蔽区外表面 30cm (模拟定位场所 C ₁ 、C ₂ 点)	O-C ₁ (C ₂) O ₂ -O-C ₁ (C ₂)	7.5	1500	漏射 0.04+散射 0.17=0.21
西墙次屏蔽区外表面 30cm (1号加速器机房 D ₁ 、D ₂ 点)	O-D ₁ (D ₂) O ₁ -O-D ₁ (D ₂)	6.6	1500	漏射 0.06+散射 0.22=0.28
屋顶次屏蔽区外表面 30cm (L ₁ 、L ₂ 点)	O-L ₁ (L ₂) O ₃ -O-L ₁ (L ₂)	6.9	1500	漏射 0.05+散射 0.20=0.25
北侧岩土层上面室外 K 点 (离地 30cm)	O-K	9.6	40cm 混凝土 +370cm 岩土层	4.86×10^{-3}
迷宫门外表面 30cm	O ₁ --G	9.80	1200 (混凝土) +15mm 铅板 +160mm 聚乙烯 +40mm 含硼 聚乙烯	漏 0.114+散 0.006=0.12
	O ₁ -O--H--I--G	7.27+10.6	15mm 铅板 +160mm 聚乙烯 +40mm 含硼 聚乙烯	

11.2.1.2 年有效剂量预测分析

根据医院提供工作负荷，加速器工作实行单天双班制，每班工作 6h，加速器每天每班照射 200min，年均工作 260 天，则每班年照射时间约 866h。每班每天摆位约 45 次，则每班每年摆位约 11700 次。偏安全考虑，均按 15MV X 射线估算工作人员年有效剂量。

1、估算公式

剂量估算公式按照环评报告中的计算公式（UNSCEAR--2000 年报告附录 A），计算 X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量：

$$H_{E,r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv) \quad (11-15)$$

其中： $H_{E,r}$: X-γ射线外照射人均年有效剂量，mSv；

D_r : X-γ辐射空气吸收剂量率，nGy/h；

t : X-γ照射时间，小时；

0.7:剂量换算系数，Sv/Gy。

2、职业人员年有效剂量

（1）感生放射性

本项目所用 X 射线最大能量为15MV、电子线最大能量为22MeV，参照《辐射防护手册第一分册辐射源与屏蔽》，本项目运营过程中将产生感生放射性核素，主要为 ^{13}N 。核反应 $^{14}\text{N}(\gamma, n)^{13}\text{N}$ 的阈能为10.6MeV，所产生核素 ^{13}N 的半衰期为10min；核反应 $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$ 的阈能为15.7MeV，产生的核素 ^{15}O 的半衰期为124s；核反应 $^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$ 的阈能为18.7MeV， ^{11}C 的半衰期为20.5min。本项目加速器电子能量最大为22MeV，加速器运行时可能产生 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 放射性气体。

表 11-7 钨靶 X 射线在空气中感生 ^{11}C 、 ^{13}N 生成率

X 射线能量 (MV)	^{13}N 生成速率 ($\mu\text{Ci/s mA MV}$)	^{11}C 生成速率 ($\mu\text{Ci/s mA MV}$)
12	81	-
14	460	-
16	920	-
18	1280	450
20	2440	1850
22	4100	5160

医院拟搬迁电子直线加速器 X 射线最大能量为 15MV，仅有 ^{13}N 产生。

电子束治疗时，电子出束后，电子束通过韧致辐射将产生 X 射线，如果 X 射线能量大于表 11-7 所示能量时，将在空气中产生感生放射性核素。本项目电子束出束后将穿过空气，照射在患者需治疗部位。电子束照射在靶物质上产生韧致辐射，其辐射能量与电子束能量、靶物质原子量成正比。表 11-7 为电子束在钨靶上产生的韧致 X 射线产生的感生放射性核素。电子束治疗患者时，电子束经过处均为原子序数低的元素

(空气或人身体)，韧致辐射产生的 X 射线能量较低，基本不会产生感生核素。

感生核素主要考虑 X 线治疗时，能量大于 10MV 的 X 射线产生的感生核素。本项目电子直线加速器最大能量为 15MV，将产生一定量的 ^{13}N ，产率取 $920\mu\text{Ci/s mA MV}$ 。加速器电子束流为 0.1mA，加速器运行时间取 1.5 分钟，加速器机房通风量 $1480\text{m}^3/\text{h}$ ，每次开机后，通风 5 分钟再进行下一次治疗。

因为产生的 X 射线是韧致辐射，其能谱是连续的，一般情况下 25MV 能量份额会低于 5%，本计算按 10%取值。

计算得 ^{13}N 产生量为： $920\mu\text{Ci/smAMV}\times 0.1\text{mA}\times 10\%\times 90\text{s}\times 15\text{MV}\times 3.7\times 10^4\text{Bq}/\mu\text{Ci}$
 $\times 78\%$ (N 在空气中的份额) $= 3.58\times 10^8\text{Bq}$ 。

经过 5 分钟后，工作人员进入机房对病人进行摆位，机房内通风量为 $1480\text{m}^3/\text{h}$ ，则通风 5 分钟时通风量为 123m^3 。机房体积为此时机房 ^{13}N 浓度为 $2.91\times 10^6\text{Bq}/\text{m}^3$ ，则工作人员摆位时，停留 2 分钟内受到的照射剂量为(不考虑这 2 分钟内 ^{13}N 的衰变)：

^{13}N : $2.91\times 10^6\text{Bq}/\text{m}^3\times 4.3\times 10^{-17}\text{Sv}/(\text{Bq}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3})$ (照射剂量转换因子) $\times 120\text{s}$
 $= 1.50\times 10^{-8}\text{mSv}/\text{次}$

每年摆位 11700 次，则摆位人员受到的年剂量不超过 $1.76\times 10^{-4}\text{mSv}/\text{a}$ ，基本可忽略不计。直加机房通风量可满足辐射防护要求。

(2) 职业人员年有效剂量

根据表 11-6 的估算结果，控制室操作人员的工作位：迷道外墙南侧 30cm 处(控制室 F 点)，该点剂量率估算最大值为 $1.23\times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。为留一定的安全系数，居留因子均取 1。结合上述感生放射性分析，工作人员的最大年有效剂量计算如下：

则附加有效剂量为： $H = (1.23\times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{h})\times 866\text{h}/\text{a}\times 10^{-3} + 1.76\times 10^{-4}\text{mSv}/\text{a}$
 $= 1.24\times 10^{-3}\text{mSv}/\text{a}$

加速器正常运行时，每班工作人员所受年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv 。

3、公众年有效剂量

公众年有效剂量主要考虑加速器治疗室周围公共场所的影响。公众年有效剂量取公众剂量率最大值 $0.91\mu\text{Sv}/\text{h}$ (屋顶主屏蔽区外表面 30cm (M 点))进行估算。居留因子均取 1/16。

$$H=0.91\mu\text{Sv/h}\times 866\text{h/a}\times 1/16\times 10^{-3}=0.049\text{mSv/a}$$

上述估算表明，在加速器正常运行条件下，治疗室周围公众的年有效剂量最大为0.049mSv，由此可推测亦不会对距离本项目约45米的玉青禅寺的人员产生影响，因此能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过0.25mSv。

11.2.1.3 类比评价

1、可比性分析

由于本次评价的15MV直线加速器是由万松院区搬迁到瑞祥院区医疗综合楼负一层2号加速器机房，为分析本项目建成后运行期的辐射影响，本报告表选取瑞安市人民医院万松院区原已经投入运行的直线加速器进行类比评价，其可比性分析详见表11-8。

表 11-8 直线加速器类比可行性分析

类比内容		类比项目(瑞安市人民医院万松院区 15MV 加速器)	本项目
技术参数		15MV、22MeV	15MV、22MeV
机房面积 (m ²)		72 (不含迷道)	60 (不含迷道)
防护设施	防护门	铅-石蜡 (含硼) 18mm	15mm 铅板+160mm 聚乙烯+40mm 含硼聚乙烯
	迷道	1200mm 标准混凝土	迷道内墙: 1000~1200mm 标准混凝土
	防护墙	1、东、西侧主防护墙: 2800mm 标准混凝土; 2、东侧副防护墙 1600mm 标准混凝土, 西侧副防护墙 1200mm 标准混凝土; 3、南、北侧副防护墙厚度为 1500mm 标准混凝土。	1、西侧主防护墙: 2800mm 标准混凝土, 东侧主防护墙: 2900mm 标准混凝土; 2、东侧副防护墙 1500mm 标准混凝土, 西侧副防护墙 1500mm 标准混凝土; 3、北侧副防护墙: 400mm 标准混凝土 (主要是考虑承重, 北墙外侧为地下岩土层可不采取屏蔽), 南侧为迷道外墙: 1200~1400mm 标准混凝土。
	天棚	顶棚 1600mm 标准混凝土, 加速器正对房顶为 2800mm 标准混凝土	顶棚 1500mm 标准混凝土, 加速器正对房顶为 2900mm 标准混凝土

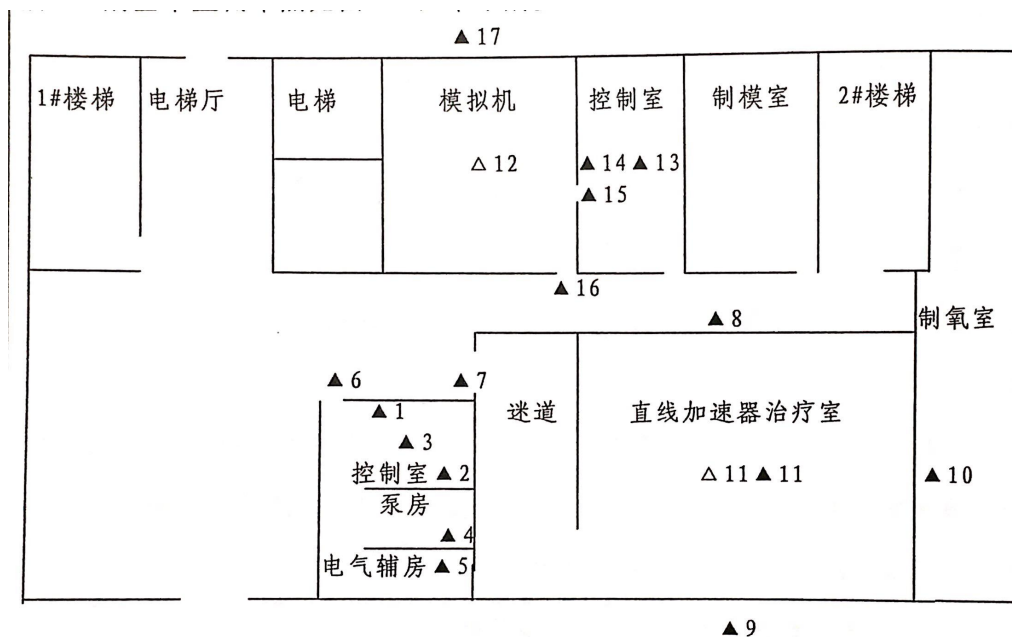
注：类比项目竣工验收是主射束方向由东西改为南北，根据浙江省技术咨询中心的辐射防护评估，将加速器机房南墙外侧主防护墙加厚 250mm 标准混凝土，在加速器机房北侧外墙主防护相应部位敷衬 30mm 厚铅板和厚 120mm 的实砌黏土砖墙，在顶盖上方主防护屏蔽体相应部分加厚 350mm 的标准混凝土。

2、类比项目监测布点及监测结果

本次评价的直线加速器和类比项最大能量均为 15MV，本项目机房的屏蔽能力与类比项目机房相当，因此本项目直线加速器的辐射环境影响评价采用瑞安市人民医院万松院区 15MV 直线加速器的竣工环境保护验收监测数据进行类比分析，监测数据见表 11-9、11-10。监测布点示意图见 11-4、11-5。

表 11-9 类比项目 X- γ 辐射剂量率监测结果

序号	检测点位置	辐射剂量率 (nGy/h)			
		设备停机状态		设备运行状态	
		平均	标准差	平均	标准差
1	治疗控制室北部 (15MV 的 X 射线)	114	3	132	6
	治疗控制室北部 (6MV 的 X 射线)			112	4
2	治疗控制室东部 (15MV 的 X 射线)	86	2	136	3
	治疗控制室东部 (6MV 的 X 射线)			94	2
3	治疗控制室中央 (15MV 的 X 射线)	118	4	145	2
	治疗控制室中央 (6MV 的 X 射线)			118	5
4	泵房 (15MV 的 X 射线)	106	4	117	4
5	电气辅房 (15MV 的 X 射线)	119	5	137	3
6	治疗控制室门口 (15MV 的 X 射线)	127	3	191	11
7	治疗室门口 (15MV 的 X 射线)	82	2	686	30
	治疗室门口 (6MV 的 X 射线)			80	1
8	治疗室北边走廊 (15MV 的 X 射线)	91	4	250	5
9	治疗室南边 (15MV 的 X 射线)	117	4	137	3
10	治疗室东边制氧房 (15MV 的 X 射线)	85	1	105	4
11 (1)	治疗室顶层废品库 (15MV 的 X 射线)	114	3	129	2
11 (2)	治疗室距设备表面 1m 处	775	62	--	--

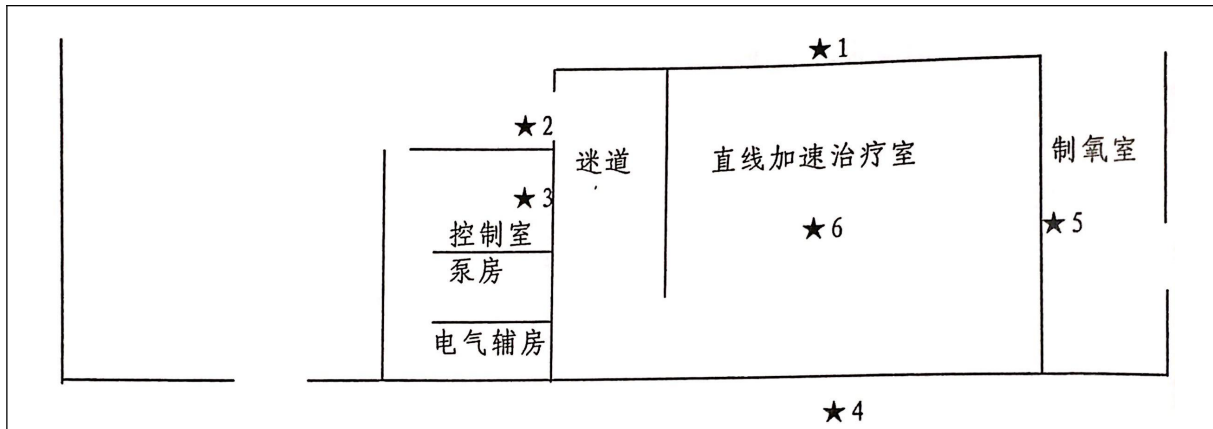


▲ 11: γ 剂量率监测点及编号; \triangle 11: ▲ 11 监测点正上方楼层监测点

图 11-4 类比项目 X- γ 辐射剂量率监测布点示意图

11-10 类比项目中子辐射剂量当量率监测结果

序号	检测点位置	剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
		关机	开机	
			(6MV 的 X 射线)	(15MV 的 X 射线)
1	直线加速器治疗室北边走廊	<LLD	<LLD	0.1
2	直线加速器治疗室门口	<LLD	<LLD	0.9
3	直线加速器控制室	<LLD	<LLD	0.1
4	直线加速器治疗室南边	<LLD	<LLD	0.1
5	直线加速器治疗室东边	<LLD	<LLD	0.1
6	直线加速器治疗室顶楼内	<LLD	<LLD	0.1



★4: 中子剂量当量率监测点及编号

图 11-5 类比项目中子辐射剂量当量率监测布点示意图

3、类比评价结论

根据表 11-9 监测结果可知，瑞安市人民医院万松院区 15MV 直线加速器在常规运行工况（发射 6MV 的 X 射线）下，监测点位 X 射线剂量率与关机时监测结果比较，在仪器正常涨落水平范围内，未见升高；在 15MV 工况下，除治疗室门口 X 射线剂量率明显升高外，其他监测点 X 射线剂量率与关机时的监测结果比较，未有明显变化。

治疗室距设备表面 1m 处辐射剂量率为 775nGy/h，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 1m 处不得超过 20 μ Sv/h”的要求。

由表 11-10 监测结果可知，各监测点位中子剂量当量率在直线加速器常规运行工程工况（发射 6MV 的 X 射线）下，与关机时监测结果比较未见升高；在 15MV 工况下，符合周围剂量当量率控制要求（2.5 μ Sv/h）。

由瑞安市人民医院万松院区 15MV 直线加速器的竣工验收监测结果可知，本项目直线加速器治疗室的屏蔽防护设计能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求。

根据表 11-9 的监测结果可知，在 15MV 工况下，控制室内 X 射线剂量率最大为 50nGy/h（扣除本底值后），假设 1 号加速器和 2 号加速器同时开机时控制室内 X 射线剂量率均取 50nGy/h，中子辐射剂量当量率均为 0.1 μ Sv/h，居留因子取 1，对操作室工作人员的最大年有效剂量为 0.23mSv/a。

2 台加速器正常运行时，每班工作人员所受年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约

束值要求：职业人员年有效剂量不超过5mSv。

对机房外公众影响的最大辐射剂量率出现在治疗室北边走廊（15MV 的 X 射线），其 X 辐射剂量率为 159nGy/h（扣除本底值后），中子辐射剂量当量率为 0.1 μ Sv/h。对于公众居留因子 T 取 1/16，使用因子 U 取 1，当 2 台加速器同时正常运行时，周围公众身体受照的年附加有效剂量最大为 0.18mSv/a。低于本项目对公众人员的管理限值（0.25mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.2.2 三废治理措施环境影响分析

（一）废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物 NO_x 产额为 O₃ 的 1/3。本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时不小于 5 次，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经几次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

当治疗过程中用的 X 射线的能量超过（ γ , n）反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生 ¹¹C、¹³N、¹⁵O 等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即 β^+ 射线， β^+ 射线在空气中的射程只有几米。放射性气体产额很低，半衰期较短，本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时不小于 5 次。根据 11.2.1.2 小节对摆位人员所受感生放射性的年有效剂量为 1.76×10^{-4} mSv/a，符合《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》GB18871-2002 中关于“剂量限值”和本项目管理目标剂量约束值的要求。另外，由于放射性气体的半衰期较短，且通过机房足够的通风，工作人员适当延缓进入治疗室，可以明显降低感生放射性的影响。

（二）循环冷却水

加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性。在加速器运行时，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素 ¹⁵O、¹⁶N，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，且产生量很少，只需放置一定的时间其活度

就可以衰减到较低的水平。

（三）放射性固体废物

本项目直线加速器所产生的放射性固体废物，主要来源于两个方面：一是加速器内循环水系统中使用离子交换树脂，吸附极少量较长半衰期的放射性核素，长期积累后，更换的树脂具有一定的放射性；二是加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，含有一定的放射性。树脂的更换周期一般3~5年，放射性水平相对较低。废靶件是加速器所产生的主要固体废物，它不但有短半衰期放射性核素，还有长半衰期的核素，因而应妥善处理。

根据医院提供的资料，被污染的树脂及靶件将全部由生产厂家负责回收。任何情况下不得私自处置，因而放射性固体废物正常情况下不会对环境造成明显影响。

11.3 事故影响分析

1、风险分析

医用直线加速器主要用于肿瘤放射治疗，加速器只有在治疗期间时才会产生X射线等，因此，该项目辐射事故多为人员误留或误入加速器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）加速器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）由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入加速器机房内受到误照射；

（4）加速器维修调试过程中，因维修人员误操作导致加速器出束，可能发生误照射；

（5）加速器维修调试过程中，虽关闭了加速器高压，但未切断加速器电源，由于暗电流而造成的误照射。

2、应急方案与措施

医用加速器在正常运行过程由于采取相应的屏蔽防护和辐射安全措施，不会对其他人员造成照射，但遇特殊意外情况亦可能会发生误照射而造成人员损伤，故应对这种潜在照射危害采取应急措施。

为了防止误照射事故发生，对加速器治疗工作采取了门机联锁，照射现场电视监

控，对讲传话以及工作人员进入照射室携带个人报警器等措施，对人员误入辐照现场接受不必要照射，提供了有效的预防。

此外，当发生以下意外照射事件，可采取相应应急措施。

(1) 工作人员进入加速器房进行摆位或其它照射前准备工作时，控制台前操作人员疏忽失职误将加速器开机出束，会发生工作人员误照射事件。工作人员发现加速器已经出束（照射红灯点亮），可就近在治疗床边、加速器立柱或迷道内入口等处，按红色标志的急停开关，切断电源，迫使加速器关机停止出束；

(2) 加速器维修调试过程，因检修人员误操作，导致加速器出束，发生人员误照射事件，室内人员发现加速器意外出束，可立即就近按红色急停开关，切断加速器电源；

(3) 治疗病人陪伴者或其它人员误留机房内，在加速器开机出束后，操作人员从监控器内发现，可立即在控制台上按急停开关，切断加速器电源；

(4) 加速器治疗过程发生意外停电，加速器停止出束，操作人员应将加速器处于关机状态，记录已照射剂量和已照射时间。以便加速器正常运行后继续完成应照射剂量。操作人员可用手动方式开启机房大门，将治疗病人按应急灯指引，引导离开机房；

(5) 当发生上述加速器意外出束，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，加速器照射条件，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。

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

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》第十六条第一款的要求，使用 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。

瑞安市人民医院成立了放射安全委员会（附件5），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使用部门，在框架上基本符合要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院已制定《放射安全委员会制度》、《放射防护管理制度》、《放射工作人员职业健康管理办法》、《辐射事故报告制度及应急处理预案》、《放疗科辐射事故应急预案》、《核素登记保管制度》、《监测方案》、《人员培训计划、体检及保健制度》、《设备检修维护制度》、《直线加速器操作规程》、《模拟定位机操作规程》等规章制度。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。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。

12.3 辐射检测

12.3.1 场所检测

（一）年度检测

医院须定期（每年一次）请有资质的单位对辐射工作场所周围环境进行辐射环境检测，建立检测技术档案。检测数据每年年底向当地生态环境局上报备案。

- （1）检测频度：每年常规检测一次；
- （2）检测范围：机房屏蔽墙外，防护门及缝隙处，候诊区、操作台等；
- （3）检测项目：X- γ 辐射剂量率、中子；
- （4）检测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

（二）自行检查

放疗科工作人员使用 X- γ 电离巡检仪对辐射工作场所周围进行 X- γ 辐射剂量率

的日常检测。每日对防护门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置检查；安全连锁系统每月检查一次；其它防护设施定期检查。

12.3.2 辐射工作人员安全培训、个人剂量及健康检测

(1) 医院放疗科现有辐射工作人员 19 人，均已参加辐射安全与防护培训考试，并考核合格，按照规定应定期参加考试。

(2) 医院放疗科 19 名辐射工作人员已佩戴个人剂量计，每季度送浙江正安检测技术有限公司进行检测，并建立了个人剂量档案，终生存档保存。

(3) 医院已组织放疗科 19 名辐射工作人员在温州市人民医院参加职业健康体检，不超过两年检查一次，并建立了职业健康监护档案。

本项目建成后放疗科暂不新增辐射工作人员。现有 19 名辐射工作人员名单见表 12-1。

表 12-1 放疗科现有辐射工作人员名单

序号	姓名	科室	工作岗位	最近一次职业健康体检时间	体检结果	放射防护培训时间	2020年第三季度个人剂量计检测结果
1	王玉斌	放疗科	医生	2019.7.25	可继续原放射工作	2018.6.13	0.365
2	林玉成	放疗科	医生	2019.7.25	可继续原放射工作	2018.6.13	0.146
3	王建化	放疗科	医生	2020.9.7	可继续原放射工作	2018.6.13	0.293
4	李芙瑶	放疗科	医生	2020.10.19	可继续原放射工作	2018.6.13	0.272
5	吴友义	放疗科	医生	2020.9.3	可继续原放射工作	2018.6.13	0.374
6	尤晓京	放疗科	医生	2019.1.3	可继续原放射工作	2018.6.30	0.415
7	黄一威	放疗科	医生	2019.6.20	可继续原放射工作	2019.7.19	0.349
8	王晓燕	放疗科	医生	2019.12.6	可继续原放射工作	2019.7.19	0.313
9	曹雪珍	放疗科	医生	2020.9.3	可继续原放射工作	2018.6.13	0.373
10	陈婷婷	放疗科	医生	2019.8.2	可继续原放射工作	2019.7.19	0.324
11	叶哲	放疗科	医生	2019.6.20	可继续原放射工作	2019.7.19	0.37

12	伍松松	放疗科	医生	2019.7.4	可继续原放射工作	2018.6.13	0.412
13	黄良	放疗技术室	物理师	2019.7.1	可继续原放射工作	2018.6.13	0.337
14	何万里	放疗技术室	物理师	2020.7.5	可继续原放射工作	2018.6.13	0.305
15	金月妹	放疗技术室	技师	2019.7.1	可继续原放射工作	2018.6.13	0.293
16	黄毅	放疗技术室	技师	2019.5.9	可继续原放射工作	2019.12.19	0.372
17	孙启豪	放疗技术室	技师	2019.1.3	可继续原放射工作	2018.6.13	0.231
18	郑仕萍	放疗技术室	技师	2019.12.2	可继续原放射工作	2018.6.13	0.259
19	陈雾帆	放疗技术室	技师	2019.5.9	可继续原放射工作	2017.5.22	0.205

12.4辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号 2019年03月02日第二次修正）等相关规定，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- （1）应急机构和职责分工。
- （2）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。
- （3）辐射事故分级与应急响应措施。
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序。
- （5）生态环境、卫生、公安部门的联系部门和电话。

医院已制定《辐射事故报告制度及应急处理预案》（见附件6），内容包括：应急机构和职责分工、应急和救助的装备、物资准备、应急事故分级、辐射事故应急措施和处理程序、辐射事故的调查和报告、应急联系电话、人员培训和演练计划、相关内容，其内容基本能满足本项目应急需要。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

13.1.1.1 辐射安全防护措施结论

①本项目加速器机房的设计满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、中子的辐射影响。

②本项目加速器治疗室采用混凝土浇筑结构，防护门内含铅+含硼聚乙烯；在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算和类比分析结果，该院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

③直线加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制，直线加速器治疗室迷道门设计安装门机联锁装置，迷道门外拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态指示灯，治疗室和控制室内设计安装紧急停机开关，治疗室内设计安装实时监控装置，并配备对讲装置。

综上所述，医院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.1.2 辐射安全管理结论

医院已成立放射安全委员会，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；还根据相关法律法规制定了《放射防护管理制度》、《放射工作人员职业健康管理实施办法》、《辐射事故报告制度及应急处理预案》、《放疗科辐射事故应急预案》、《核素登记保管制度》、《监测方案》、《人员培训计划、体检及保健制度》、《设备检修维护制度》、《直线加速器操作规程》、《模拟定位机操作规程》等规章制度。

本项目建成后放疗科不新增辐射工作人员，现有的 19 名辐射工作人员已定期参加辐射安全与防护培训考试，个人剂量检测及，职业健康体检，并为每个辐射工作人员建立了个人健康档案。

13.1.2 环境影响分析结论

13.1.2.1 辐射污染因子分析

本项目主要污染因子为：X 射线、电子束及中子辐射、感生放射等。

13.1.2.2 辐射环境影响分析

(1) 现状剂量率分析

由辐射环境现状检测结果可知，项目拟建址周围 γ 辐射剂量率在 102~

131nGy/h 之间，与温州市室内 γ 辐射剂量率（73~198nGy/nGy/h）相比，符合当地天然辐射本底水平，环境现状良好。

（2）辐射环境影响预测分析

根据预测分析可知，从事辐射操作的工作人员和周围公众成员受到的额外照射均小于各自的剂量辐射剂量约束值（5mSv/a、0.25mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

13.1.3 可行性分析结论

13.1.3.1 产业政策及代价利益分析结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用，本项目核医学科建设符合《产业结构调整指导目录（2011 年本 2016 修正版）》第一类鼓励类：六、核能第 6 项同位素、加速器及辐照应用技术开发，因此本项目符合国家产业政策要求。

医院实施本项目目的在于开展核医学放射治疗工作，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。

13.1.3.2 选址合理性分析结论

瑞安市人民医院瑞祥院区位于瑞安市安阳街道瑞枫大道 168 号，本项目位于瑞祥院区南侧综合楼负一层，北侧为山体，南侧为院区停车场和瑞枫大道，西侧为院区小广场，东侧与本项目最近的建筑为玉青禅寺，距离约为 45m。本项目 2 号加速器机房周围 50m 区域内除东侧的玉青禅寺外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校等其他环境敏感区，项目建成后运行过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，故其选址是合理可行的。

13.1.4 结论

瑞安市人民医院在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，该医院将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其项目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，该项目的建设是可行的。

13.2 建议

（1）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大

意思，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) 根据运行经验，不断完善事故应急预案，并在适当的时候组织应急演练。

(3) 按照《浙江省辐射环境管理办法》要求：瑞安市人民医院应当对报废射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销。

(4) 医院应尽快完成未验收射线装置的竣工验收工作，并应加强对环评文件及批复、环保竣工验收文件及批复等环保文件的存档工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公章
年 月 日

审批意见：

经办人

公章
年 月 日