

编号：瑞森（验）字（2025）第 015 号

三峡大学附属仁和医院
直线加速器项目
竣工环境保护验收监测报告表

建设单位：三峡大学附属仁和医院

编制单位：南京瑞森辐射技术有限公司

2025 年 6 月

目 录

表一 项目基本情况.....	1
表二 项目建设情况.....	5
表三 辐射安全与防护设施/措施	20
表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定.....	31
表五 验收监测质量保证及质量控制.....	39
表六 验收监测内容.....	40
表七 验收监测期间生产工况及验收监测结果.....	41
表八 验收监测结论.....	46
附件 1 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.....	56
附件 4 辐射安全许可证及竣工验收相关信息.....	60
附件 5 辐射工作人员考核证书及职业健康体检结果.....	74
附件 6 辐射安全管理规章制度.....	94
附件 7 竣工环保验收检测报告.....	114
附表 建设项目竣工环境保护“三同时”验收登记表.....	121

表一 项目基本情况

建设项目名称	三峡大学附属仁和医院直线加速器项目		
建设单位名称	三峡大学附属仁和医院		
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建		
建设地点	湖北省宜昌市伍家岗区夷陵路 410 号医院院内医技楼负一、二层		
源项	放射源	/	
	非密封放射性物质	/	
	射线装置	II类	
建设项目环评批复时间	2023 年 12 月 1 日	开工建设时间	2023 年 12 月
取得辐射安全许可证时间	2024 年 3 月 27 日	项目投入运行时间	2025 年 3 月
辐射安全与防护设施投入运行时间	2025 年 3 月	验收现场监测时间	2024 年 7 月 17 日
环评报告表审批部门	宜昌市生态环境局	环评报告表编制单位	南京瑞森辐射技术有限公司
辐射安全与防护设施设计单位	中外建华诚（北京）工程设计咨询有限公司	辐射安全与防护设施施工单位	北京嘉美伦设计有限公司
投资总概算（万元）		辐射安全与防护设施投资总概算（万元）	比例
实际总概算（万元）		辐射安全与防护设施实际总概算（万元）	比例
验收依据	<p>1、建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度：</p> <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989 年 12 月 26 日实施，2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(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；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，全国人大常务委员会，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p>		

(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021年修改，生态环境部令第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版），生态环境部第16号令，自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》，国家环境保护总局文件，环发〔2006〕145号文；

(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5日起施行；

(11)《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；

(12)《放射工作人员职业健康管理办法》，中华人民共和国卫生部令第55号，2007年11月1日起施行。

2、建设项目竣工环境保护验收技术规范：

(1)《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）；

(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

(3)《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；

(4)《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；

(5)《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；

(6)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；

(7)《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）。

3、建设项目环境影响报告表及其审批部门审批文件：

(1)《三峡大学附属仁和医院直线加速器项目环境影响报告表》，2023年11月，见附件2；

(2)《宜昌市生态环境局关于三峡大学附属仁和医院直线加速器项目环境影响报告表的批复》（宜市环辐审〔2023〕12号，宜昌市生态环境局，2023年12月1日），见附件3。

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

(1) 人员年剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定,本项目辐射工作人员及公众的年剂量限值见表 1-1。

表 1-1 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

类别	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的照射水平进行控制,使之不超过下述限值: ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv; ②任何一年中的有效剂量, 50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值: ①年有效剂量, 1mSv; ②特殊情况下,如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv,则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

(2) 人员年受照剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)“剂量约束值通常应在公众照射剂量值 10%~30%(即 0.1mSv/a~0.3mSv/a)的范围之内”的规定,遵循辐射防护最优化原则,制定的本项目剂量约束值见表 1-2。

表 1-2 工作人员职业照射和公众照射剂量约束值

项目名称	适用范围	剂量约束值
直线加速器项目	职业照射	5mSv/a
	公众照射	0.1mSv/a

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021):

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求:

a) 一般情况下,从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 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 ：

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： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；

4、《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）；

5、《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）。

表二 项目建设情况

项目建设内容

一、建设单位基本情况

三峡大学附属仁和医院（统一社会信用代码：12420000732725226K，以下简称“医院”）暨三峡大学第二临床医学院，是三峡大学直属附属医院。始建于1967年，是一所集医疗、教学、科研、预防保健、康复于一体的三级甲等综合医院、湖北省卫健委业务直管医院、爱婴医院、宜昌市红十字医院。立足于城东新区，辐射渝东鄂西，秉承“崇医尚德，仁和共生”的院训，服务宜昌医疗卫生事业，服务伍家岗区及周边县乡居民，保障地方百姓健康。

医院现有主院区、仁济院区、枝江铁路卫生所，占地面积58.88亩。医院诊疗设备先进，配置有联影PET/CT、联影320排640层螺旋CT、飞利浦64排128层螺旋CT、联影3.0T和1.5T核磁共振、GE IGS 530血管造影机、德国蔡司VisuMax全飞秒激光角膜屈光治疗机、海扶刀聚焦超声肿瘤治疗系统、高端彩超等各类大型高端医疗设备。

三峡大学附属仁和医院现持有湖北省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，其证书编号为：鄂环辐证（00044）（发证日期：2024年3月27日），许可种类和范围为：使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所；有效期至2029年3月26日。辐射安全许可证正副本详见附件4。

二、项目建设内容及规模

本项目位于湖北省宜昌市伍家岗夷陵大道410号三峡大学附属仁和医院医院院内医技楼（已建，地下2层，地上6层建筑，总高度约60.8m）负一、二层。医院将医技楼负二层及负一层部分停车场区域改建为医用电子直线加速器机房及其辅助用房。

本项目医用电子直线加速器型号为医科达 Synergy（属于II类射线装置），其主要参数为：X射线能量为6、10MV，1米处最大输出剂量率为6Gy/min；电子线能量为6、8、10、12、15MeV，电子线等中心1米处剂量率最大为6Gy/min。医用电子直线加速器含CBCT图像引导系统，其最大管电压为150kV，最大管电流为500mA，属于III类射线装置。本项目配套使用的模拟定位机为利旧放射科已有的CT（型号为ScintCareCT16，位于医技楼一层CT室1），该CT已完成了备案登记工作，并登记在医院现有的辐射安全许可证上。

医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司于 2023 年 11 月编制完成了《直线加速器项目环境影响报告表》，并于 2023 年 12 月 1 日取得了宜昌市生态环境局关于该项目的环评批复文件（宜市环辐审（2023）12 号），详见附件 3。

本项目加速器机房于 2023 年 12 月开工建设，2024 年 3 月工作场所建设完成，配套的环保设施和主体工程均已同时建成，医院配备的直线加速器于 2024 年 7 月完成安装调试并进行试运行，本项目配套的环保设施与主体工程符合“三同时”制度，具备竣工环境保护验收条件。

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，三峡大学附属仁和医院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 2024 年 7 月编制了《三峡大学附属仁和医院直线加速器项目竣工环境保护验收监测方案》，并于 2024 年 7 月 17 日开展了现场核查及监测，根据现场监测和核查情况，编制本项目验收监测报告表。

三、环评审批及实际建设情况

1、建设地点及外环境关系

（1）三峡大学附属仁和医院外环境关系

三峡大学附属仁和医院位于湖北省宜昌市伍家岗夷陵大道 410 号，医院东侧为伍家岗小区，南侧为院外市政道路及江山多娇 3 期居民小区，西侧为江山多娇东区小区，北侧为夷陵大道。三峡大学附属仁和医院周围环境示意图见图 2-1。

（2）医技楼外环境关系

医院本次改建的医用电子直线加速器机房位于院内医技楼负二层。医技楼位于医院东部，其东侧为院内地面停车场，东南侧为综合住院大楼，南侧为行政楼，西侧为学生公寓，西北侧为门诊楼，北侧为在建急救感染楼。医院总平面布局示意图见图 2-2。

（3）医用电子直线加速器机房外环境关系

改建后的医用电子直线加速器机房东侧为控制室，南侧为患者更衣间、候诊区及楼梯间等，西侧为永久土层，北侧为辅助机房，上方为架空区（人员不可达）及医技楼一层自助服务区，下方为土层。本项目医用电子直线加速器机房平面布局见图 2-3。

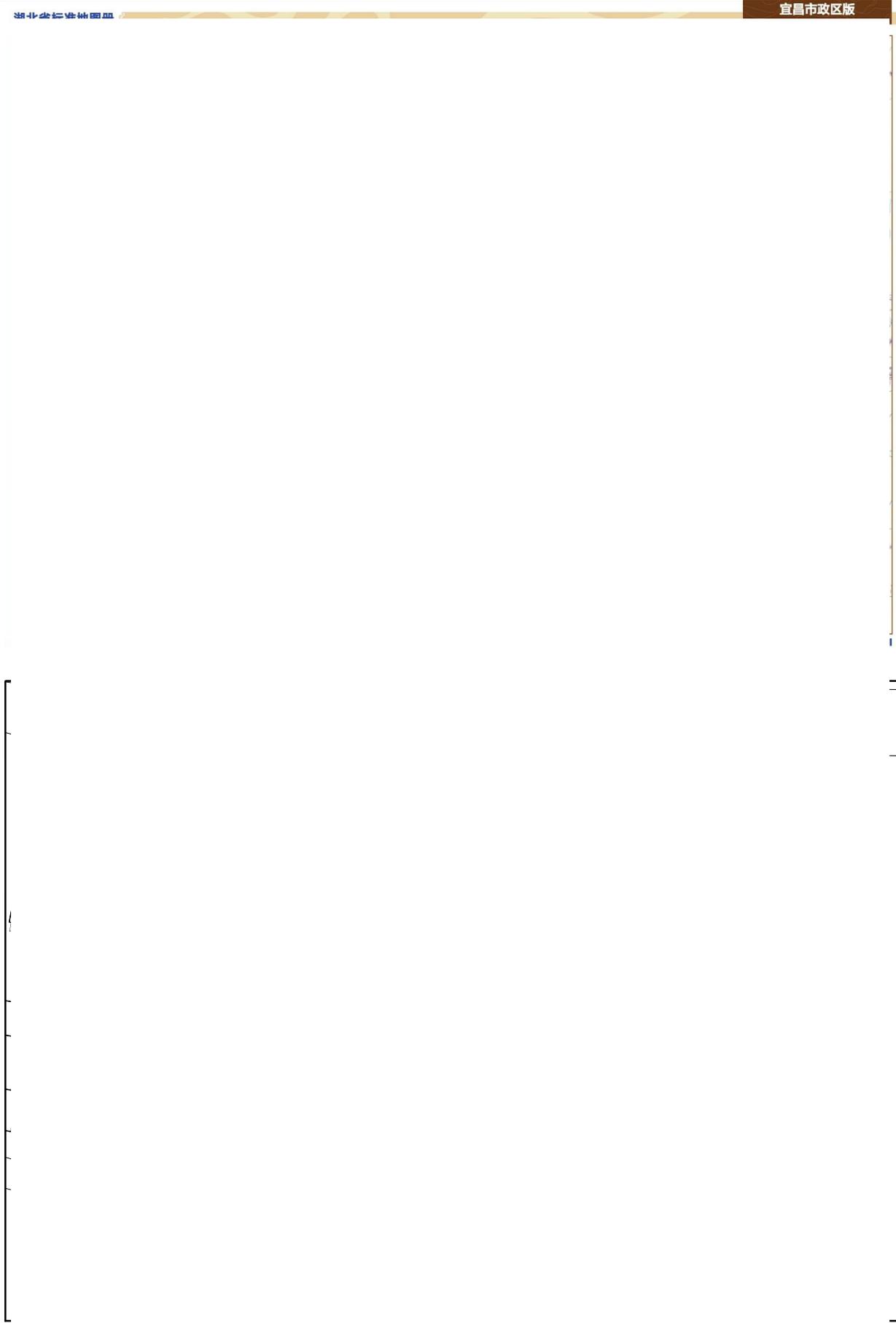


图 2-2 三峡大学附属仁和医院外环境关系及总平面布局示意图

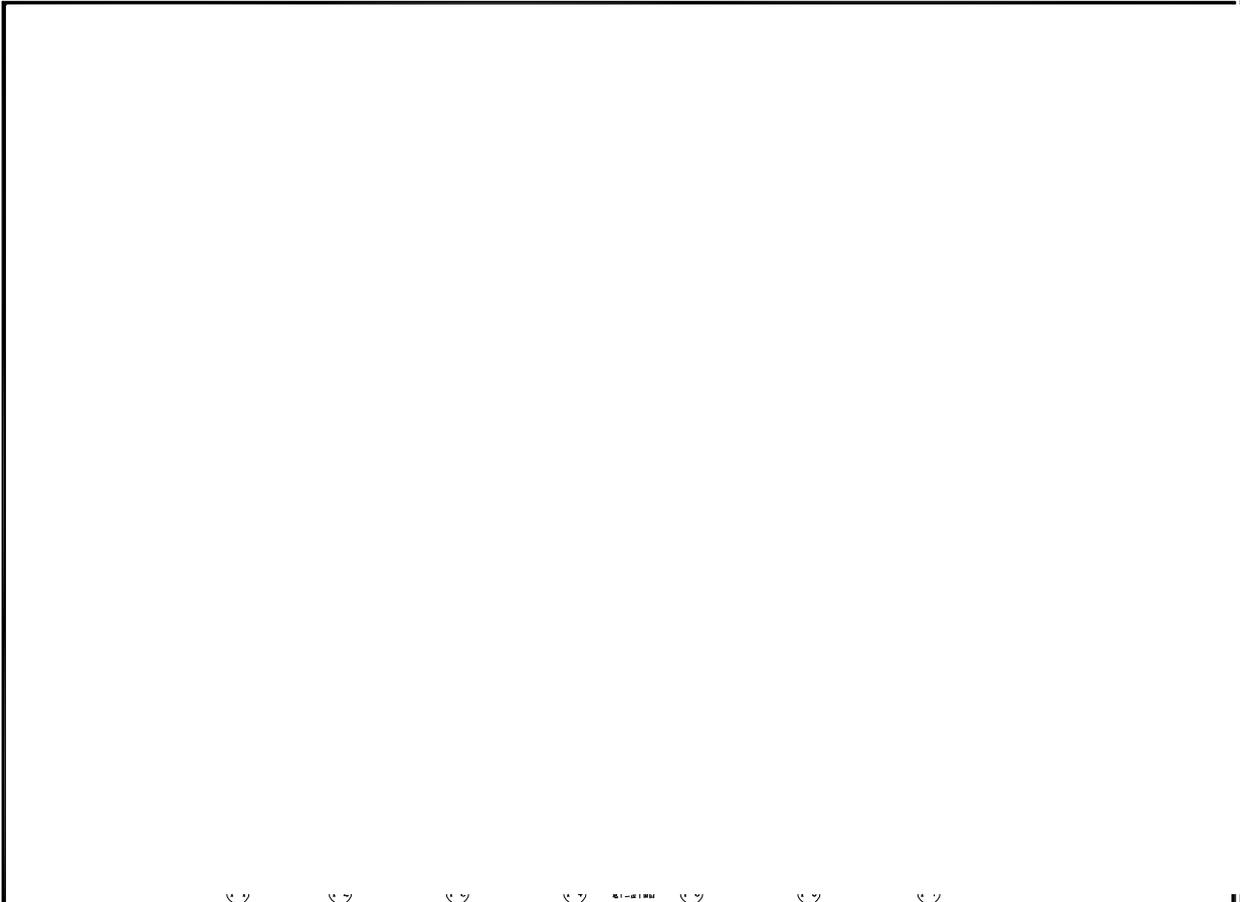


图 2-3 本项目直线加速器机房平面布局示意图

(4) 环境保护目标

本项目 50m 评价范围均位于医院院界内，项目辐射环境保护目标主要为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内公众。本次验收环境保护目标与环评一致，详见表 2-1。

表 2-1 直线加速器项目环评审批及实际建设情况一览表

项目建设地点及其周围环境						
项目内容	环评规划情况			实际建设情况	备注	
建设地点	湖北省宜昌市伍家岗夷陵大道 410 号医院院内医技楼负一、二层			湖北省宜昌市伍家岗夷陵大道 410 号医院院内医技楼负一、二层	与环评一致	
周围环境	三峡大学附属仁和医院	东侧	伍家岗小区	伍家岗小区	与环评一致	
		南侧	院外市政道路及江山多娇 3 期居民小区	院外市政道路及江山多娇 3 期居民小区	与环评一致	
		西侧	江山多娇东区小区	江山多娇东区小区	与环评一致	
		北侧	夷陵大道	夷陵大道	与环评一致	
	直线加速器机房	东侧	控制室	控制室	与环评一致	
		南侧	患者更衣间、候诊区及楼梯间等	患者更衣间、候诊区及楼梯间等	与环评一致	
		西侧	永久土层	永久土层	与环评一致	
		北侧	辅助机房	辅助机房	与环评一致	
		上方	架空区（人员不可达）及医技楼一层自助服务区	架空区（人员不可达）及医技楼一层自助服务区	与环评一致	
		下方	土层	土层	与环评一致	
环境保护目标						
项目内容	环评规划情况			实际建设情况	备注	
评价及验收范围	辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 区域			辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 区域	与环评一致	
环境保护目标	辐射工作人员	控制室内			控制室内	与环评一致
	公众	南侧	家属等候区	家属等候区	与环评一致	
		西南侧	学生公寓	学生公寓	与环评一致	
		西北侧	门诊楼	门诊楼	与环评一致	
		上方	正上方以及医技楼-1F~6F 部分区域	正上方以及医技楼-1F~6F 部分区域	与环评一致	
50m 范围内其他公众			50m 范围内其他公众	与环评一致		

综上所述，本项目建设地点与环评一致未发生变动，本项目周围外环境无变化，本次验收环境保护目标与环评一致。

2、设备参数

本次验收项目环评建设规模主要技术参数及实际建设主要技术参数见表 2-2。

表 2-2 本次验收项目环评建设规模主要技术参数及实际建设主要技术参数

射线装置											
射线装置名称	环评建设规模					实际建设规模					备注
	型号	数量	技术参数	类别	使用场所	型号	数量	技术参数	类别	使用场所	
直线加速器	医科达 Synergy	1	X 射线：6、10MV 电子线≤15MeV CBCT（图像引导系统）150kV/500mA	II	医技楼负二层 医用电子直线 加速器机房	医科达 Synergy	1	X 射线：6、10MV 电子线≤15MeV CBCT（图像引导系统）150kV/500mA	II	医技楼负二层 医用电子直线 加速器机房	与环评参数一致

综上所述，本项目直线加速器参数与环评参数一致。

3、废弃物

本次验收项目废弃物排放情况见表 2-3。本项目废弃物排放情况与环评一致。

表 2-3 本项目废弃物排放情况

废弃物								
名称	状态	核素名称	排放口浓度	环评建设规模		实际建设规模		备注
				暂存情况	最终去向	暂存情况	最终去向	
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气	与环评一致

综上所述，本项目废弃物排放情况与环评一致，未发生变动。

四、辐射安全与防护设施实际总投资落实情况

本项目辐射安全防护与环保设施及其投资落实情况见表 2-4。

表 2-4 本项目辐射安全防护与环保设施及其投资落实情况一览表

项目	设施（措施）	环评拟投资		落实情况		辐射安全防护与环保设施落实情况
		拟配备数量	拟投资金额（万元）	落实数量	实际投资金额（万元）	
加速器 机房	场所 设施	四周墙体+迷道+顶部防护	1 座			已落实治疗室四周、迷道及顶部屏蔽防护措施，机房屏蔽防护措施满足相关标准要求
		铅防护门	1 樘			
		通风系统	1 套			
	联锁 装置	钥匙开关	1 套			已设置钥匙开关，并设置门机联锁；已在设备床旁及控制台设置“紧急止动”按钮；已设置 1 套视频监控及对讲装置，满足相关标准要求
		控制台急停按钮	1 套			
		视频监控及对讲装置	1 套			
		门机联锁装置	1 套			
	警示 措施	入口当心电离辐射警告标识	1 个			已在治疗室防护门外的醒目位置设置“当心电离辐射警告”标志，已在防护门上方设置工作状态指示灯，且进行了工作场所分区并张贴了标识，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规范的电离辐射警告标志的要求
		防护门上方工作状态指示灯	1 套			
		工作场所分区及标识	1 套			
	治疗 室紧 急设 施	屏蔽门内开门按钮	1 个			已在治疗室防护门内设开门按钮 1 个，且安装防夹人装置 1 套，已安装紧急照明 1 套
		治疗室门防夹人装置	1 套			
		紧急照明或独立通道照明系统	1 套			
		治疗室内急停按钮	6 个			
		治疗床旁急停按钮	设备自带			
监测	固定式报警仪	1 个			已配备固定式报警仪 1 个，辐射巡测仪 2	

设备	便携式辐射巡测仪	1 台		台，个人剂量报警仪 4 台，个人剂量计 8 套
	个人剂量报警仪	2 台		
	个人剂量计	8 套		
合计				/

，总投资略高于环评阶段，环保投资与环评阶段基本相符。三峡大学附属仁和医院已预留其他环保投资，其中包括辐射工作人员培训、个人剂量监测及职业健康体检费用等，满足相关辐射防护安全要求。由表 2-4 内容可知，本项目辐射安全与防护措施落实情况均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)等相关要求。

源项情况

一、辐射污染源项

本项目医用电子直线加速器为II类射线装置，在开机状态下主要辐射为 X 射线，关机状态不产生 X 射线。本项目配备的医用电子直线加速器的 X 射线最大能量为 10MV，1m 处最大输出剂量率为 6Gy/min。

当医用电子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管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仑场的影响，贯穿深度有限。医用电子直线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。当医用电子直线加速器的 X 射线能量大于 10MV 时，光子与医用电子直线加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。包括直接光中子以及直接光中子与加速器厅壁作用发生弹性散射和非弹性散射后产生的散射中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 γ 射线，因此在高能医用电子直线加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑对防护门的影响。

因此，本项目医用电子直线加速器开机期间，产生的 X 射线以及少量的中子为主要辐射环境污染因素。

二、非辐射污染源项分析

1、废水

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。新增的工作人员会产生少量生活废水。

2、废气

本项目医用电子直线加速器治疗过程中产生的 X 射线，会使治疗室内的空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物。

3、废物

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物；工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾。

4、噪声

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 58dB(A)，噪声较小。

工程设备与工艺分析

一、工程设备

三峡大学附属仁和医院将医技楼地下室部分区域改建成医用电子直线加速器机房，并在机房内新增使用 1 台医科达 Synergy 型医用电子直线加速器，该设备 X 射线能量为 6、10MV，用于肿瘤的放射治疗，购置的医用电子直线加速器设备参数详见表 2-5。

表 2-5 本项目配备的医用电子直线加速器技术参数一览表

型号	医科达 Synergy
位置	医技楼负二层
主要技术指标	X 射线能量 (MV): 6、10 电子线能量 (MeV): 6、8、10、12、15 CBCT (图像引导系统) 150kV/500mA
射线最大出射角	28° (等中心点每侧 14°)
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.3m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	最大 6Gy·m ² /min
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金

该医用电子直线加速器可开展电子束治疗、三维适型放疗、调强放疗和容积旋转放疗等，完美演绎了精确放疗的精髓，可更好的保护靶区外的正常组织和危机器官；拥有在线 4D-CBCT 影像功能，配合在线四维影像引导技术及先进的肿瘤运动管理系统，能够实现真正意义上的图像引导调强放疗、功能。改型设备治疗耗时从调强放射治疗 (IMRT) 的 15~30 分钟，可大幅缩短到 2~6 分钟。

医科达 VMAT 治疗通过绕靶区的全动态旋转容积放疗，使几乎所有剂量集中投照到真正的治疗靶区，同时，大幅度避免了周围正常组织和重要器官的副反应。

在最少剂量消耗的照射情况下，以超低量的剂量投照，获得靶区的最大剂量覆盖、和正常组织器官的最小剂量覆盖。本次新增的医用电子直线加速器外观图见图 2-4。

图 2-4 本项目新增的医科达 Synergy 型医用电子直线加速器

医用电子直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波或行波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270°偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270°后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器基本结构示意图见图 2-5。

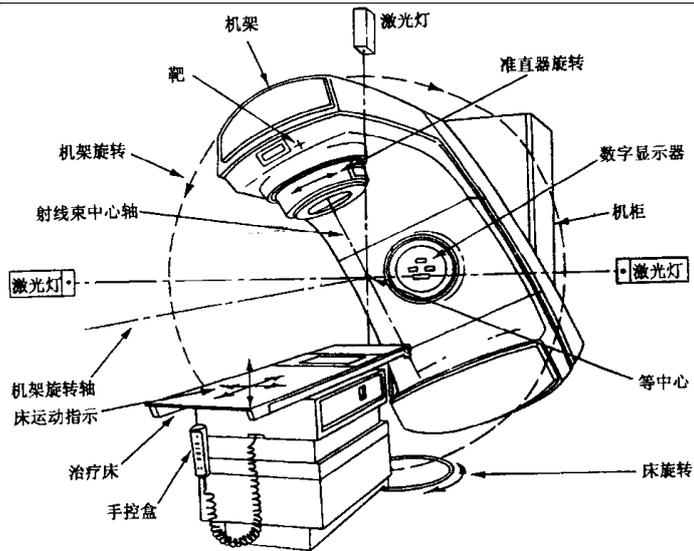


图 2-5 典型医用电子直线加速器基本结构示意图

二、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

医用电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用电子直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 线治疗。

医用电子直线加速器系统示意图见图 2-6。

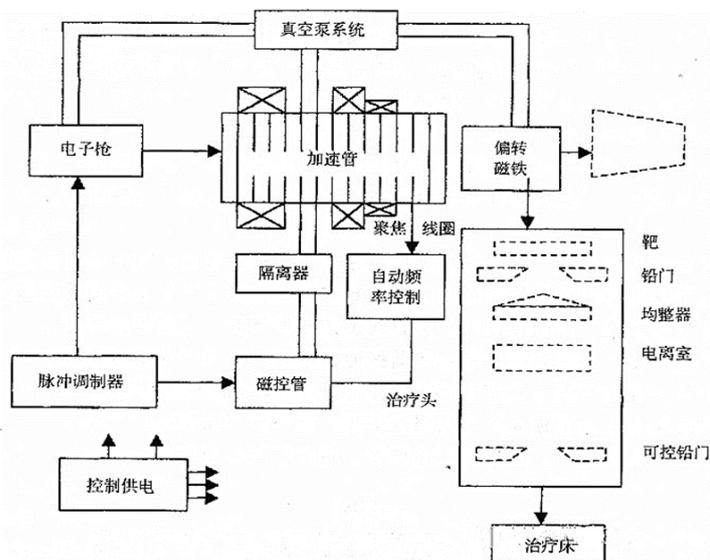


图 2-6 医用电子直线加速器系统示意图

三、工作流程及产污环节

1) 进行定位：先通过放射科已有的 CT（属Ⅲ类射线装置）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

2) 制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

3) 固定患者体位：在利用医用电子直线加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

4) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

5) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用电子直线加速器放疗流程及产污环节如图 2-7 所示。

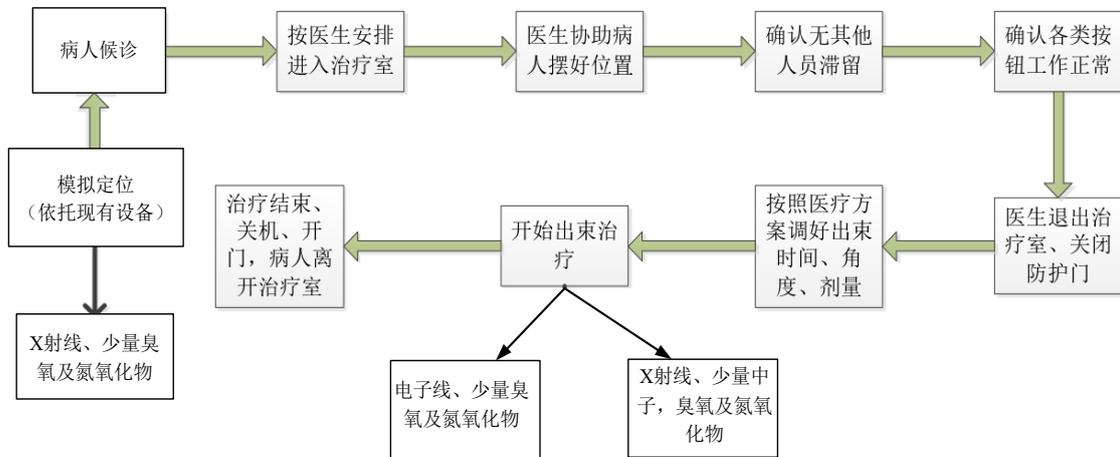


图 2-7 医用电子直线加速器放疗流程及产污环节示意图

四、人流及物流路径

本项目医用电子直线加速器项目的人流路径规划具体如下：

1、工作人员路径：

工作场所的技师由西侧的电梯进入负二层工作区域，随后向东穿过候诊区再向北进入机房控制室，治疗时经东侧机房防护门在治疗室内对患者摆位后离开治疗室，进入控制室对病人实施放射治疗。

2、患者路径：

患者按预约日期首先到负二层护士站登记，随后向东在候诊区等候，根据叫号系统向北经机房防护门进入治疗室，在治疗室内接受治疗，治疗完成按照原路径返回。上述人员流动路径见图 2-8 所示。

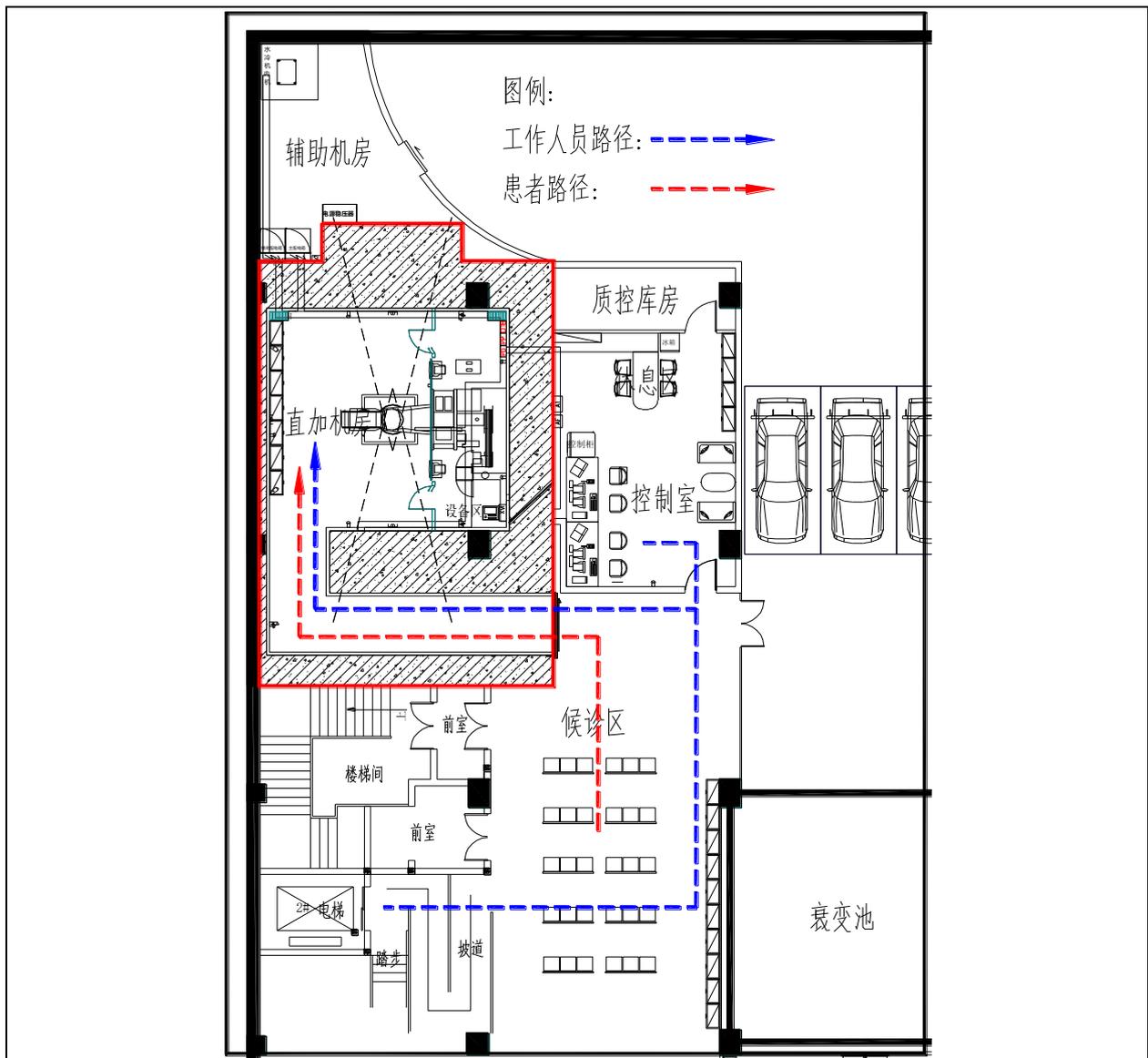


图 2-6 本项目加速器机房人流、物流示意图

五、工作负荷及人员配置

医用电子直线加速器主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，本项目医用电子直线加速器机房投入使用后，预计每天接诊病人不超过 40 人次/台，年工作 250d，其中以电子线治疗模式的约占总治疗人数的 10%，其余均未 X 射线治疗模式，医用电子直线加速器年工作负荷约 500h。

根据本项目环评及医院实际工作量，医院已为本项目加速器机房配备 7 名辐射工作人员，7 名辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训学习，并取得辐射安全与防护培训合格证书，合格证在有效期内。本项目辐射工作人员名单详见表 2-5。

表 2-5 本项目辐射工作人员名单

序号	姓名	性别	培训合格证书编号	工作场所
1	胡以利	男	FS25HB020033	加速器机房
2	陈点点	女	FS25HB020037	

3	余丽婵	女	FS25HB020034
4	关婷玉	女	FS25HN020015
5	卢凤英	女	FS25HB020035
6	任义萍	女	FS25HB020038
7	严魏若	男	FS25HB020039

本项目辐射工作人员均配备有个人剂量计，三峡大学附属仁和医院已对辐射工作人员开展个人职业健康体检及个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。

表三 辐射安全与防护设施/措施

辐射安全与防护设施/措施

一、辐射防护分区

(一) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

(二) “两区”划分

医院将直线加速器机房（含迷道）划分为控制区，各控制室、水冷机房及辅助机房等划分为监督区。

本项目辐射防护分区的划分与环评一致，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。本项目辐射防护分区如图 3-1 所示。

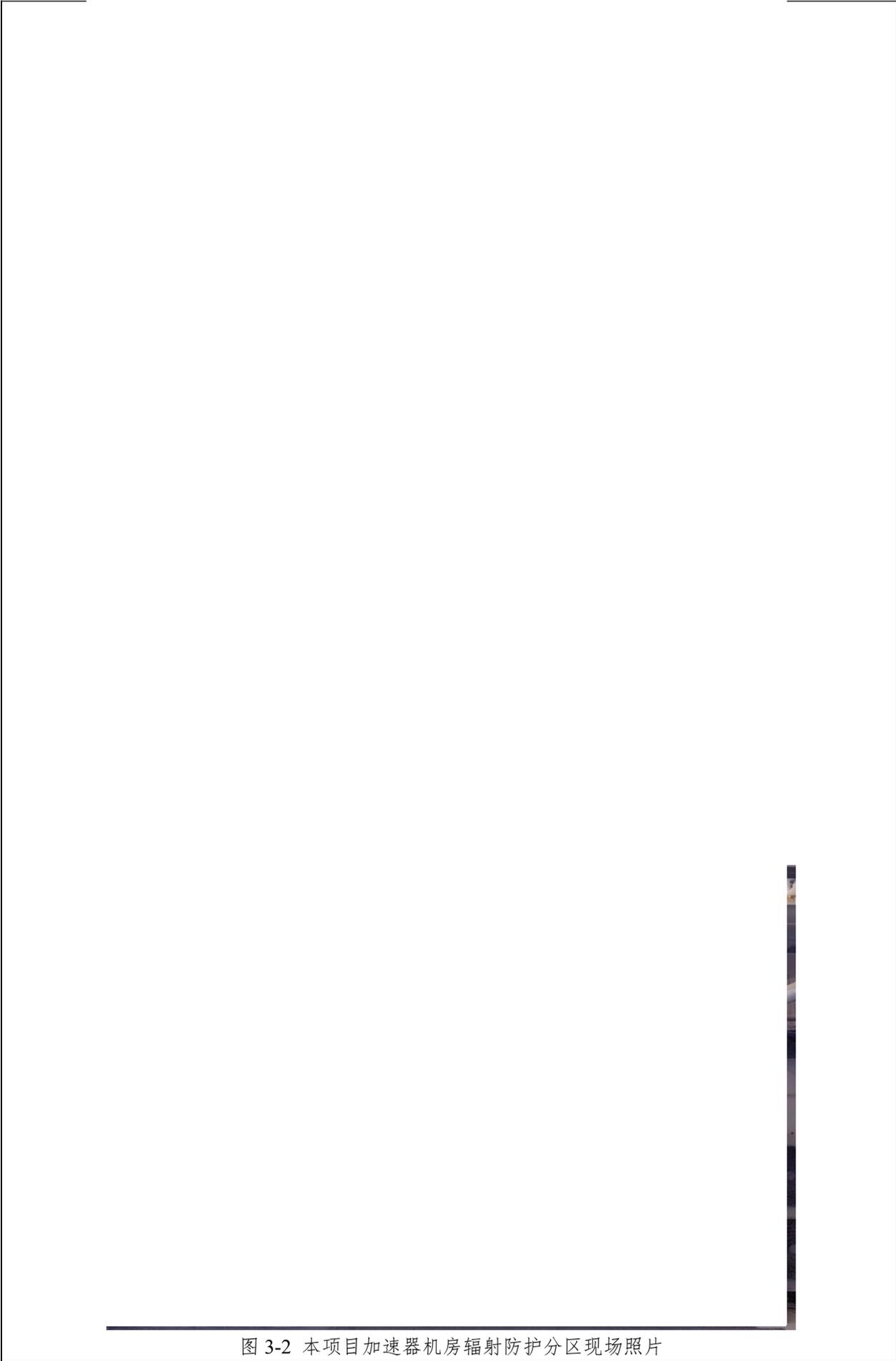


图 3-2 本项目加速器机房辐射防护分区现场照片

二、工作场所屏蔽设施建设情况

本项目加速器机房采用标准混凝土（密度不小于 2.35g/cm^3 ）浇筑而成，因机房东北角上方为汽车行车道，布局无法调整，机房东北角上方采用增加钢板（密度不小于 7.8g/cm^3 ）来进行防护补偿。本项目加速器机房屏蔽防护设计及落实情况详见表 3-1。

表 3-1 本项目加速器机房屏蔽防护设计及落实情况一览表

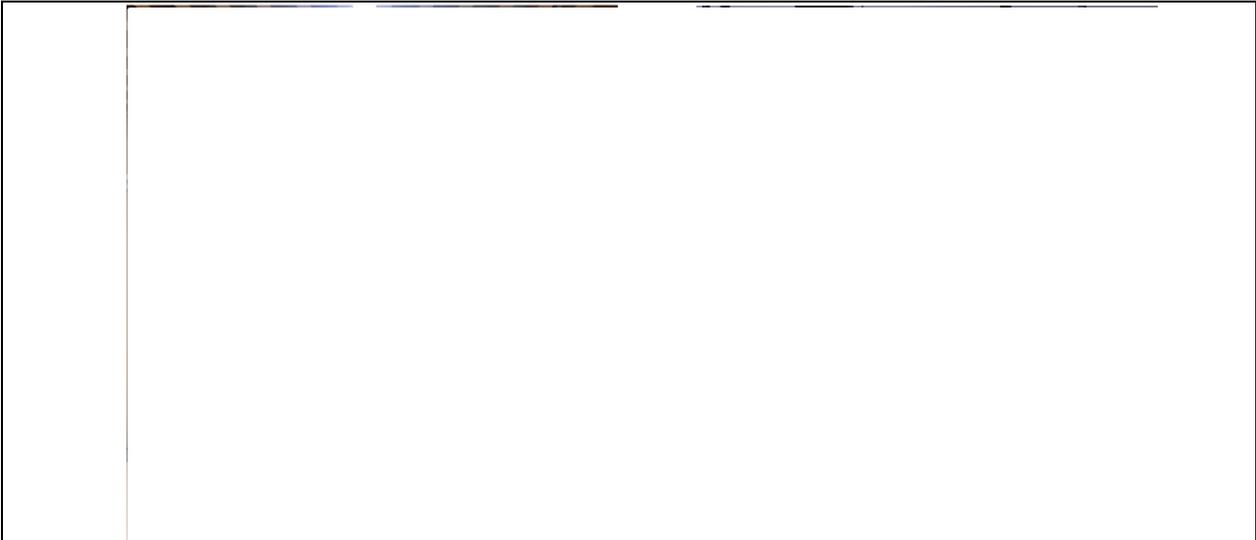
工作场所	屏蔽防护设计		环评要求防护设计	实际落实情况	备注	
加速器机房	东墙	次屏蔽	140cm 混凝土	140cm 混凝土	仅顶部屏蔽增加防护，其他屏蔽与环评一致	
	南墙	迷道内墙	200cm 混凝土	200cm 混凝土		
		迷道外墙	100cm 混凝土	100cm 混凝土		
	西墙	次屏蔽	永久土层	永久土层		
	北墙	主屏蔽	240cm 混凝土 (宽度 442.8cm)	240cm 混凝土 (宽度 442.8cm)		
		次屏蔽	150cm 混凝土	150cm 混凝土		
	屋顶	主屏蔽	270cm 混凝土 (宽度 367cm)	270cm 混凝土 (宽度 367cm)		
		次屏蔽	150cm 混凝土	150cm 混凝土		
	防护门			15mm 铅当量+120mm 含硼聚乙烯防护门 (含硼约 5%)		15mm 铅当量+120mm 含硼聚乙烯防护门 (含硼约 5%)
				/		东北角上方增加 16cm 钢板，水平方向（东西方向）钢板铺设 57cm，垂直方向（上下方向）铺设 55cm，长度均铺设（南北方向）870cm

由表 3-1 可知，本项目加速器机房实际建设仅机房顶部增加钢板防护，机房其他屏蔽防护技术参数与环评及其批复一致，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关标准要求。

三、辐射安全与防护措施

（一）当心电离辐射警告标志和工作状态指示灯

医用电子直线加速器项目出入口、直线加速器机房防护门外粘贴有当心电离辐射警告标志，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规范的电离辐射警告标志的要求。本项目直线加速器机房防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁。设备运行作业时，灯箱灯亮，显示“射线有害，灯亮勿入”警示语句。医用电子直线加速器电离辐射警示标志和工作状态指示灯如图 3-3 所示。



入口防护门 放射治疗工作场所入口处

图 3-3 电离辐射警示标志和工作状态指示灯

(二) 急停按钮

直线加速器机房和控制室内共设有急停开关共 13 个。控制室设有 2 个急停开关，位于操作台上和控制室门旁墙上；机房东墙设有 2 个急停开关（距地面约 1.5m）；机房南墙（迷道内墙）设有 1 个急停开关（距地面约 1.5m），机房西墙设有 1 个急停开关（距地面约 1.5m），机房北墙设有 1 个急停开关（距地面约 1.5m），治疗床下方两侧各设有 1 个急停开关，机房内医用电子加速器设备的 3 个操作手柄上各设有 1 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。急停开关设置位置详见图 3-4。经验证检查，按下急停开关，医用电子直线加速器即可停止工作，工作人员需进入机房将机器复位后方可重新出束。急停装置满足相关标准要求，急停开关现场照片见图 3-5。

图 3-4 本项目加速器机房急停按钮设置位置平面图

治疗室东墙（北侧）

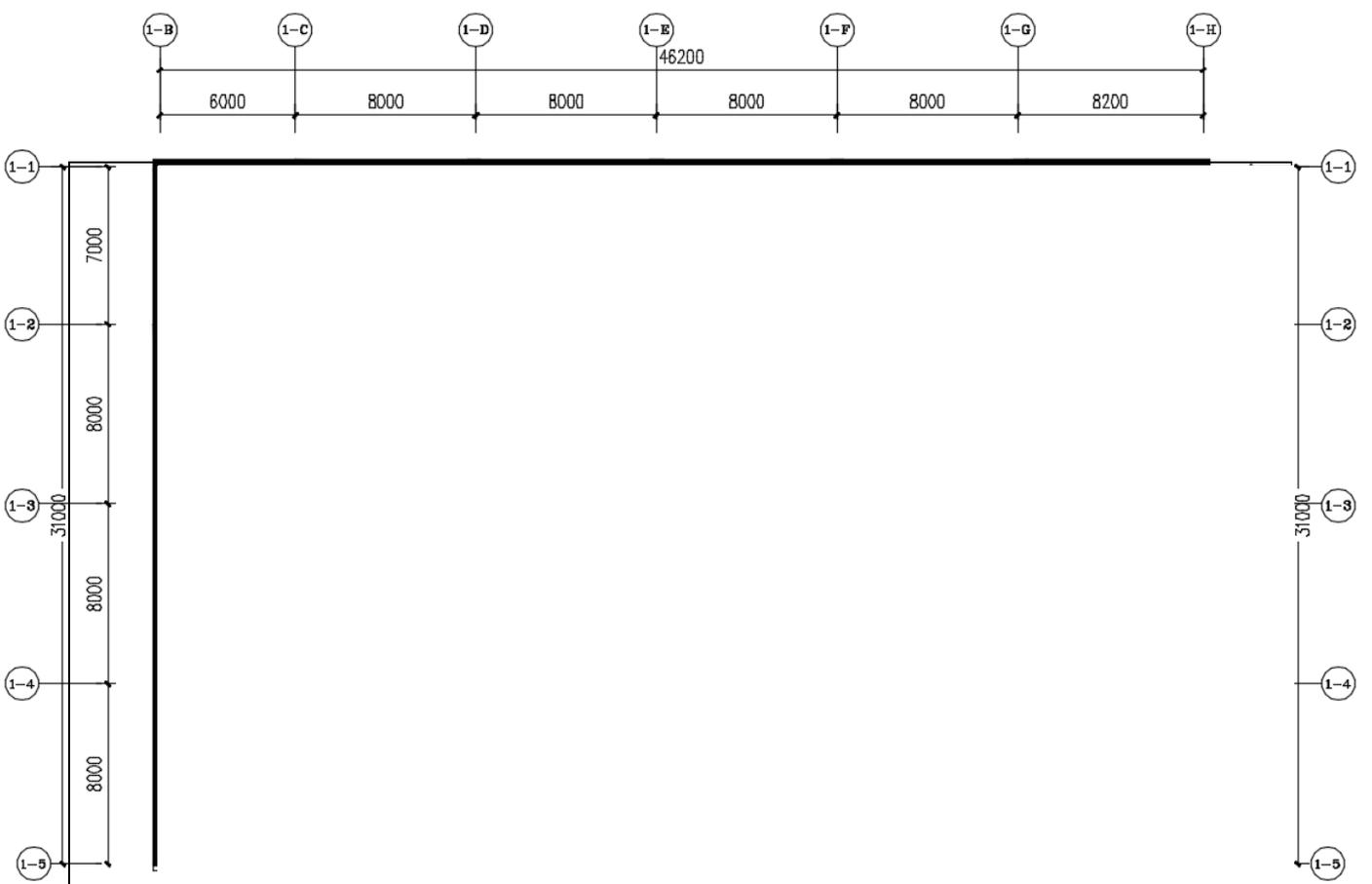
治疗床下方

操作手柄

图 3-5 本项目急停开关现场照片（部分）

（三）视频监控系统及语音对讲系统

其中迷道尽头墙上设置了 1 个监控摄像头（距地面约 2.6m），治疗室迷道内口的西墙上设置了 1 个监控摄像头（距地面约 2.6m，摄像头可旋转），治疗室北墙西侧设置了 1 个监控摄像头（距地面约 2.6m），监控装置做到了全方位无死角，监控视频终端设置在控制室内；控制室与医用电子直线加速器机房之间设置了双向对讲系统，对讲装置分别设置在治疗室假墙南侧（受检者端）和控制室内操作台上（医护人员端）。本项目观察和对讲装置设置位置见图 3-6，现场照片见图 3-7。



直线加速器机房防护门和机房内设备间门与医用电子直线加速器联锁。当机房门和设备间门未关好时，医用电子直线加速器不能工作；医用电子直线加速器工作过程中打开防护门或设备间门，医用电子直线加速器即停止工作。经检查，机房防护门和设备间门与医用电子直线加速器的联锁装置有效。

(五) 剂量联锁

本项目在直线加速器机房的迷道内设置了固定式辐射监测仪探头，终端设置于控制

室内。经现场核查，只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。固定式辐射监测仪见图 3-9。

图 3-8 固定式报警仪现场照片

(六) 紧急开门装置

本项目在机房内入口迷道外墙上设置了紧急开门装置，可以从室内开启机房防护门。紧急开门装置见图 3-9。

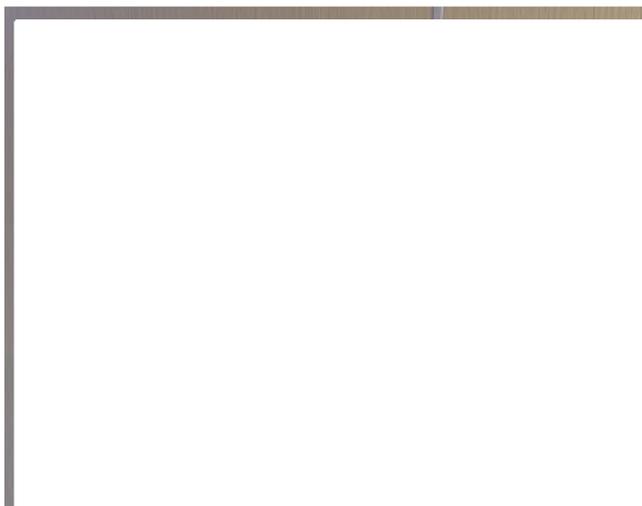


图 3-9 紧急开门装置现场照片

(七) 监测仪器

根据环评及其批复要求，医院为本项目配备了个人剂量报警仪、辐射巡检仪。经验证检查，所有设备均能正常使用，符合标准要求，配备的防护监测仪器见表 3-2，现场照片示例详见图 3-10。

表 3-2 本项目工作场所配备的监测仪器清单

设备名称	设备型号	数量	使用场所
辐射巡检仪	JF310	2 台	直线加速器机房
个人剂量报警仪	BG2010	4 台	

个人剂量报警仪

辐射巡检仪

图 3-10 本项目监测仪器

四、三废治理

(一) 废水

本项目辐射工作人员产生的生活污水依托医院生活污水处理系统处理。

(二) 废气

本项目医用电子直线加速器治疗过程中产生的 X 射线，会使治疗室内的空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目加速器机房采用机械进排风，排风口位于机房北侧距离地面约 30cm 处，东西侧各一处。排风管道从加速器机房北侧次屏蔽墙穿过至辅助机房，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统统一抽排至医技楼一层室外排风井处。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中要求：“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、窗或人流较大的过道等位置”。

本项目加速器机房容积约为（包含迷道） 189.2m^3 ，为满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中“治疗室通风换气次数不应小于 4 次/h”的要求，机房内配备的通风系统设计风量应不小于 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，本次验收使用风速仪实测风速，医用直线加速器机房进风口和排风口呈对角设置，医用电子直线加速器机房 2 个排风口排风速率分别为 2.95m/s （西北角）和 1.17m/s （东北角），计算风量为 993.4m^3 ，计算结果通风换气次数约为 5.25 次/小时，符合相关标准要求。通风口位置平面图详见图 3-11，现场照片见图 3-12。

球型出户



图 3-11 直线加速器机房通排风管道布置示意图

图 3-12 本项目直线加速器机房进排风口

（三）噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声对周围环境影响较小。

（四）固体废物

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物。

院区内设置一处生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，交由有资质单位进行统一收集、清运和处置。

五、辐射安全管理制度

三峡大学附属仁和医院已根据《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》，针对所开展的核技术利用项目制定了相应的辐射安全与防护管理制度，清单如下：

- （一）放射安全管理制度
- （二）放射防护管理委员会工作职责
- （三）放射源安全管理制度
- （四）放射工作人员培训及健康管理制度
- （五）放射工作人员个人剂量监测管理制度
- （六）放射防护监测管理制度
- （七）放射损伤处置流程和规范
- （八）放射防护用品管理制度
- （九）放射安全信息沟通制度
- （十）放射性职业病防治工作制度
- （十一）放射性突发事件应急处理预案
- （十二）放疗流程中的注意事项
- （十三）放疗中心直线加速器室事件处理预案
- （十四）直线加速器操作规程
- （十五）物理师工作制度

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。辐射安全规章管理机构及制度详见附件 7。

《直线加速器操作规程》《放疗中心直线加速器室事件处理预案》《放疗流程中的注意事项》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于工作场所控制室内，详见图 3-13。

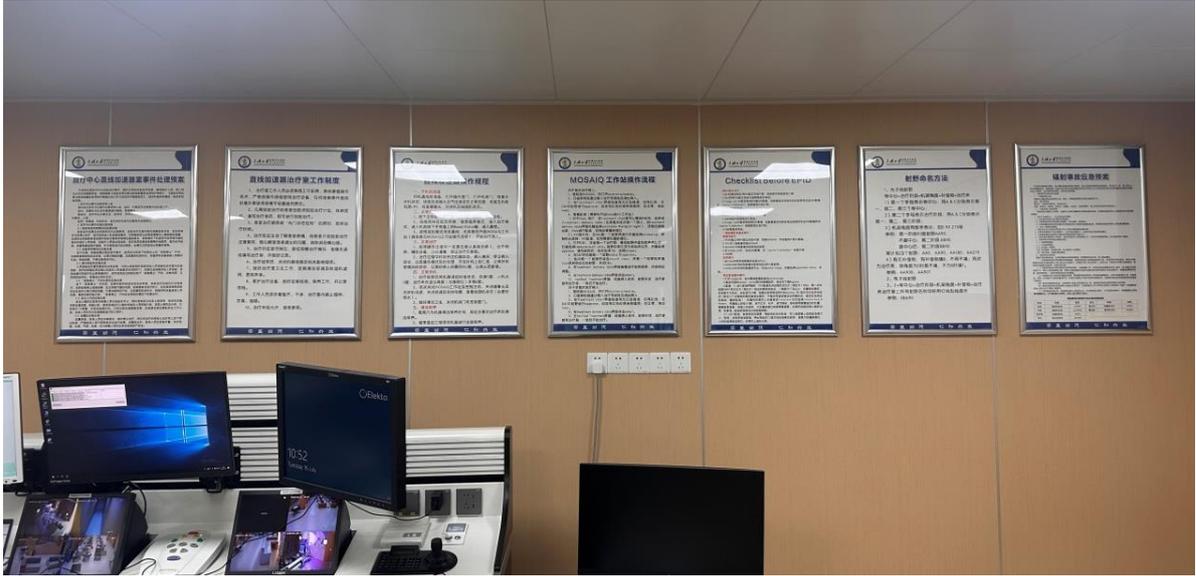


图 3-13 制度上墙

表四 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

一、环境影响报告书（表）辐射安全与防护措施/设施的要求

“（二）辐射安全措施

1、当心电离辐射警告标志和工作状态指示灯

本项目医用电子直线加速器机房入口处防护门上方拟设置工作状态指示灯，防护门上粘贴有当心电离辐射警告标志和防止无关人员逗留误入等提示语。

2、视频监控系统及语音对讲系统

本项目医用电子直线加速器机房拟设计安装视频监控系统和双向交流对讲装置，可实时观察机房内的动态。

3、固定式报警仪

在医用电子直线加速器机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

4、门机联锁装置

除医用电子直线加速器自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭时加速器才能出束进行治疗，出束状态下防护门打开加速器会立即停止出束。

5、紧急开门装置

医用电子直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的紧急装置。同时，防护门拟设有防挤压功能。

6、急停按钮

在医用电子直线加速器机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷路入口处、控制室控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，以避免医用电子直线加速器机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

7、其他安全装置

①医用电子直线加速器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。

②医用电子直线加速器机房电缆线穿墙方式拟采用“U”型穿墙管道（见图 10-3），电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

③防护门搭接方式：机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目医用电子直线加速器机房门与墙之间的间隙小于 1cm，门与墙之间间隙与搭接比值小于 1/10，可有效防止门缝处射线泄漏。

④本项目医用电子直线加速器机房拟设计有通风装置，治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于 4 次/h。医用电子直线加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

本项目医用电子直线加速器机房的辐射安全设施位置示意图详见图 10-4，安全连锁逻辑示意图详见图 10-5。

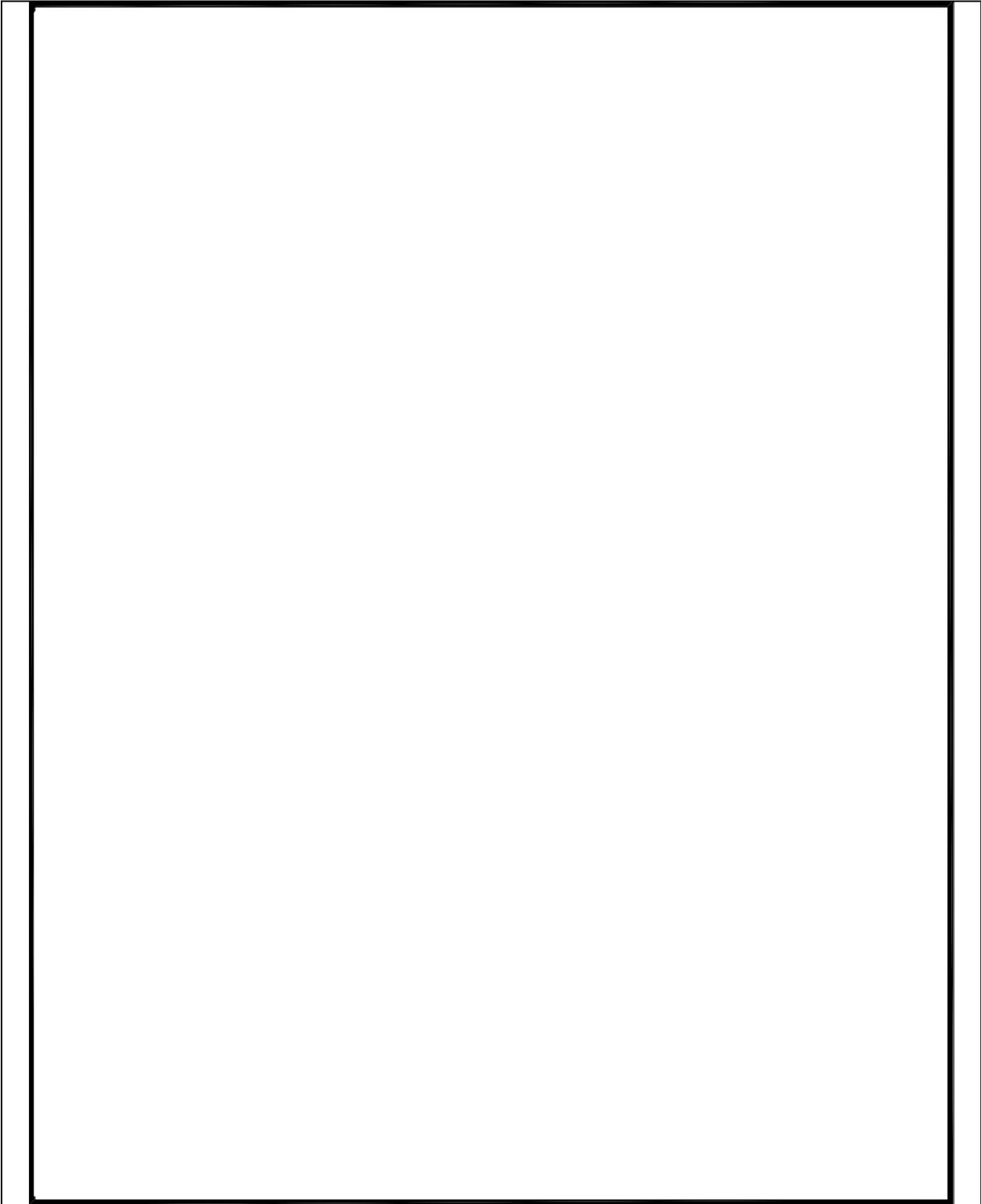


图 10-4 医用电子直线加速器机房的辐射安全设施位置示意图

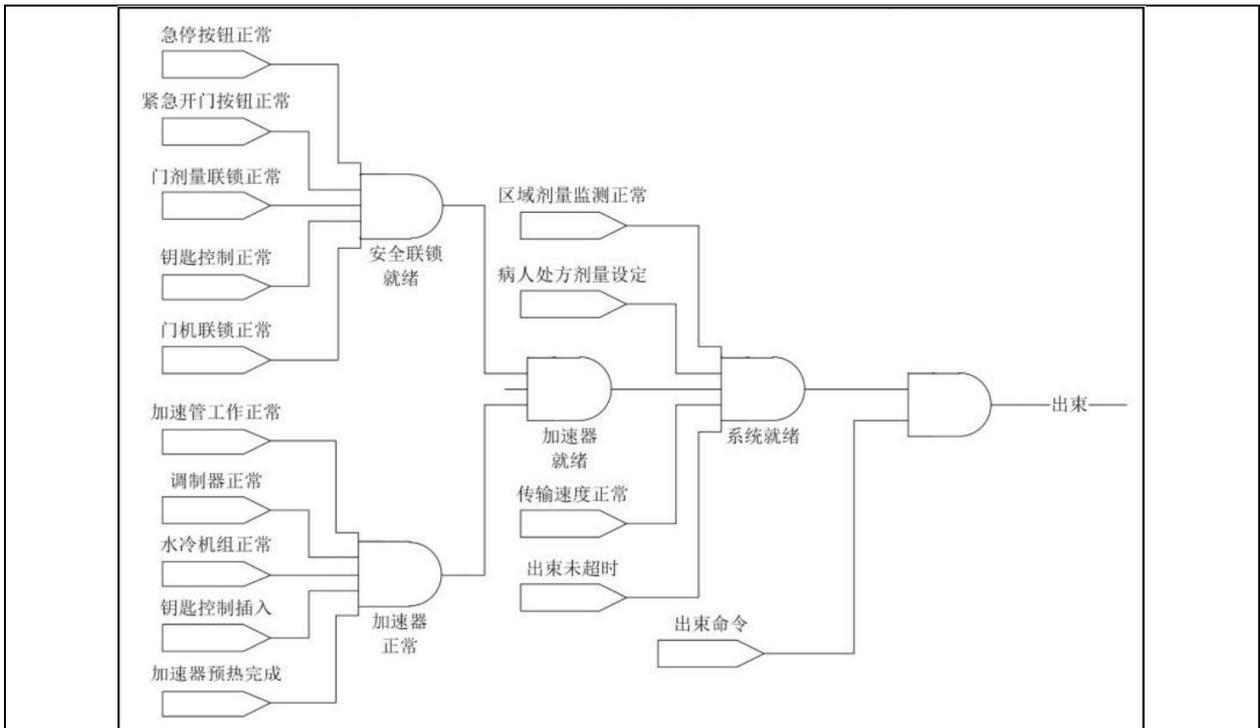


图 10-5 医用电子直线加速器安全联锁逻辑示意图

以上辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响。”

二、审批部门审批决定

“三峡大学附属仁和医院：

你单位报送的《三峡大学附属仁和医院直线加速器项目环境影响报告表》（以下简称《报告表》）收悉。根据专家组技术评审意见，现批复如下：

一、该项目位于宜昌市伍家岗夷陵大道 410 号三峡大学附属仁和医院院内医技楼负一、二层。项目主要建设内容为：在医技楼负二层及负一层部分停车场区域改建为医用电子直线加速器机房及其辅助用房，机房内设置 1 台直线加速器（医科达 Synergy），开展放射治疗。加速器产生的 X 射线最大能量为 10MV，电子线最大能量为 15MeV，本项目辐射工作种类和范围 of 使用 II 类射线装置。项目总投资 2234 万元，其中环保投资 226 万元占比 10.1%。

二、原则上同意《报告表》编制内容。在落实环评报告表提出的防护措施和管理要求后，项目对环境的影响可以满足国家相关标准要求。

三、你单位应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的规定，重新申领辐射安全许可证，并重点做好以下工作：

（一）进一步明确辐射管理机构和职责，完善各项辐射安全管理规章制度、操作规程和辐射事故应急预案，并严格实施。

(二)必须严格执行环境保护“三同时”制度，按规定程序自主开展环境保护验收。验收合格后，项目方可投入使用。

(三)加强辐射安全和防护知识培训，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护知识及相关法律法规的培训和考核。应配备相应的防护用品和监测仪器并自主开展辐射环境监测。辐射工作人员应进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案、

(四)加强放射性同位素与射线装置的安全监管，严格执行各项管理制度、操作规程和监测计划，定期检查各项安全防护设施设备，确保其正常运行。

(五)应于每年 1 月 31 日前编制上年度的辐射安全和防护状况年度评估报告，并报送生态环境行政主管部门。

四、本批复自下达之日起 5 年内有效。项目的性质、规模、地点、采用的辐射安全防护措施发生重大变动的，建设单位应当重新报批本项目的环评文件。

五、请宜昌市生态环境局伍家岗区分局负责该项目辐射环境事中事后监督管理。”

三、环评及批复落实情况

本项目环评及批复落实情况见表 4-1。

表 4-1 本项目环评及批复落实情况一览表

核查项目	“三同时”措施	执行情况	结论
辐射安全管理	建立辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式下发	已建立辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式下发	已落实
	根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	三峡大学附属仁和医院已完善核与辐射安全管理制度，已明确管理组织机构和责任人，已制订有针对性和可操作性的辐射事故应急预案。	已落实
辐射防护措施	本项目加速器机房东侧墙体为 1.40m 厚混凝土；南侧迷道内墙为 2.00m 厚混凝土，迷道外墙为 1.00m 厚混凝土，西侧为医技楼建筑墙体和永久土层，北侧墙体主屏蔽部分为 2.70m 厚混凝土（宽 4.428m），相连次屏蔽部分为 1.50m 厚混凝土；屋顶主屏蔽部分为 2.70m 厚混凝土（宽 3.67m），相连次屏蔽部分为 1.50m 厚混凝土；机房防护门为 15mm 铅当量+120mm 含硼聚乙烯（含硼量约 5%）电动钢板夹芯平移防护门。	本项目加速器机房东侧墙体为 1.40m 厚混凝土；南侧迷道内墙为 2.00m 厚混凝土，迷道外墙为 1.00m 厚混凝土，西侧为医技楼建筑墙体和永久土层，北侧墙体主屏蔽部分为 2.70m 厚混凝土（宽 4.428m），相连次屏蔽部分为 1.50m 厚混凝土；屋顶主屏蔽部分为 2.70m 厚混凝土（宽 3.67m），相连次屏蔽部分为 1.50m 厚混凝土（东北角上方增加 16cm 钢板，水平方向（东西方向）钢板铺设 57cm，竖直方向（上下方向）铺设 55cm，长度均铺设（南北方向）870cm）；机房防护门为 15mm 铅当量+120mm 含硼聚乙烯（含硼量约 5%）电动钢板夹芯平移防护门。	已落实
安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯等）	在加速器机房门外及其他醒目位置张贴“当心电离辐射”警告标志，机房应配备急停按钮、工作状态指示灯、对讲装置及监控系统等安全措施。	本项目直线加速器机房和控制室内共设有急停开关共 13 个；在直线加速器机房的防护门旁设置了电离辐射警告标志和工作状态指示灯；在放射治疗场所出入口设置了电离辐射警告标志；在迷道内设置了固定式报警仪探头，终端在控制室；迷道内设置了紧急开门装置和防夹装置；设置了门机联锁装置等。直线加速器机房内安装了 3 个监控探头，监控装置显示终端设置在控制室内；控制室与治疗室之间设置了 1 套对讲系统。	已落实
通排风系统	配备通排风系统 1 套。	已设置通排风设施	已落实
人员配备	辐射工作人员应参加辐射安全与防护知识学习及考核，考核合格后上岗。	辐射工作人员已取得辐射安全与防护知识考核合格证书或在核技术利用辐射安全与防护培训平台学习及考核合格，详见附件 6。	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。	本项目辐射工作人员已开展个人剂量监测和个人职业健康体检，并建立个人剂量和职业健康档案。	

	辐射工作人员定期进行职业健康体检，并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	拟配备便携式辐射监测仪 1 台，固定式报警仪 1 个，个人剂量报警仪 2 台。	已配备便携式辐射监测仪 2 台，固定式报警仪 1 个，个人剂量报警仪 4 台。	已落实

综上所述，本项目已按照环评“三同时措施”进行落实。

2、批复落实情况

本项目批复落实情况见表 4-2。

表 4-2 本项目批复落实情况一览表

批复要求		落实情况	结论
申请许可证工作	你单位应在按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的规定，重新申领辐射安全许可证。	2024 年 3 月 27 日完成本项目新增辐射安全许可证变更。现持有湖北省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，其证书编号为：鄂环辐证（00044）（发证日期：2024 年 3 月 27 日），许可种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所；有效期至 2029 年 3 月 26 日。	已落实
项目应重点做好以下工作	进一步明确辐射管理机构和职责，完善各项辐射安全管理规章制度、操作规程和辐射事故应急预案，并严格实施。	已制定或完善《关于调整放射防护与安全委员会的通知》《放射性突发事件应急处理预案》《直线加速器操作规程》《放射工作人员培训及健康管理制度》《放射工作人员个人剂量监测管理制度》等规章制度。	已落实
	必须严格执行环境保护“三同时”制度，按规定程序自主开展环境保护验收。验收合格后，项目方可投入使用。	本项目建设严格执行“三同时”制度，已落实各项环境保护措施，已委托南京瑞森辐射技术有限公司开展相应的竣工环境保护验收工作	已落实
	加强辐射安全和防护知识培训，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护知识及相关法律法规的培训和考核。应配备相应的防护用品和监测仪器并自主开展辐射环境监测。辐射工作人员应进行个人剂量监测和职业健	本项目 7 名辐射工作人员均通过了辐射安全与防护考核，已委托有资质的单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；已配个人防护用品及辐射检测仪 2 台，已建立《辐	已落实

康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。	射监测方案》。	
加强放射性同位素与射线装置的安全监管，严格执行各项管理制度、操作规程和监测计划，定期检查各项安全防护设施设备，确保其正常运行。	已建立《放射防护监测管理制度》《放射防护用品管理制度》及《放疗中心直线加速释室事件处理预案》，定期对各项辐射安全和防护措施和设施进行检查。	已落实
应于每年1月31日前编制上年度的辐射安全和防护状况年度评估报告，并报送生态环境行政主管部门。	医院应按要求编制上年度的辐射安全和防护状况年度评估报告，于次年1月31日前上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统，并报送生态环境行政主管部门。	待落实
本批复自下达之日起5年内有效。项目的性质、规模、地点、采用的辐射安全防护措施发生重大变动的，建设单位应当重新报批本项目的环境影响评价文件。	本项目已按照报告表中的内容、地点进行建设，建设内容及规模与环评及其批复一致，医用直线加速器设备参数与环评一致，模拟定位机参数小于环评参数。	已落实

综上所述，本项目已按照环评及其批复进行落实，设备参数与环评及其批复一致。

表五 验收监测质量保证及质量控制

验收监测质量保证和质量控制

一、监测单位资质

验收监测单位南京瑞森辐射技术有限公司获得 CMA 资质认证 (221020340350), 见附件 8。

二、检测方法 & 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。

检测方法 & 评价依据见表 5-1, 监测仪器见表 5-2。

表 5-1 监测项目、分析方法 & 来源

监测项目	检测方法	评价依据
X- γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021)	《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ 1198-2021) 《放射治疗放射防护要求》 (GBZ121-2020)
中子周围剂量当量率	《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 《辐射防护仪器中子周围剂量当量(率)仪》 (GB/T14318-2019)	
风速	/	/

表 5-2 检测使用仪器

仪器名称/型号	仪器编号	技术参数	仪器检定有效期
X- γ 剂量率仪 (AT1123)	NJRS-044	能量响应: 15keV~10MeV 测量范围: 50nSv/h~10Sv/h	2023.11.17~2024.11.16
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	2024.03.05~2025.03.04
固体水模	NJRS-084	/	/
数字风速仪 (F30J)	NJRS-065	/	2023.11.20~2024.11.19

三、质量保证措施

人员培训: 监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度: 监测仪器定期经计量部门检定, 监测期间在有效期内。

自检: 每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

监测记录: 现场监测过程, 专业人员按操作规程操作仪器, 并做好记录。

数据记录 & 处理: 开机预热, 手持仪器, 一般保持仪器探头中心距离地面 (基础面) 为 1m。仪器读数稳定后, 每个点位读取 5 个数据, 读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值。

表六 验收监测内容

验收监测内容

一、监测分析方法

本次监测按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)及《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)的标准要求进行监测、分析。

二、监测因子

根据项目污染源特征,本次工作场所竣工验收监测因子为 X- γ 辐射剂量率。

三、监测工况

2024年7月17日,南京瑞森辐射技术有限公司对三峡大学附属仁和医院直线加速器项目进行验收监测,验收工况如下:

表 6-1 三峡大学附属仁和医院直线加速器项目验收工况

项目名称型号	技术参数	验收监测工况	使用场所
医用电子直线加速器 Elekta synergy	10MV 600cGy/min	10MV、600cGy/min, 照射野 40cm×40cm	直线加速器机房

四、监测点位及内容

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)及的要求,本项目检测点位选取距机房墙体及门表面外 30cm 处的 X- γ 辐射剂量率及门表面外 30cm 处的中子周围剂量当量率,监测设备运行状态、非运行状态下的 X- γ 辐射剂量率及中子周围剂量当量率。

表七 验收监测期间生产工况及验收监测结果

验收监测期间生产工况

被检单位：三峡大学附属仁和医院

监测实施单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测日期：2024 年 7 月 17 日

天气：晴

温度：35°C

湿度：52%RH

监测因子：X-γ 辐射剂量率、中子周围剂量当量率及风速

验收监测期间生产工况见表 7-1。

表 7-1 三峡大学附属仁和医院直线加速器项目验收工况

设备名称型号	技术参数	验收监测工况	使用场所
医用电子直线加速器 Elekta synergy	10MV 600cGy/min	10MV、600cGy/min, 照射野 40cm×40cm	直线加速器机房

验收监测结果

一、工作场所辐射防护监测结果

本项目工作场所辐射防护监测报告详见附件 8。监测结果如下：

表 7-2 加速器机房周围 X-γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nSv/h)	设备状态
1	防护门外 30cm 处 (左缝)	52	射线朝南 (机架 270°), 无模体, 照射野: 40cm×40cm
		202	射线朝北 (机架 90°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
2	防护门外 30cm 处 (中缝)	68	射线朝南 (机架 270°), 无模体, 照射野: 40cm×40cm
		246	射线朝北 (机架 90°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
3	防护门外 30cm 处 (右缝)	60	射线朝南 (机架 270°), 无模体, 照射野: 40cm×40cm
		174	射线朝北 (机架 90°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
4	防护门外 30cm 处 (上缝)	53	射线朝南 (机架 270°), 无模体, 照射野: 40cm×40cm
		119	射线朝北 (机架 90°), 等中心处放

			置模体, 照射野: 40cm×40cm
5	防护门外 30cm 处 (下缝)	3.4×10 ²	射线朝南 (机架 270°), 无模体, 照射野: 40cm×40cm
		3.1×10 ²	射线朝北 (机架 90°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
6	南墙外 30cm 处 (次屏蔽区)	<MDL	射线朝南 (机架 270°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
7	南墙外 30cm 处 (次屏蔽区)	<MDL	
8	南墙外 30cm 处 (主屏蔽区)	10	射线朝南 (机架 270°), 无模体, 准直器角 45°, 照射野: 40cm×40cm
9	南墙外 30cm 处 (主屏蔽区)	12	
10	北墙外 30cm 处 (次屏蔽区)	3.3×10 ²	射线朝北 (机架 90°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
11	北墙外 30cm 处 (次屏蔽区)	7.4×10 ²	
12	辅助机房管线洞口外 30cm 处	7.9×10 ²	
13	北墙外 30cm 处 (主屏蔽区)	1.1×10 ²	射线朝北 (机架 90°), 无模体, 准直器角 45°, 照射野: 40cm×40cm
14	北墙外 30cm 处 (主屏蔽区)	9.7×10 ²	
15	东墙外 30cm 处 (质控库房)	9	射线朝下 (机架 0°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
16	控制室管线洞口外 30cm 处	1.72×10 ³	
17	东墙外 30cm 处 (上插座)	14	
18	东墙外 30cm 处 (下插座)	15	
19	东墙外 30cm 处	10	
20	东墙外 30cm 处 (插座)	16	
21	东墙外 30cm 处	12	
22	物理检测管线洞口外 30cm 处	9	
23	操作位	<MDL	
24	距机房楼上地面 30cm 处 (次屏蔽区)	<MDL	射线朝上 (机架 180°), 等中心处放置模体, 照射野: 40cm×40cm
25	距机房楼上地面 30cm 处 (次屏蔽区)	<MDL	
26	距机房楼上地面 30cm 处 (次屏蔽区)	10	
27	距机房楼上地面 30cm 处 (次屏蔽区)	<MDL	
28	距机房楼上地面 30cm 处 (增加钢板屏蔽处)	<MDL	
29	距机房楼上地面 30cm 处 (增加钢板屏蔽处)	<MDL	射线朝上 (机架 180°), 无模体, 准直器角 45°, 照射野: 40cm×40cm
30	距机房楼上地面 30cm 处 (主屏蔽区)	<MDL	
31	距机房楼上地面 30cm 处 (主屏蔽区)	9	

注: 1.测量结果已扣除本底值, 本底值为 91nSv/h, 最低探测水平 (MDL) 为 8nSv/h;

2.机房西侧和下方为土层, 人员均无法到达;

3.检测点位见图 7-1。

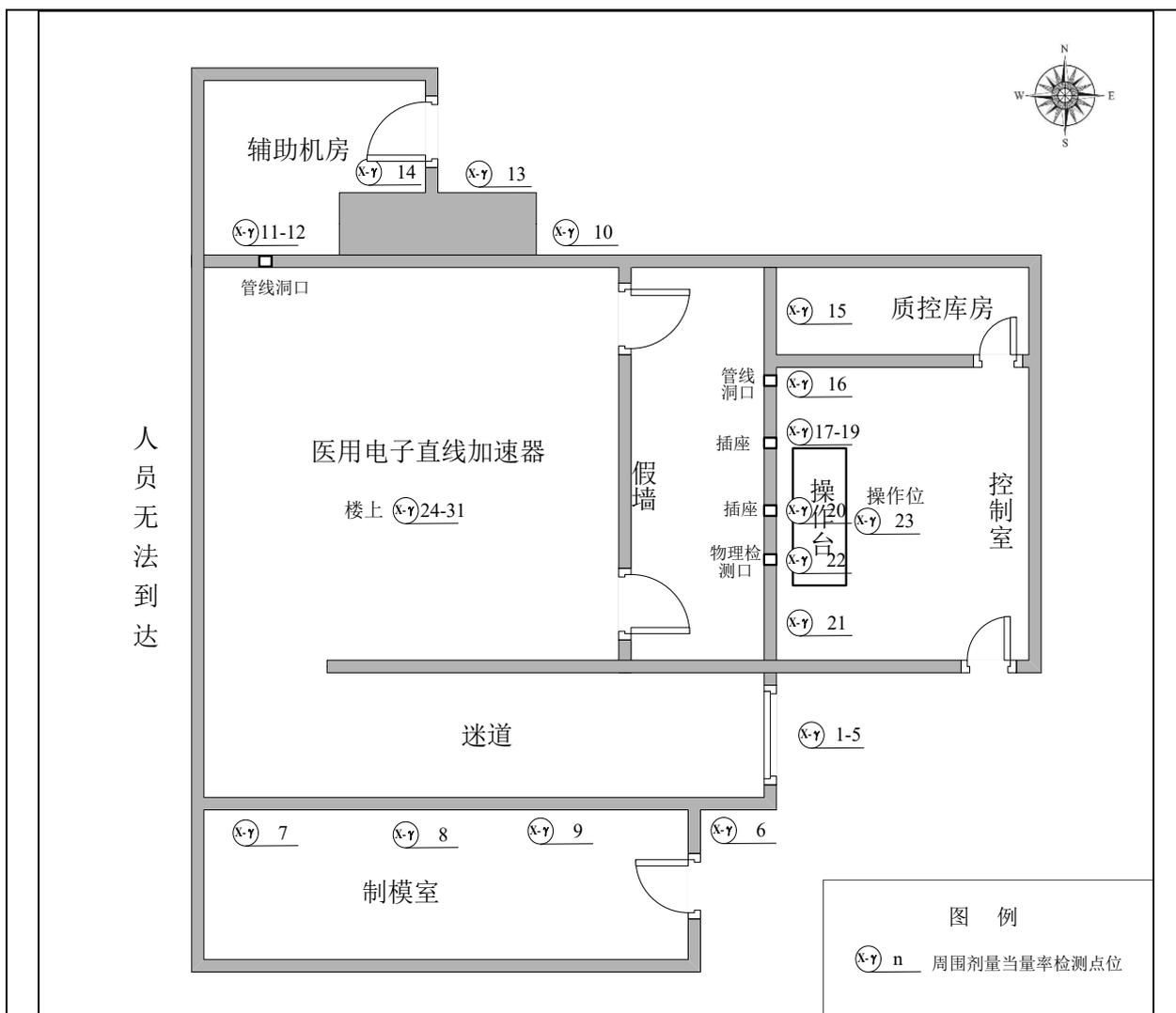


图 7-1 本项目加速器机房现场检测点位示意图

结论：

本次检测，当此医用电子直线加速器(型号：Elekta Synergy)检测工况为 10MV X 射线，输出剂量率：600cGy/min，照射野：40cm×40cm 时，机房外的 X-γ 周围剂量当量率为 ($<MDL \sim 1.72 \times 10^3$) nSv/h，符合《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)标准要求。

表 7-3 医用电子直线加速器机房防护门外的周围剂量当量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nSv/h)		设备状态
		X-γ	中子	
1	防护门外 30cm 处(左缝)	124	<LLD	射线朝南(机架 270°)，无模体，照射野：0.5cm×0.5cm
2	防护门外 30cm 处(中间)	155	<LLD	
3	防护门外 30cm 处(右缝)	144	<LLD	
4	防护门外 30cm 处(上缝)	118	<LLD	
5	防护门外 30cm 处(下缝)	3.9×10^2	<LLD	

注：1.中子周围剂量当量率仪器探测下限(LLD)为 1 nSv/h；

2.X-γ 周围剂量当量率测量结果已扣除本底值，本底值为 91 nSv/h，最低探测水平(MDL)为

8nSv/h;

3.检测点位见图 7-1。

结论:

本次检测, 当此医用电子直线加速器(型号: Elekta Synergy)检测工况为 10MV X 射线, 输出剂量率: 600cGy/min, 照射野: 0.5cm×0.5cm 时, 防护门外的 X-γ 周围剂量当量率为 (118~3.9×10²) nSv/h, 防护门外的中子周围剂量当量率小于 1 nSv/h, 符合《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)标准要求。

表 7-4 直线加速器机房通风检测结果

检测点位描述	通风口风速 (m/s)
西北角排风口	2.95
东北角排风口	1.17

二、辐射工作人员和公众年有效剂量分析

1、辐射工作人员

三峡大学附属仁和医院已根据实际工作量为本项目配备 7 名辐射工作人员 (名单见表 2-9)。本项目 3 月份正式运行, 辐射工作人员 2025 年第一季度个人剂量监测结果未出, 因此对本项目工作人员进行保守计算。

根据直线加速器验收监测报告结果 (详见附件 7), 机房外的 X-γ 周围剂量当量率为 (<MDL~1.72×10³) nSv/h。辐射工作人员个人剂量保守按照 1.72×10³nSv/h 进行考虑, 1.72μSv/h×500h/1000 =0.86mSv/年, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)限值的要求, 并低于本项目剂量约束值 (职业: 5mSv/a)。

2、公众

根据医院规划, 本项目直线加速器年出束时间约 500h。根据本项目现场监测结果, 对本项目运行期间公众的年有效剂量进行估算, 计算结果见表 7-4。

表 7-4 本项目公众年有效剂量估算结果

关注点位	参考监测值 (μSv/h)	居留因子	年受照时间	人员年有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)	是否满足
机房南侧家属等候区	0.01	1/4	500h	1.25×10 ⁻³	0.1	满足
机房正上方及医技楼	0.01	1/4		1.25×10 ⁻³		
南侧行政楼	0.01	1		5×10 ⁻³		
西南侧学生公寓	0.01	1		5×10 ⁻³		
西北侧门诊楼	0.01	1/4		1.25×10 ⁻³		

注: 1.计算时未扣除环境本底剂量;

2.机房西侧为土层, 人员不可达; 机房东侧为控制室;

3.人员的年有效剂量由公式 $E_{eff} = D \cdot t \cdot T \cdot U$ 进行估算。

由表 7-4 可知，本项目直线加速器年运行期间，加速器机房周围公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）限值的要求，并低于本项目剂量约束值（公众：0.1mSv/a）。

三、保护目标年有效剂量分析

根据本项目的特点，本项目的验收范围及保护目标范围确定为各辐射工作场所实体屏蔽物边界外 50m 区域。本项目周围 50m 范围均位于医院院区内。本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内外公众，本次验收环境保护目标与环评一致。

本项目保护目标年有效剂量估算结果详见表 7-4。由表 7-4 可知，本项目保护目标范围内辐射工作人员及周围公众所受年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）剂量限值的要求，并低于本项目剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

表八 验收监测结论

验收监测结论

三峡大学附属仁和医院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) 本项目建设地点、周围外环境及环境保护目标与环评及其批复一致，本项目设备实际建设技术参数与环评及其批复一致。

2) 本项目工作场所监督区划分明显，能有效避免周围公众误入或非正常受照。

3) 本项目工作场所的屏蔽和防护措施已按照环评及批复要求落实，在正常工作条件下运行时，工作场所周围及辐射敏感点所有监测点位的 X- γ 辐射剂量率满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 等相关标准要求；

4) 三峡大学附属仁和医院已在控制区及监督区醒目位置设置了电离辐射警告标志，已设置急停按钮、工作状态指示灯、监控系统、紧急开门按钮等安全设施。

5) 三峡大学附属仁和医院已为本项目配备 1 台固定式报警仪、2 台辐射检测仪和 4 台个人剂量报警仪。

6) 三峡大学附属仁和医院已根据实际工作需求为本项目配备 7 名辐射工作人员，7 名辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训学习，并取得辐射安全与防护培训合格证书，合格证在有效期内。

7) 本项目辐射工作人员已开展个人剂量监测和个人职业健康体检，并建立个人剂量和职业健康档案。

8) 三峡大学附属仁和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。

综上所述，三峡大学附属仁和医院直线加速器项目满足环评及批复中有关辐射管理的要求，配套的环保设施与主体工程符合“三同时”制度，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，验收合格。

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) 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主管部门；

3) 积极配合生态环境部门的日常监督检查，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，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，并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”；

4) 进一步完善辐射事故应急处理预案和辐射防护管理制度。定期检查安全防护设施，保证设备正常运行。