

核技术利用建设项目

宁夏医科大学总医院

新增 1 台医用电子直线加速器项目

环境影响报告表

(送审稿)

建设单位名称：宁夏医科大学总医院

2023 年 07 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 宁夏医科大学总医院

### 新增 1 台医用电子直线加速器项目

### 环境影响报告表

建设单位名称：宁夏医科大学总医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：宁夏银川市兴庆区胜利南街 804 号

邮政编码：750003

联系人：孙君

电子邮箱：qxk4548@163.com

联系电话：

13519576632

# 目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	12
表 3 非密封放射性物质.....	12
表 4 射线装置.....	12
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	13
表 6 评价依据.....	14
表 7 保护目标和评价标准.....	17
表 8 环境质量和辐射现状.....	28
表 9 项目工程分析与源项.....	32
表 10 辐射安全与防护.....	41
表 11 环境影响分析.....	58
表 12 辐射安全管理.....	77
表 13 结论与建议.....	83

## 附件：

附件 1：环评委托书；

附件 2：建设单位辐射安全许可证；

附件 3：本项目相关人员辐射安全培训合格证书；

附件 4：本项目辐射环境现状监测报告；

附件 5：本项目相关规章制度

表 1 项目基本情况

建设项目名称		宁夏医科大学总医院新增 1 台医用电子直线加速器项目			
建设单位		宁夏医科大学总医院			
法人代表	金群华	联系人	孙君	联系电话	13519576632
注册地址		宁夏银川市兴庆区胜利街 804 号			
项目建设地点		宁夏银川市兴庆区胜利街 804 号宁夏医科大学总医院肿瘤医院负一层放疗中心加速器四室			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	2750	项目环保 投资 (万元)	57	投资比例	2.07 (机房为预留机房)
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 <sup>2</sup> )	157
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	/		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 甲 <input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<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			
<p><b>1.1 项目概述</b></p> <p>1.1.1 建设单位情况</p> <p>宁夏医科大学总医院（以下简称建设单位）始建于 1935 年秋，位于宁夏银川市胜利街 804 号，是一家集医疗、教学、科研、预防保健等职能于一体、省内规模大、技术力量雄厚、医疗设备先进、专家队伍荟萃的综合性三级甲等医院。</p> <p>1.1.2 目的和任务的由来</p>					

为满足肿瘤患者的治疗需要，使患者摆脱投医难的困境，医院经过充分论证，在肿瘤医院负一层放疗中心加速器四室安装 1 台医用电子直线加速器用于放射治疗。本项目直线加速器模拟定位 CT 依托肿瘤医院一层放疗科现有的大孔径 CT 进行模拟定位。

根据《关于发布射线装置分类办法的公告》，本项目所使用的设备均为 II 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2018 年，生态环境部第 1 号令）和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017 年修改，部令第 47 号）规定，使用 II 类射线装置应当组织编制环境影响报告表，该报告表应报宁夏回族自治区生态环境厅审批。

因此，宁夏博尔特医疗测试研究院有限公司（以下简称评价单位）受宁夏医科大学总医院的委托，对肿瘤医院新增的 1 台医用电子直线加速器进行环境影响评价。接到委托后，我司相关人员对现场进行了调查和资料收集工作，并最终编写完成本项目的辐射环境影响报告表。

### 1.1.3 建设内容和规模

#### （1）项目概况

建设单位拟在肿瘤医院负一层放疗中心预留加速器机房内安装一台医用电子直线加速器，预留机房建筑及辅助用房总面积约 150 m<sup>2</sup>，本项目组成一览表见表 1-1。

表 1-1 本项目直线加速器机房建设项目组成一览表

类别	项目名称	建设内容	备注
主体工程	直线加速器四室	直线加速器机房净面积：71.88 m <sup>2</sup> ，净空尺寸为长 9.45m×宽 8.4m×机房净高度 3.7m； 迷道尺寸：净空尺寸为长 8.6m×宽 2.8m×机房净高尺寸 3.7m； 辐射防护屏蔽设计：西墙主屏蔽区厚度为 2.5m 混凝土浇筑，带宽 5.0m，次屏蔽区为 1.3m 混凝土浇筑，西墙长度 8.4m； 东墙主屏蔽区厚度为 2.5m 混凝土现浇，带宽为 5.0m，次屏蔽区为 1.3m 混凝土浇筑，东墙长度为 12.5m； 北墙为 1.3m 混凝土浇筑墙体； 南墙迷路内墙东侧为 0.9m 混凝土浇筑，迷路内墙西侧为 1.3m 混凝土浇筑，迷路墙体呈东窄西宽楔形； 南墙迷路外墙为 1.3m 混凝土浇筑； 机房顶层主屏蔽区为 2.5m 混凝土浇筑，带宽为 5m，次屏蔽区为 1.3m 混凝土浇筑； 机房门采用 20mm 铅板 50mm 含硼 PE 板外包不锈钢	机房为预留机房
	设备	拟安装设备为医科达（上海）医疗器械有限公司生产的 Infinity 型直线加速器系统，最大 X 射线能量为 10MV，最大电子线能量为 15MeV，属于 II 类射线装置。	新购置
辅助工程	控制室	控制室位于机房南侧，尺寸为 6.34m×4.25m	预留

	服务器机房	服务器机房位于机房南侧，控制室东侧，尺寸为 3.06m×4.25m	预留
	水冷机房	水冷机房位于服务器机房南侧，尺寸为 4.6m×3.7m	预留
	模拟定位室	模拟定位室位于肿瘤医院一层放疗科模拟定位机房	依托原有
公用工程	供配电系统	用电来源于市政供电，依托医院配电。	依托
	给水系统	依托医院给水管网，供工作人员生活及医疗用水。	依托
	排水系统	依托医院污水排水管网。	依托
环保工程	辐射防护	墙体、顶棚、地面采用混凝土等防护材料，防护门采取铅防护，保证机房满足辐射防护要求。	墙体利旧，防护门新安装
	污水处理	生活污水依托医院污水处理站处理后排至市政污水管网。	依托
	排风系统	隔断墙的两侧都分别设置了一个进风口和一个排风口 通风系统采用上进风下排风，排风口在地面，每小时约 6-8 次，通风口的位置要避开设备基础。	新建
	固体废物	生活垃圾依托医院生活垃圾收集系统收集后交由环卫部门统一处理，医疗废物统一交由有资质单位统一处理。	依托

### (2) 设备情况

本项目涉及的医用射线装置见表 1-2。

表 1-2 本项目设备详细信息表

射线装置名称	型号	生产厂家	主要参数	类别	安装位置	用途
医用电子直线加速器	Infinity	医科达(上海)医疗器械有限公司	①X 射线能量： 10MV, 6MV, 6MV ， FFF ② X 线剂量率 10MV, 600MU/min; 6Mv, 1400MU/min; 6MV, 600MU/min; ③电子线和剂量率 ： 6, 9, 12, 15MeV ， 600MU/min;	II类	肿瘤医院负一层放疗中心加速器四室	放射治疗

### (3) 劳动定员

根据建设单位提供资料，本项目为预留机房启用，沿用建设单位原放疗科工作人员，包括放射肿瘤医师 21 名，物理师 7 名，放射治疗技师 13 名，该项目开展后计划新增 2-3 名放射治疗技师。

### (4) 工作负荷

根据设备厂家提供及建设单位提供资料，本项目根据现有患者门诊量及医院实际情况预估，该台直线加速器启用后每天最多能治疗 100 人次，单次出束时间约为 3min，本项目直线加速器年累计出束时间见表 1-3。

表 1-3 医用电子直线加速器使用情况

工作模式	单次出束时间 (min)	年最大工作量 (次/年)	年累计出束时间 (h/a)
放射治疗	3	25000	1250

#### 1.1.4 评价目的

(1) 贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》及国家相关的法律、法规、规章和标准，积极推进生态环境保护行动。

(2) 对新增使用的辐射活动进行辐射环境影响分析，从而评价职业人员及公众人员在该项目使用过程中可能受到辐射照射及照射的程度。

(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) 为建设单位提出辐射防护的对策和建议，同时为生态环境部门对建设项目环境管理规定的审批提供依据，为建设单位项目建设和辐射安全日常管理提供技术支撑和参考。

#### 1.2 产业政策符合性分析

本项目为核技术在医学领域的运用。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），本项目属鼓励类第十三项“医药”中第五条“新型医用诊断医疗仪器设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

#### 1.3 实践正当性分析

建设单位新增医用电子直线加速器利用项目对提高肿瘤治疗水平具有重大意义，在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益，具有明显的社会效益，但在使用过程中会产生辐射影响，通过屏蔽体屏蔽后，对辐射工作人员和公众造成的附加有效剂量低于剂量管理限值要求。

综合考虑，本项目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，因此建设

单位新增医用电子直线加速器利用项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的要求。

#### 1.4 项目周边保护目标及场址选址

##### 1.4.1 项目位置

宁夏医科大学总医院位于宁夏银川市兴庆区胜利街 804 号，医院北侧为双怡苑小区，南侧为林华南巷及康怡园小区，西侧为水木清苑小区，东侧为胜利街，地理位置见图 1-1。



图 1-1 项目地理位置图

##### 1.4.2 周边环境关系

本项目肿瘤医院位于医院东北部，其东侧、南侧、西侧为道路及停车场；北侧为办公楼及停车场，其中距离最近的为内科楼 3 号楼，两栋楼的水平距离为 8.6 米，本项目直线加速器机房 50m 范围内建筑为西侧内科三号楼，北侧为国家医疗应急车队库房及西北侧居民楼等建筑。

##### 1.4.3 周边保护目标及选址

本项目直线加速器机房位于肿瘤医院负一层东北角，平面布局图如图 1-4 所示。直线加速器机房北侧、东侧为实土层，西侧为加速器三室（TOMO 机房），南侧为控制室及服务器机房。



图 1-2 医院周围四周关系图



图 1-3 该项目肿瘤医院负一层平面布局图

## 1.5 原有核技术利用项目许可情况

### 1.5.1 许可的核技术利用项目

建设单位现有核技术利用活动已取得《辐射安全许可证》，证书编号：宁环辐证[N0076]，许可种类和范围：使用Ⅲ类、Ⅳ类Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，获证日期为2021年12月1日，有效期至2026年11月30日（详见附件2）。宁夏医科大学总医院已许可的辐射活动种类和范围详见表1-4至表1-6。

表 1-4 宁夏医科大学总医院现有放射源

序号	核素	类别	总活度（贝可）/ 活度（贝可）×枚数	活动种类
1	Ge-68	V类	5.55E+7×1	使用
2	Cs-137	V类	3.33E+6×2	使用
3	Sr-90	V类	3.33E+9×1	使用
4	H-3	V类	3.70E+5×1	使用
5	Ir-192	Ⅲ类	3.70E+11×2	使用
6	Cs-137	V类	3.70E+5×1	使用
7	Cs-137	V类	3.7E+4×1	使用

表 1-5 宁夏医科大学总医院现有非密封放射性物质

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	活动种类
1	核医学科	乙级	N-13	1.11E+8	2.22E+12	生产；使用
2	核医学科	乙级	C-11	9.25E+7	4.44E+11	生产；使用
3	核医学科	乙级	Sr-89	7.40E+7	2.22E+12	使用
4	核医学科	乙级	Sm-153	1.11E+9	3.33E+12	使用
5	核医学科	乙级	I-131	1.85E+9	5.55E+12	使用
6	核医学科	乙级	Tc-99m	1.85E+8	5.55E+13	使用
7	核医学科	乙级	I-125	7.40E+5	2.22E+10	使用
8	核医学科	乙级	I-125（粒子源）	9.25E+6	4.44E+11	使用
9	核医学科	乙级	F-18	3.7E+8	7.4E+12	生产；使用

表 1-6 宁夏医科大学总医院现有射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所
1	单光子发射断层型电子计算机断层扫描仪	Symbia T	Ⅲ类	核医学诊断	总医学核医学楼三楼
2	单光子发射断层型电子计算机断层扫描仪	NM 670 Pro	Ⅲ类	核医学诊断	总医学核医学楼三楼
3	PET/CT	Discovery VCT	Ⅲ类	核医学诊断	总医学核医学楼一楼
4	回旋加速器	HM-10	Ⅱ类	正电子放射性药品制备	总医学核医学楼一楼
5	医用电子直线加速器	PRECISE	Ⅱ类	放射治疗	肿瘤医院负一层放疗中心
6	医用电子直线加速器	Clinac-IX	Ⅱ类	放射治疗	肿瘤医院负一层放疗中心

7	TOMO 螺旋断层放射治疗系统	Radixact Treatment Delivery Systes	II类	放射治疗	肿瘤医院负一层放疗中心
8	大孔径模拟定位 CT 机	Somatom Sensation OPEN	III类	放射治疗模拟定位装置	肿瘤医院一层模拟定位室
9	DSA	Azurion 7M12	II类	介入诊断及治疗	总医院内科楼心脏中心一楼
10	DSA	Azurion 7M12	II类	介入诊断及治疗	总医院内科楼心脏中心一楼
11	DSA	Innova3100	II类	介入诊断及治疗	心脑血管病医院一楼
12	DSA	Innova3100-IQ	II类	介入诊断及治疗	心脑血管病医院五楼
13	DSA	Innova3100-IQ	II类	介入诊断及治疗	总医院内科楼心脏中心一楼
14	DSA	FD-10	II类	介入诊断及治疗	心脑血管病医院一楼
15	DSA	DTA FD20	II类	介入诊断及治疗	总医院外科楼 1 楼
16	DSA	Aritis dta	II类	介入诊断及治疗	总医院外科楼 1 楼
17	DSA	DTA FD20	II类	介入诊断及治疗	总医院内科楼心脏中心一楼
18	口腔 X 线高频牙片机	THOPHY	III类	口腔 X 射线诊断	口腔医院放射科
19	口腔头颅全景 X 光机	OC2000	III类	口腔 X 射线诊断	口腔医院放射科
20	口内 X 射线机	FCOUS	III类	口腔 X 射线诊断	口腔医院放射科
21	口腔 X 射线体层摄影设备	New Tom VGI	III类	口腔 X 射线诊断	口腔医院放射科
22	口内 X 射线机	FCOUS	III类	口腔 X 射线诊断	口腔医院放射科
23	16 排 CT	Brilliance CT 16	III类	X 射线诊断	口腔医院放射科
24	64 排 CT	Discover 750HD	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院放射科
25	64 排螺旋 CT	beinition	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院放射科
26	16 排螺旋 CT	Brightspeed	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院放射科
27	16 排螺旋 CT	Lightspeed	III类	X 射线诊断	肿瘤医院放射科
28	16 排螺旋 CT	Brightspeed	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科
29	256 排 CT	balance ict	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科
30	64 排 (128 层) CT	Incisive CT	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科
31	双能骨密度测定仪	OSTEOCRE	III类	X 射线诊断	口腔医院放射科骨密度室
32	双能骨密度测定仪	OSTEOCORE	III类	X 射线诊断	口腔医院放射科体检中心

33	双能骨密度测定仪	IDXA	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院放射科
34	骨密度仪	OSTEOCORE	III类	X 射线诊断	肿瘤医院放射科二楼
35	钼靶乳腺机	SenoGraphe DS	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院一层放射科
36	钼靶 X 射线机	XR seno DS	III类	X 射线诊断	肿瘤医院一层放射科
37	DR	Discovery XR650	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院一层放射科
38	移动式 X 光机 (移动 DR)	Mux-100DJ	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院一层放射科
39	数字胃肠机	SONIALVIS10N safire117	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院一层放射科
40	DR	Discovery XR650	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院一层放射科
41	DR	Digital diagnost	III类	X 射线诊断	口腔医院放射科
42	DR	Discovery 650	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院一层放射科
43	DR	DRX-Revduction	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科二楼
44	DR	GMM	III类	X 射线诊断	总医院急诊楼放射科
45	DR	Digital diagnost	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科二楼
46	DR	Revduction	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科二楼
47	DR	飞天 6000	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科二楼
48	DR	Digital diagnost	III类	X 射线诊断	总医院外科楼放射科
49	DR	Digital diagnost	III类	X 射线诊断	总医院急诊楼放射科
50	DR	FX-plusAxiomaritos	III类	X 射线诊断	肿瘤医院一层放射科
51	床旁 X 光机 (移动 DR)	Optima XR220amx	III类	X 射线诊断	总医院急诊楼三楼手术室
52	床旁 X 光机 (移动 DR)	Optima XR220amx	III类	X 射线诊断	总医院外科楼五楼手术室
53	移动 DR	Optima XR240MX	III类	X 射线诊断	总医院外科楼呼吸科
54	移动 X 光机 (G 型臂)	BIPLANAR 500+	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射手术室
55	移动 X 光机 (G 型臂)	BIPLANAR 500+	III类	X 射线诊断	心脑血管病医院五楼防辐射手术室
56	移动 X 光机 (G 型臂)	BIPLANAR 500+	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射手术室
57	移动 X 光机 (G 型臂)	BIPLANAR 500	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射手术室
58	移动 X 光机 (C 型臂)	德国奇目	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射手术室
59	移动 X 光机 (C 型臂)	德国奇目	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射手术室
60	移动 X 光机 (C 型臂)	OEC fluorostar Compact	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射手术室
61	移动 X 光机 (C 型臂)	HMC-100	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射手术室

62	移动 X 光机 (C 型臂)	HMC-100	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射 手术室
63	移动 X 光机 (C 型臂)	PLX-112E	III类	X 射线诊断	总医院外科楼防辐射 手术室
64	ERCP	Easy diagnost Eleva	III类	X 射线诊断	内科楼一楼
65	128 排 CT	Revolution CT ES	III类	X 射线诊断	总医院急诊楼一楼放射科
66	512 层 CT	Revolution CT	III类	X 射线诊断	总医院外科楼一层放射科
67	数字胃肠机	Sonialvision 80	III类	X 射线诊断	总医院外科楼二层放射科
68	数字胃肠 X 光机	AXIMICONOS R200	III类	X 射线诊断	总医院外科楼二层放射科

### 1.5.2 辐射安全管理现状

#### (1) 辐射工作人员个人剂量检测结果

建设单位已为现有辐射工作人员配备了个人剂量计，委托宁夏疾病预防控制中心进行监测，并按要求建立个人剂量档案，由预防保健科统一管理，监测状况良好。

#### (2) 核技术工作场所及外环境监测报告

建设单位每年委托有资质单位进行工作场所及周边环境年度监测，根据建设单位提供资料，医院工作场所及周边环境检测结果良好，对超出标准限值要求的场所建设单位进行了整改并进行了复测。

#### (3) 辐射安全管理机构及辐射制度

建设单位已按照相关标准要求，以正式文件成立了辐射安全防护领导小组，由建设单位主管领导作为领导小组组长，由主管院长为副组长、设备科、医务处、质控办、核技术利用涉及科室负责人及相关科室负责人为成员，作为组员，并明确了机构成员以及职责。医院已制定了《辐射安全与环境保护管理委员会》《宁夏医科大学总医院辐射安全与环境保护管理委员会人员组成及工作职责》《辐射安全管理质量保证和质量控制体系》等规章制度，其中较为详细的规定了射线装置许可与申报、放射工作场所防护和设备性能检测、放射工作人员管理、放射工作人员职业健康监护、个人剂量监测管理、放射防护培训制度、个人防护用品发放的使用及管理、医院放射防护档案管理等具体要求。医院已针对可能发生辐射事故类型，制定了《宁夏医科大学总医院辐射事故处理应急预案》。

#### (5) 防护用品、监测仪器配备情况

医院已根据现有的核技术利用项目应用规模，配备铅衣、铅眼镜、铅围裙等防护设备，并为相关科室配备了个人剂量报警仪和 X、 $\gamma$  辐射检测仪，表面污染仪等监测设备，用于辐射工作人员、患者或受检者的辐射防护。

#### (6) 辐射工作人员培训

医院现有辐射工作人员、直接辐射管理人员于 2021 年分别参加宁夏回族自治区核与辐射安全中心与医院自行组织的核与辐射防护培训并取得辐射安全与防护培训合格证书。（详见附件 3）

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》(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	1	Infinity	电子	X 射线: 10MV 电子线: 15MeV	10MV 600MU/min; 6MV 1400MU/min; 电子线: 600MU/min	放射治疗	肿瘤医院负一楼放疗中心加速器四室	/

(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 ( $\mu$ 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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等	固态	/	/	/	/	/	不暂存	委托有资质的单位处理

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<sup>3</sup>；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<sup>3</sup>) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>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）；</li> <li>2. 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日起施行）；</li> <li>3. 《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）；</li> <li>4. 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令 第 682 号，2017 年修改，2017 年 10 月 1 日起施行）；</li> <li>5. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）（2021 年 1 月 1 日起施行）；</li> <li>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《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令 第 709 号）修订，（2019 年实施））；</li> <li>7. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年，国家环境保护总局令 第 31 号，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 第 3 号修改，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 第 47 号修改，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 第 7 号修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 第 20 号修改）；</li> <li>8. 《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，2011 年 5 月 1 日起施行）；</li> <li>9. 《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令 第 55 号，2007 年）；</li> <li>10. 《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公告，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起实施）；</li> <li>11. 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，2006.9.26）；</li> <li>12. 《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》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日，2020 年 1 月 1 日起施行）；</li> <li>13. 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号）；</li> <li>14. 《生态环境部建设项目环境影响报告书（表）审批程序规定》（生态环境部，部令</li> </ol>
------------------	---

	<p>14号，2020年11月23日，2021年1月1日起实施）；</p> <p>15. 《宁夏回族自治区辐射污染防治办法》（2019年2月1日）。</p>
<b>技术标准</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>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）；</li> <li>2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</li> <li>3. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</li> <li>4. 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；</li> <li>5. 《医学放射工作人员放射防护培训规范》（GBZ/T 149-2015）；</li> <li>6. 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）；</li> <li>7. 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</li> <li>8. 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）</li> <li>9. 《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）；</li> <li>10. 《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）</li> <li>11. 《放射治疗质量控制基本指南》（NCC/T-RT 001-2017）；</li> <li>12. 《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》。</li> </ol>
<b>其他</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 环境影响评价委托书；</li> <li>2. 建设单位提供的人员证书、规章制度等其他资料；</li> <li>3. 宁夏医科大学总医院提供的相关图纸；</li> <li>3. 宁夏医科大学总医院提供的其他技术资料；</li> <li>5. 《辐射防护手册》（第一分册—辐射源与屏蔽）（李德平、潘自强主编）；</li> <li>6. 《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》（中国辐射卫生，2021年10月第30卷第5期）。</li> </ol>



## 表 7 保护目标和评价标准

### 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格式和内容》(HJ10.1-2016)中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的要求，并结合本项目实际情况，确定本项目辐射评价范围：以直线加速器机房墙外 50m 的范围。

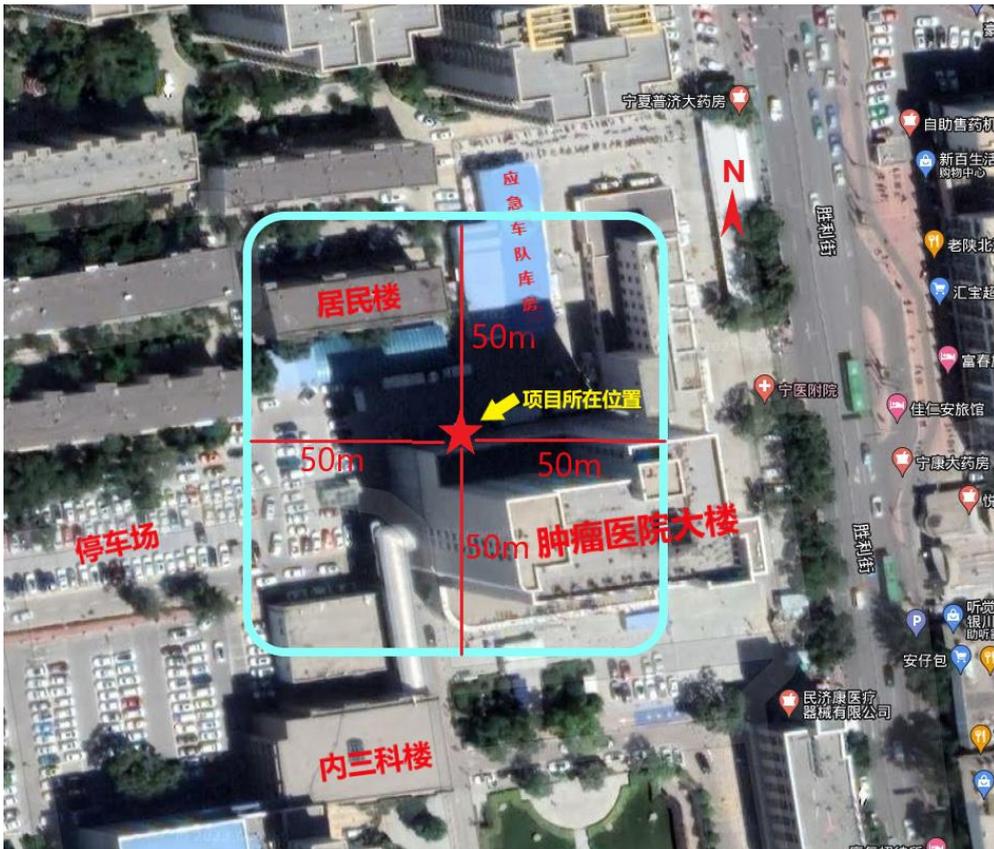


图 7-1 本项目环境影响评价范围示意图

### 7.2 保护目标

本项目预留加速器机房东侧北侧皆为实土层、西侧为加速器三室 (TOMO 机房)，南侧为控制室，楼上为地面空地，楼下为实土层。机房周围布局图如图 7-2 所示。

预留加速器机房位于地下一层实体屏蔽物边界外 50m 区域内不涉及学校等环境保护敏感点，结合本项目评价范围，确定本项目环境保护目标是从事该项目辐射工作的医务人员及辐射工作场所周围 50m 范围内活动的公众人员。本项目环境保护目标如表 7-1 所示。

表 7-1 直线加速器机房主要环境保护目标一览表

保护目标	方位	场所	主要保护目标	距辐射源最近距离	人口规模	年剂量约束值

职业人员	南侧	操作间	操作间技师	9.6m	1~3人	≤5mSv
公众	南侧（负一层）	楼梯间	医护人员及患者	14.5m	约200人次/天	≤0.1mSv
		水冷机房	操作技师	18m	1~2人	
		其他房间	医护人员及患者	21.7m~50m	约500人次/天	
	南侧（一层）	放疗科及肿瘤医院门诊大厅	医护人员及患者	6.5m~45m	约1500人次/天	
		楼外空地及停车场	医护人员、患者及行人	45m~50m	约3000人次/天	
	北侧（一层）	室外空地	医护人员、患者及行人	6.5m~20m	约500人次/天	
		居民楼	居民	35~50m	约20人	
	西侧（负一层）	TOMO 机房	患者及摆位技师	7.1m~15m	约60人次/天	
		直线加速器2室	患者及摆位技师	16m~24m	约100人次/天	
	西侧（一层）	停车场及道路	医护人员、患者及行人	6.5m~50m	约1500人次/天	
东侧（一层）	放疗科及肿瘤医院门诊大厅	医护人员、患者及患者家属	8.3m~50m	约1500人次/天		
楼上	空地	医护人员及患者	7.2m	约500人次/天		

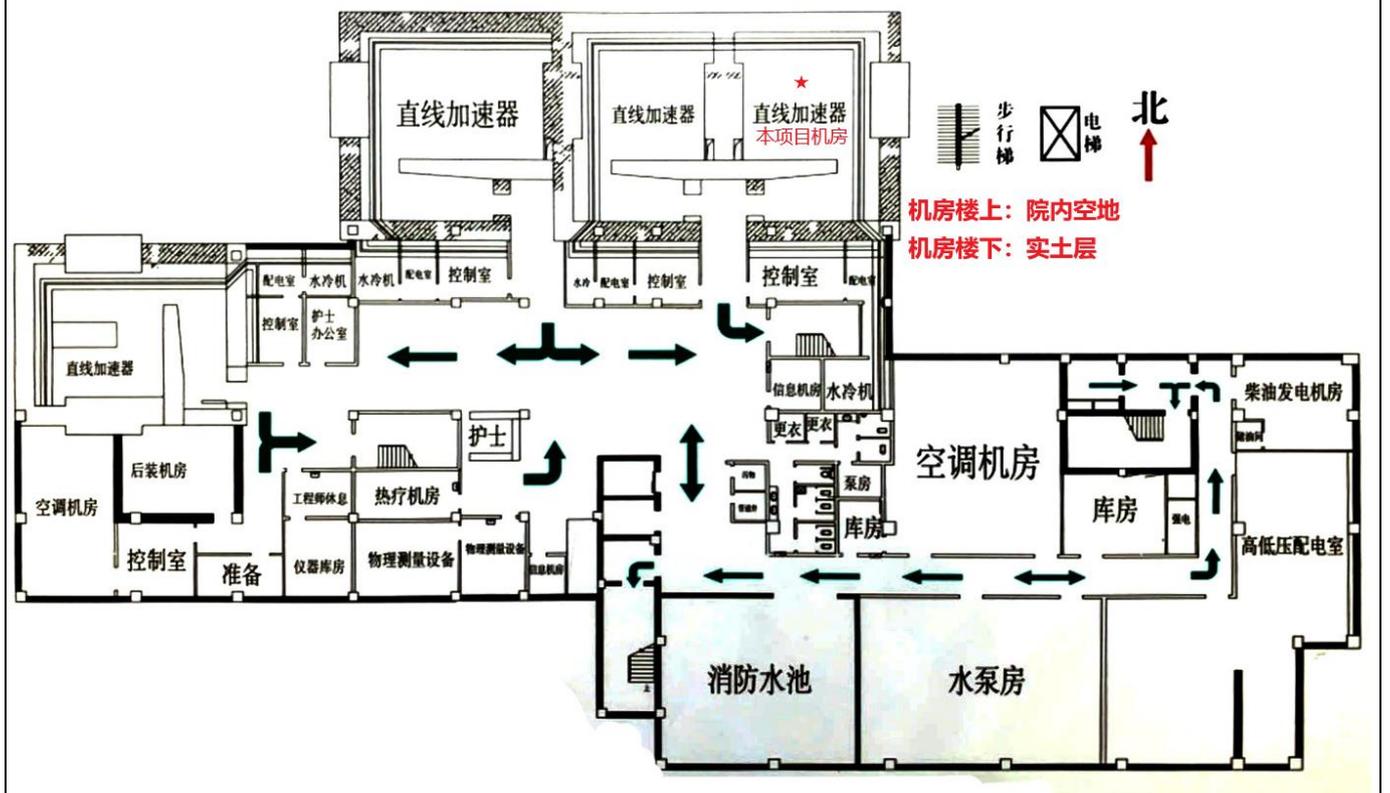


图 7-2 医用电子直线加速器机房周围布局图

### 7.3 评价标准

#### 7.3.1 剂量限值及剂量管理约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规定，以及根据本项目特点并遵循辐射防护最优化原则，从事本项目辐射工作人员和公众的年剂量限值及剂量管理约束值见表 7-2。

表 7-2 剂量限值及剂量管理约束值

适用范围	职业照射	公众照射
剂量限值	20mSv/a	1mSv/a
医院剂量管理约束值	5mSv/a	0.1mSv/a

#### 7.3.2 辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中的相关规定，本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7-3。

表 7-2 本项目辐射工作场所屏蔽体外周围剂量当量率控制水平

关注点	点位描述	辐射类型	$\dot{H}_c$ ( $\mu$ Sv/周)	$t$ (h)	使用因子 U	居留因子 T	$\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu$ Sv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ ( $\mu$ Sv/h)	$\dot{H}_c$ ( $\mu$ Sv/h)
a	西墙外 30cm 处 (TOMO 机房)	初级	100	25	1	1/2	8.00	10	8.00
c <sub>1</sub>	西墙外 30cm 处 (TOMO 机房)	初级	100	25	1	1/2	8.00	10	8.00
c <sub>2</sub>	西墙外 30cm 处 (TOMO 机房)	初级	100	25	1	1/2	8.00	10	8.00
l	机房楼上 30cm 处 (楼上空地)	初级	5	25	1	1/40	8.00	10	8.00
m <sub>1</sub>	机房楼上 30cm 处 (楼上空地)	初级	5	25	1	1/40	8.00	10	8.00
m <sub>2</sub>	机房楼上 30cm 处 (楼上空地)	初级	5	25	1	1/40	8.00	10	8.00
f	控制室操作位	初级	100	25	1	1	4.00	2.5	2.50
k	南墙迷路外墙外 30cm (服务器机房)	初级	100	25	1	1	4.00	2.5	2.50
g	机房门外 30cm 处 (疏散通道)	初级 散射	5	25	1	1/8	1.60	10	1.60

注：1. 本项目根据标准要求结合医院提供工作量对周围剂量当量率控制水平进行计算，计算方法详见第 11 章，11.2 节；

2. 出于保守考虑，在人员可到达区域，剂量率参考控制水平大于 2.5 $\mu$ Sv/h 时，仍取 2.5 $\mu$ Sv/h。

### 7.3.3 机房选址、布局要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗机房选址与布局要求如下：

#### 5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗机房选址与布局要求如下：

#### 6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； $\gamma$ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

#### 7.3.4 空间与通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗机房通排风要求如下：

8.4.1 放射治疗机房内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗机房空间和通风要求如下：

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在

治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

### 7.3.5 放射治疗机房辐射安全要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗机房安全设施和措施要求如下：

#### 6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于10MV的X射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

#### 6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施：

a) 放射治疗室应设置门—机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自

动回源措施；

b) 放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

f) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何连锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗机房安全装置和警示标志要求如下：

### 6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

## 6.4 安全装置和警示标志要求

### 6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

### 6.4.2 连锁装置

放射治疗设备都应安装门机连锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

### 6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；

b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

### 6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向

的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

#### 6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

#### 7.3.6 操作的辐射安全与防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射源操作的辐射安全与防护要求如下：

7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗操作中的放射防护要求如下：

7.1 对于高于10MV射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。

7.4 工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

#### 7.3.7 其他要求

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于场所分区的要求

6.4 应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

##### 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。

6.4.1.2 确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

#### 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。

(2) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的管理要求

#### 4.1 管理要求

4.1.1 开展放射治疗的医疗机构应对放射工作人员、患者和公众的防护与安全负责，主要包括：

a) 放射治疗工作场所的布局、机房的设计和建造；

b) 配备与工作相适应的、结构合理的专业人员；

c) 根据 GBZ128 开展工作人员个人剂量监测和建立个人剂量监测档案；

d) 对放射工作人员所受的职业照射加以限制，使其符合 GB 18871 对工作人员的职业照射剂量限值的规定；

e) 根据 GBZ235 开展放射工作人员职业健康检查和建立职业健康监护档案；

f) 制定人员培训计划，对人员的专业技能、放射防护知识和有关法律知识进行培训，使之满足放射工作人员的工作岗位要求；

g) 配置与放射治疗工作相适应的治疗设备、质量控制设备、监测设备及防护设施，采取一切合理措施预防设备故障和人为失误；

h) 制定并落实放射防护管理制度、实施放射治疗质量保证大纲，采取合理和有效的措施，将可能出现的故障或失误的影响减至最小；

i) 制定相应的放射事故应急预案，应对可能发生的事件，宣贯该预案并定期进行演练。

4.1.2 应将放射治疗可能产生的风险告知患者。

#### 4.2 正当性要求

4.2.1 在放射治疗给患者所带来的利益大于可能引起的放射危害时，放射治疗才是正当的。

4.2.4 在放射治疗实践中，通常应对个体患者（特别是对于已怀孕的患者或儿科患者）进行

放射治疗的正当性判断，主要包括：

- a) 治疗的适当性；
- b) 治疗的紧迫性；
- c) 可能引起的并发症；
- d) 个体患者的特征；
- e) 患者以往接受放射治疗的相关信息。

## 8.2 治疗机房放射防护常规检测

应定期开展治疗机房放射防护常规检测，定期检测的周期为一年。

### (3) 辐射监测要求

#### 9.1 监测管理

9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。

9.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。

#### 9.2 放射治疗工作场所监测

9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对放射工作场所的辐射水平（X- $\gamma$  辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。

9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- $\gamma$  辐射周围剂量当量率监测；

9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。

#### 9.3 环境监测

9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

#### 9.4 个人剂量监测

9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。

9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。

#### (4) 应急处理要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗应急处理要求如下：

##### 9.1 应急预案的编制及要求

应制定放射治疗事件或事故应急预案。

##### 9.2 异常照射事件的应急处理

###### 9.2.1 以下情况为异常照射事件：

a) 任何剂量或剂量的分次给予与执业医师处方明显不同；

b) 任何治疗设备故障、事故、操作错误或受到其他非正常照射导致患者受照与预期明显不同的情况。

###### 9.2.2 对异常照射事件的调查和处置应包括下述内容：

a) 估算患者接受的剂量及其在体内的分布；

b) 立即实施防止此类事件再次发生所需的纠正措施；

c) 实施所有相关责任人自己负责的所有纠正措施；

d) 在调查后，尽快向监管机构提交一份书面报告，说明事件原因并包括 a)~c) 的相关资料

e) 将事件的有关情况告知患者。



## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理位置和场所位置

宁夏医科大学总医院位于银川市兴庆区胜利街 804 号，医院地理坐标为东经  $106^{\circ} 16' 37''$ ，北纬  $38^{\circ} 25' 59''$ ，项目地理位置见图 1-1。

医院整体布局图如图 1-2 所示。肿瘤医院位于医院东北侧，其东侧、南侧、西侧为道路及停车场；北侧为办公楼及停车场，其中距离最近的为内科楼 3 号楼，两栋楼的水平距离为 8.6 米，本项目直线加速器机房 50m 范围内建筑为西侧内科三号楼，北侧国家医疗应急车队库房及西北侧居民楼等。

本项目直线加速器机房位于肿瘤医院负一层放疗中心，加速器机房东侧、北侧均为实土层、西侧为加速器三室（TOMO 机房），南侧为控制室及信息机房，迷道位于机房南侧，为直迷道，机房周围布局详见图 7-2 所示。

### 8.2 辐射环境现状监测

#### 8.2.1 监测因子

本项目机房环境地表  $\gamma$  辐射剂量率（检测报告见附件 4）

#### 8.2.2 监测时间及环境条件

监测时间：2023 年 06 月 20 日

环境条件：环境温度  $30.1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 36.4%，晴

#### 8.2.3 监测方法

本次环境辐射剂量率监测严格按照《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的相关要求进行监测。

#### 8.2.4 监测仪器

辐射环境检测使用的仪器信息详见表 8-1。

表 8-1 本项目辐射环境检测使用的仪器基本信息

仪器名称	便携式 X、 $\gamma$ 辐射测量仪
型号	RJ38-3602F
生产厂家	上海仁机仪器仪表有限公司
参数	剂量率：0.01-600.00 $\mu\text{Sv/h}$ 累积剂量：0.00 $\mu\text{Sv}$ ~9999.99 $\mu\text{Sv}$ 能量范围：30keV~3MeV 能量响应：30keV~3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 $^{137}\text{Cs}$ ）
检定信息	检定单位：上海市计量检测技术研究院 检定证书编号：2022H21-20-3975791001 有效期：2022 年 07 月 08 日~2023 年 07 月 07 日

### 8.2.5 质量控制

(1) 监测仪器符合《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)中相关规定,并经过上海市计量检测技术研究院,且在有效期内;

(2) 检测仪器符合《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)《环境辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157—2021)中的相关规定,并经过上海市计量测试技术研究院检定,每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常;

(3) 合理布设监测点位,保证各监测点位布设的科学性和代表性。

### 8.2.6 监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)、《环境辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157—2021),结合实际情况,主要监测该项目加速器机房及周围的辐射环境本底值,本项目监测布点图见图8-1。



图8-1 加速器四室监测布点图

### 8.2.7 监测结果

加速器四室及周围辐射环境本底监测结果分布见表8-1。

表8-1 加速器四室工作场所辐射水平检测结果

检测点编号	检测地点	$\gamma$ 辐射空气比释动能率±标准差 (nGy/h)	$\gamma$ 辐射周围剂量当量率±标准差 (nSv/h)
1#	预留加速器机房内	75.7±3.2	90.9±3.2
2#	加速器控制室内	80.3±3.9	96.4±3.9
3#	候诊大厅	90.4±2.5	108.5±2.5
4#	加速器三室内	92.0±2.8	110.4±2.8
5#	机房正上方空地	73.5±5.5	88.1±5.5
6#	一层大厅中间	93.6±3.9	112.3±3.9
7#	肿瘤医院楼前空地	73.8±5.0	88.5±5.0

注：1. 监测结果已扣除测点处宇宙射线响应值，该仪器在该测量点对宇宙射线的响应值为 16.3nGy/h (N38° 26' 9" , E106° 16' 42" , 海拔 1114m)；

2. 取值说明：本项目检测设备校准因子  $K_1=0.98$ , 设备无检验源, 效率因子  $k_2=1$ , 1#、2#、3#、4#、6#点位建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子  $k_3$  取 0.8, 5#、7#建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子  $k_3$  取 1.0, 检测仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定辐射源, 换算系数取 1.2Sv/Gy；

3. 每个检测点测量 10 个数据取平均值并计算。

综上：本项目直线加速器机房周围 1#、2#、3#、4#、6#点位室内监测点位的环境  $\gamma$  辐射剂量率在 (75.7±3.2) nGy/h 至 (93.6±3.9) nGy/h 之间, 5#和 7#室外监测点位的环境  $\gamma$  辐射剂量率为 (73.5±5.5) nGy/h 至 (73.8±5.0) nGy/h 之间。根据《全国环境天然贯穿辐射水平调查研究(1983-1990)》，宁夏地区的室内  $\gamma$  辐射剂量率水平为 62.3-137.8nGy/h, 宁夏地区的原野  $\gamma$  辐射剂量率水平为 38.8-87.6nGy/h。由此可知项目所在地的环境  $\gamma$  辐射剂量率在当地环境本底水平范围内。



表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备与工艺分析

9.1.1 医用电子直线加速器的工程设备与工艺分析

设备组成：医用电子直线加速器通常由五大系统构成，分别是加速系统、应用系统、剂量监测系统、控制系统以及恒温水冷却系统，具体包括加速管、脉冲调制器、电子枪、微波系统、真空系统、稳频、温控及充气系统、射线束引出系统、治疗头、治疗床等。

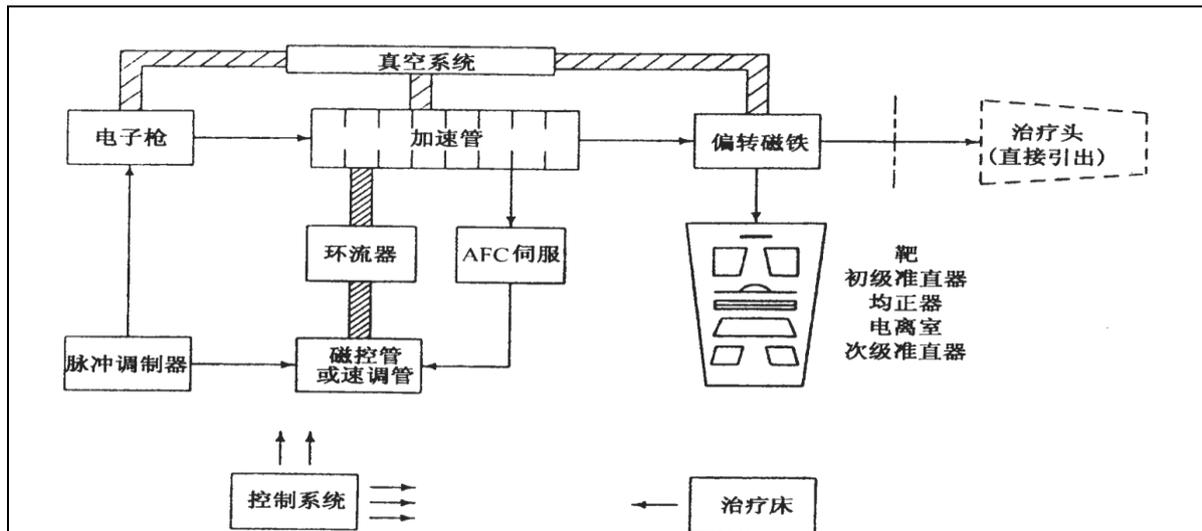


图 9-1 典型医用直线加速器机内部结构示意图

1) 电子枪

电子枪是产生、加速及会聚高密度电子束流的装置，它发射出具有一定能量、一定束流以及速度和角度的电子束。电子枪是电子发射系统的核心器件，电子束参数的好坏直接影响到加速管质量的高低。加速管对电子枪除要求其发射的电子束必须具有很好的层流外，还要求其发射的电子注具有一定的注入流强、注入电压、足够的射程以及一定的注入角和注腰半径等。

2) 微波系统

微波系统由微波功率源和微波传输系统组成。微波源提供加速管建立加速场所需的射频功率，作为微波源使用的有磁控管和速调管。

3) 稳频、温控及充气系统

微波系统的附属系统有自动稳频系统，自动温控系统和波导充气系统。微波自动稳频系统是为了协调微波源与加速管之间电磁振荡频率一致的重要环节。自动控温系统也是医用电子直线加速器中重要的组成部分，因为在医用电子直线加速器中，有许多的部件在工作时都要发出不同的热量，

而这些部件只有在恒温条件下才能保证稳定工作。温度控制方式一般采用水循环强制冷却自动恒温系统。波导充气系统是指给微波传输系统充以一定压强的特定气体的一套装置。充气的目的是增加波导管内气体分子的密度，以缩短气体分子的平均自由程，从而提高波导管的击穿强度阈值。防止微波功率传输时可能发生的波导管内打火现象。

#### 4) 束流传输系统

束流传输系统是为了电子在加速过程中的束流聚焦、束流导向和束流偏转移除而设置的自动控制系统。它可分为聚焦系统、导向系统和偏转系统三部分。

#### 5) 真空系统

真空系统可以保持电子运动区域和加速管内的高度真空状态，一方面可以防止灯丝氧化，另一方面可以避免加速管内放电击穿，还可以减少电子与残余气体的碰撞损失。

#### 6) 高压脉冲调整系统

在使用微波电场加速电子的加速器中，为了得到尽可能高的加速电场，瞬时微波功率很大，达到 MW 量级，因此微波源都是脉冲工作的。脉冲调制器是向这种微波源提供脉冲功率的电源，其工作原理是利用储能放电的原理形成高压脉冲，经脉冲调制器将该电压进一步放大后供微波功率源使用。

#### 7) 辐射系统

辐射系统的作用是按照需要对电子束进行 X 射线转换和均整输出，或直接均整后输出电子射线，并对输出的 X 线或电子射线进行实时监测和限束照射。

#### 8) 剂量监测系统

剂量监测系统由剂量监测电离室、剂量监测电路组成。剂量监测仪是永久性安装在加速器里的透射电离室剂量仪。电离室位于辐射系统之内，安装在均整滤过器或散射箔与光子线的次级准直器之间，由若干片极片构成，其中有两对用于监测辐射野内相互垂直的两个方向的均整度，有一片用于监测辐射的能量变化，有两片用于检测辐射的吸收剂量。

#### 9) 机械系统

机械系统是医用电子直线加速器的支撑机构，由基座、旋转机架、辐射头、治疗床等结构组成。

#### 10) 控制系统

控制系统由以下几部分组成：①各种电源。②连锁保护：包括水流、水温、水压、高压过载、微波功率源打火等各种保护。③自动控制：包括自动频率控制、自动剂量率控制、自动均整度控制、

自动楔形过滤器控制、弧形旋转控制等。④正常治疗的程序控制：包括待机、预置、准备、出束、晨检等几种状态的程序控制。⑤安全连锁：保证设备安全的安全连锁、控制射线的安全连锁等。⑥安全接地和干扰屏蔽：电屏蔽、磁场屏蔽、电磁屏蔽等。

本项目拟安装设备参数见表 9-1 所示，本项目拟安装设备如图 9-2 所示。

表 9-1 本项目拟安装直线加速器主要参数

加速器主机	型号	Infinity
	加速粒子	电子
	X 射线能量	10MV, 6MV, 6MVFFF
	X 射线剂量率	10MV, 600MU/min; 6MV, 1400MU/min; 6MVFFF600MU/min
	电子能量	6MeV, 9MeV, 12MeV, 15MeV
	电子线剂量率	600MU/min
	等中心照射野	40cm×40cm
	等中心距地面距离	124cm
	X 射线漏射率	≤0.1%
	有用线束最大张角	28 度
	源轴距	100cm
	机架旋转角度	360°
	半影区	7mm (附加条件: 10X10cm 射野, 标准条件下测量)
	有用射线束距靶 1m 处剂量率	6Gy/min
	辐射泄漏射线束在距靶 1m 处剂量率	0.06Gy/min

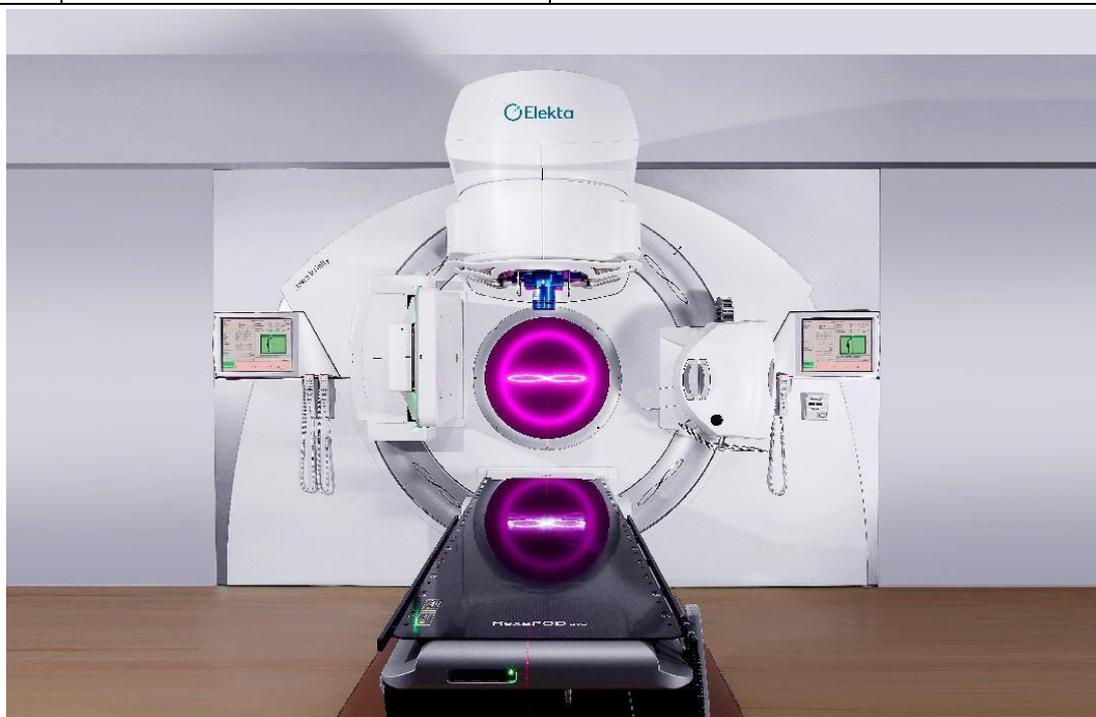


图 9-2 本项目拟安装直线加速器外观图

## (2) 直线加速器工作原理

医用电子加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。三相市电通过调压器和高压电源转变成高压直流电，并被输出到脉冲调制器，对脉冲形成网络充电。在触发脉冲的作用下，脉冲形成网络通过脉冲变压器的初级绕组放电，在次级产生一个具有确定宽度和幅度的高压脉冲，加到磁控管和加速管。加到磁控管的脉冲用来激励磁控管，产生微波功率，通过大功率微波传输系统进入驻波加速管，加到加速管的脉冲用来使电子枪产生具有一定初速度的电子。驻波加速管是由一系列微波谐振腔组成，电子和微波被送入加速管后，在驻波谐振腔内，微波能量建立起很强的电场梯度，电子经过谐振腔时会逐渐加速成能量达几 MeV 的电子束，电子束撞击靶，产生 X 射线。产生的 X 射线束被初级准直锥、均整过滤器和光阑准直成可以用来进行放疗的射线束，如将异形块或楔形块放在射线通道上，可选择性的吸收和衰减射线，以满足特殊的需要，辅以多叶光栅和立体定向治疗装置等，还可以进行精确放疗。医用直线加速器的电子枪产生的电子由微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。经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的高能射线，再通过监测电离室和二次准直器限束，到达患者病灶，实现治疗目的。医用电子直线加速器可以产生 X 辐射和(或)电子辐射束。高能 X 射线具有高穿透性、较低的皮肤剂量、较高的射线均匀度等特点，适用于治疗深部肿瘤。电子束具有一定的射程特性，穿透能力较低，用来治疗浅表肿瘤。典型医用电子加速器见图 9-3 所示。

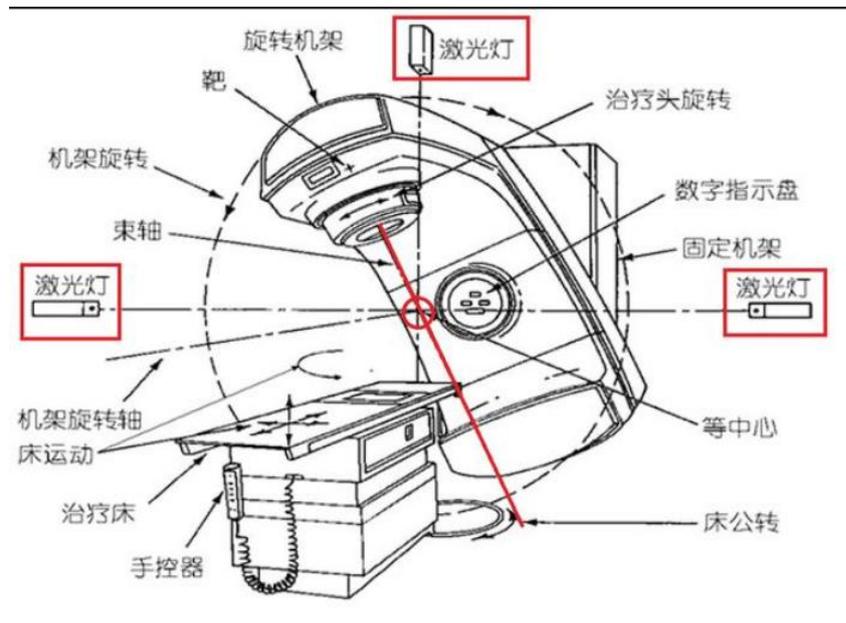


图 9-3 典型医用电子加速器示意图

(3) 医用电子直线加速器操作流程及产生污染节点

- 1) 病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记；
- 2) 预约病人首先在放疗科原有模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，模拟定位扫描时工作人员隔室操作；
- 3) 将图像通过网络传输入 TPS，对图像进行登记，根据图像上的定位标记，确认病人坐标系；
- 4) 勾画人体外轮廓和各种组织轮廓，参照诊断影像勾画 GTV、CTV 和危险器官的轮廓；
- 5) 根据经验选择射线和射野方向，尽量避开危险器官，依据 BEV 和 DRR 设计挡铅；
- 6) 依据肿瘤部位选择计算模型，调整楔形滤片方向和角度，使用组织补偿材料等，使剂量分布符合 ICRU 的有关规定，确保危险器官剂量在安全范围；
- 7) 使用 DVH 等工具，对计划进行评估，寻找高剂量区，尽量使其不在 CTV 外，必要时修改挡铅位置。
- 8) 治疗计划制定后，进行放疗计划验证，经放疗医师、放疗物理师签字确认；
- 9) 肿瘤病人在放射技师的协助下，依据计划在治疗床上进行摆位，确定照射位置和面积，该过程在治疗机房治疗床上完成；
- 10) 摆好位后，放射技师离开机房，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射；
- 11) 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。工作流程图及产污节点详见图 9-4。

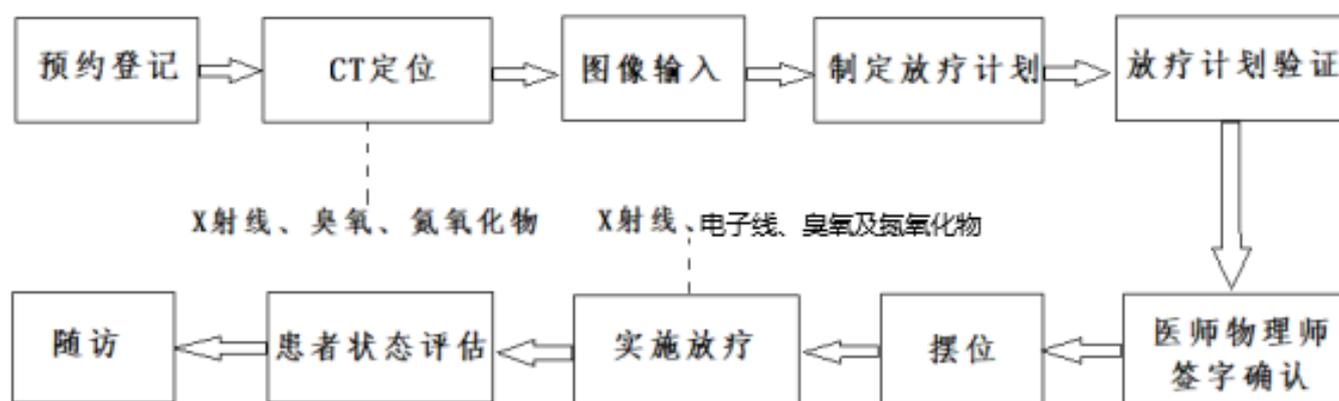


图 9-4 直线加速器放射治疗工作流程图

#### (4) 直线加速器机房人员路径规划

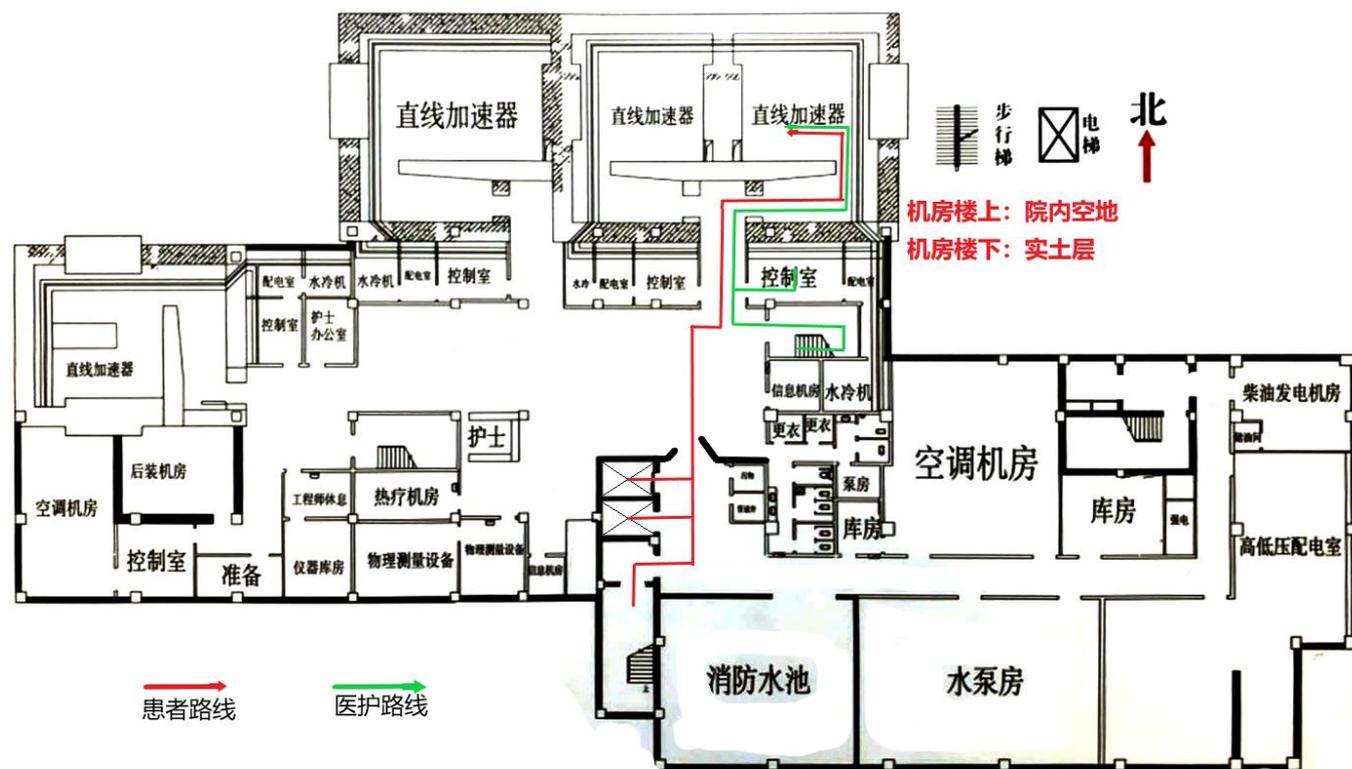


图 9-4 本项目直线加速器机房人员路径规划图

##### ① 工作人员路径

工作人员通过东侧楼梯间进入放疗中心，出楼梯间后向北进入控制室，摆位时向北进入加速器机房，完成摆位工作后原路返回控制室，进行照射治疗，工作完成后原路返回。

##### ② 患者路径

患者通过南侧肿瘤医院电梯厅进入负一层，出电梯后向北进入候诊区候诊，工作人员叫号后向北进入直线加速器室进行摆位接受治疗，治疗结束后原路返回。

本项目直线加速器机房人员路径规划见图 9-4。

#### (5) 工作负荷

根据医院提供资料，预计新安装直线加速器治疗机治疗的最大工作量约 25000 人次/年，年工作 50 周，每周 5 个工作日，平均每天接受治疗的患者为 100 人次，单次出束时间为 3min，本项目直线加速器年累计出束时间见表 9-2。

表 9-2 医用电子直线加速器使用情况

工作模式	单次出束时间 (min)	年最大工作量 (次/年)	年累计出束时间 (h/a)

放射治疗	3	25000	1250
------	---	-------	------

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 正常工况污染源项描述

#### (1) X 射线、电子线

本项目医用电子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，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。电子束其贯穿能力远弱于 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。因此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。

#### (2) 中子和中子俘获 $\gamma$ 射线

当医用电子加速器的 X 射线能量高于 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  $(\gamma, n)$  光核反应，生成中子。根据 HJ 1198-2021 第 6.1.2 款，大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。本项目医用电子加速器 X 射线能量最高为 10MV，不再考虑其中子辐射及俘获  $\gamma$  射线

#### (3) 感生放射性

根据《辐射防护手册 辐射源与屏蔽》(第一分册)可知，绝大多数天然核素的反应阈能在 10MeV 以上，当加速器发出的射线能量达到或超过空气中某些核素的  $(\gamma, n)$  的反应能时，与空气中的 C、O、N、Ar 等相互作用，可诱发感生放射性核素  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  和  $^{41}\text{Ar}$  半衰期分别为 10min、2.1min、20.5min、1.83h，放射性气体产额很低，半衰期较短，经通风系统有效通风，不再考虑感生放射性气体排放的影响。仅关注感生放射性对摆位人员的影响。

#### (4) 放射性废水

本项目医用电子加速器运行过程循环冷却水使用蒸馏水，无过滤装置，无废离子交换树脂产生。在加速器运行期间，冷却水尤其是靶部分水被活化而含有放射性核素主要为  $^{15}\text{O}$  和  $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，只需放置较短的时间，其活度就可衰减到可忽略的水平，可按一般废水进行处置，排入医院污水处理系统。所以正常运行时被活化的水对周围环境的影响可以忽略。

#### (5) 放射性固体废物

活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理

#### (6) 非放射性有害气体

医用电子加速器运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}_1$ ,  $\text{NO}_2$ )。

它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。

综上所述，本项目医用电子加速器主要评价因子为 X 射线、放射性固体废物、非放射性有害气体。

#### 9.2.2 非正常工况污染源项描述

(1) 由于未及时检修，门-机联锁装置失效，门处于半开启状态，直线加速器仍能运行，人员未佩戴个人剂量报警仪进入直线加速器机房而受到照射。

(2) 加速器治疗时，工作人员、病人家属等进入直线加速器机房后，未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不易察觉的地方而收到意外照射。

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

(4) 滥用射线装置对病人进行诊断、治疗，造成患者受到不必要的照射。

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

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

事故工况产生的污染因子与正常工况下相同。



## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 工作场所布局

本项目直线加速器机房位于肿瘤医院负一层放疗中心东北角预留机房，加速器四室东侧北侧均为实土层，西侧为加速器三室（TOMO 机房），南侧为控制室及服务器机房，机房正上方为院内空地，正下方为实土层。加速器治机房与控制室分开设置，加速器机房入口处设置直线型迷路，加速器机房有效使用面积约为 70.3 m<sup>2</sup>（不含迷路），周围主要为配套用房、毗邻机房与土层，人员流动较少。本项目直线加速器机房平面布局图见图 10-1，合理性分析见表 10-1。

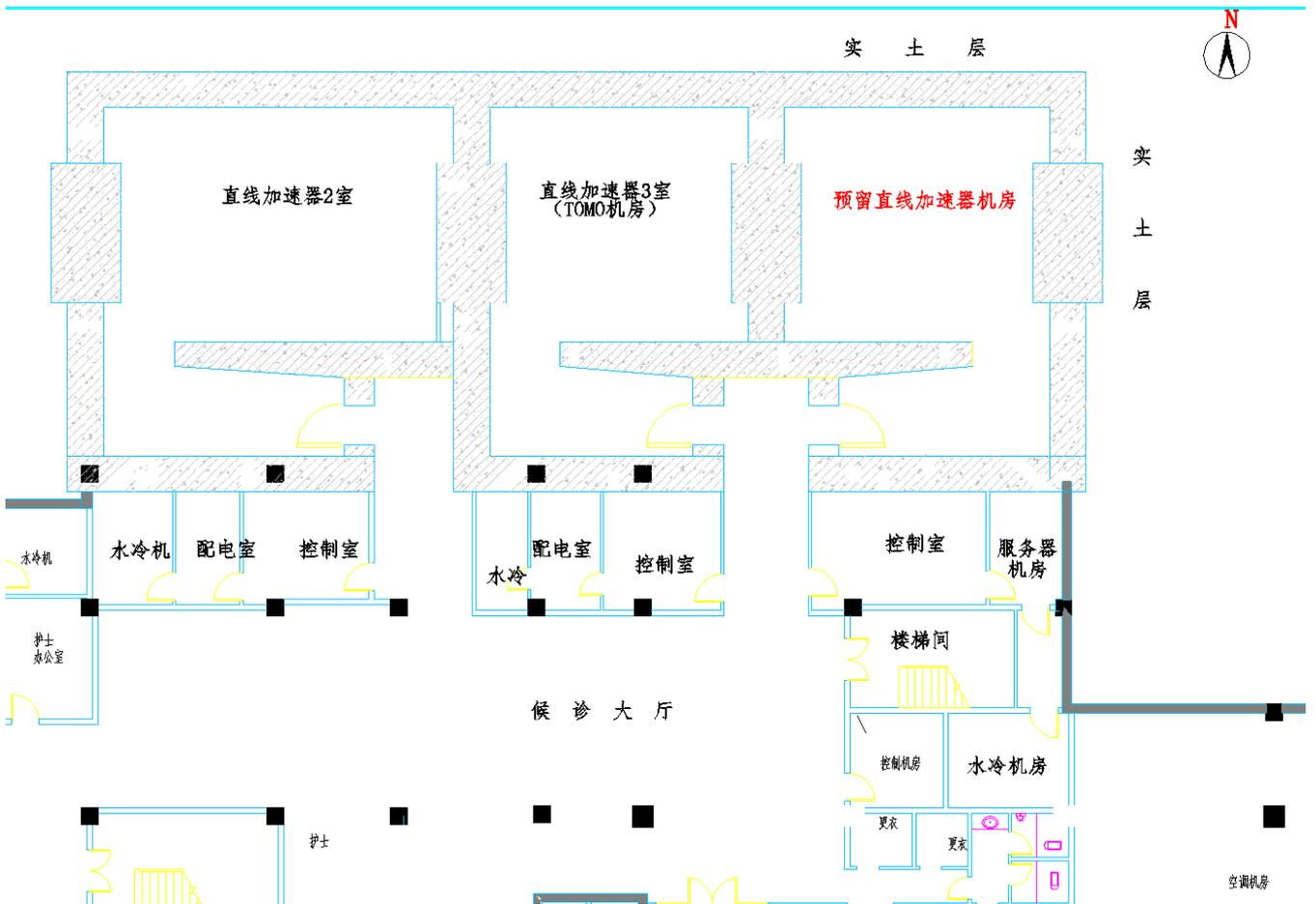


图 10-1 本项目直线加速器机房布局

表 10-1 直线加速器机房平面布局合理性分析

标准	条目	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121)	6.1.1	放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造并根据安全、卫生和方便的原则合理	本项目直线加速器机房设置在肿瘤医院负一层放疗中心东北角，机房及其辅助设施同时设计和建造。	符合要求

-2020)		布置。		
	6.1.4	治疗装置控制室应与治疗机房分离。放疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，应尽可能设置于治疗机房外。	本项目直线加速器机房与控制室分开设置，相应辅助设备均设置独立房间。	符合要求
	6.1.5	应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	本项目直线加速器主射束朝向东侧、西侧室顶和地面，未直接照射控制室和其他居留因子较大的用房。	符合要求
	6.1.6	X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；伽马刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	本项目直线加速器设置了直线型迷路。	符合要求
	6.2.1	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目直线加速器机房有效使用面积约为 70.3 m <sup>2</sup> （不含迷路），可满足临床使用需要。	符合要求
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	5.1.1	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目直线加速器机房设置在肿瘤医院负一层，不涉及民居、写字楼和商住两用的建筑物。	符合要求
	5.1.2	放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目直线加速器机房设置在肿瘤医院负一层放疗中心，机房楼上为空地，周围无儿科病房、产房或人员流动性大的商业活动区域。	符合要求

根据表 10-1，项目直线加速器工作场所布局满足《放射治疗辐射安全与防护要》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的相关规定，工作场所布局合理。

#### 10.1.2 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护》（HJ1198-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

**控制区：**把需要或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。

**监督区：**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，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下,控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所,如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室,直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划分为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。

根据项目直线加速器机房的平面布局,将直线加速器机房及迷路划分为控制区,并在机房防护门外的显著位置张贴符合规定的电离辐射警告标志。将控制室、服务器机房等区域划分为监督区,对于机房正上方及其他毗邻区域可用警示标志提醒或设置温馨提示,提醒公众成员不要在此驻留,经常对其职业照射条件进行监督和评价。

本项目直线加速器的工作场所分区管理示意图(平面)详见图 10-2,直线加速器工作场所分区管理示意图(剖面)见图 10-3。

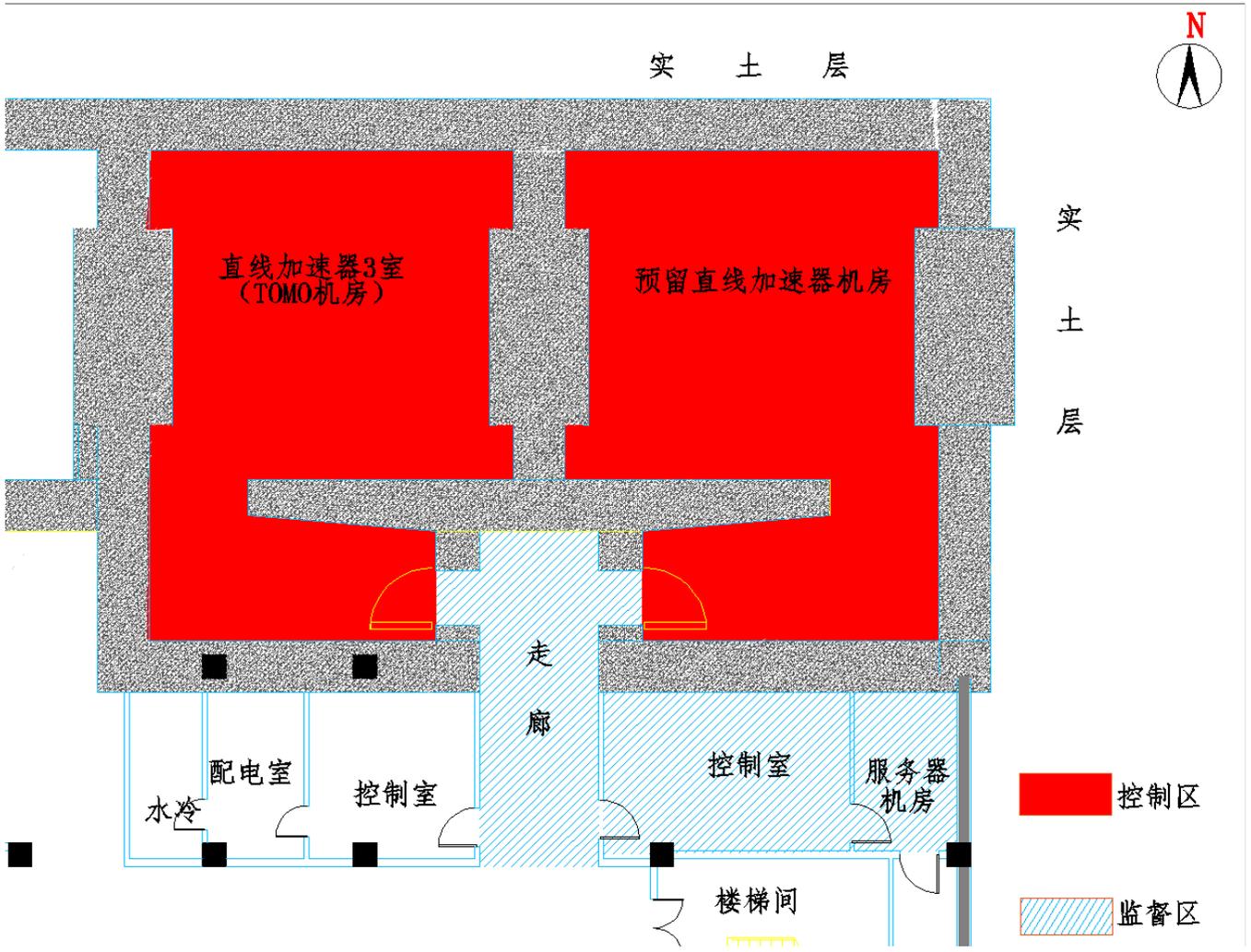


图 10-2 本项目直线加速器平面分区示意图

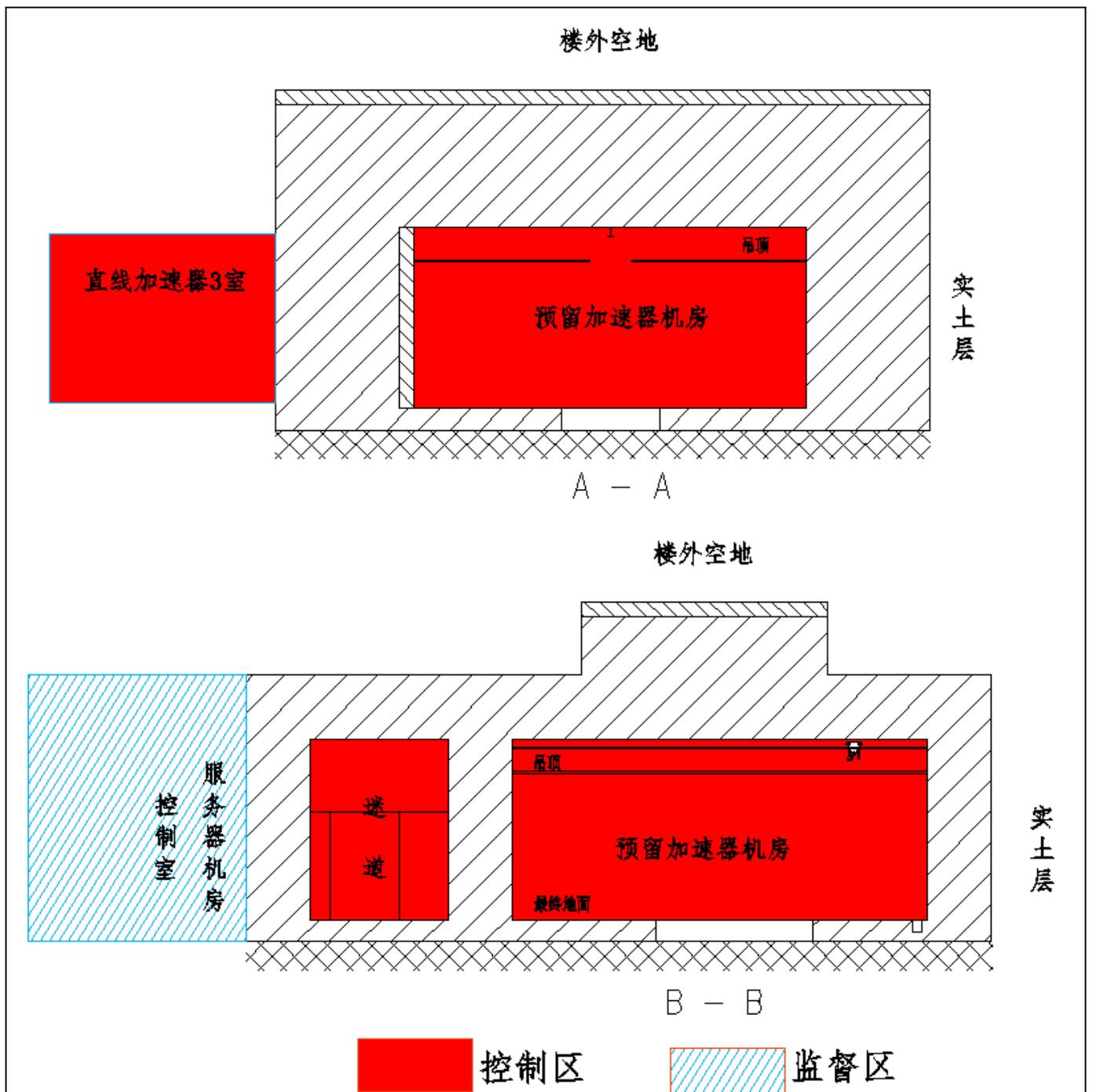


图 10-3 本项目直线加速器剖面分区示意图

控制区通过实体屏蔽措施、警示标志等进行控制管理，在直线加速器使用时，除工作人员和患者外，禁止其他无关人员进入；监督区通过电离辐射警告标志提醒人员尽量避开该区域，并委托有资质的单位定期对监督区周围剂量当量率进行监测。如果发现异常，建设单位应立即进行整改，整改完成后方可继续使用。

### 10.1.3 辐射防护屏蔽设计

本项目直线加速器机房位于肿瘤医院负一层放疗中心预留机房，施工内容主要为机房装修及

安装铅防护门。根据建设单位提供图纸可知本项目混凝土强度等级为 C30, 对应密度为  $2.37\text{g}/\text{cm}^3$ 。本项目直线加速器机房屏蔽防护方案见表 10-2 及图 10-4、图 10-5。

表 10-2 直线加速器机房屏蔽设计

屏蔽体		屏蔽设计
直线加速器机房建设规模		机房南北长 12.5m, 东西宽 9.45m, 净高度 3.7m, 吊顶高度 3.0m, 机房有效使用面积约为 70.3 m <sup>2</sup> 。
机房净空尺寸		机房南北长 12.5m, 东西宽 9.45m, 净空高 3.7m。
西墙(与 TOMO 机房)	主屏蔽区	2.5m 厚混凝土浇筑, 宽度为 5.0m
	次屏蔽区	1.3m 厚混凝土浇筑
东墙	主屏蔽区	2.5m 厚混凝土浇筑, 宽度为 5.0m
	次屏蔽区	1.3m 厚混凝土浇筑
室顶	主屏蔽区	2.5m 厚混凝土浇筑, 宽度为 5.0m
	次屏蔽区	1.3m 厚混凝土浇筑
北墙		1.3m 厚混凝土浇筑
南墙	迷路内墙	东侧 1.3m 混凝土浇筑、西侧 0.9m 混凝土浇筑、整体呈西宽东窄楔形
	迷路外墙	1.3m 厚混凝土浇筑
地板		0.44m 混凝土浇筑, 下方为实土层
防护门		设计安装 20mmPb 电动铅防护门+50mm 含硼 PE 板外包不锈钢



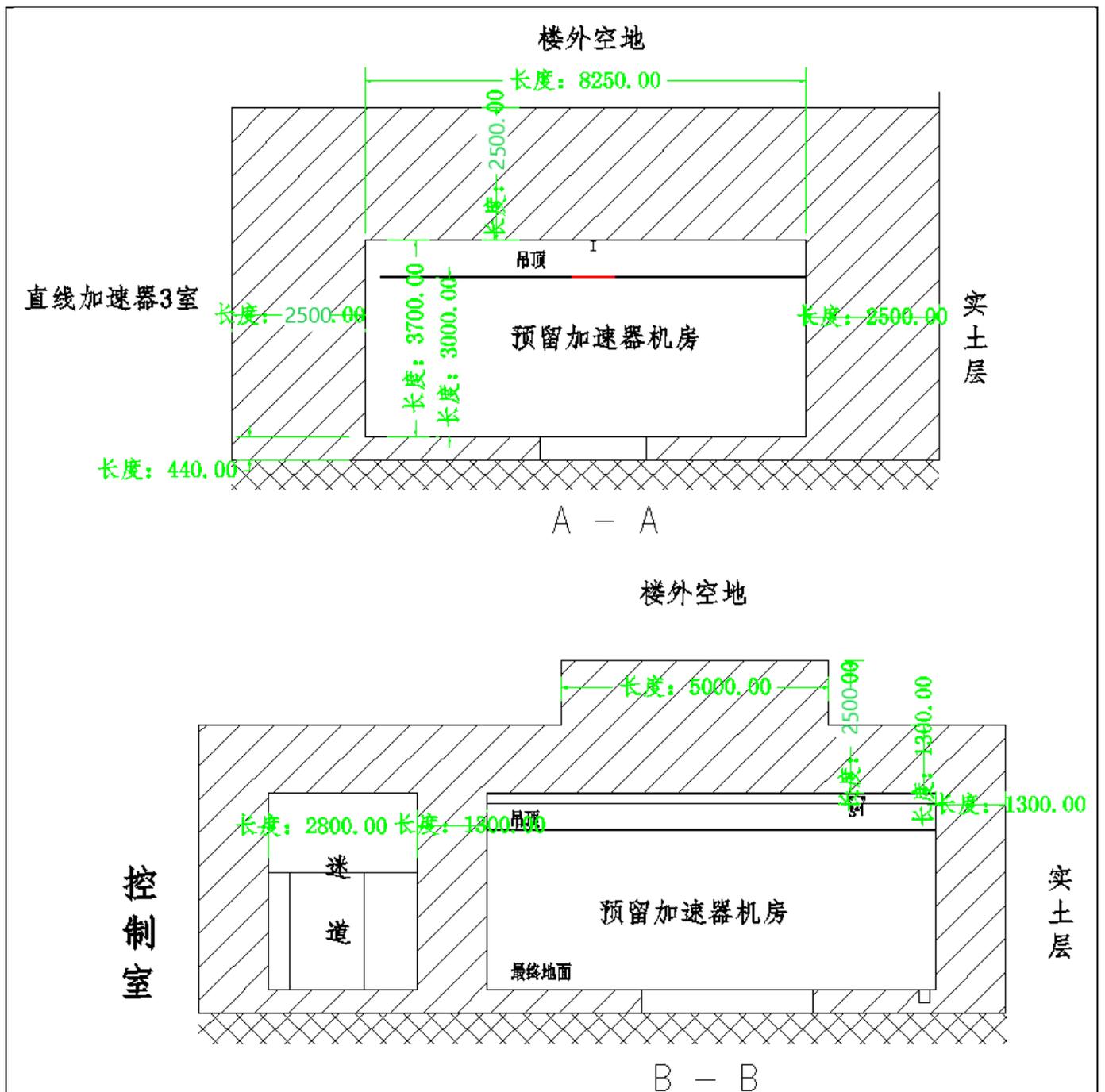


图 10-5 直线加速器机房屏蔽设计剖面布置图

#### 10.1.4 辐射安全和防护措施

除工作场所屏蔽设计的安全防范措施外，建设单位拟进一步完善和加强以下几个方面的辐射安全防护设施和措施。

(1) 防护门设置门—机联锁装置、电离辐射警告标志和红外线防挤压装置，防护门内侧和外侧均设置手动开门装置。门关上时方可出束，出束期间开门则自动停止出束，必须重新设置才可继续出束。建设单位应定期对安全联锁系统等安全设施进行检查。

(2) 钥匙开关：加速器有电源的钥匙开关，只有钥匙就位后才能开启电源，启动治疗装置。

(3) 辐射参数预选值连锁：设备控制台在选择各种辐射参数（标称能量、照射时间、吸收剂量率、吸收剂量、治疗方式等）之前，辐照不能启动。

(4) 两道独立的剂量监测系统：每一道剂量监测系统均能独立终止辐照，当其中一道剂量监测系统发生故障不会影响另一道系统的功能。

(5) 计时器连锁：控制台配置有时间显示的辐照控制计时器，并能独立完成控制辐照终止装置。当辐照中断或终止后，能保持其读数，必须将计时器复零后，方能启动下一次辐照。

(6) 剂量复零连锁：显示的剂量读数在辐照中断或终止后保持不变，辐照中断或终止需将显示器复位到零，下次辐照才能启动。

(7) 警示标识：拟在防护门上适当位置设置电离辐射警示标识。

(8) 防护门上方设置工作状态指示灯，并设置门-机或门-等连锁装置，保证机房门关闭时或设备出束时，警示灯亮起，提示门外人员请勿靠近。

(9) 治疗室与控制室之间设计有视频监控及双向对讲装置，方便控制室内辐射工作人员及时观察到迷路内部和防护门处情况，避免无关人员进入或逗留，同时方便观察患者情况及与患者沟通。

(10) 在治疗室迷路内口处及机房门口处设置固定式辐射剂量监测仪，并具有异常情况下报警功能，显示单元设置在控制室内，保证控制室内工作人员能实时观测到机房内射线出束情况。

(11) 机身和治疗室内以及控制台上设置紧急停机按钮，分别位于机房入口门内旁侧 1 个、迷路内口 1 个、治疗室内北墙上 1 个、东墙上 1 个、西墙上 1 个、南墙上 2 个，距地面高度约 1.6m；控制室内 1 个，机架和治疗床上若干，以备事故状况下紧急停机。

(12) 操作规程、辐射事故应急预案等工作制度在合适位置张贴上墙。

(13) 治疗期间，每台加速器拟设至少两名工作人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度：加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

本项目加速器机房安全设施布局见图 10-6，加速器安全连锁逻辑关系见图 10-7。

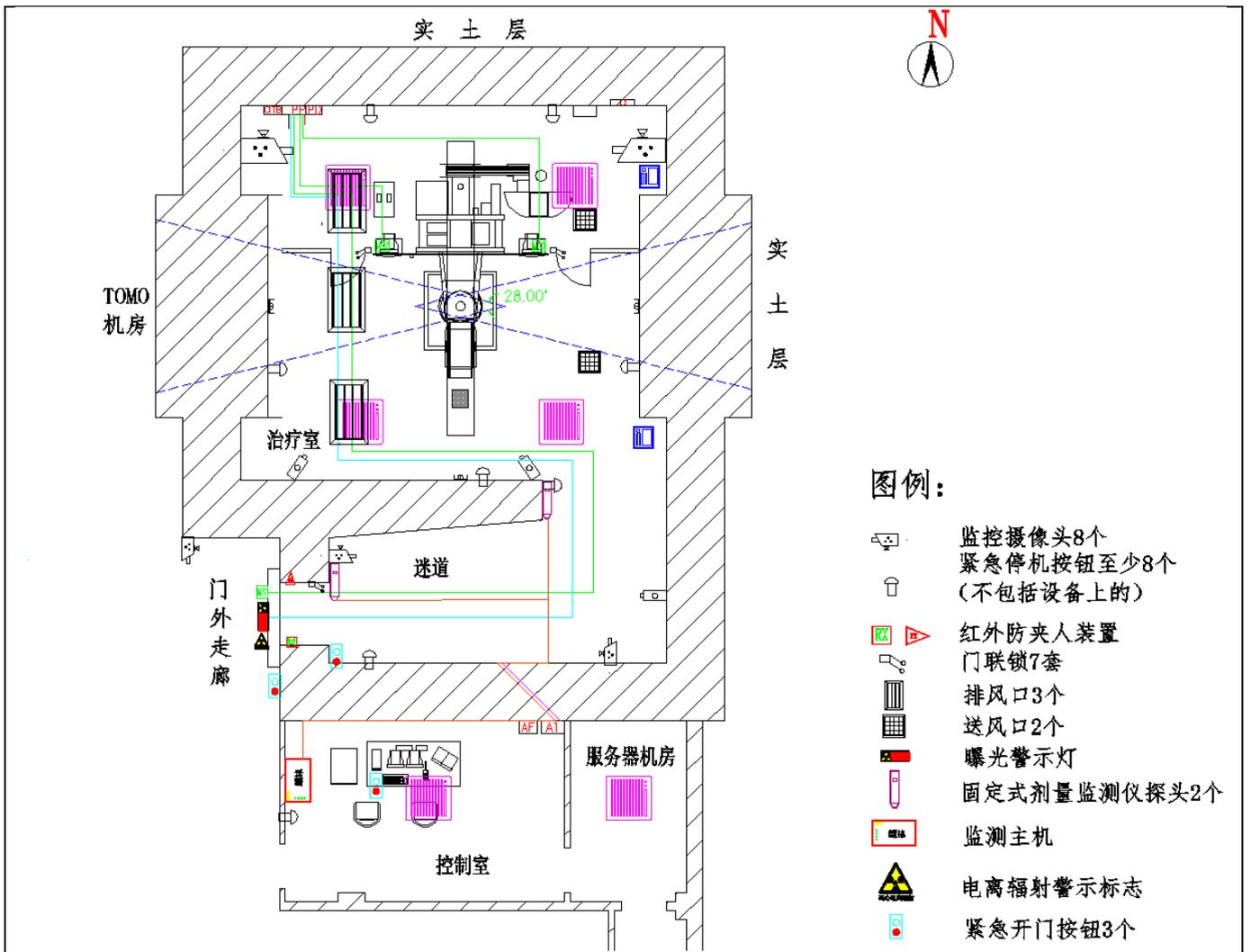


图 10-6 加速器机房安全设施布局图

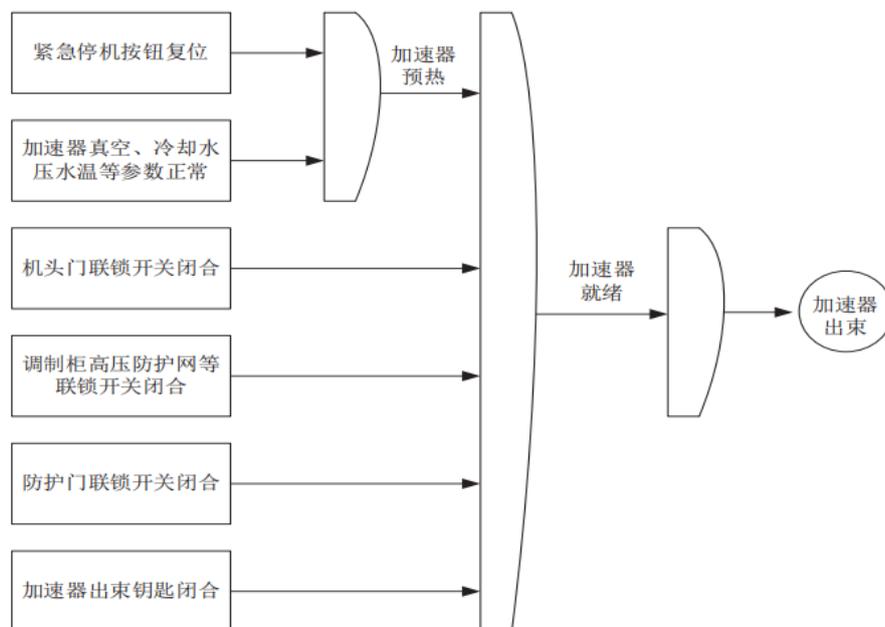
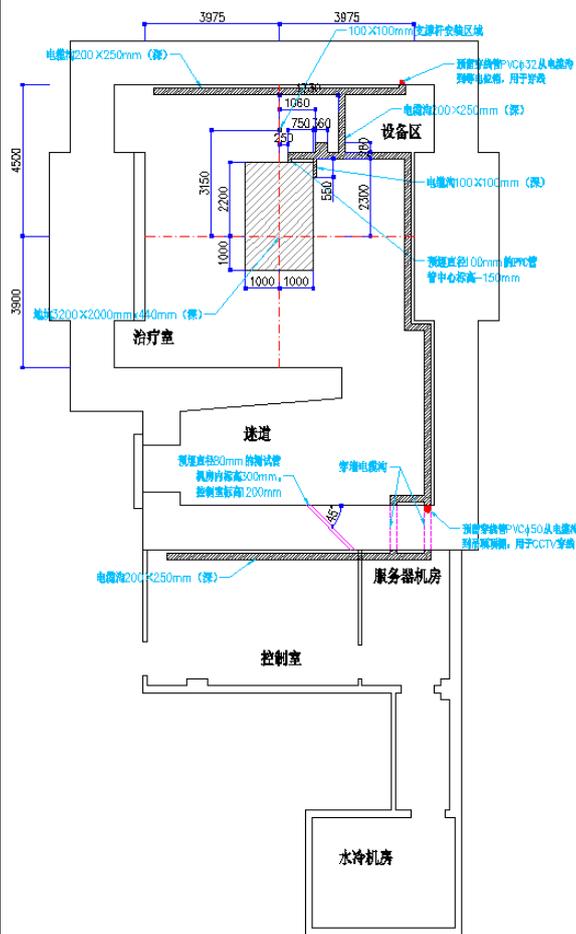


图 10-7 加速器安全联锁逻辑关系示例图

## 10.1.5 电缆布设及通排风系统

### (1) 电缆布设

直线加速器的各种电缆管线，全部以地沟形式在地坪以下布设，地沟盖板采用 10mm 厚不锈钢板覆盖，电缆沟穿墙处增设铅板围护。电缆穿墙采用“U”型路径设计，下沉后穿越迷道外墙到达服务器机房与控制系统连接。通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了射线的散射和衰减次数，从而保证墙体的屏蔽效果。本项目直线加速器电缆穿墙设计见图 10-8。



注意:

1. 机房内的全部电缆沟分为 100X100mm、200X250mm 两种
2. 全部电缆沟均采用活动盖板，盖板边沿不大于 20mm
3. 全部电缆沟的尺寸误差小于 10mm
4. 电缆沟内保持光滑、清洁
5. 图中---所示为机架基础部分，该部分的具体要求参见图纸 [NWLDIN1975](#)-06
6. 图中沿墙的电缆沟与墙体保持 100mm 的距离
7. 设备安装前机房内所有裸露的混凝土地面(包括地坑内)需要上脱(漆)封尘, 电缆沟内也做封尘处理
8. 所有预留的电缆沟仅供医科达设备电缆铺设使用, 其余线管均不得占用
9. 除设备基础外, 机房内其他最终地面至少需要厚度不小于 150mm 的 C30 混凝土
10. 机房墙体, 尤其是电缆沟及穿墙电缆沟部分请做防水防渗漏处理

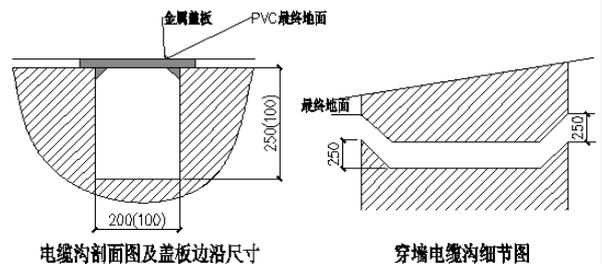


图 10-8 直线加速器房电缆布设示意图

### (2) 通排风

直线加速器机房拟设置上送下排的机械通排风系统，新风管道拟由机房防护门上方向上 45° 斜穿过屏蔽墙体连接至原放疗中心送风主管道，在迷道入口处顶棚上方设置 2 个送风口（500mm × 400mm）；排风管道利用原来预留地下排风管道，在西北角设置风机将机房内废气抽至放疗科排风管道中最后经管道井统一排出楼外。

本项目直线加速器机房容积约 210.9m<sup>3</sup>，机房设计排风量不低于为 1500m<sup>3</sup>/h，经估算直线加

速器机房换气次数约为每小时 7 次。机房内产生的臭氧、氮氧化物通过机房排风系统经排风管道引至排风井。本项目通风管道设计见图 10-9。

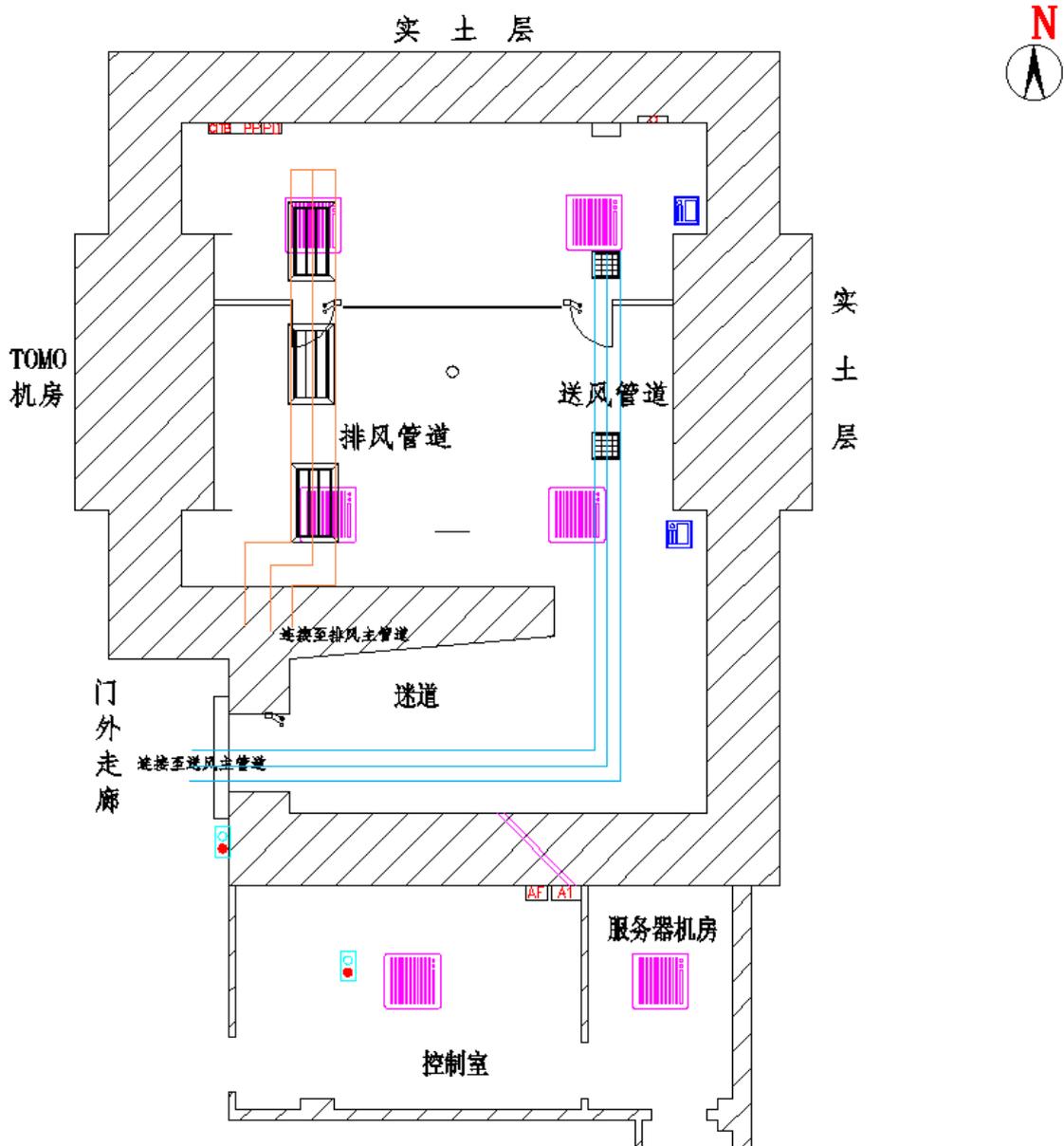


图 10-9 加速器机房通风平面示意图

综上，本项目通排风系统的设置符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制通排风系统，采用全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。

#### 10.1.6 直线加速器机房辐射安全与防护措施符合性分析

本项目直线加速器机房辐射安全与防护措施与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）符合性分析见表 10-3，本项目直线加速器机房辐射安全与防护措施与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）符合性分析见表 10-4。

表 10-3 直线加速器机房辐射安全与防护措施《放射治疗放射防护要求》符合性分析表

相关要求	防护要求	本项目设计情况	符合性
布局要求	放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置	本项目直线加速器房设计建造在肿瘤医院负一层放疗中心东北角，机房与辅助设施同时设计建造，机房布置合理。	符合
	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目直线加速器房按标准要求分为控制区和监督区，机房和迷道为控制区，机房南侧控制室、信息机房、机房门口走廊为监督区。	符合
	治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	本项目直线加速器机房有用射束防护屏蔽满足主射束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求	符合
	治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	本项目直线加速器房与控制室、信息机房、水冷室分开设置。	符合
	应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	本项目直线加速器机房有用射束朝向东、西、楼上及楼下，避开了控制室及候诊区等居留因子较大的房间。	符合
空间、通风要求	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目直线加速器房有效使用面积为 70.3 m <sup>2</sup> ，可保证放射治疗设备临床应用需要。	符合
	放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目直线加速器房设置了强制排风系统，设置上送下排的机械通排风系统，机房设计排风量为 1500m <sup>3</sup> /h，经估算直线加速器机房换气次数约为每小时 7 次。	符合
屏蔽材料	屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。	本项目直线加速器房六面墙体，迷路均为混凝土浇筑。	符合
安全装置和警示标志要求	放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	本项目直线加速器与机房门有联锁装置，治疗机房门内安装开门按钮，防护门设计了防挤压红外光幕。	符合
标志	放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；	本项目直线加速器房门上设置电离辐射警告标志。	符合
	放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	本项目直线加速器房门上设置电离辐射警告标志，并在机房门上方设置工作状态指示等，出束时，红灯亮。	符合

急停开关	放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关 应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	本项目直线加速器房控制台上，各个墙面，机房门内旁侧，设备上均设计了紧急停机按钮。	符合
视频监控、对讲交流系统	控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	本项目直线加速器房拟安装 8 个监控摄像头，保证全方位无死角监控机房每个角落，并计划配备对讲装置，保证操作人员与患者之间的双向交流。	符合
放射治疗操作中的放射防护要求	操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。	本项目放疗中心工作人员沿用原放疗中心人员，对直线加速器的各项操作规程较熟悉，日常工作中可进行检查，保障安全联锁正常运行。	符合
	工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪。	本项目放疗中心为放疗技师配备了个人剂量报警装置。	符合
	实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。	本项目沿用放疗科工作人员，每组至少两人，对设备的运行情况较熟悉，工作经验较丰富，可严格遵守相关制度，不得擅自离开岗位。	符合

表 10-4 直线加速器机房辐射安全与防护措施《放射治疗辐射安全与防护要求》符合性分析表

相关要求	防护要求	本项目设计情况	符合性
选址与布局	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目直线加速器房设置在肿瘤医院地下一层，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	符合
	放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目直线加速器房位于地下一层放疗中心东北角，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。	符合
分区原则	放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。	本项目直线加速器房按标准要求分为控制区和监督区，机房和迷道为控制区，机房南侧控制室、信息机房、机房门口走廊为监督区。	符合
	与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。		
屏蔽要求	管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏	本项目直线加速器房管线位于机房内电缆沟，	符合

	蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	电缆沟深 250mm，宽 200mm，管线从地下斜穿进入控制室，电缆沟上均铺设盖板。	
安全防护设施和措施要求	放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；	本项目直线加速器房门上设置电离辐射警告标志，在直线加速器上也计划设置电离辐射标志和中文警示说明。	符合
	放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；	本项目直线加速器房门上设置电离辐射警告标志并在机房门上方设置工作状态指示灯。	符合
	控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	本项目直线加速器房拟安装 8 个监控摄像头，保证全方位无死角监控机房每个角落，并计划配备对讲装置，保证操作人员与患者之间的双向交流。	符合
	质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（ <b>一般在迷道的内入口处</b> ）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目直线加速器房计划安装固定式剂量监测报警仪，其显示单元设置在控制室内。	符合
	放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；	本项目直线加速器与机房门有联锁装置，治疗机房门内安装开门按钮，防护门设计了防挤压红外光幕。	符合
	放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；		
	应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；	本项目直线加速器房控制台上，各个墙面，机房门内旁侧，直线加速器设备上均设计了紧急停机按钮。	符合
	安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。	本项目直线加速器安全连锁触发后，需人工复位才能重新启动。	符合
放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、	本项目设置了强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数约为 7 次/h。	符合	

窗或人流较大的过道等位置。

由表 10-3 和表 10-4 可知,本项目直线加速器机房选址、屏蔽防护设计及安全设施均满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)标准要求。

## 10.2 “三废”的治理

### 10.2.1 施工期三废治理

#### (1) 废水

施工过程中产生的施工废水循环使用,施工人员产生的生活污水经医院污水处理站处理后纳入市政污水管网。

#### (2) 扬尘

土建和装修过程会产生扬尘,施工拟采取湿法作业,尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响,现场堆积建筑原料或建筑垃圾拟采取一定的遮盖措施,避免风力扬尘。

#### (3) 噪声

施工过程中,各类机械、运输车辆的噪声以及土建施工会产生噪声,医院应合理制定施工计划,避开午休时间,禁止在夜间施工;施工设备应考虑选择低噪音设备,防止噪声超标;合理布局施工场地,避免在同一施工地点安排大量动力机械设备;适当设置临时声障。

#### (4) 固废

施工过程中会产生建筑垃圾和生活垃圾,建筑垃圾应在定点堆放,将可回收利用部分进行回收后,由施工单位外运至建筑垃圾堆放场。生活垃圾产生量不大,由医院统一集中收集,交当地环卫部门清运。

### 10.2.2 运营期三废治理

#### (1) 非放射性有害气体

医用电子加速器开机运行时,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( $NO_1$ ,  $NO_2$ )。对于臭氧和氮氧化物,主要危害是臭氧,臭氧的产额比氮氧化物高一个量级,只要臭氧能够达到标准,氮氧化物(限值高)也能达标,因而本报告只考虑臭氧。臭氧的室内浓度与有用 X 射线束的输出率、射野面积和机房体积有关,臭氧在空气中的自身分解时间为 0.83h。机房设有机械通风系统,进风口与排风口对角设置,排风次数大于 4 次/h,满足 HJ1198-2021 “换气次数不少于 4 次/h,排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”要求。通过机房通风系

统可明显降低有害气体的浓度，不会对周围环境和人员造成影响。

(2)放射性废水

在加速器运行期间，冷却水尤其是靶部分水被活化而含有放射性核素主要为  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，放置一定的时间，待其活度满足 GBZ18871-2002 规定的一次排放限值后，可按照一般废水处理，排入医院污水处理系统处理后外排。正常运行时不会对环境造成影响。

(3)放射性固体废物

活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后即放进屏蔽容器委托设备方转运，最终送交有资质的单位收贮，不会对环境造成影响。

10.3 环保措施及其投资估算

本项目总投资 2750 万元，环保投资 57 万元，占总投资的 2.07%，环保设施（措施）及其投资估算一览表见表 10-5。

表 10-5 环保设施（措施）及其投资估算一览表

环保设施		投资估算 (万元)
项目	内容	
辐射屏蔽防护	四面墙体的混凝土浇筑，电缆沟布设、通风管道布设依托现有机房	/
	机房基坑的浇筑、防护门的安装、机房内部装修等	30.0
辐射安全装置	监控摄像头 8 个、紧急停机按钮至少 8 个、红外防夹人装置 1 套、门机连锁装置 1 套（7 个连锁）、紧急开门按钮至少 3 个	12.0
废水处理	依托医院现有的污水处理系统	/
固废处理	依托医院现有的生活垃圾及医疗垃圾收集处理措施	/
监测仪器	固定式剂量率监测报警仪 1 套	5.0
辐射环境监测	委托第三方机构常规监测和自主环境保护竣工验收监测	8.0
人员培训	辐射工作人员、管理人员上岗培训	/
辐射应急	辐射应急物资、人员应急培训、辐射事故应急演练	2.0
合计		57



## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

本次评价项目涉及机房装修、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对医院及周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

#### 1. 声环境影响分析

该评价项目施工期的噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，对周围环境影响小，随施工结束而消除，因此，施工在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

#### 2. 环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸和混凝土浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

#### 3. 水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理，在工地适当位置设置简易沉砂池对施工废水进行澄清处理，清水外排，淤泥妥善堆放。

#### 4. 固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于医院内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工期产生的生活垃圾以及装修垃圾均统一收集后交由市政环卫部门处理。

5. 设备安装阶段：本项目直线加速器的安装、调试由有资质单位专业人员进行调试，在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装过程中，医院方需及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得

随意丢弃。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 一、关注点的剂量率参考控制水平

直线加速器机房墙和入口门外关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 应满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 6.1.4 的要求。

治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )：

1) 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（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

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

本项目居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 附录 A，具体见表 11-1。

表 11-1 不同场所的居留因子

场所	居留因子		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、治疗控制区、护士站、咨询台、无人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域
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: 仅有行人车辆来往的户外区域、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
------	------	----------	---

本项目直线加速器机房外的关注点位置描述及剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 见表 11-2。

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, 由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ , 详见式 11-1:

$$H_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (\text{式 11-1})$$

$H_c$ ——周围剂量当量率控制水平, 单位 ( $\mu\text{Sv/h}$ );

$H_e$ ——周剂量参考控制水平, 单位 ( $\mu\text{Sv/周}$ ), 其值按如下方式取值: 放射治疗机房外控制区的工作人员:  $\leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ; 放射治疗机房外非控制区工作人员:  $\leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

$t$ ——设备周最大累积照射的小时数, 单位为小时每周 ( $\text{h/周}$ );

$U$ ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子;

$T$ ——人员在关注点位置的居留因子, 取值方法参见表 11-1。

表 11-2 直线加速器机房周围各关注点剂量率参考控制水平

关注点	点位描述	辐射类型	$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/周}$ )	$t$ ( $h$ )	使用因子 $U$	居留因子 $T$	$\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
a	西墙外 30cm 处(TOMO 机房)	初级	100	25	1	1/2	8.00	10	8.00
c <sub>1</sub>	西墙外 30cm 处(TOMO 机房)	初级	100	25	1	1/2	8.00	10	8.00
c <sub>2</sub>	西墙外 30cm 处(TOMO 机房)	初级	100	25	1	1/2	8.00	10	8.00
l	机房楼上 30cm 处(楼上空地)	初级	5	25	1	1/40	8.00	10	8.00
m <sub>1</sub>	机房楼上 30cm 处(楼上空地)	初级	5	25	1	1/40	8.00	10	8.00
m <sub>2</sub>	机房楼上 30cm 处(楼上空地)	初级	5	25	1	1/40	8.00	10	8.00
f	控制室操作位	初级	100	25	1	1	4.00	2.5	2.50

h	南墙迷路外墙 外 30cm(服务 器机房)	初级	100	25	1	1	4.00	2.5	2.50
g	机房门外 30cm 处(疏散通道)	初级	5	25	1	1/8	1.60	10	1.60
		散射							

注：1. 本项目根据标准要求结合医院提供工作量对周围剂量当量率控制水平进行计算；  
2. 出于保守考虑，在人员可到达区域，剂量率参考控制水平大于 2.5 $\mu$ Sv/h 时，仍取 2.5 $\mu$ Sv/h。

## 二、机房外辐射水平预测

本评价使用《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)中推荐公式。本项目加速器 X 射线能量为 6MV、10MV 两档，6MV 的 FFF 模式下最大输出剂量率为 1400cGy/min( $8.4 \times 10^8 \mu$  Gy/h)，10MV 常规模式下最大输出剂量率为 600cGy/min( $3.6 \times 10^8 \mu$  Gy/h)，根据《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002)附录 B1 的内容，6MV 的空气比释动能与周围剂量当量率转换系数为 1.11SV/Gy，10MV 的空气比释动能与周围剂量当量率转换系数为 1.10SV/Gy。为合理说明加速器对周围环境的影响，本报告同时对两种模式下机房外辐射水平进行估算。

### (1) 辐射源项

本项目加速器 X 射线能量为 6MV、10MV 两档，最大输出剂量率为 1400cGy/min ( $8.4 \times 10^8 \mu$  Gy/h)，本报告估算时采用加速器在最大工作负荷时的参数。最大照射野为 40cm $\times$ 40cm；X 射线泄漏辐射率 $<0.1\%$ 。根据 GBZ/T201.2-2011 附录 B，6MV 的 X 射线有用束在混凝土中 TVL<sub>1</sub>=37cm，TVL=33cm；6MV 的 X 射线的漏射辐射在混凝土中 TVL<sub>1</sub>=34cm，TVL=29cm；患者散射辐射(患者散射角均接近 30°，以 30° 考虑)在混凝土中 TVL=26cm；10MV 的 X 射线有用束在混凝土中 TVL<sub>1</sub>=41cm，TVL=37cm；10MV 的 X 射线的漏射辐射在混凝土中 TVL<sub>1</sub>=35cm，TVL=31cm；患者散射辐射(患者散射角均接近 30°，以 30° 考虑)在混凝土中 TVL=28cm。

### (2) 机房各参考点的剂量率水平

本项目加速器坐北向南安装，加速器治疗头可实现东西方向 $\pm 180^\circ$  旋转，东西方向会受到主射束照射。本项目加速器机房东墙、北墙外均为土层，因此不设置参考点；室顶外凸，在室顶主、次屏蔽墙外设参考点，不考虑土层防护作用。因此，本次在机房西、南墙外、室顶及防护门外 30cm 处设参考点进行估算，加速器机房外参考点及辐射路径见图 11-1、图 11-2。

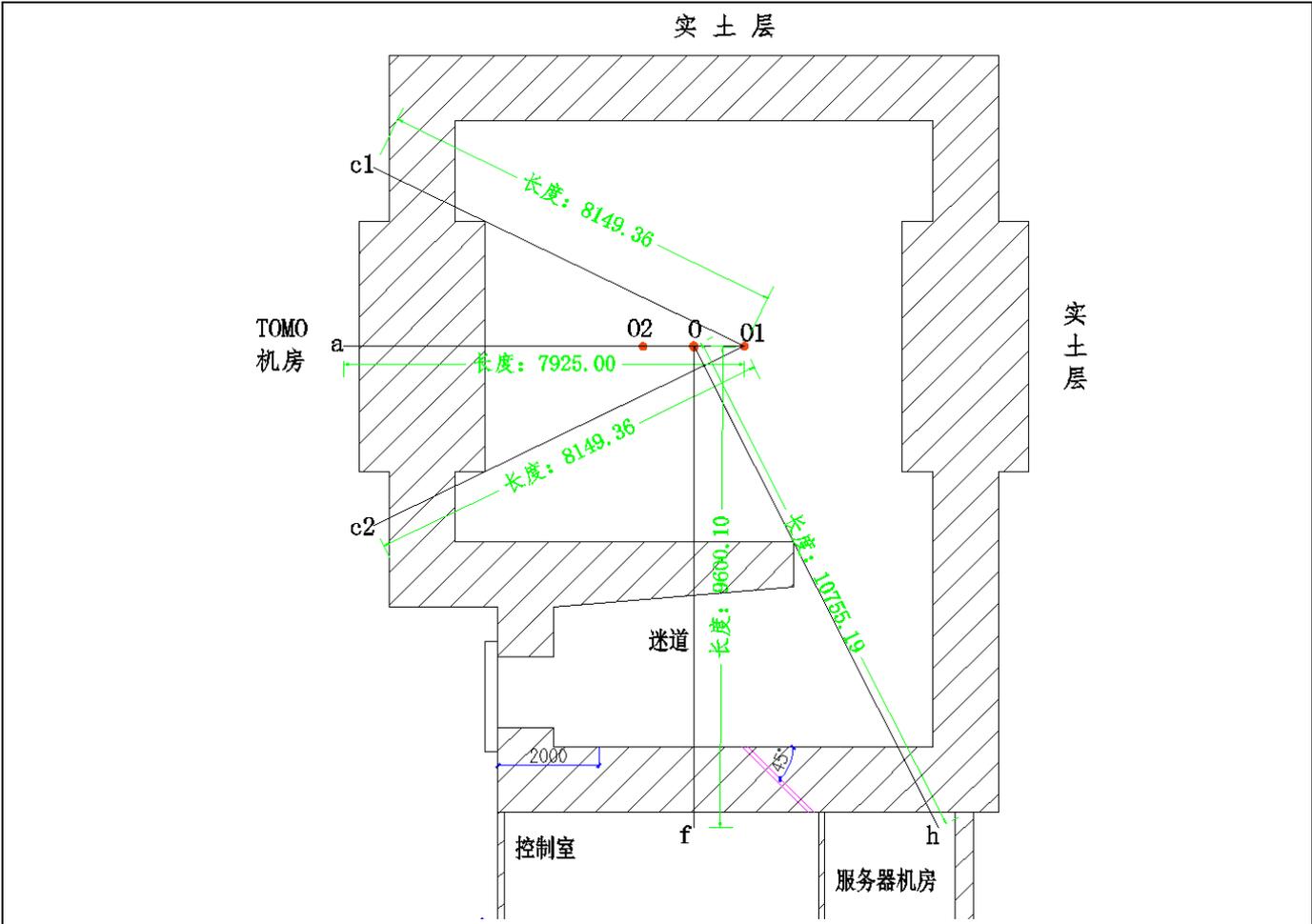


图 11-1 加速器机房关注点平面布局示意图

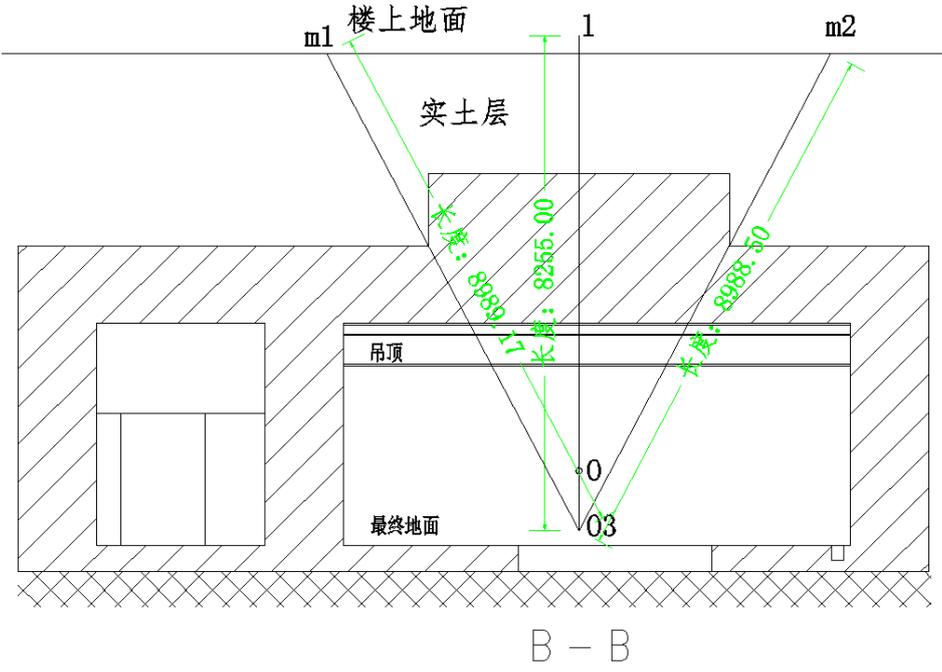


图 11-2 加速器机房关注点剖面布局示意图

A、主屏蔽墙外、侧屏蔽墙以及迷道外参考点剂量率

### 有效屏蔽厚度

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

$X_e$ ：有效屏蔽厚度，cm

$X$ ：屏蔽厚度，cm

$\theta$ ：斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角

### 屏蔽透射因子

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

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均什值层厚度，cm

$TVL_1$ ：辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm

### 主射线和漏射线剂量率

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

$H$ ：关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ ：距靶 1m 处的有用线束剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$R$ ：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，0.1%；

根据式(式 11-2)~(式 11-4)进行估算。

表 11-3 加速器机房主屏蔽墙、迷道外墙外剂量率 (6MV, 1400cGy/min)

参考点 (辐射路径)	屏蔽墙体	辐射 类型	有效屏蔽厚度 $X_e$ (cm)	参考点至靶点 的距离 $R$ (m)	参考点剂量率 $H$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
a( $0_1$ -a)	西墙	主射	250	7.925	5.21E-01
l( $0_3$ -l)	室顶	主射	250	8.255	1.76E-04
f( $0$ -f)	迷路内墙+迷路外墙(南墙)	泄露	130+100	9.6	3.21E-07
h( $0$ -h)	南墙	泄露	307	10.755	4.80E-01

表 11-4 加速器机房主屏蔽墙、迷道外墙外剂量率 (10MV, 600cGy/min)

参考点 (辐射路径)	屏蔽墙体	辐射 类型	有效屏蔽厚度 Xe(cm)	参考点至靶点 的距离 R(m)	参考点剂量率 H(μSv/h)
a(O <sub>1</sub> -a)	西墙	主射	250	7.925	1.42
l(O <sub>3</sub> -l)	室顶	主射	280	8.255	2.20E-04
f(O-f)	迷路内墙+迷路外墙(南墙)	泄露	130+100	9.6	5.94E-07
h(O-h)	南墙	泄露	307	10.588	1.31

根据上表可知,本项目加速器机房西主屏蔽墙外、室顶主屏蔽墙外、南侧屏蔽墙外、迷道外墙外剂量率为  $3.21 \times 10^{-7} \sim 1.42 \mu\text{Sv/h}$ , 低于表 11-2 中的剂量率控制目标。

B、与主屏蔽区相连的次屏蔽区参考点剂量率

该区域考虑: 1) 有用线束水平照射时人体的散射辐射, 辐射路径 O<sub>1</sub>-O-c<sub>1</sub>(c<sub>2</sub>)、O<sub>3</sub>-O-m<sub>1</sub>(m<sub>2</sub>); 2) 加速器的泄漏辐射, 辐射路径为 O-c<sub>1</sub>(c<sub>2</sub>、m<sub>1</sub>、m<sub>2</sub>)

1) 患者散射辐射

患者一次散射辐射的剂量估算:

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

式中:

H: 关注点剂量率, uSv/h;

H<sub>0</sub>: 有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, uSv · m<sup>2</sup>/h;

F: 最大照射野面积, cm<sup>2</sup>, 为 40X40cm<sup>2</sup>;

R<sub>s</sub>: 患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

$\alpha_{ph}$ : 患者 400cm<sup>2</sup> 面积上垂直之入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例, 又称 400cm<sup>2</sup> 面积上的散射因子; 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)附表 B.2: 6MV 的  $\alpha_{ph}$  取  $2.77 \times 10^{-3}$ , 10MV 的  $\alpha_{ph}$  取  $3.18 \times 10^{-3}$ 。

根据(式 11-5), 计算得与主屏蔽相连的次屏蔽区患者散射剂量率如下表所示:

表 11-5 患者散射对与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率贡献值 (6MV, 1400cGy/min)

参考点 (辐射路径)	辐射类型	有效屏蔽厚度 Xe (cm)	参考点到等中心的距离 R <sub>s</sub> (m)	患者散射剂量率 H (μSv/h)
c1(O1-0-c1)	泄露辐射	144.6	8.149	4.27E-01
c2(O1-0-c2)	泄露辐射	144.6	8.149	4.27E-01
m1(O1-0-m1)	泄露辐射	147	8.988	2.84E-01

m2(01-0-m2)	泄露辐射	147	8.988	2.84E-01
-------------	------	-----	-------	----------

表 11-6 患者散射对与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率贡献值 (10MV, 600cGy/min)

参考点 (辐射路径)	辐射类型	有效屏蔽厚度 Xe (cm)	参考点到等中心的距离 Rs (m)	患者散射剂量率 H ( $\mu$ Sv/h)
c1(01-0-c1)	泄露辐射	144.6	8.149	5.20E-01
c2(01-0-c2)	泄露辐射	144.6	8.149	5.20E-01
m1(01-0-m1)	泄露辐射	147	8.988	3.51E-01
m2(01-0-m2)	泄露辐射	147	8.988	3.51E-01

## 2) 泄漏辐射

根据(式 11-2)~(式 11-4)估算漏射线对与主屏蔽相连的次屏区参考点剂量率贡献值:

表 11-7 泄漏辐射对与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率贡献值 (6MV, 1400cGy/min)

参考点 (辐射路径)	辐射类型	有效屏蔽厚度 Xe (cm)	参考点到等中心的距离 Rs (m)	泄露辐射剂量率 H ( $\mu$ Sv/h)
c1(01-0-c1)	泄露辐射	144.6	8.149	7.70E-01
c2(01-0-c2)	泄露辐射	144.6	8.149	7.70E-01
m1(01-0-m1)	泄露辐射	147	8.988	5.35E-01
m2(01-0-m2)	泄露辐射	147	8.988	5.35E-01

表 11-8 泄漏辐射对与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率贡献值 (10MV, 600cGy/min)

参考点 (辐射路径)	辐射类型	有效屏蔽厚度 Xe (cm)	参考点到等中心的距离 Rs (m)	泄露辐射剂量率 H ( $\mu$ Sv/h)
c1(01-0-c1)	泄露辐射	144.6	8.149	9.45E-01
c2(01-0-c2)	泄露辐射	144.6	8.149	9.45E-01
m1(01-0-m1)	泄露辐射	147	8.988	6.69E-01
m2(01-0-m2)	泄露辐射	147	8.988	6.69E-01

根据表 11-5~表 11-8 计算结果, 与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点辐射水平如下:

表 11-9 与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点剂量率

条件	参考点	患者散射剂量率 H ( $\mu$ Sv/h)	泄露辐射剂量率 H ( $\mu$ Sv/h)	辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)
6MV, 1400c Gy/min	c1	4.27E-01	7.70E-01	1.20
	c2	4.27E-01	7.70E-01	1.20
	m1	2.84E-01	5.35E-01	0.82
	m2	2.84E-01	5.35E-01	0.82
10MV, 600c Gy/min	c1	5.20E-01	9.45E-01	1.47
	c2	5.20E-01	9.45E-01	1.47
	m1	3.51E-01	6.69E-01	1.02
	m2	3.51E-01	6.69E-01	1.02

由表 11-9 可知, 与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点辐射水平为 0.82~1.47 $\mu$ Sv/h, 低于表 11-2 中的剂量率控制目标。

### C、防护门外参考点剂量率

对于 6MV、10MV 加速器, 防护门外仅需考虑 X 射线的影响, 根据标准 GBZ/T201.2-2011. 有用线束向迷路内墙照射时, 迷路入口(g)点辐射路径包括三项:

1) 入射至 i 墙的辐射散射至 g 处的辐射中, i 墙的入射辐射可能来自: a) 泄漏辐射, 泄漏路径为  $O_2-i-g$ ; b) 患者散射, 散射路径为  $O_2-0-i-g$ ; c) 向东墙处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 h 处的散射辐射, 散射路径为  $O_2-h-n-g$ 。

2) 泄漏辐射穿过迷道内墙在迷路入口 g 的辐射, 泄漏路径为  $O_1-g$ , 此值应为 g 点处的参考控制水平的一个分数(应小于 1/4), 此处取  $1.6 \times 1/5 = 0.32 \mu\text{Sv/h}$ 。

防护门外辐射路径示意图详见图 11-3。

#### ①入射至 i 墙的辐射散射至 g 处的辐射

a、泄漏辐射在屏蔽墙 i 上的一次散射辐射至 g 处的辐射

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot A \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式 11-6})$$

式中:

H: 计算点防护门内 g 处的辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$H_0$ : 距靶 1m 处的辐射剂量率,  $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ , 取  $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ , 即  $4.0 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

f: 加速器的泄露辐射比率, 为 0.001;

A: i 处的散射面积, i 处取  $12.675 \text{m}^2$ ;

$\alpha_w$ : 散射体的散射因子, 单位面积( $1\text{m}^2$ )散射体散射至距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与入射角和反射角有关, 本次评价按  $45^\circ$  入射辐射在混凝土散射体上考虑, 根据 GBZ/T201.2-2011 附表 B.6 查得 10MV、 $0^\circ$  散射的  $\alpha_w$  为  $5.1 \times 10^{-3}$ ;

$R_1$ : 泄漏辐射始点至散射体中心点的距离, 取 8.870m;

R: 散射体中心点至计算点的距离, 取 7.491m。

经计算,  $O_2-i-g$  路径在防护门内 g 处辐射剂量率为  $5.86 \mu\text{Sv/h}$ 。

# 实土层

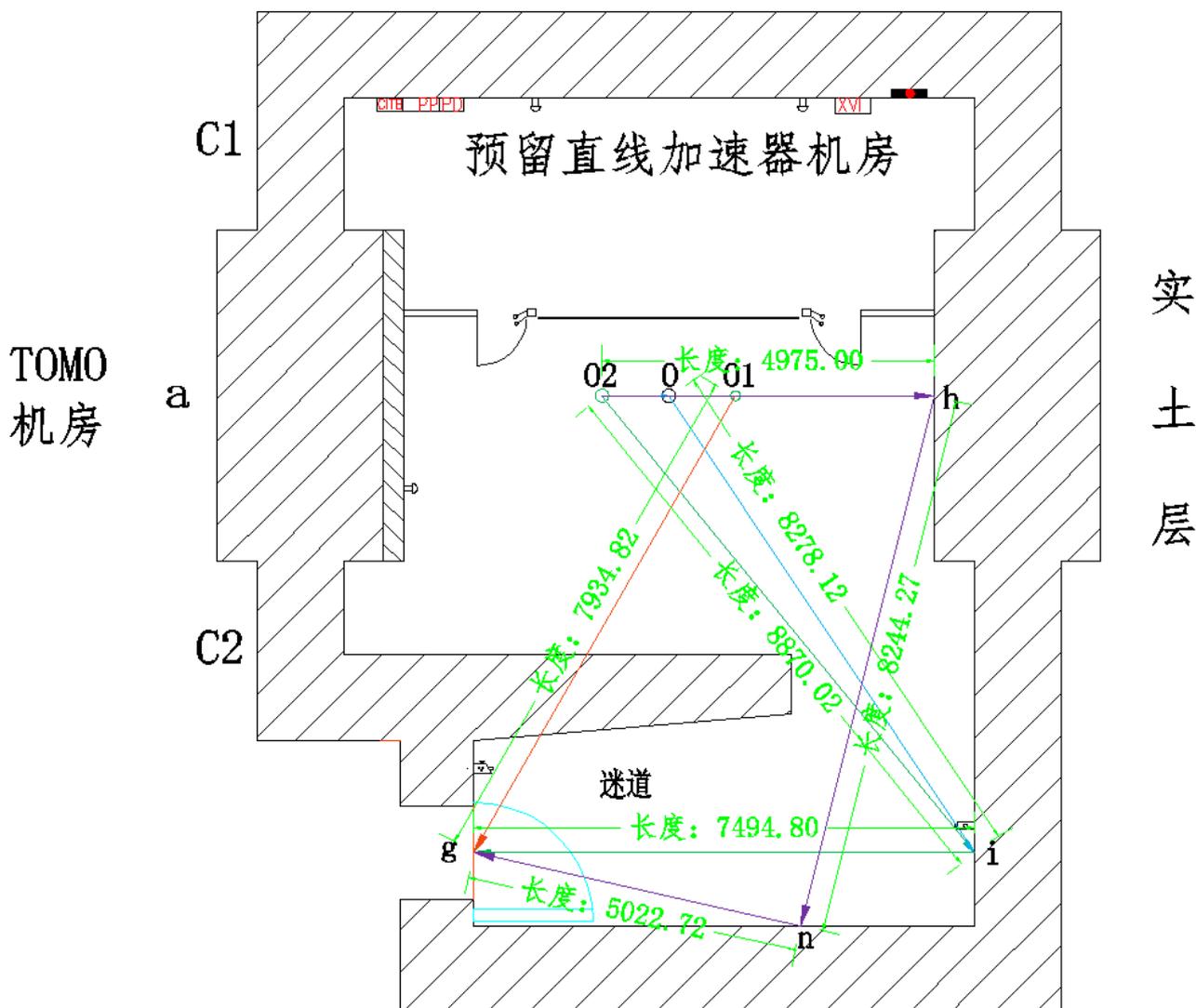


图 11-3 防护门处的辐射路径示意图

b、患者散射辐射在屏蔽墙 i 上的一次散射辐射至 g 处的辐射

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

$\dot{H}_g$ ：计算点防护门内 g 处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\alpha_{ph}$ ：患者 400cm 面积上的散射因子，根据 GBZ/T201.2-2011 附表 B.2 查得 10MV、 $45^\circ$  取值  $1.35 \times 10^{-3}$

F：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ ，取  $1600\text{cm}^2$

R：混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，查 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.6，取 0.5MeV，

45° 入射角, 0° 散射角对应的  $22.0 \times 10^{-3}$ 。

A: 散射点处的散射面积,  $m^2$ , 为自入口和等中心位置 O 共同可见区域, 包括治疗机房吊顶上方的区域。本项目取  $15.69m^2$ ;

$R_1$ : 0-i 之间的距离, m, 本项目为 8.278m;

$R_2$ : i-g 之间的距离, m, 本项目为 7.494m;

$H_0$ : 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, 取  $9.32 \times 10^8 \mu Sv \cdot m^2/h$ ;

经计算,  $O_2-0-i-g$  路径在防护门内 g 处辐射剂量率为  $151.88 \mu Sv/h$ 。

c、向东墙处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面 h 处的散射辐射, 在迷路外墙上再次散射辐射至 g 处的辐射

$$H = H_0 \cdot \frac{(F/10^4)}{R^2} \cdot \alpha_w \cdot B_p \quad (\text{式 11-8})$$

式中:

H: 计算点防护门内 g 处辐射剂量率,  $uSv/h$ ;

$H_0$ : 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, 取  $9.32 \times 10^8 \mu Sv \cdot m^2/h$ ;

F: 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积,  $cm$ , 取  $1600cm$ ;

R: 散射体中心点(有用线束在屏蔽墙上的投影点)与计算点的距离, 本项目取  $11.315m \times 9.4m$

$\alpha_w$ : 散射体的散射因子, 单位面积( $1m^2$ )散射体散射至距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与入射角和反射角有关, 本次评价按 0° 入射辐射在混凝土散射体上考虑, 根据 GBZ/T201.2-2011 附表 B.5 查得 10MV、45° 散射的  $\alpha_w$  为  $3.8 \times 10^{-3}$

$B_p$ : 有用线束射入散射体(屏蔽墙)前的屏蔽透射因子, 根据 GBZ/T21.2-2011 式(9), 对于患者本次取 0.34。

经计算,  $O_2-0-h-n-g$  路径在防护门内 g 处辐射剂量率为  $48.24 \mu Sv/h$ 。

②泄漏辐射穿过迷道内墙在迷路入口 g 的辐射( $O_1-g$ )根据(式 11-2)~(式 11-4), 有效屏蔽层厚度为 142cm, 屏蔽透射因子 B 为  $3.53 \times 10^{-5}$ (10MV), 靶点至关注点距离为 7.934m, 则  $O_1-g$  路径泄漏辐射穿过迷道内墙, 到达迷道入口处的辐射剂量率为  $0.222uSv/h$ , 小于  $0.32 \mu Sv/h$  的参考控制水平要求防护门外的辐射剂量率。

防护门外的

辐射剂量率:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \times 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11-8})$$

式中：

H<sub>g</sub>：g 处的散射辐射剂量率，uSv/h；

X：铅屏蔽厚度 X，cm；

TVL：TVL=0.5cm(铅)；

H<sub>0g</sub>：漏射 X 射线穿透迷道内墙后的最大剂量当量率。

根据上述计算，当靶点位于 O<sub>2</sub> 处时，防护门内 g 处的辐射剂量率较大，因此本次选取靶点位于 O<sub>2</sub> 处时的工作状态计算防护门外关注点的剂量率，其中 O<sub>2</sub>-i-g 路径在防护门内 g 处的剂量率为 uSv/h，O<sub>2</sub>-0-i-g 路径在防护门内 g 处的剂量率为 151.88 μSv/h，O<sub>2</sub>-0-h-n-g 路径在防护门内 g 处的剂量率为 48.24 μSv/h。则防护门外关注点的剂量率为  $(5.86+151.88+48.24) \times 10^{(-2.0/0.5)}$  +0.222=0.25 μSv/h，低于表 11-2 中的剂量率控制目标。

根据上述估算结果，加速器机房外剂量率为  $3.27 \times 10^{-7}$  μSv/h~1.47 μSv/h，低于表 11-2 各关注点中的剂量率控制目标。

### (3) 主屏蔽墙宽度符合性分析

依据《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)，常规加速器主射束在屏蔽墙上的投影区为主屏蔽墙，主屏蔽墙相比于次屏蔽墙有一定宽度的凸出部分，主屏蔽墙的宽度应略大于主射束最大射束张角在主屏蔽墙的投影区。

根据《放射治疗机房的屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 公式对主屏蔽墙宽度进行计算，公式如下：

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD) / \tan \theta + 0.3] \quad (\text{式 11-9})$$

式中：

Y<sub>p</sub> 一机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

a 一等中心至“墙”的距离，m。东西墙主屏蔽区均为内凸，则为等中心点到次屏蔽墙内表面的距离；室顶主屏蔽为外凸，则为等中心点到外凸外表面的距离

SAD-源轴距，m；

θ 一治疗束的最大张角(相对束中的轴线)，14°

0.3 一屏蔽体半边宽余量，m。

加速器机房主屏蔽设计宽度计算结果见表 11-10。

表 11-10 加速器机房主屏蔽墙宽度计算一览表

各屏蔽墙	a (m)	SAD (m)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	所需宽度 $Y_p$ (m)	设计宽度 (m)	符合性
东墙主屏蔽区	4.125	1	14	3.45	5	符合
西墙主屏蔽区	4.125	1	14	3.45	5	符合
室顶主屏蔽区	6.2	1	14	4.19	5	符合

由表 11-7 可知，本项目加速器机房主屏蔽设计宽度满足要求。

#### (4) 感生放射性

本项目医用电子加速器最大电子能量为 15MeV，大于 10MeV，其运行过程中涉及感生放射性危害。鉴于医用电子加速器运行期间的感生放射性存在不确定性，本次评价引用《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》(中国辐射卫生, 2021 年 10 月第 30 卷第 5 期)中对 5 台不同厂家不同型号的医用电子加速器(2 台 10MV, 3 台 15MV)的感生放射性进行检测的数据进行后续评价，检测方法和结果如下：

##### ①方法

采用 automess-6150AD6/H+6150AD-b/H 型环境监测 X- $\gamma$  辐射周围剂量当量率仪对 5 台医用电子直线加速器感生放射性进行测量。

##### ②结果

5 台医用电子直线加速器感生放射性水平与测量位置、时间等因素有关，其中对于 1 号 10MV 和 5 号 10MV 医用电子加速器的检测结果，出束停止后 10s，加速器机头外壳表面 5cm 周围剂量当量率最大值为 0.80  $\mu$  Sv/h，距外壳 1m 处固定点的周围剂量当量率最大值为 0.52  $\mu$  Sv/h；在出束停止 5min 后，加速器机头外壳表面 5cm 周围剂量当量率最大值为 0.63uSv/h，距外壳 1m 处固定点的周围剂量当量率最大值为 0.22  $\mu$  Sv/h。

### 三、年有效剂量

#### (1)年有效剂量估算公式

$$H = D_r \times T \text{ (式 11-10)}$$

式中：

H—年有效剂量，Sv/a；

$D_r$ —剂量率，Sv/h；

T—年受照时间，h/a。

#### (2)照射时间

根据设备厂家提供及建设单位提供资料，本项目根据现有患者门诊量及医院实际情况预估，该台直线加速器启用后每天最多能治疗 100 人次，本项目为保守起见取 3min，本项目直线加速器年累计出束时间见表 11-11。

表 11-11 医用电子直线加速器使用情况

工作模式	单次出束时间 (min)	年最大工作量 (次/年)	年累计出束时间 (h/a)
放射治疗	3	25000	1250

### (3) 居留因子

居留因子选取参考《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198 — 2021)附录 A，如下表所示：

表 11-12 不同场所的居留因子

场所	居留因子		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、治疗控制区、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域
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) 职业人员年有效剂量加速器职业人员年受照剂量需考虑在控制室内进行设备操作、摆位时受加速器机房内感生放射性的受照影响，保守按照职业人员参加全部加速器治疗工作考虑。

①根据加速器机房外辐射水平估算，职业人员在控制室内进行设备操作时，控制室内剂量率为  $5.94 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ，居留因子和利用因子均取 1，保守计算职业人员操作设备时受照剂为  $5.94 \times 10^{-7} \times 1250 \times 10^{-3} = 7.43 \times 10^{-7} \text{mSv/a}$ 。

②职业人员进入机房摆位时，由前述可知，距外壳 1m 处固定点(约辐射工作人员摆位时站立的位置)的剂量率最大值为  $0.52 \mu\text{Sv/h}$ ，居留因子和利用因子均取 1，保守估计每次摆位时间同出束时间相等，工作时轮岗操作，每天至少有两名工作人员换岗操作，则职业人员摆位时受机房内感生放射性照射的附加剂量为  $0.52 \times 10^{-3} \times 2917 \times 1 \times 1/2 = 0.758 \text{mSv/a}$ 。根据上述计算，每台加速器职业人员所受年有效剂量最大为  $7.43 \times 10^{-7} + 0.758 \approx 0.758 \text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的  $20 \text{mSv/a}$  的剂量限值也低于本评价提出的  $5 \text{mSv/a}$  的年管理剂

量约束值。

#### (5) 公众成员年有效剂量

本项目预留加速器机房东侧、北侧及下方均为土壤层，西侧为 TOMO 机房，南侧为控制室、信息机房等，上方为院内空地，公众成员活动区域主要为南侧及上方。根据上文加速器机房外辐射水平估算，加速器机房外公众成员年有效剂量如下表所示：

场所描述		人员	关注最大点剂量率 $H_m$ ( $\mu$ Sv/h)	居留 因子	使用 因子	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器 机房	防护门外（走廊）	公众 成员	0.25	1/8	1	1250	3.91E-02
	室顶上方（院内空地）	公众 成员	1.02	1/40	1	1250	3.19E-02

由上表可知，加速器机房外公众成员所受年有效剂量最大为 0.0391mSv/a，低于公众成员年管理剂量约束值 0.1mSv/a。

本项目加速器机房周围 50m 评价范围内不存在保护目标。本项目加速器机房周围均有土壤层或其他墙体等实体屏蔽，再考虑剂量率按照距离的平方进行衰减后，实际辐射水平很低，远小于本评价提出的 0.1mSv/a 的公众成员管理剂量约束值，可忽略不计。因此，本项目加速器运行对保护目标处辐射影响较小。

综上所述，在加强日常管理情况下，本项目加速器职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均满足本评价提出的年管理剂量约束值，满足国家有关要求。

## 四、废环境影响分析

### 1、非放射性有害气体

医用电子加速器开机运行时，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 ( $NO_1$ ,  $NO_2$ )。机房设有机械通风系统，进风口与排风口上进下出、对角设置，排风次数大于 4 次/h，室外排风口末端设置在肿瘤医院楼顶，满足 (HJ 1198-2021) 的要求。通过机房通风系统可明显降低有害气体的浓度，不会对周围环境和人员造成影响。

### 2、放射性废水

在加速器运行期间，冷却水尤其是靶部分水被活化而含有放射性核素主要为  $^{15}O$ 、 $^{16}N$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，放置一定的时间，待其活度满足 GBZ18871-2002 规定的一次排放限值后，可按照一般废水处理，排入医院污水处理系统处理后外排。正常运行时不会对环境造成

影响。

### 3、放射性固体废物

活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后即放进屏蔽容器委托设备方转运，最终送交有资质的单位收贮，不会对环境造成影响。

## 11.2 事故影响分析

### 一、可能的辐射事故(件)情形

由加速器工作原理可知：X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，断电状态下较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

#### （1）门-机联锁装置失效

由于未及时检修，门-机联锁装置失效，门处于半开启状态，直线加速器仍能运行，人员未佩戴个人剂量报警仪进入直线加速器机房而受到照射。

#### （2）人员滞留在机房内

加速器治疗时，工作人员、病人家属等进入直线加速器机房后，未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不易察觉的地方。

#### （3）人误

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

#### （4）医疗照射不正当化

滥用射线装置对病人进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

#### （5）加速器维修时操作不当

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

#### （6）未进行质量控制检测

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

综上，最有可能发生的事故是医用电子直线加速器工作时人员误留机房内以及设备检、维修过程中受到的异常照射。

## 二、潜在照射预防措施

医院使用的加速器是风险性较高的放射治疗装置，因此，做好潜在照射的控制显得尤为重要。

如第 10 章所述，医院加速器设置了比较齐全的辐射安全措施，在正常运行过程中，发生异常照射和事故照射的概率很小，不会对周围人员造成不必要照射。但是，当发生意外情况就有可能造成人员损伤，需针对不同情况采取了相应的预防和应急措施。

### 1. 加速器潜在照射情形

- ①人员误留机房内时误出束；
- ②联锁装置故障时，出束时人员误入机房内；
- ③维修时误出束。

### 2、应急措施

(1) 医院成立放射事故应急小组，并制定切实可行的应急处理措施。

(2) 加速器进行治疗期间，如果有人误留或误入机房里，当操作人员通过监视装置看到后，要立即按下紧急开关，停止出束。

(3) 工作人员在进行摆位或其他照射前准备工作时，如果控制台前操作人员误将加速器开机，工作人员一旦发现其运行可就近按动治疗床旁边、操作立柱或机房其他位置的应急按钮，迫使设备停止出束。

(4) 在对加速器检修调试过程中，如果因检修人员误操作而导致加速器出束，可迅速按下相应的急停开关，停止照射。

(5) 在对病人诊断或治疗过程中，如果不能自动终止照射，则按下急停开关、切断电源，停止出束。

(6) 工作人员进入加速器机房携带辐射剂量报警仪，发现辐射异常情况立即退出机房。

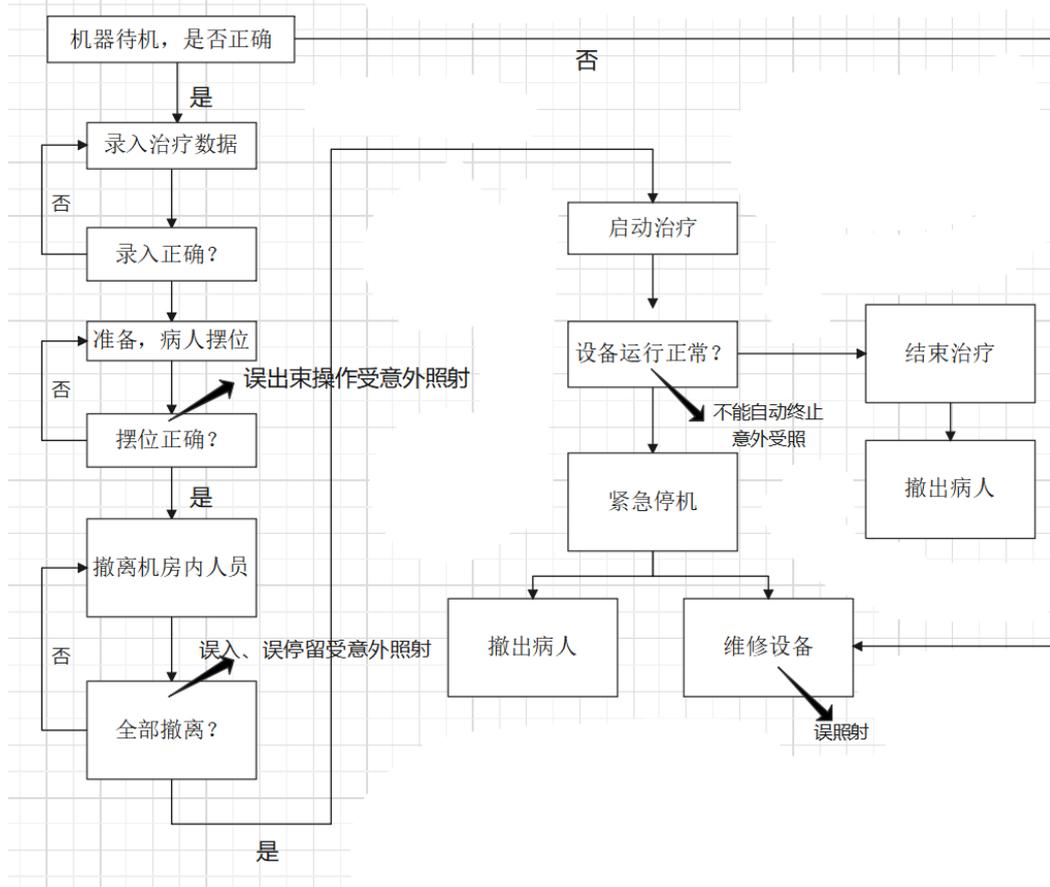


图 11-4 潜在照射可能发生环节示意图

### 三、事故防范措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射，因此发生误照射事故应第一时间切断装置电源，确保装置停止出束，对人员进行救治，医院应采取以下措施防范风险事故发生。

(1) 按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯联锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

(2) 开机运行前，撤离机房时应清点人数，必须按程序对直线加速器治疗机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警。运行时发现有人员滞留室内，由控制室紧急按下停机开关；如机房内有工作人员未及时出来，可通过随身携带的仪器报警，立即按下机架上的紧急停机开关，可将辐射危险的严重程度降至最低限度。

(3) 放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，

避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

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

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

（6）医院做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能地避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

按照《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：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 名具有本科学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；

其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

#### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

##### 12.1.1 辐射安全管理领导小组成员及职责

建设单位根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》《放射诊疗管理规定》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等规定，成立了以分管院长为主任委员的辐射安全与环境保护管理委员会，小组成员如下：

主任委员：副院长（主管医疗）

副主任委员：医务处副处长、器械科科长

委员：保卫科科长、预防保健科科长、器械科副科长、护理部区护士长和相关临床医技科室主任及工作人员

秘书：医务处、器械科工作人员

职责：

1. 负责医院核与辐射安全工作的组织实施与管理。
2. 贯彻执行国家有关法律、法规，建立、健全医院层面的核与辐射安全相关规章制度，并督促各部门、科室执行落实。
3. 负责核与辐射设施、设备和放射源涉及场所、科室的监督检查工作，针对存在的问题提出整改建议并督导落实。
4. 对核与辐射工作的立项、设备的引进以及防护的配置等进行论证，并提出实施方案。

5. 负责组织伴有辐射项目的排污申报登记、放射源登记管理和辐射源废源转移等工作。

6. 协助自治区环保部门对伴有辐射的项目“三同时”（指建设项目中防治污染的设施，应当与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用）执行情况进行检查验收。

7. 负责组织核与辐射事故的调查处理和应急响应工作。

8. 定期组织召开会议，讨论辐射安全与防护工作的计划和总结、放射人员执业危害控制等工作，研究和解决核与辐射管理工作中存在的问题，提出整改意见和建议。

9. 负责核与辐射安全管理相关政策、法律法规的宣传教育工作。

10. 负责组织核与辐射安全管理知识、专业技术的培训工作。

#### 12.1.2 辐射工作人员

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，本项目辐射工作人员均应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行辐射安全与防护培训，考核合格方可上岗。

本项目沿用原放疗中心工作人员，医院应加强辐射工作人员管理，严禁未参加培训考核及考核未通过的人员从事辐射工作。

#### 12.2 辐射安全管理规章制度

建设单位已制定《宁夏医科大学总医院辐射事故处理应急预案》《宁夏医科大总医院质量与安全管理委员会文件》《宁夏医科大学总医院辐射安全与环境保护管理委员会人员组成及工作职责》《放疗科放射治疗技术质量控制及质量保障体系文件》《宁夏医科大学总医院放射工作人员职业健康管理制度》《宁夏医科大学总医院放射工作人员个人剂量监测管理制度》《放射治疗技师岗位职责》《放射源及射线装置安全管理制度》等规章制度详见附件 5。

医院现有辐射安全和防护制度的建立落实、档案管理等方面运行正常，本项目建成后应根据本项目医院开展的其他放射诊疗进一步完善安全操作规程、明确岗位职责、人员培训计划、监测计划等相关制度。

针对本项目，医院应制定针对本项目的《直线加速器机房的操作规程》《直线加速器机房工作人员岗位职责》《直线加速器机房辐射环境管理制度》等与本项目相关的辐射防护制度，并将本项目可能发生的辐射事故纳入应急预案、针对本项目制定切实可行的应急处置流程、工作场所定期监测制度、放射性工作场所管理制度、放射性“三废”及废旧放射源处理等相关管理制度

等。

### 本报告对各项制度的要点提出以下建议：

(1) 操作规程：医院应根据本项目特点制定《直线加速器机房操作规程》，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

(2) 直线加速器机房岗位职责：明确辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(3) 辐射事故应急预案：完善事故应急预案，将本项目直线加速器机房可能发生的辐射事故纳入应急预案，应急预案应有明确的责任分工和切实可行的应急措施，当发生辐射事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在规定时间内向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，还应同时报告当地卫生主管部门。

## 12.3 辐射监测

### 12.3.1 个人剂量监测

建设单位已制定《辐射监测方案》，其中规定了医院辐射安全专职管理员负责联系有剂量监测资质的机构对医院辐射工作人员进行个人剂量监测。根据医院提供资料显示，医院目前已委托宁夏回族自治区疾病预防控制中心为所有在岗放射工作人员进行放射工作人员个人剂量监测，根据监测报告及监测结果可知，建设单位的个人剂量监测工作较为良好，建议医院继续按照《辐射监测方案》执行个人剂量监测计划，如有新人入职，应及时为新人进行个人剂量监测并建立个人剂量监测档案。

### 12.3.2 工作场所辐射环境监测

建设单位已为项目所在科室配置 1 台 X- $\gamma$  辐射剂量率监测仪，并对现有的《辐射监测方案》进行修订，并按照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198—2021)定期放射治疗工作场所进行的辐射环境 X、 $\gamma$  周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等进行自主监测。

#### ①委托监测

医院应联系有资质的监测单位，对医院辐射工作场所及周围环境 X- $\gamma$  辐射剂量率水平每年进行 1 次监测；年度检测报告应作为《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自主监测:

医院指定专人对放射治疗机房及周围环境 X- $\gamma$  辐射剂量率进行监测，具体监测方案如下:

监测位置: 放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门, 以及其他关注处点开展 X- $\gamma$  辐射周围剂量当量率监测; 治疗机房屏蔽效果检测应在巡测的基础上, 对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括: 四面墙体、顶棚、机房门、管线洞口、工作人员操作位等, 点位选取应具有代表性, 建议按照本报告第十一章“表 11-2 直线加速器机房周围各关注点剂量率参考控制水平”对检测结果进行评价, 如果超过控制水平, 应采取相应措施进一步核实, 对于确定超过控制水平的点位应进行屏蔽补偿或增加防护。

监测项目: X- $\gamma$  辐射剂量率

监测频次: 4 次/年

医院制定了监测计划并设计制作了《辐射工作场所 x、 $\gamma$  辐射剂量率自行检测记录表》, 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。医院应做好监测数据的审核, 并制定相应的报送程序, 监测数据及报送情况应存档备查

## 12.4 辐射事故应急

建设单位已根据《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与防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定, 制定了《建设单位辐射事故应急预案》。在应急预案文件中, 医院已明确了应急机构组成及职责, 成立了辐射事故应急指挥中心, 以主管领导为组长, 医务科、护理部、设备科及各临床医技科室主任为组员。针对现有核技术利用项目可能发生的辐射事故类型, 明确了报告和处理程序、应采取的应急处置措施、信息报告与联系方式。此外, 为应急部门配备了固定电话、电离辐射警示标志、巡测仪、铅衣等应急物资。日常工作中, 医院安排每年组织一次院内辐射事故应急演练。医院制定的辐射事故应急预案已经具备了一定的辐射事故应急处置能力, 能够基本满足现有辐射安全管理要求。

针对本项目新增的直线加速器机房, 建设单位应进一步修订、完善辐射事故应急预案, 对直线加速器机房辐射事故等提出针对性的应急措施。依据国家相关法律法规、标准, 不断对其进行补充修改、完善, 使应急预案更具有操作性、可行性。同时加强应急预案演练, 提高事故应急处置能力。

## 12.5 项目竣工环境保护验收管理

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》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。验收合格后，方可投入生产或使用。本工程竣工环境保护验收的内容见表 12-1。

验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过 12 个月。

表 12-3 本项目竣工环境保护验收一览表

序号	项目	设施（措施）	验收要求
1	环保资料	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等	验收资料齐全，手续合法合规。
2	设备数量及机房	1 间直线加速机房安装 1 台 Infinity 型直线医用电子直线加速器，最大 X 线能量 10MV，最大电子线能量 15MeV。	设备安装位置、型号及相关参数不发生重大变动。
3	辐射屏蔽措施	机房屏蔽墙体、防护门等	防护措施按照设计要求实施，辐射防护屏蔽能力满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求
4	人员管理人员	辐射安全与防护培训考核	操作人员接受安全防护教育和培训。定期参加相关辐射防护知识培训学习，取得合格后方可上岗

	管理	个人剂量监测	应按要求进行个人剂量监测并建立档案
		职业健康检查	辐射工作人员按要求进行职业健康体检并建立档案
5	管理制度	辐射防护管理制度	根据报告表应该完善的污染防治措施要求,修改完善医院相关规章制度,满足《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》以及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等中的相应防护标准的要求
6	辐射安全防护措施	辐射安全措施	直线加速器机房治疗室防护门设置门机联锁装置、光幕式红外防夹装置,防护门上方设置工作状态指示灯,防护门表面张贴电离辐射警告标识;机房内以及控制台设置急停开关;机房内设置视频监控和对讲设施、在线监控系统、固定式剂量警报装置等安装到位,符合要求
7	防护用品、监测仪器	个人剂量计	配备与工作人员数量匹配的个人剂量计
		辐射环境监测仪	配备符合要求的辐射环境监测仪
8	分区管理	工作场所划分为监督区和控制区	严格按照控制区和监督区相关要求进行管理,严格医生和病人的分流
9	监测实施	个人剂量监测	工作人员受到的年附加有效受照剂量应低于管理限值 5mSv 的要求;公众人员受到的附加年有效剂量应低于管理限值 0.1mSv 的要求
		工作场所监测	机房外周围剂量当量率应不大于《放射治疗放射防护要求》(GBZ120-2020)中规定的要求。

表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 辐射实践的正当性

宁夏医科大学总医院拟增加的辐射性医疗设备、设施主要用于肿瘤治疗，目的在于提升医院的医疗水平，更好地开展放射诊疗工作，救治病人，其产生的社会效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“实践正当性”的要求。

#### 13.1.2 产业政策的符合性

按照《产业结构调整指导目录（2019年本）》：“鼓励类第十三项、医药类第5条、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”之规定，属于鼓励类，符合国家产业政策。

#### 13.1.3 选址的合理性

本项目改建的直线加速器机房核技术利用项目位于医院内部，不新增土地。项目50m评价范围内无居民区、学校、具有代表性的各种类型的自然生态系统区域，珍稀、濒危的野生动植物自然分布区域，重要的水源涵养区域以及人文遗迹、古树名木等环境敏感目标，无环境制约因素，选址合理可行。

#### 13.1.4 辐射环境质量现状

本项目直线加速器机房周围1#、2#、3#、4#、6#点位室内监测点位的环境 $\gamma$ 辐射剂量率在 $(75.7 \pm 3.2)$  nGy/h至 $(93.6 \pm 3.9)$  nGy/h之间，5#和7#室外监测点位的环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 $(73.5 \pm 5.5)$  nGy/h至 $(73.8 \pm 5.0)$  nGy/h之间。根据《全国环境天然贯穿辐射水平调查研究(1983-1990)》，宁夏地区的室内 $\gamma$ 辐射剂量率水平为62.3-137.8 nGy/h，宁夏地区的原野 $\gamma$ 辐射剂量率水平为38.8-87.6 nGy/h。由此可知项目所在地的环境 $\gamma$ 辐射剂量率在当地环境本底水平范围内。

#### 13.1.5 辐射防护措施有效性

根据医院提供的防护设计资料，经分析计算，直线加速器机房的辐射防护设计方案和辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中的相关要求。

### 13.1.6 辐射环境影响分析

经分析，本项目直线加速器机设备正常运行后，对职业人员和公众人员所造成的最大年附加有效剂量均低于本项目规定的剂量约束值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv），且均符合《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。

### 13.1.7 可行性结论

综上所述，宁夏医科大学总医院新增直线加速器治疗机项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理制度后，具备从事相应的辐射工作技术能力，对工作人员、公众人员和周围环境的辐射影响就可以控制在国家允许的标准范围之内。因此，从辐射安全和环境保护的角度论证，本项目建设是可行的。

## 13.2 承诺及建议

### 13.2.1 建议

（1）认真落实环评提出的管理措施和辐射防护措施要求，更新完善、补充辐射管理制度。加强和落实放射防护责任制，明确责任和分工，逐级强化责任，安全责任落实到人。

（2）加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝辐射事故的发生。

（3）定期进行防护安全检查，发现问题及时解决，以防止辐射照射事故发生。

（4）医院应将辐射事故应急预案装裱上墙，每年至少组织一次预案培训工作，并定期进行应急演练。

（5）应当编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报原发证机关。

（6）接受生态环境等主管部门的管理、监督及指导；取得环评报告表批复后，应及时向省生态环境厅申请重新办理《辐射安全许可证》。

### 13.2.2 承诺

为保护环境，保障人员健康，宁夏医科大学总医院承诺：

（1）及时完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行，在项目建设和运行过程中，加强内部监督管理，不违规操作、不弄虚作假，并接受生态环境部门的监督检查和及时整

改检查中发现的问题；

(2) 按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部18号令）要求开展个人剂量监测、工作场所监测和环境监测工作；

(3) 待本项目取得环评批复后，医院将及时向生态环境部门申请更新辐射安全许可证。

(4) 工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。项目投入运行后，尽快开展竣工环保验收。

