

扩建一台医用直线加速器项目 竣工验收监测报告

报告编号：瑞森（验）字（2021）第024号

建设单位： 东南大学附属中大医院

编制单位： 南京瑞森辐射技术有限公司

二〇二一年五月

项目名称： 东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器
项目

建设单位： 东南大学附属中大医院

法人代表： 滕皋军

编制单位： 南京瑞森辐射技术有限公司

法人代表： 王爱强

主要编制人员情况			
姓名	上岗证书号	职责	签名
赵国良	SHFSJ0497（电离类）	编写	
张晋	SHFSJ0743（电离类）	校核	
王超	SHFSJ0287（综合类）	审核	
王爱强	SHFSJ0060（综合类）	签发	

建设单位： 东南大学附属中大医院

联系人： 倪雪英

电话： 025-83272335

地址： 南京市鼓楼区丁家桥 87 号

编制单位： 南京瑞森辐射技术有限公司

联系人： 赵国良

电话： 025-86633196

地址： 南京市鼓楼区建宁路 61 号中央金地广场 1 幢 1317 室

目 录

1 项目概况	1
1.1 建设单位基本情况.....	1
1.2 项目建设规模.....	1
1.3 验收工作由来.....	1
1.4 项目基本信息一览表.....	2
2 验收依据	4
2.1 建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度.....	4
2.2 建设项目竣工环境保护验收技术规范.....	5
2.3 建设项目环境影响报告书（表）及其审批部门审批决定.....	5
3 项目建设情况	6
3.1 地理位置及平面布置.....	6
3.2 建设内容.....	11
3.3 工作原理及工艺流程.....	14
3.4 项目变动情况.....	15
4 辐射安全与防护环境保护措施	16
4.1 污染源项分析.....	16
4.2 布局与分区.....	17
4.3 辐射安全措施.....	19
4.4 辐射安全管理制度.....	22
4.5 辐射安全应急措施.....	23
4.6 非放污染防治.....	23
4.7 辐射安全与防护措施落实情况.....	24
5 环境影响报告书（表）主要结论与建议及其审批部门审批决定	28
5.1 环境影响报告书（表）主要结论与建议.....	28
5.2 审批部门审批文件.....	30
6 验收执行标准	32
6.1 人员年受照剂量管理目标值.....	32
6.2 辐射管理分区.....	32

6.3 工作场所布局要求.....	32
6.4 工作场所放射防护安全要求.....	33
6.5 安全管理要求及环评要求.....	34
7 验收监测.....	35
7.1 监测分析方法.....	35
7.2 监测因子.....	35
7.3 监测工况.....	35
7.4 监测内容.....	35
8 质量保证和质量控制.....	36
8.1 本次验收监测质量保证和质量控制.....	36
8.2 自主检测质量保证和质量控制.....	37
9 验收监测结果.....	38
9.1 辐射工作场所监测结果.....	38
9.2 辐射工作人员和公众年有效剂量分析.....	43
10 验收监测结论.....	46
10.1 验收结论.....	46
10.2 建议.....	47
附件 1 项目委托书.....	48
附件 2 项目环境影响报告表主要内容.....	49
附件 3 项目环境影响报告表批复文件.....	61
附件 4 辐射安全许可证及辐射工作人员相关信息.....	63
附件 5 辐射安全管理机构及制度.....	70
附件 6 辐射工作人员培训证书及健康证明.....	88
附件 7 个人剂量检测报告.....	100
附件 8 竣工环保验收监测报告.....	106
附件 9 本项目直线加速器机房防护建设情况.....	120
附件 10 验收监测单位 CMA 资质证书.....	121
附件 11 专家意见及修改说明.....	123

1 项目概况

1.1 建设单位基本情况

东南大学附属中大医院位于南京市湖南路丁家桥87号，是一家大型综合性教学医院。东南大学附属中大医院于2021年3月29日重新申领了辐射安全许可证（证书编号：苏环辐证[00088]），活动种类和范围为：使用V类放射源；使用II、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至2022年2月25日，辐射安全许可证见附件4。

1.2 项目建设规模

为提升诊疗水平，改善患者的治疗条件，东南大学附属中大医院在肿瘤中心地下一层扩建1座直线加速器机房（2号直线加速器机房）及其相关辅助机房，配备1台医用直线加速器（X射线最大能量：15MV；电子线最大能量：22MeV；属II类射线装置），用于放射治疗。该项目已于2016年8月31日取得了原江苏省环保厅关于该项目的环评批复文件（苏环辐（表）审（2016）040号），本项目已完成许可。

本项目实际建设规模为：在肿瘤中心地下一层扩建1座直线加速器机房（2号直线加速器机房）及其相关辅助机房，配备1台医用直线加速器（型号：VitalBeam；X射线能量：6MV、10MV，电子线能量：4、6、8、10、12、15MeV；最大输出剂量率：10MV时为600cGy/min，6MV时为1400cGy/min（3F束流模式）），本项目实际技术参数及建设内容在环评文件范围以内。

2020年12月，东南大学附属中大医院扩建1台医用直线加速器机房项目已竣工并完成调试，配套的环保设施和主体工程均已同时建成，具备竣工环境保护验收条件。

1.3 验收工作由来

根据《建设项目环境保护管理条例》及《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，东南大学附属中大医院于2020年12月组织并启动验收工作，委托南京瑞森辐射技术有限公司对本项目开展竣工环境保护验收监测工作。项目委托书见附件1。

南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，于 2020 年 12 月 23~24 日编制了《东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器项目竣工环境保护验收监测方案》。本次验收内容为：在肿瘤中心地下一层扩建 1 座直线加速器机房（2 号直线加速器机房）及其相关辅助机房，配备 1 台医用直线加速器（型号：VitalBeam；X 射线能量：6MV、10MV，电子线能量：4、6、8、10、12、15MeV；最大输出剂量率：10MV 时为 600cGy/min，6MV 时为 1400cGy/min（3F 束流模式）），医用直线加速器属 II 类射线装置，用于肿瘤放射治疗。南京瑞森辐射技术有限公司于 2020 年 12 月 28~29 日、2021 年 5 月 8 日开展了现场监测和核查，根据现场监测和核查情况，编制本项目验收监测报告。

1.4 项目基本信息一览表

本项目基本情况见表 1-1。

表 1-1 项目建设基本信息

项目名称	扩建一台医用直线加速器项目竣工环境保护验收		
建设单位	东南大学附属中大医院 (统一社会信用代码: 12100000466007706B)		
法人代表	滕皋军	项目联系人	倪雪英
联系电话	025-83272335		
通讯地址	南京市鼓楼区丁家桥 87 号		
项目地点	南京市鼓楼区丁家桥 87 号东南大学附属中大医院院内		
建设性质	扩建		
环评单位	南京瑞森辐射技术有限公司		
环评报告名称	《扩建一台医用直线加速器项目环境影响报告表》		
环评审批部门	原江苏省环境保护厅	批复时间	2016 年 8 月 31 日
批准文号	苏环辐(表)审[2016]040 号		
竣工验收监测单位	南京瑞森辐射技术有限公司	委托时间	2020 年 12 月 22 日
总投资(万元)	2600		

核技术项目投资 (万元)	2563	核技术项目环保投 资(万元)	37
-----------------	------	-------------------	----

医院本次验收项目环评审批及实际建设情况见表 1-2。

表 1-2 核技术应用项目环评审批及实际建设情况一览表

环评报告表 名称	环评审批情况及批复时 间	实际建设情况	备注
《扩建一台 医用直线加 速器项目环 境影响报告 表》	建设地点:位于南京市鼓 楼区丁家桥 87 号东南大 学附属中大医院院内。 项目内容:在肿瘤中心地 下一层扩建 1 座直线加 速器机房及其相关辅助 机房,配备 1 台医用直线 加速器(X 射线最大能 量:15MV;电子线最大 能量:22MeV;属 II 类 射线装置)。 批复时间:2016 年 8 月 31 日 批准文号:苏环辐(表) 审[2016]040 号	建设地点:位于南京市鼓楼 区丁家桥 87 号东南大学附 属中大医院院内。 项目内容:在肿瘤中心地下 一层扩建 1 座直线加速器机房 (2 号直线加速器机房)及其 相关辅助机房,配备 1 台医用 直线加速器(型号: VitalBeam;X 射线能量: 6MV、10MV,电子线能量: 4、6、8、10、12、15MeV; 最大输出剂量率:10MV 时为 600cGy/min,6MV 时为 1400cGy/min(3F 束流模式)), 医用直线加速器属 II 类射线 装置。	本项目医用直线 加速器环评时 X 射线最大能量为 15MV,实际为 10MV,电子线能 量环评时最大为 22MeV,实际为 15MeV,其余建设 内容与技术参数 与环评及批复一 致。

2 验收依据

2.1 建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014年4月24日修订，2015年1月1日起实施；
- 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日起施行；
- 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，全国人大常委会，2003年10月1日起施行；
- 4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院令 第 682 号，2017年10月1日发布施行；
- 5) 《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，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 709 号，2019年3月2日施行；
- 6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第 20 号，2021年1月4日起施行；
- 7) 《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；
- 8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令 第 16 号，2021年1月1日起施行；
- 9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环境保护总局（环发〔2006〕145号文）；
- 10) 《射线装置分类》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号，2017年12月5日起施行；
- 11) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修订），2018年5月1日起施行；
- 12) 《关于印发〈污染影响类建设项目重大变动清单（试行）〉的通知》，生态环境部办公厅，环办环评函[2020]688号，2020年12月13日印发；
- 13) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，国环规环评[2017]4号，2017年11月22日起施行；
- 14) 《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》生态环保部公告 [2018]第 9 号，2018年5月15日印发；
- 15) 《放射工作人员职业健康管理辦法》，中华人民共和国卫生部令 第 55

号，2007年11月1日起施行。

2.2 建设项目竣工环境保护验收技术规范

- 1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- 2) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- 3) 《电离辐射监测质量保证一般规定》（GB 8999-1988）；
- 4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- 5) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；
- 6) 《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）；
- 7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子加速器放射治疗》（GBZ/T 201.2-2011）；
- 8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；
- 9) 《公共场所集中空调通风系统卫生规范》（WS 394-2012）；
- 10) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）。

2.3 建设项目环境影响报告书（表）及其审批部门审批决定

1) 《东南大学附属中大医院新建放射诊疗项目环境影响报告表》，江苏辐环环境科技有限公司，2016年7月。见附件2；

2) 《关于东南大学附属中大医院新建放射诊疗项目环境影响报告表的批复》苏环辐（表）审[2016]040号，原江苏省环境保护厅，2016年8月31日。见附件3。

3 项目建设情况

3.1 地理位置及平面布置

项目名称：扩建一台医用直线加速器项目竣工环境保护验收。

建设地点：南京市鼓楼区丁家桥 87 号东南大学附属中大医院院内肿瘤中心地下一层 2 号医用直线加速器机房，东南大学附属中大医院地理位置见图 3-1，本项目周围 50m 范围示意图见图 3-2。

现场环境：东南大学附属中大医院位于南京市湖南路丁家桥 87 号。医院北侧为东南大学丁家桥校区，东侧、南侧及西侧均为居民区及商业街。扩建一台医用直线加速器位于东南大学附属中大医院肿瘤中心地下一层 2 号医用直线加速器机房内。该项目周围 50m 范围内西侧约 25m 为平安里居民区（平安里 46 号、48 号、50 号楼），其余方向均位于医院内部，与环评一致。

扩建一台医用直线加速器项目周围环境环评中规划情况与现场核实情况对照见表 3-1 至表 3-2。由表可知，本项目建设情况与环评及其批复一致。

表 3-1 放疗中心周围环境现场核实情况对照表

位置		周围环境环评规划情况	周围环境现场核实情况
肿瘤中心	东侧	院内空地	院内空地
	南侧	门诊楼和院内道路	门诊楼和院内道路
	西侧	院内道路、围墙、平安里居民区、金川河	院内道路、围墙、平安里居民区、金川河
	北侧	医技楼	医技楼

表 3-2 本项目各机房周围环境描述表

位置		周围环境		备注
		环评规划情况	现场核实情况	
2 号直线加速器机房	东侧	控制室、水冷机房（北部） 土层（南部）	控制室、水冷机房（北部） 土层（南部）	与环评文件一致
	南侧	土层	土层	与环评文件一致
	西侧	土层	土层	与环评文件一致
	北侧	1 号直线加速器机房	1 号直线加速器机房	与环评文件一致

	楼上	模拟机房及其控制室	模拟机房及其控制室	与环评文件一致
	楼下	土层	土层	与环评文件一致

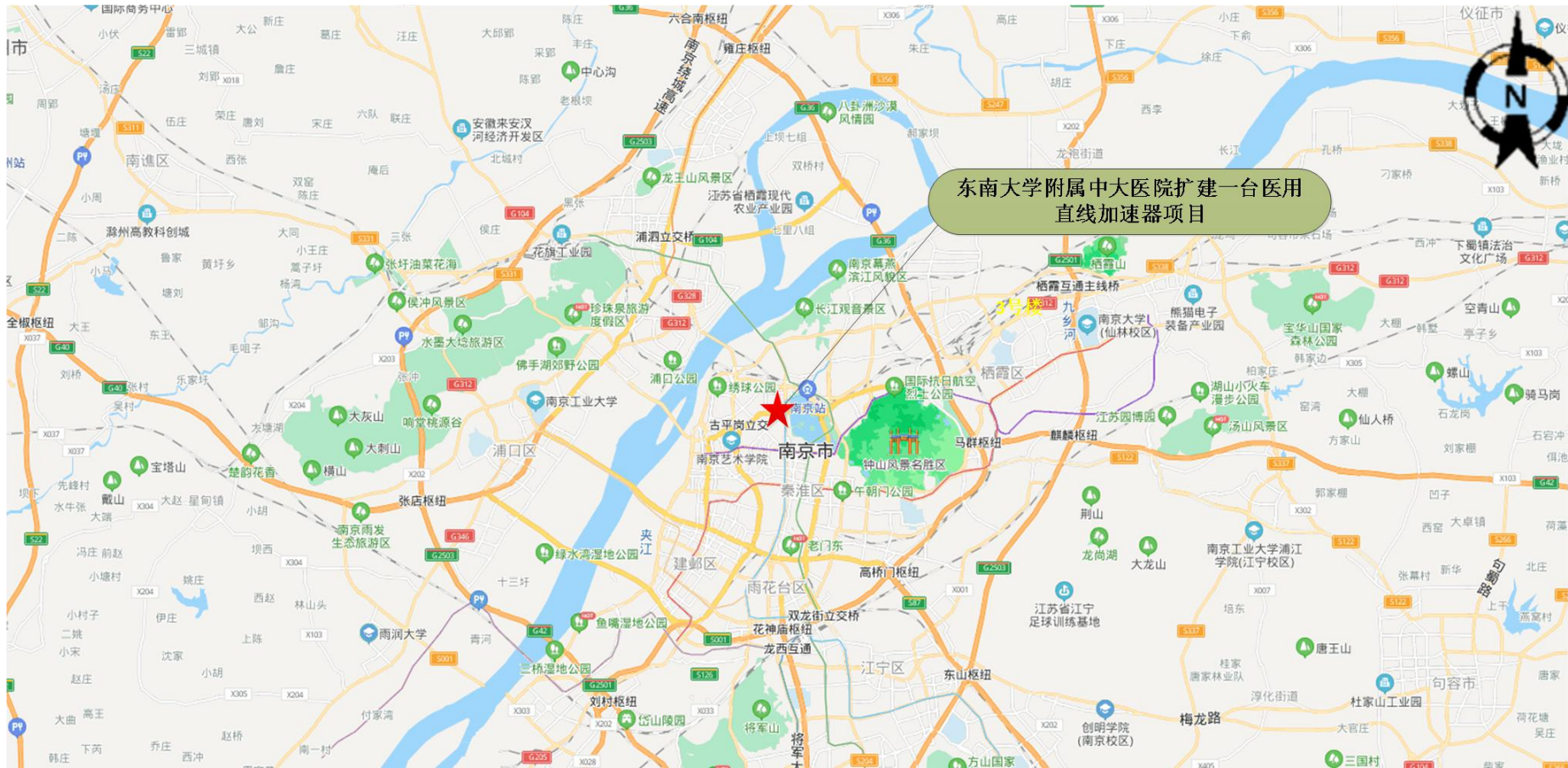
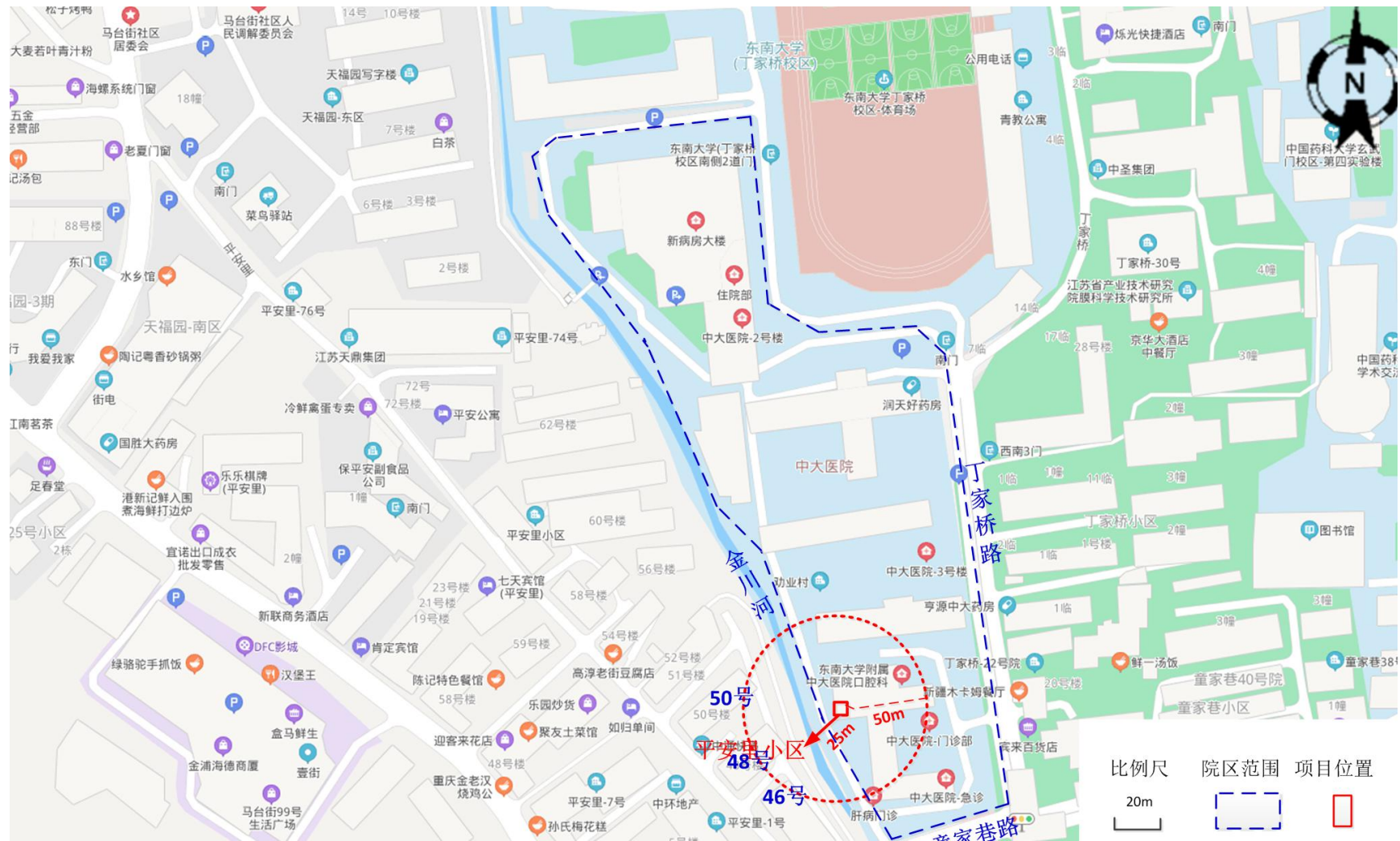


图 3-1 东南大学附属中大医院地理位置示意图



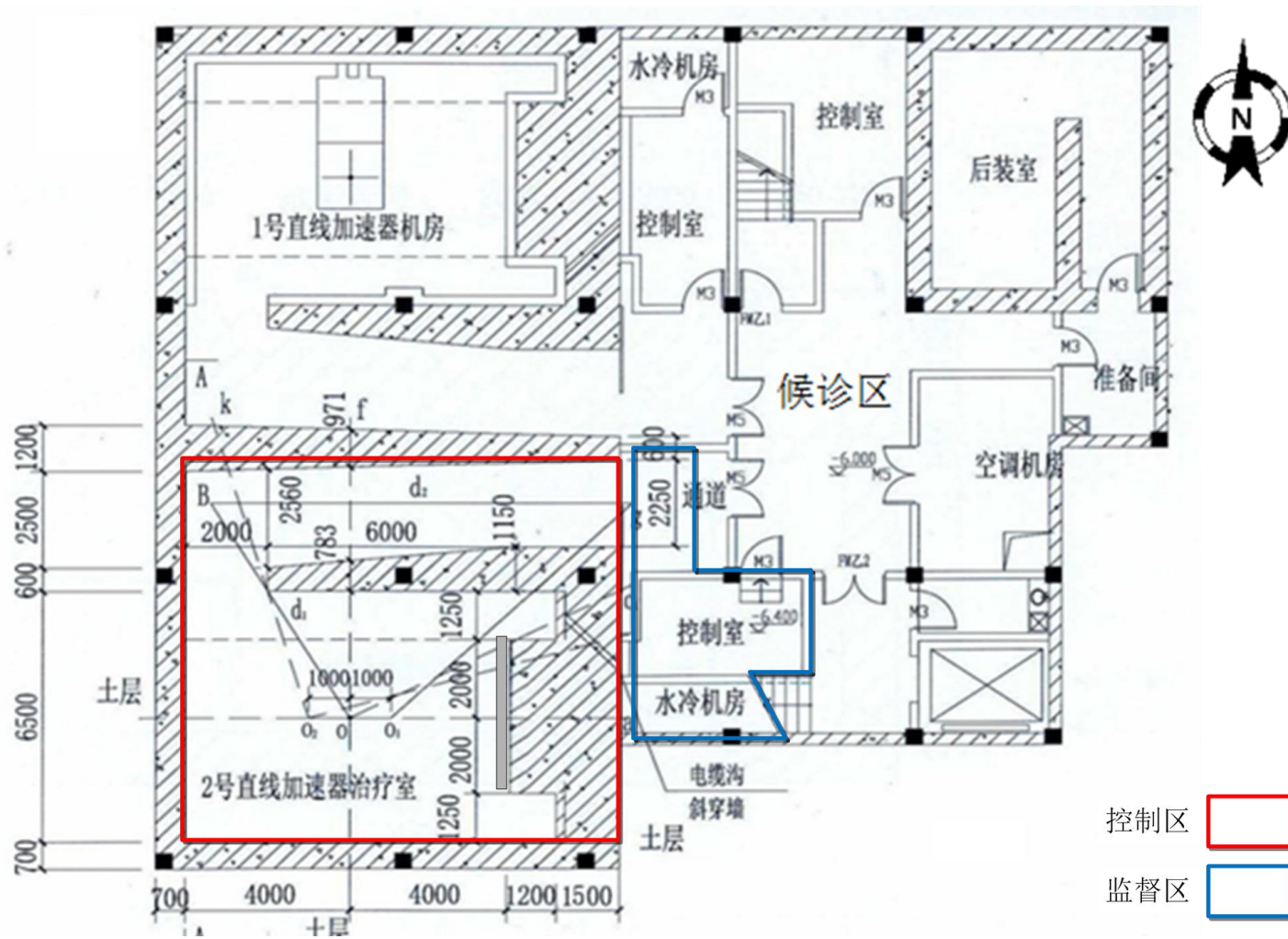


图 3-3 本项目 2 号医用直线加速器机房周围环境平面布置图

3.2 建设内容

医院在肿瘤中心地下一层扩建 1 座医用直线加速器机房（2 号直线加速器机房）及其相关辅助机房，配备 1 台医用直线加速器（型号：VitalBeam；X 射线能量：6MV、10MV，电子线能量：4、6、8、10、12、15MeV；最大输出剂量率：10MV 时为 600cGy/min，6MV 时为 1400cGy/min（3F 束流模式）），医用直线加速器属 II 类射线装置，用于肿瘤放射治疗。本次验收的医用直线加速器实物图见图 3-4。本次验收项目环评建设规模和实际建设规模机房屏蔽措施对比见表 3-3，主要技术参数对比见表 3-4，废弃物环评建设规模见表 3-5。由表中信息可知，本项目医用直线加速器环评时 X 射线最大能量为 15MV，实际为 10MV，电子线能量环评时最大为 22MeV，实际为 15MeV，其余建设内容与技术参数与环评及批复一致。



图 3-4 本项目医用直线加速器实物图

表 3-3 2 号直线加速器机房屏蔽措施现场核实情况对照表

位置		环评屏蔽设计厚度及材质	实际屏蔽设计厚度及材质	主屏蔽宽度
东墙	主屏蔽	270cm 砼	(250+20) cm 砼	400 cm
	次屏蔽	130cm 砼	130cm 砼	/

南墙	次屏蔽	70cm 砼	70cm 砼	/
西墙	主屏蔽	70cm 砼	70cm 砼	/
	次屏蔽	70cm 砼	70cm 砼	/
北墙	迷道内墙	60-115cm 砼	60-115cm 砼	/
	迷道外墙	60-120cm 砼	60-120cm 砼	/
屋顶	主屏蔽	280cm 砼	280cm 砼	400cm
	次屏蔽	140cm 砼	140cm 砼	/
防护门		2cm 铅板+15cm 含硼石蜡 (硼含量 2.78g/100g)	2cm 铅板+15cm 含硼石蜡(硼 含量 2.78g/100g)	/

表 3-4 东南大学附属中大医院验收项目环评建设规模与实际建设规模比较

射线装置								
名称	环评建设规模				实际建设规模			
	数量 (台)	型号	技术参数	工作场所	数量 (台)	型号	技术参数	工作场所
医用直线加速器	1	未定	X 线能量：6MV、15MV 电子线能量：5~22MeV X 线、电子线最大输出剂量率 均为：600cGy/min	肿瘤中心地 下一层	1	VitalBeam	X 线能量：6、10MV 电子线能量：4、6、8、10、12、15MeV X 线最大输出剂量率： 10MV 时 600cGy/min 6MV 时 1400cGy/min（3F 束流模式） 电子线最大输出剂量率 600cGy/min	肿瘤中心地下 一层放疗中心 2 号直线加速 器机房

表 3-5 东南大学附属中大医院验收项目废弃物环评建设规模

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧约 25 分钟后分解一半。
退役废靶	固态	/	/	/	/	/	暂存于铅罐中	厂家回收处理

3.3 工作原理及工艺流程

3.3.1 工作原理

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。东南大学附属中大医院配备的 1 台电子直线加速器，型号为 VitalBeam，X 线能量为 6、10MV，X 线最大输出剂量率：10MV 时 600cGy/min，6MV 时 1400cGy/min（3F 束流模式），电子线能量：4、6、8、10、12、15MeV，电子线最大输出剂量率 1000cGy/min。

3.3.2 工艺流程

医用电子直线加速器进行肿瘤放射治疗的基本流程为：

①模拟定位。先通过模拟定位机对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和射野大小，拍片定位；

②候诊登记。对已做模拟定位检查的患者进行登记候诊；

③计算射线强度。根据患者所患疾病性质、部位和大小确定照射剂量和照射的时间；

④摆位准备。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及视野；

⑤实施照射。根据已制定的诊疗计划，实施照射；

⑥治疗结束。

加速器工作人员进行肿瘤放射治疗时正常的开机治疗程序为：

①核对病人的姓名和治疗数据，仔细按治疗单要求摆位，除病人外全部离开治疗室，关闭机房门；

②选择运行模式；

③输入治疗参数；

④确认后开始治疗；

⑤治疗中通过电视屏幕监视病人情况和机器运行情况，一旦发生异常，立即停机、停束等妥善措施，及时报告维修、物理人员，做好记录。

本项目医用直线加速器工作流程及产污环节分析见图 3-5。

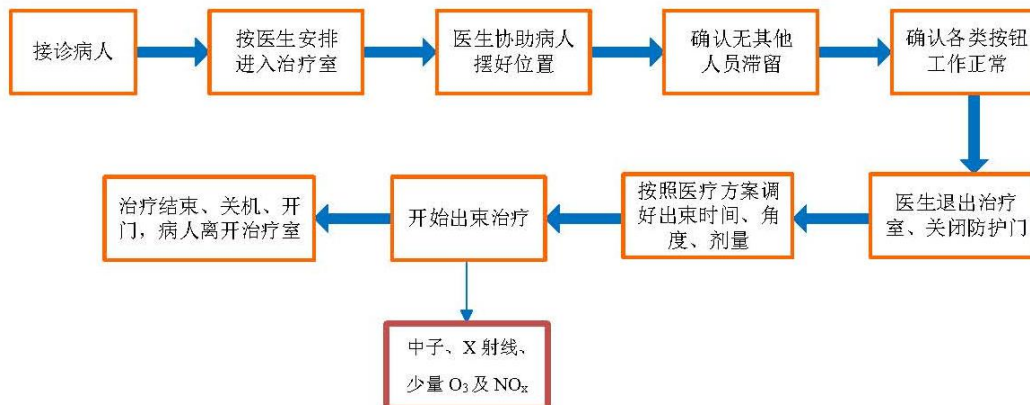


图 3-5 医用直线加速器工作流程与产污环节分析

3.3.3 污染因子

加速器工作时，主要辐射污染是 X 射线、中子及少量臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)。

3.4 项目变动情况

本项目医用直线加速器环评时 X 射线最大能量为 15MV，实际为 10MV，电子线能量环评时最大为 22MeV，实际为 15MeV，其余建设内容与技术参数与环评及批复一致。

4 辐射安全与防护环境保护措施

4.1 污染源项分析

4.1.1 辐射污染源项分析

由本项目工程分析和产污环节可知，医用直线加速器项目主要产生以下放射性污染：

1) X 射线

当医用直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。该院购置的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

2) 电子束

当医用直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速器加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库伦场的影响，贯穿深度有限。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，因此，在加速器电子束治疗时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

3) 中子

本次验收的 VitalBeam 型医用直线加速器，高压可以达到 10MV，因此会有较高能量的电子，这些电子轰击加速器构件（如：真空管壁、波导管壁、金属靶、准直器、均整器和机头屏蔽体乃至病床）时，会产生高能 X 射线，通过光致裂变反应，产生中子，甚至通过 (e、n) 反应直接产生中子。

4.1.2 其他污染源项分析

臭氧和氮氧化物：加速器开机运行时，产生的 X 射线空气 X 射线与空气相互作用可产生少量的臭氧 (O₃) 和氮氧化物 (NO_x)，少量臭氧和氮氧化物通过动力排风装置排出机房，臭氧在常温下自动分解为氧气，废气对周围环境影响较小。

工作人员和部分病人产生的生活污水和生活垃圾，由院内污水处理站和垃圾处理站统一处理。

4.2 布局与分区

布局

东南大学附属中大医院本次放射治疗项目位于肿瘤中心地下一层放疗中心，2号医用直线加速器机房拥有独立的治疗室和控制室，且设有迷路，机房东侧（北部和中部）为通道、控制室、水冷机房，机房东侧（南部）为泥土层，机房南侧和西侧均为泥土层，机房北侧为1号直线加速器机房，机房楼上为模拟机房及其控制室，机房下方无建筑为泥土层。

本项目2号医用直线加速器机房治疗室机房面积（不含迷道）约为48.3m²，室内南北长6.31m，东西长7.65m，室内净高4.6m，进行吊顶装修后室内净高3.0m，控制室位于机房东侧，主照射方向为东墙、西墙、屋顶及地面，机房采用直迷道来减弱辐射线束，迷道内墙厚度为60~115cm。本项目医用直线加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的要求及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）“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”等规定，本项目2号医用直线加速器机房布局合理。

辐射防护分区：医院已将本项目放射治疗工作场所划分为控制区和监督区，控制区包括医用直线加速器机房的治疗室和迷道，在设备正常工作时，除了正在接受治疗的病人外，严禁其他人员进入；监督区包括控制室、机房门口候诊区、水冷机房，此区域通过电离辐射警示标志、警示线和警示语句等减少非工作人员的停留时间。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

本项目医用直线加速器布局及辐射防护分区示意图见图4-1。

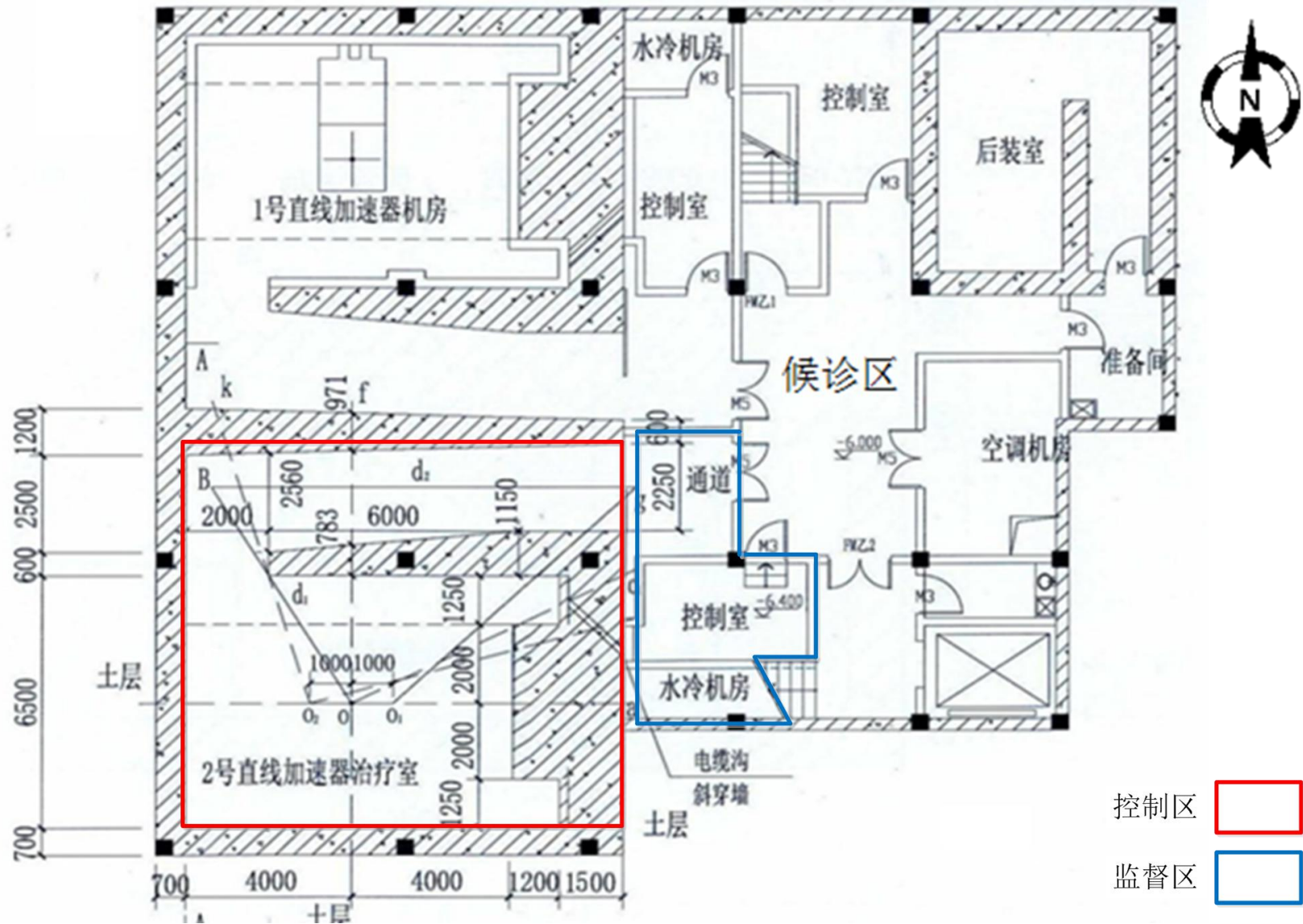


图 4-1 医用直线加速器工作场所辐射防护分区示意图

4.3 辐射安全措施

4.3.1 工作状态指示灯和电离辐射警告标志

本项目医用直线加速器机房出入口处设置有电离辐射警告标志和工作状态指示灯，符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志的要求。工作状态指示灯和电离辐射警告标志见图 4-2。



图 4-2 工作状态指示灯和电离辐射标志

4.3.2 人员监护

目前医院为本项目调配辐射工作人员 6 名（名单见表 4-1），满足医用直线加速器的配置要求。6 名辐射工作人员已于 2017 年 10 月参加了苏州大学放射医学研究所培训中心组织的辐射安全与防护培训，并且取得了培训合格证书。6 名辐射工作人员均已于 2020 年 12 月参加了南京市职业病防治院组织的职业健康体检，卢志强体检结论为“建议不从事放射投照工作，只从事科研和诊断工作”，其余 5 名人员结论均为“可继续从事原放射工作”。6 名辐射工作人员均佩带了个人剂量计，每季度送南京瑞森辐射技术有限公司监测。医院为本项目辐射工作人员建立了个人职业健康监护档案。

表 4-1 本项目配备的职业人员名单

姓名	性别	学历	培训合格证书编号	工作场所
傅辰春	男	博士	FS20JS0200133	肿瘤中心
郑士亚	女	博士	FS20JS0200019	肿瘤中心

姓名	性别	学历	培训合格证书编号	工作场所
卢志强	男	本科	FS20JS0200182	肿瘤中心
冯敏	男	本科	FS20JS0200071	肿瘤中心
雍霞	女	本科	FS20JS0200035	肿瘤中心
沈峥	女	本科	FS20JS0200126	肿瘤中心

4.3.3 辐射监测仪器

医院已配备有 1 台辐射巡测仪、1 台固定式剂量报警仪，并为本项目配备 2 台个人剂量报警仪，满足环评及其批复的要求。见图 4-3。



图 4-3 辐射检测仪

4.3.4 门机联锁

本项目医用直线加速机房的防护门设置有门机联锁装置，只有入口防护门关闭到位时才能启动设备工作。

4.3.5 影像监视对讲系统

医院为防止放射治疗过程中的误操作、防止工作人员和公众受到意外照射，本项目配备了对讲装置和影像监视系统，经现场检查，该对讲装置和影像监视系统运行正常。影像监视对讲系统见图4-4至图4-5。

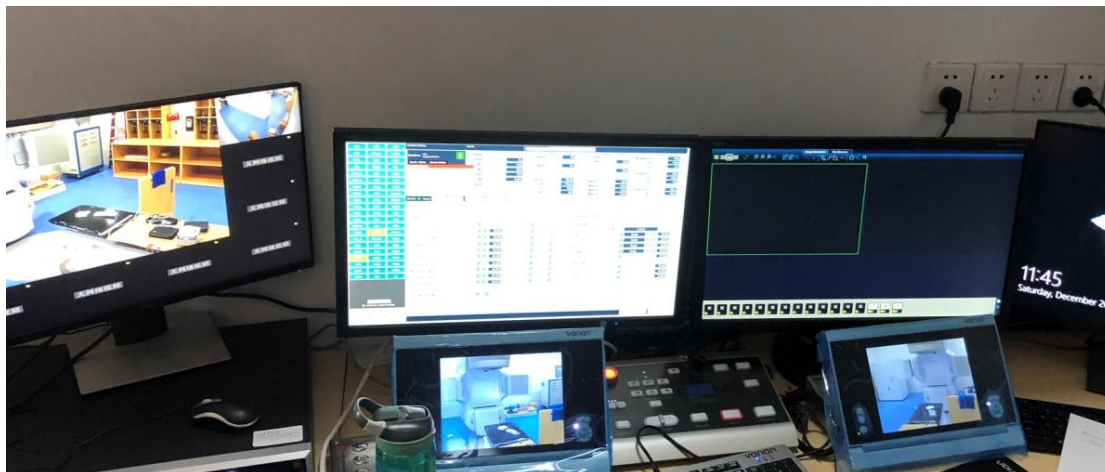


图 4-4 监视装置

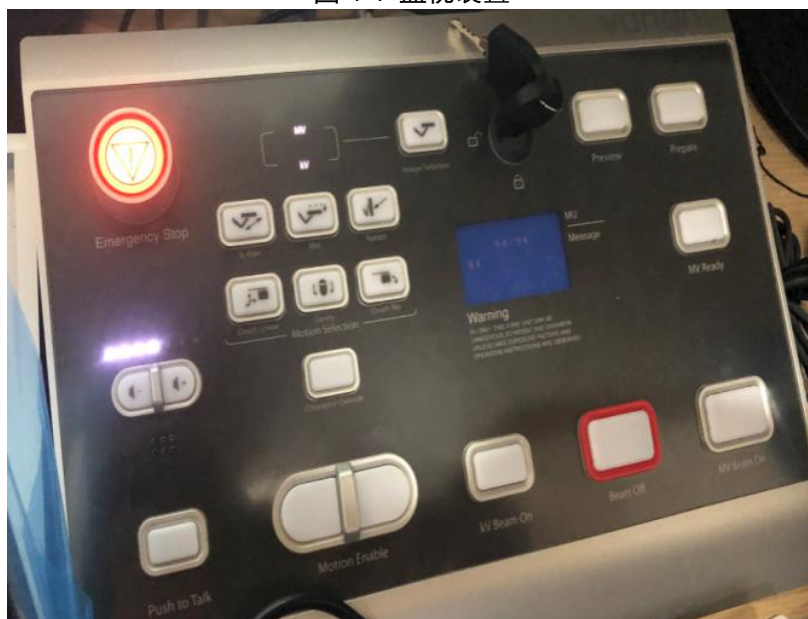


图 4-5 对讲装置

4.3.6 急停按钮

本项目医用直线加速器的操作台上、机房内均设有急停开关共12个。控制室操作台上设有1个急停开关；机房入口处变电箱上设有1个急停开关，机房西墙、南墙各设有1个急停开关；机房内加速器设备调制柜上设有3个急停开关；机房内医用直线加速器设备两侧上各设有1个急停开关；治疗床下方设有2个急停开关；当出现紧急情况时，按下急停开关即可关闭设备。经现场验证检查，上述急停开关均已设置，其中按下操作台、机房入口处变电箱上的急停开关，设备均可以停

止出束，需要复位后方可重新出束，急停开关有效。急停装置见图4-6。



图 4-6 医用直线加速器急停按钮

4.4 辐射安全管理制度

医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，针对所开展的放射性诊断活动制定了相应的辐射安全与防护管理制度，清单如下：

- 1) 《关于调整辐射安全领导小组的通知》
- 2) 《东南大学附属中大医院放射事故应急措施预案》
- 3) 《放射诊疗质量保证方案》
- 4) 《放射事故应急处理措施》
- 5) 《直线加速器卫生制度》
- 6) 《放射工作人员培训计划》
- 7) 《放射事故的处理及预防规章制度》
- 8) 《直线加速器机房安全制度》
- 9) 《放射工作人员个人剂量管理制度》
- 10) 《放射工作人员培训制度》
- 11) 《放射治疗科工作制度》
- 12) 《直线加速器事故应急处理方案》
- 13) 《直线加速器操作规程》
- 14) 《射线装置使用登记、台账管理制度》

以上辐射安全与防护管理制度能够满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求。辐射安

全规章制度管理机构及制度详见附件 5。

4.5 辐射安全应急措施

医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中的规定，已建立相应的放射安全事故应急预案，对医院放射事故应急处理小组的职责、事故应急处理方案、事故调查及信息公开、以及应急保障、人员培训和演练等方面进行了规定，可以满足放射安全事故应急要求。

4.6 非放污染防治

医用直线加速器机房空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过机房内的机械通风装置排放，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。本项目医用直线加速器机房通过新风系统、吸顶式中央空调和排风机进行通风换气和温度调节，新风口和中央空调均设置于机房天花板上，进风管道由迷道顶部向西再向南进入机房内天花板上。排风口位于机房东南角的墙上，距地面约 20cm 处，排风管道沿东南角的墙进入天花板上，向北进入迷道顶部，再向东沿迷道顶部到达风井，最后延伸至肿瘤中心屋顶上方。排风口尺寸为 58cm×46cm，排风口排风速率为 1.20m/s，治疗室容积为 212.1m³，通风换气频率约为 5.4 次/小时，2 号医用直线加速器机房每小时通风量满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）“治疗室通风次数不小于 4 次/h”的要求。机房通风装置见图 4-7，通风管道布置见图 4-8。



图 4-7 医用直线加速器机房新风口和排风口

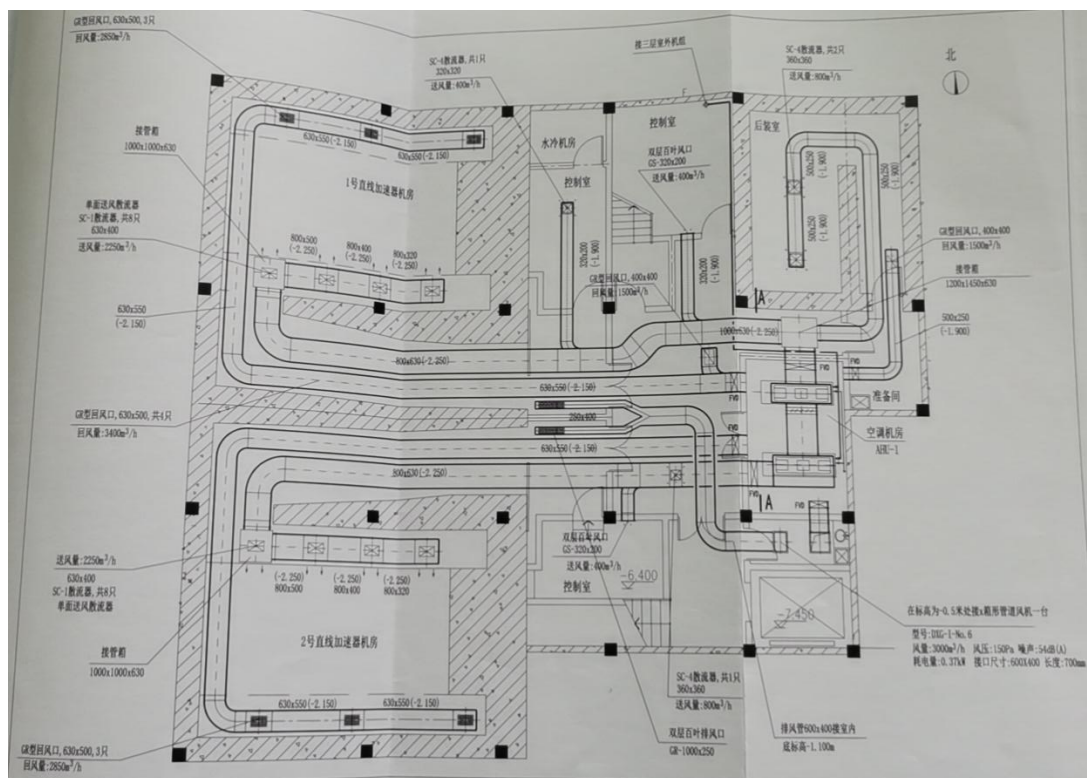


图 4-8 医用直线加速器机房通风管道布置图

4.7 辐射安全与防护措施落实情况

经现场核查、查阅相关资料，东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器项目环评及批复落实情况见表 4-2。

表 4-2 东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器项目环评及批复落实情况一览表

检查项目	“三同时”措施	环评批复要求	执行情况	结论
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。	建立健全辐射安全防护与环保管理机构或指定一名本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全管理工作。	已设有辐射安全领导小组，见附件 5。	已落实
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：直线加速器治疗室采用混凝土浇筑结构，防护门内含铅+含硼石蜡。其中，治疗室东墙主屏蔽为 250cm 砼（宽度为 400cm），次屏蔽为 130cm 砼：南墙、西墙屏蔽均为 70cm 砼（墙外为地下土层）。北侧迷道内墙为（60~115）cm 砼，迷道外墙为（60~120）cm 砼；屋顶主屏蔽为 280cm 砼（宽度为 400cm），次屏蔽为 140cm 砼；迷道防护门为 2cm 厚铅板+15cm 含硼石蜡，硼含量为 2.78g/100g。根据理论计算，该院应对加速器治疗室屏蔽进行完善，即，东墙主屏蔽加厚至 270cm 厚混凝土屏蔽效果。（砼的密度为 2.35g/cm ³ ，铅的密度为 11.3g/cm ³ ）。	严格执行辐射防护和安全设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环保“三同时”制度。确保辐射工作人员和公众的年受照有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中相应的剂量限值要求。	屏蔽措施：直线加速器治疗室采用混凝土浇筑结构，防护门内含铅+含硼石蜡。其中，治疗室东墙主屏蔽为 270cm 砼（宽度为 400cm），次屏蔽为 130cm 砼：南墙、西墙屏蔽均为 70cm 砼（墙外为地下土层）。北侧迷道内墙为（60~115）cm 砼，迷道外墙为（60~120）cm 砼；屋顶主屏蔽为 280cm 砼（宽度为 400cm），次屏蔽为 140cm 砼；迷道防护门为 2cm 厚铅板+15cm 含硼石蜡，硼含量为 2.78g/100g。砼的密度为 2.35g/cm ³ ，铅的密度为 11.3g/cm ³ 。	已落实
	安全措施(联锁装置、警示标志、工作指示灯等)：决定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安装门机联锁装置。迷道门外设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态指示灯，治疗室和控制室内安装紧急停机按钮，治疗室内安装实时监控装置、并配备对讲装置。	定期检查辐射工作场所门机联锁、急停按钮、工作指示灯、电离辐射警告标志等安全设施，确保正常工作。	加速器机房已设置门机联锁装置。 加速器机房防护门外设置有工作状态指示灯； 直线加速器机房入口处粘贴有符合 GB 18871-2002 要求的电离辐射警告标志。加速器控制室操作台上、治疗室迷道外墙上、治疗室墙壁上、治疗床上及加速器设备上均设置有急停按钮。	已落实

检查项目	“三同时”措施	环评批复要求	执行情况	结论
	通风措施：直线加速器治疗室内设计机械通风装置，室内进风口位于治疗室内北侧、距离地面约 3.75m，室内吸风口位于治疗室内南侧、距离地面约 3.85m，室外排风口设置于肿瘤中心屋顶上方，通风换气频率约为 8.7 次/小时。由于臭氧和氮氧化物密度较大，较易沉积在地面附近，医院应增加引风设施，将室内吸风口引至近地面约 20cm 处。	运行期间加强辐射工作场所通风，防止臭氧及氮氧化物有害气体影响人体健康。	通风措施：直线加速器治疗室内设置有机机械通风装置，室内进风口位于治疗室内北侧、距离地面约 3.75m，室内吸风口位于治疗室内南侧、距离地面约 20cm，室外排风口设置于肿瘤中心屋顶上方，通风换气频率约为 5.4 次/小时。	
人员配备	8名辐射工作人员均已参加辐射安全和防护专业知识训和考核人员及相关法律法规的培训和考核。	对辐射工作人员进行岗位技能和辐射安全与防护知识的培训，并经考核合格后方可上岗。	6 名辐射工作人员均已参加了核技术利用辐射安全与防护考核平台的考核，成绩合格，并在有效期内。	已落实
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检，加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。	建立个人剂量档案	6 名辐射工作人员均佩戴个人剂量计，每季度送南京瑞森辐射技术有限公司监测。	已落实
	辐射工作人员定期进行职业健康体检，并建立放射工作人员职业健康档案。	建立职业健康档案	6 名辐射工作人员在上岗前参加了南京市职业病防治院组织的职业健康体检，已建立职业健康档案。	已落实
监测仪器和防护用品	辐射剂量仪：已配置 1 台环境辐射巡测仪。	配备环境辐射剂量巡测仪，定期对项目周围辐射水平进行检测，及时解决发现的问题。	已配备 1 台巡检仪，定期对项目周围辐射水平进行监测。	已落实
	个人剂量报警仪：配备 2 台个人剂量报警仪。	辐射工作人员工作时须随身携带辐射报警仪。	医院已配备 2 台个人剂量报警仪，辐射工作人员工作时随身携带。	已落实
辐射安全管理制度	操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检维修维护制度、辐射事故应急措施等制度	建立健全辐射安全与防护规章制度并严格执行。	已制定辐射安全管理制度，包括关于调整辐射安全领导小组的通知、东南大学附属中大医院放射事故应急措施预案、放射诊疗质量保证方案、放射事故应急处理措施、直线加速器卫生	已落实

检查项目	“三同时”措施	环评批复要求	执行情况	结论
			制度、放射工作人员培训计划、放射事故的处理及预防规章制度、直线加速器机房安全制度、放射工作人员个人剂量管理制度、放射工作人员培训制度、放射治疗科工作制度、直线加速器事故应急处理方案、直线加速器操作规程、射线装置使用登记、台账管理制度等。	

5 环境影响报告书（表）主要结论与建议及其审批部门审批决定

5.1 环境影响报告书（表）主要结论与建议

5.1.1 结论

一、实践正当性评价

为了更好的给地区患者服务，东南大学附属中大医院拟在医院内扩建一台医用直线加速器。用于肿瘤放射治疗。该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

二、选址、布局评价

东南大学附属中大医院位于南京市丁家桥 87 号。本项目直线加速器位于医院肿瘤中心地下一层 2 号直线加速器机房，肿瘤中心东侧为院内空地，南侧为门诊楼和院内道路，西侧为院内道路、围墙、金川河、平安里居民区（距离本项目约 25m）、平安里，北侧为医技楼；2 号直线加速器机房东侧北部为控制室、水冷机房，东侧南部、南侧、西侧均为土层，北侧为 1 号直线加速器机房，顶外为模拟机房及控制室，地下为比层。

本项目配套用房主要由直线加速器治疗室、控制室、水冷机房等组成，控制室与治疗室分离，治疗室设置直迷路，迷路口设有防护门，符合《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）及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中的相关要求，项目布局基本合理。

三、辐射防护措施评价

本项目直线加速器治疗室通过混凝土墙体、屋顶、铅+含硼石蜡防护门屏蔽射线，其采取的是实体屏蔽方式。由理论预测计算可知，本项目加速器治疗室东墙次屏蔽、北墙侧屏蔽、迷道外墙、屋顶主屏蔽及次屏蔽、防护门的防护设计能够满足 15MV 加速器的辐射防护要求，东墙主屏蔽的防护设计不能够满足 15MV 加速器的辐射防护要求，建议该院按照表 11-11 中建议对加速器机房屏蔽进行完善，即，东墙主屏蔽加厚至 270cm 厚混凝土屏蔽效果，完善后，该院直线加速器治疗室屏蔽墙、屋顶和防护门外的剂量当量率将能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）“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 μ Svh。”的要求。

四、保护目标剂量评价

根据理论估算结果可知,本项目直线加速器治疗室按要求完善后,辐射工作人员和公众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》(GB 18871-2002)和本项目管理目标(职业人员年有效剂量不超过 5mSV,公众年有效剂量不超过 0.25mSv)的剂量限值要求。

五、辐射安全措施评价

本项目直线加速器治疗室迷道门拟安装门机联锁装置,治疗室和控制室内拟安装紧急停机开关。迷道门外拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态指示灯,治疗室内拟安装实时监控装置、并配备对讲装置。在落实以上措施后,本项目辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

六、遵风措施评价

本项目直线加速器治疗室内设计有机械通风装置,室内进风口位于治疗室内北侧、距离地面约 3.75m,室内吸风口位于治疗室内南侧、距离地面约 3.85m,室外排风口拟设置于肿瘤中心屋顶上方,治疗室内进风口和吸风口设置形成空气对流,且通风系统未破坏机房辐射防护,通风换气频率约为 8.7 次/h,能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

由于臭氧和氮氧化物密度较大,较易沉积在地面附近,医院应增加引风设施,将室内吸风口引至近地面约 20cm 处,同时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。治疗室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境,臭氧的半衰期为 22~25 分钟,常温下可自行分解为氧气,对环境影响较小。

七、辐射安全管理评价

东南大学附属中大医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构,指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作,以文件形式明确了各成员的管理职责;并制定了相关的辐射管理制度及辐射事故应急预案等;本项目拟配备的 8 名辐射工作人员均已参加并通过了辐射安全和防护专业知识的培训和考核。同时,本项目拟配备的 8 名辐射工作人员均已进行了个人剂量监测和职业健康体检,并建立了辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

八、辐射防护监测仪器

医院已配备了 1 台辐射巡测仪，其还应为本项目配备 2 台个人剂量报警仪。

总结论：综上所述，东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，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，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

5.1.2 建议和承诺

1、医院应定期或不定期针对直线加速器的各种管理、操作、保安措施的落实情况进行检查，确保设备的完好和有效。

2、针对本项目可能出现的辐射事故。医院应加强辐射工作人员的安全思想教育，避免意外事故造成对人员的影响。使其对环境的影响降到最低。

3、直线加速器治疗室完善过程中，医院应采取相应污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内局部区域，使其对环境的影响降到最低。

5.2 审批部门审批文件

你单位报送的《扩建 1 台医用直线加速器项目环境影响报告表》（以下简称《报告表》）收悉。经研究，批复如下：

一、根据《报告表》评价结论，项目建设具备环境可行性。从环境保护角度考虑，我厅同意你单位该项目建设。项目地点位于南京市丁家桥 87 号该医院内，项目内容：扩建 1 座医用直线加速器机房，配备 1 台医用直线加速器（最大 X 射线能量 15MV、电子线能量 22MeV，属 II 类射线装置）。

二、在工程设计、建设和运行中应认真落实《报告表》所提出的辐射污染防治和安全管理措施，并做好以下工作：

（一）严格执行辐射防护和安全设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环保“三同时”制度，确保辐射工作人员和公众的年受照有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中相应的剂量限值要求。

（二）定期检查辐射工作场所门机连锁、急停按钮、工作指示灯、电离辐射警告标志等安全设施，确保正常工作。运行期间加强辐射工作场所通风，防止臭氧及氮氧化物有害气体影响人体健康。

(三) 建立健全辐射安全与防护规章制度并严格执行。建立辐射安全防护与环保管理机构或指定一名本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全管理工作。

(四) 对辐射工作人员进行岗位技能和辐射安全与防护知识的培训，并经考核合格后方可上岗，建立个人剂量档案和职业健康档案，配备必要的个人防护用品。辐射工作人员工作时须随身携带辐射报警仪和个人剂量计。

(五) 配备环境辐射剂量巡测仪，定期对项目周围辐射水平进行检测，及时解决发现的问题。每年请有资质的单位对项目周围辐射水平监测 1~2 次。

(六) 项目建成后建设单位应及时向我厅申办环保相关手续，依法取得辐射安全许可证并经验收合格后，方可投入正式运行。

三、本批复只适用于以上核技术应用项目，其它如涉及非放射性污染项目须按有关规定另行报批。本批复自下达之日起五年内建设有效。项目的性质、规模、地点、拟采取的环保措施发生重大变动的，应重新报批项目的环境影响评价文件。

6 验收执行标准

本项目验收监测的执行标准以环境影响评价阶段经审批部门确认的环境保护标准和要求为准。

6.1 人员年受照剂量管理目标值

依据环评及批复文件确定本项目验收个人剂量管理目标值，见表 6-1；关注点处剂量率参考控制水平不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

表 6-1 工作人员职业照射和公众照射剂量管理目标值

项目名称	适用范围	管理目标值
扩建一台医用直线加速器项目	职业照射有效剂量	5mSv/a
	公众有效剂量	0.25mSv/a

6.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，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。

1) 控制区

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值潜在照射的范围。

2) 监督区

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。

6.3 工作场所布局要求

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求，本项目医用直线加速器工作场所布局应遵循下述要求：放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端，治疗设备控制室应与治疗机房分开设置；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，应设置迷路。

6.4 工作场所放射防护安全要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），本项目医用直线加速器机房应满足下述要求。

6.2 通风要求

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。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平 \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，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；

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

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

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

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处，或在立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

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

6.4.2 联锁装置

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。

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。

6.5 安全管理要求及环评要求

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及环评报告、环评批复中的相关要求。

7 验收监测

7.1 监测分析方法

本次监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《公共场所集中空调通风系统卫生规范》（WS 394-2012）的要求进行监测。

7.2 监测因子

根据项目污染源特征，竣工验收监测因子为医用直线加速器机房周围的 X- γ 辐射剂量率、中子辐射剂量率及机房内通风风速。

7.3 监测工况

南京瑞森辐射技术有限公司2020年12月28日、29日对东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器项目机房周围的X- γ 辐射剂量率、中子辐射剂量率及机房内通风风速进行了验收监测，2021年5月8日对本项目西侧约25m处平安里48号X- γ 辐射剂量率进行了验收检测，验收工况如下：

表 7-1 扩建一台医用直线加速器验收工况

检测日期	项目名称型号	验收监测工况	使用场所
2020年12月28日、29日	直线加速器 (VitalBeam)	X线：10MV， 剂量率：600cGy/h X线：6MV 1400cGy/min 照射野：40×40cm	2号直线加速器机房
2021年5月8日		X线：10MV， 剂量率：600cGy/h 照射野：40×40cm	平安里48号

7.4 监测内容

对医用直线加速器工作场所周围环境及敏感点处布设监测点，特别关注控制区、监督区边界，监测加速器运行状态、非运行状态下的 X- γ 辐射剂量率、中子辐射剂量率及机房内通风风速，每个点位监测 5 个数据。

8 质量保证和质量控制

8.1 本次验收监测质量保证和质量控制

8.1.1 监测单位资质

验收监测单位获得 CMA 资质认证（161012050353），见附件 10。

8.1.2 监测人员能力

参与本次验收监测人员均符合南京瑞森辐射技术有限公司质量管理体系要求：验收监测人员已通过江苏省社会辐射环境检测机构辐射检测技术人员上岗培训。检测人员资质见表 8-1。

表 8-1 检测人员资质

序号	姓名	证书编号	取证时间
1	赵国良	SHFSJ0497（电离类）	2018.01.26
2	张晋	SHFSJ0743（电离类）	2020.9.30

8.1.3 监测仪器

本次监测使用仪器符合南京瑞森辐射技术有限公司质量管理体系要求，监测所用设备通过检定并在有效期内，满足监测要求。

监测仪器见表 8-2。

表 8-2 检测使用仪器

序号	仪器名称/型号	仪器编号	主要技术参数
1	X-γ辐射巡测仪(AT1123)	NJRS-137	能量响应：15keV~10MeV 测量范围：50nSv/h~10Sv/h 检定证书编号：Y2020-0079194 检定有效期限：2020.9.4~2021.9.3
2	中子周围剂量当量率仪 (FH40G+FHT762)	NJRS-022	能量响应：0.025eV~5GeV 测量范围：1nSv/h~100mSv/h 检定证书编号：DLjs2020-00396 检定有效期限：2020.04.26~2021.04.25
3	风速仪 (HT625B)	NJRS-136	检定证书编号：H2020-0047768 检定有效期限：2020.6.9~2021.6.8

8.1.4 质量保证措施

监测报告的编制、审核、出具严格执行南京瑞森辐射技术有限公司质量管理

体系要求，出具报告前进行三级审核。

8.2 自主检测质量保证和质量控制

8.2.1 监测仪器

经现场核查，东南大学附属中大医院为本项目配备的辐射检测仪均能正常使用，可以满足日常自检要求。

监测仪器见表 8-3。

表 8-3 检测使用仪器

仪器名称/型号	型号	数量	购买日期	性能状态
X- γ 辐射巡测仪	RM2030	1	2019 年	正常
个人剂量报警仪	FJ2000	1	2019 年	正常
个人剂量报警仪	RM2021	1	2020 年	正常

8.2.2 人员能力

本项目辐射安全管理人员及辐射工作人员已于 2020 年 7 月参加了核技术利用辐射安全与防护平台的考核，考核成绩为合格，见附件 6。

8.2.3 监测计划

东南大学附属中大医院已制定了《医院辐射环境监测方案》和《放射工作人员培训计划》规章制度，以保证日常自检。见附件 5。

9 验收监测结果

9.1 辐射工作场所监测结果

本项目医用直线加速器（Vital Beam）所在机房在正常工作时周围环境 X- γ 辐射剂量率和中子辐射剂量率监测结果见表 9-1 至表 9-3，监测点位见图 9-1。

表 9-1 医用直线加速器（Vital Beam）机房周围环境 X- γ 辐射剂量率

测点编号	点位描述	测量结果($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	东门外 30cm 处（左缝）	0.11	射线朝下
2	东门外 30cm 处（中间）	0.11	
3	东门外 30cm 处（右缝）	0.12	
4	东门外 30cm 处（下缝）	0.12	
5	东墙外 30cm 处	0.12	
6	东墙外 30cm 处（穿线口）	0.12	
7	操作位	0.10	
8	北墙外 30cm 处	0.12	
9	北墙外 30cm 处	0.12	
10	北墙外 30cm 处	0.13	
11	东门外 30cm 处（左缝）	0.13	射线朝东
12	东门外 30cm 处（中间）	0.12	
13	东门外 30cm 处（右缝）	0.14	
14	东门外 30cm 处（下缝）	0.12	
15	东墙外 30cm 处	0.15	
16	东墙外 30cm 处（穿线口）	0.17	

测点编号	点位描述	测量结果($\mu\text{Sv/h}$)	备注
17	距机房楼上地面 100cm 处	0.12	射线朝上
18	距机房楼上地面 100cm 处	0.12	
19	距机房楼上地面 100cm 处	0.14	
20	控制室	0.10	关机

注：1.测量结果未扣除宇宙射线响应值。

2.检测日期：2020 年 12 月 28 日。

3.检测环境条件：天气：晴，温度：7℃，湿度：50%RH。

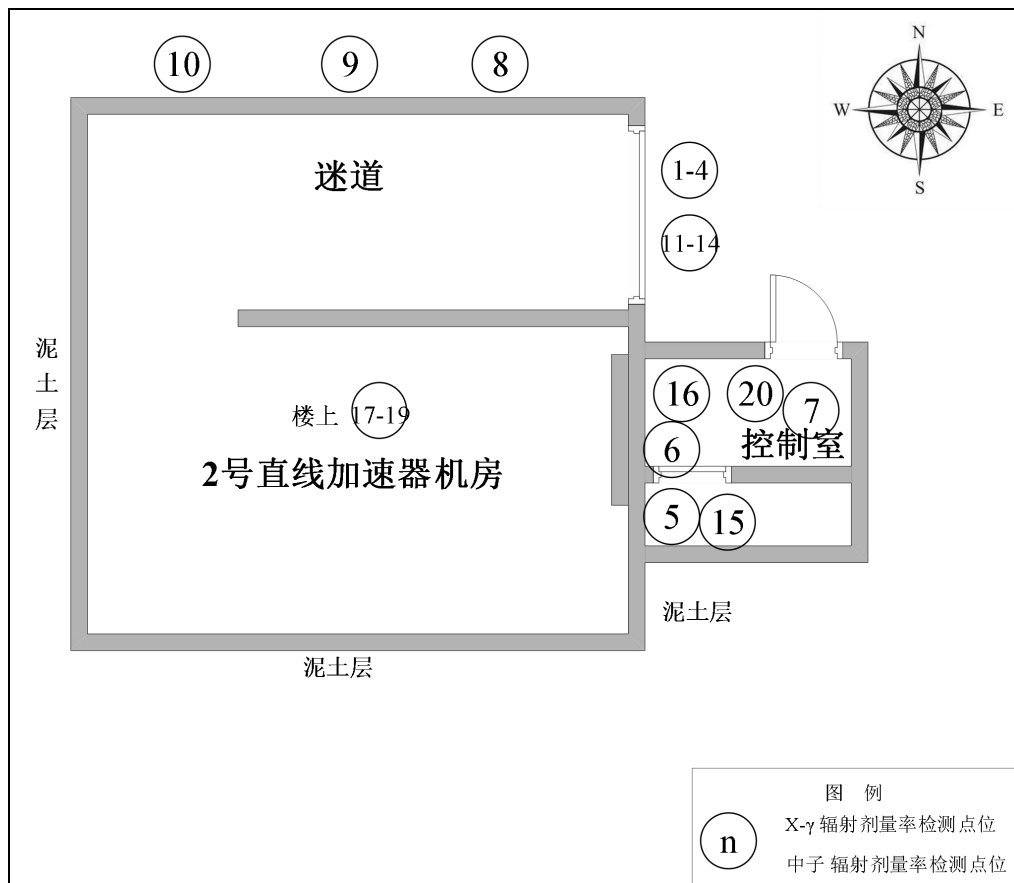


图 9-1 本项目医用直线加速器（Vital Beam）机房监测布点图

由表 9-1 可知，本次检测，当此医用直线加速器（型号：Vital Beam）正常工作（工况：6MV X 射线、1400cGy/min、40cm×40cm）时，机房周围的 X-γ 辐射剂量当量率为 (0.10~0.17) $\mu\text{Sv/h}$ ，符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的标准要求。

表 9-2 医用直线加速器（Vital Beam）机房周围环境 X- γ 辐射剂量率

测点编号	点位描述	测量结果($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	东门外 30cm 处（左缝）	0.12	射线朝下
2	东门外 30cm 处（中间）	0.12	
3	东门外 30cm 处（右缝）	0.13	
4	东门外 30cm 处（下缝）	0.13	
5	东墙外 30cm 处	0.16	
6	东墙外 30cm 处（穿线口）	0.14	
7	操作位	0.11	
8	北墙外 30cm 处	0.14	
9	北墙外 30cm 处	0.13	
10	北墙外 30cm 处	0.13	
11	东门外 30cm 处（左缝）	0.14	射线朝东
12	东门外 30cm 处（中间）	0.15	
13	东门外 30cm 处（右缝）	0.14	
14	东门外 30cm 处（下缝）	0.15	
15	东墙外 30cm 处	0.50	
16	东墙外 30cm 处（穿线口）	0.65	
17	距机房楼上地面 100cm 处	0.16	射线朝上
18	距机房楼上地面 100cm 处	0.15	
19	距机房楼上地面 100cm 处	0.16	

测点编号	点位描述	测量结果($\mu\text{Sv/h}$)	备注
20	控制室	0.10	关机

注：1.测量结果未扣除宇宙射线响应值。

2.检测日期：2020年12月28日。

3.检测环境条件：天气：晴，温度：7℃，湿度：50%RH。

本项目医用直线加速器（Vital Beam）所在机房在正常工作时周围环境 neutron 辐射剂量率监测结果见表 9-3，监测点位见图 9-1。

表 9-3 医用直线加速器机房（Vital Beam）周围环境 neutron 辐射剂量率

测点编号	点位描述	测量结果($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	东门外 30cm 处（左缝）	<0.001	射线朝下
2	东门外 30cm 处（中间）	<0.001	
3	东门外 30cm 处（右缝）	<0.001	
4	东门外 30cm 处（下缝）	<0.001	
5	东墙外 30cm 处	<0.001	
6	东墙外 30cm 处（穿线口）	<0.001	
7	操作位	<0.001	
8	北墙外 30cm 处	<0.001	
9	北墙外 30cm 处	<0.001	
10	北墙外 30cm 处	<0.001	
11	东门外 30cm 处（左缝）	<0.001	射线朝东
12	东门外 30cm 处（中间）	<0.001	
13	东门外 30cm 处（右缝）	<0.001	
14	东门外 30cm 处（下缝）	<0.001	

测点编号	点位描述	测量结果($\mu\text{Sv/h}$)	备注
15	东墙外 30cm 处	<0.001	
16	东墙外 30cm 处 (穿线口)	<0.001	
17	距机房楼上地面 100cm 处	<0.001	射线朝上
18	距机房楼上地面 100cm 处	<0.001	
19	距机房楼上地面 100cm 处	<0.001	
20	控制室	<0.001	关机

注：1.中子周围剂量当量仪（FH40H+FHT762）探测下限（LLD）为 0.001 $\mu\text{Sv/h}$ 。

2.检测日期：2020 年 12 月 28 日。

3.检测环境条件：天气：晴，温度：6 $^{\circ}\text{C}$ ，湿度：（63~66）%RH。

根据表 9-2 及表 9-3 可知，本次检测，当此医用直线加速器（型号：Vital Beam）正常工作（工况：10MV X 射线、600cGy/min、40cm \times 40cm）时，机房周围的 X- γ 辐射剂量当量率为（0.11~0.65） $\mu\text{Sv/h}$ ，机房周围的中子辐射剂量率为 <0.001 $\mu\text{Sv/h}$ ，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的标准要求。

本项目医用直线加速器（Vital Beam）所在机房在正常工作时距机房西侧约 25m 平安里 48 号 X- γ 辐射剂量率监测结果见表 9-4，监测点位见图 9-2。

表 9-4 2 号医用直线加速器机房西侧居民区 X- γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	点位描述	测量结果($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	距机房西侧约 25m 平安里 48 号	0.10	开机 射线朝西
2	距机房西侧约 25m 平安里 48 号	0.10	关机

注：1.测量结果未扣除宇宙射线响应值；

2.检测点位见图 9-2。

根据表 9-4 可知，本次检测，当此医用直线加速器（型号：Vital Beam）正常工作（工况：10MV X 射线、600cGy/min、40cm \times 40cm）时，距机房西侧约 25m 平安里 48 号的 X- γ 辐射剂量当量率为 0.10 $\mu\text{Sv/h}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的标准要求。

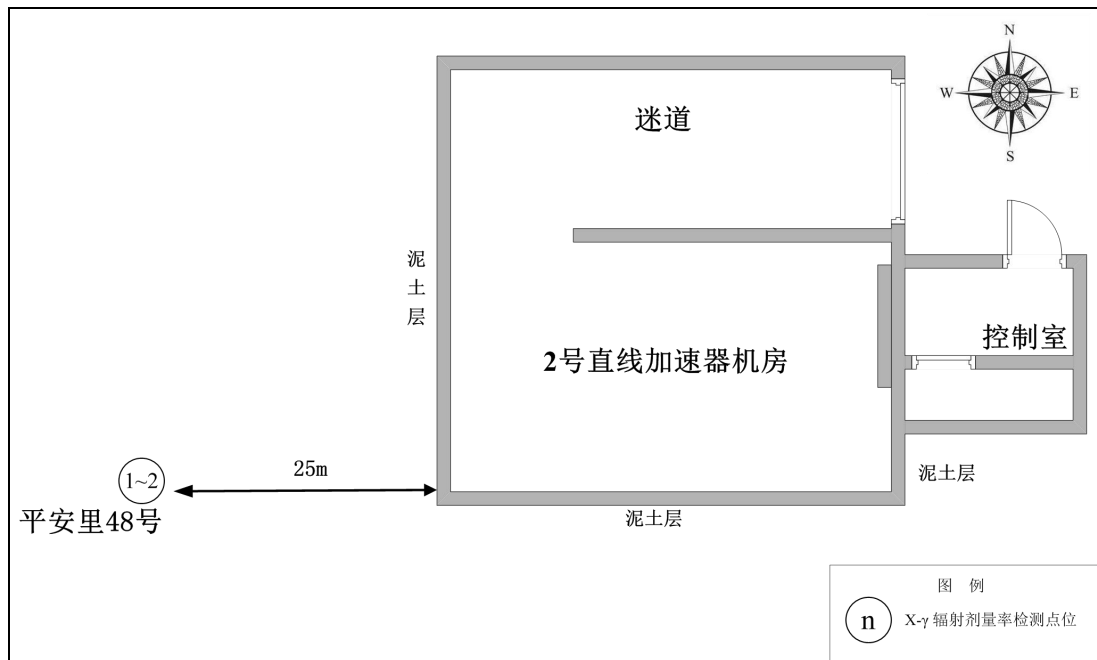


图 9-2 本项目医用直线加速器（Vital Beam）西侧居民区监测布点图

本项目医用直线加速器所在机房通风速率监测结果见表 9-5。

表 9-5 医用直线加速器机房通风

检测点位描述	通风口风速 (m/s)
2 号医用直线加速器机房排风口	1.2

根据表 9-5 可知，经现场检测，医用直线加速器（VitalBeam）机房内排风口排风速率为 1.2m/s，该机房排风口大小为 58cm×46cm，机房容积为 212.1m³，经计算机房每小时通风次数为 5.4 次，2 号医用直线加速器机房每小时通风量满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）“治疗室通风次数不小于 4 次/h”的要求。

9.2 辐射工作人员和公众年有效剂量分析

根据本项目辐射工作人员个人剂量监测结果和现场监测结果对项目运行期间辐射工作人员及公众的年有效剂量进行计算分析，计算未扣除环境本底剂量率。

1) 辐射工作人员

本项目辐射工作人员采用个人累计剂量监测结果计算其年有效剂量。医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司对本项目工作人员进行个人剂量监测，监测报告见附件 7。

根据医院提供的 2021 年第 1 季度（2020 年 12 月 11 日-2021 年 3 月 10 日，报告编号为：瑞森（剂）字（2021）第 0764 号）的个人剂量报告，本项目辐射工作人员年受照剂量结果见表 9-6。

表 9-6 本项目辐射工作人员年有效剂量分析

姓名	工作场所	2021 年第一季度 (mSv/a)	管理目标值 (mSv/季度)
冯 敏	放疗中心	0.02	1.25
沈 峥	放疗中心	0.02	1.25
郑士亚	放疗中心	--	1.25
卢志强	放疗中心	0.02	1.25
雍 霞	放疗中心	0.02	1.25
傅辰春	放疗中心	0.02	1.25

由表 9-6 可知，根据个人累计剂量监测结果显示，加速器辐射工作人员有效剂量均为 0.02mSv/a（未扣除环境本底剂量），低于本项目辐射工作人员个人剂量目标管理值。

根据本项目现场监测结果，对项目运行期间辐射工作人员和公众的年有效剂量进行估算，本项目加速器工作人员按年工作时间按 1000 小时进行剂量估算，各参考点对周围人员的剂量贡献见表 9-7。

表 9-7 本项目机房周围公众及辐射工作人员年有效剂量分析

场所	关注点位	最大监测值($\mu\text{Sv/h}$)	人员性质	居留因子	年工作时间(h)	人员年有效剂量(mSv/a)	目标管理值(mSv/a)
2 号直线加速器机房	操作位	0.11	职业人员	1	1000	0.11	5
	防护门外	0.15	职业人员	1/4	1000	0.04	5
			公众	1/4	1000	0.04	0.25
	东墙外	0.65	职业人员	1/4	1000	0.16	5
			公众	1/16	1000	0.04	0.25

场所	关注点位	最大监测值($\mu\text{Sv/h}$)	人员性质	居留因子	年工作时间(h)	人员年有效剂量(mSv/a)	目标管理值(mSv/a)
	北墙外	0.14	职业人员	1/4	1000	0.03	5
			公众	1/4	1000	0.03	0.25
	楼 上	0.16	职业人员	1/4	1000	0.04	5
			公众	1/4	1000	0.04	0.25
居民区	距机房西侧约 25m 平安里 48 号	0.10	公众	1/4	1000	0.02	0.25

注：1.计算时未扣除环境本底剂量；

2.工作人员的年有效剂量由公式 $E_{\text{eff}} = D \cdot t \cdot T \cdot U$ 进行估算，式中： E_{eff} 为年有效剂量， D 为关注点处剂量率， t 为年工作时间， T 为居留因子（取值参照环评文件）， U 为使用因子（保守取1）。

由表 9-7 可知，根据现场实际监测结果显示，加速器辐射工作人员有效剂量最大为 0.16mSv/a（未扣除环境本底剂量），低于本项目辐射工作人员个人剂量目标管理值。

2) 公众

本项目评价的公众为辐射工作场所周围的非辐射工作人员，计算方法同辐射工作人员，计算结果见表 9-7。由表可知，加速器场所周围公众年有效剂量最大为 0.04mSv/a（未扣除环境本底剂量，为防护门外的公众年有效剂量最大值）。

综上所述，本项目机房周围辐射工作人员和公众年最大有效剂量根据个人累计剂量检测结果及实际监测结果计算为：加速器辐射工作人员有效剂量最大为 0.16mSv/a，周围公众年有效剂量最大为 0.04mSv/a（未扣除环境本底剂量）。辐射工作人员和公众年有效剂量能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）限值的要求（职业人员 20mSv/a，公众 1mSv/a），并低于本项目目标管理值（职业人员 5mSv/a，公众 0.25mSv/a）。

10 验收监测结论

10.1 验收结论

东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器项目已按照环评及批复要求落实辐射防护和安全管理措施，经现场监测和核查表明：

1) 本次验收项目为：在肿瘤中心地下一层扩建 1 座医用直线加速器机房（2 号直线加速器机房）及其相关辅助机房，配备 1 台医用直线加速器（型号：VitalBeam；X 射线能量：6MV、10MV，电子线能量：4、6、8、10、12、15MeV；最大输出剂量率：10MV 时为 600cGy/min，6MV 时为 1400cGy/min（3F 束流模式）），医用直线加速器属 II 类射线装置，本项目技术参数及建设内容在环评文件范围以内。

2) 本项目医用直线加速器在最大工况工作时，机房周围的 X- γ 辐射剂量当量率和中子辐射剂量当量率均符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对工作人员和公众年有效剂量限值的要求。

3) 经现场检测本项目医用直线加速器机房每小时通风次数满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）“治疗室通风次数不小于 4 次/h”的要求。

4) 本项目辐射工作人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中人员剂量限值要求及本项目剂量目标管理值的要求。

5) 本项目机房入口显著位置设置有电离辐射警告标志，防护门上安装有工作状态指示灯，控制室、机房内设有急停按钮，操作台设有视频对讲装置，已落实环评及批复中相关要求。

6) 医院为本项目共配备了 1 台巡检仪、1 台固定式报警仪及 2 台个人剂量报警仪等辐射监测仪器，已落实环评及批复中相关要求。

7) 本项目辐射工作人员均已通过辐射防护安全与防护知识培训，并获得培训合格证书。本项目辐射工作人员已开展个人剂量监测、健康体检，并建立职业健康和个人剂量档案，已落实环评及批复中相关要求。

8) 医院具有辐射安全管理机构，并建立内部辐射安全管理规章制度，已落实环评及批复中相关要求。

综上所述，东南大学附属中大医院扩建一台医用直线加速器项目满足环评及批复中有关辐射管理的要求，环境保护设施满足辐射防护与安全的要求，监测结果符合国家标准，满足《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定要求，建议通过验收。

10.2 建议

1) 认真学习《中华人民共和国放射性污染防治法》等有关法律法规，不断提高核安全文化素养和安全意识。

2) 积极配合生态环境部门的日常监督核查，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，每年1月31日前将年度评估报告上传至国家核技术利用申报系统。每年请有资质单位对项目周围辐射环境水平监测1~2次，监测结果上报生态环境部门。