

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 表 1 核技术应用项目工程概况 .....      | 1  |
| 1.1 项目概况 .....             | 1  |
| 1.2 原有核技术应用项目许可情况 .....    | 2  |
| 1.3 项目由来 .....             | 3  |
| 1.4 验收要求 .....             | 4  |
| 1.5 项目建设情况 .....           | 4  |
| 1.5.1 地理位置 .....           | 4  |
| 1.5.2 医院总平面布置 .....        | 5  |
| 1.5.3 项目环评、审批及建设情况 .....   | 6  |
| 1.5.4 新增射线装置项目建设情况 .....   | 6  |
| 1.5.5 人员编制及工作制度 .....      | 8  |
| 1.5.6 环保投资 .....           | 8  |
| 1.5.7 评价范围及环境保护目标 .....    | 9  |
| 1.6 项目工艺流程及产生的主要污染物 .....  | 10 |
| 1.6.1 后装机治疗工作原理 .....      | 10 |
| 1.6.2 后装机操作流程及产污环节图 .....  | 10 |
| 表 2 验收依据 .....             | 13 |
| 2.1 相关法律、法规 .....          | 13 |
| 2.2 环评文件及批复 .....          | 14 |
| 2.3 验收标准 .....             | 14 |
| 2.3.1 剂量限值 .....           | 14 |
| 2.3.2 机房屏蔽墙体外周围剂量当量率 ..... | 14 |
| 2.3.3 辐射安全设施 .....         | 16 |
| 表 3 辐射防护措施与安全管理措施 .....    | 18 |
| 3.1 辐射防护措施 .....           | 18 |
| 3.2 辐射安全管理措施 .....         | 21 |
| 表 4 监测方法和质量保证措施 .....      | 24 |
| 4.1 监测方法 .....             | 24 |
| 4.2 质量保证措施 .....           | 24 |
| 4.3 保护目标 .....             | 24 |
| 表 5 验收监测及年有效剂量估算 .....     | 25 |
| 5.1 监测因子 .....             | 25 |
| 5.2 监测日期 .....             | 25 |
| 5.3 监测仪器及测量范围 .....        | 25 |
| 5.4 验收监测工况以及监测内容 .....     | 25 |
| 5.5 监测布点图 .....            | 25 |
| 5.6 监测结果及评价 .....          | 29 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 5.6.1 监测结果 .....               | 29 |
| 5.6.2 监测结果评价.....              | 30 |
| 5.7 职业人员与公众年有效剂量评价 .....       | 30 |
| 5.7.1 职业人员年有效剂量 .....          | 31 |
| 5.7.2 公众剂量估算.....              | 32 |
| 表 6 环境影响评价报告验收内容及批复要求落实情况..... | 34 |
| 表 7 与辐射安全标准化要求相符性分析.....       | 36 |
| 表 8 结论及建议.....                 | 38 |

## 附件 1 委托书

附件 2 关于“陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”环评批复(陕环批复〔2021〕106 号)

附件 3 辐射安全许可证

附件 4 辐射工作人员职业健康体检结果

附件 5 辐射工作人员个人剂量监测报告

附件 6 辐射工作人员辐射防护培训证书

附件 7 辐射安全管理小组

附件 8 陕西中医药大学第二附属医院辐射安全管理标准化制度汇编

附件 9 便携式辐射剂量率仪校准证书

附件 10 陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目(后装机部分)竣工环境保护监测报告

附 表: 建设项目竣工保护“三同时”验收登记表

表 1 核技术应用项目工程概况

## 1.1 项目概况

陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目（后装机部分）基本信息见表 1-1。

表 1-1 核技术应用项目基本信息

|            |  |       |                |                 |                |
|------------|--|-------|----------------|-----------------|----------------|
| 项目名称       | 陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目（后装机部分）   |       |                |                 |                |
| 建设单位       | 陕西中医药大学第二附属医院  |       |                |                 |                |
| 通讯地址       | 陕西省咸阳市秦都区渭阳西路 5 号  |       |                |                 |                |
| 法人代表       | 缪峰   | 联 系 人 |                | 赵龙              |                |
| 联系电话       | 13772599012  | 邮 编   |                | 712000          |                |
| 建设地点       | 陕西省西咸新区沣西新城龙台观路 831 号  |       |                |                 |                |
| 辐射安全许可证号   | 陕环辐证[20033]  | 许可类型  |                | 使用Ⅱ、Ⅲ射线装置，Ⅲ类放射源 |                |
| 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 |       |                |                 |                |
| 环境影响评价项目名称 | 陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目  |       | 环境影响评价单位       |                 | 核工业二〇三研究所      |
| 报告表审批单位    | 陕西省生态环境厅   | 审批文号  | 陕环批复（2021）106号 | 审批时间            | 2021 年 8 月 3 日 |
| 核技术项目投资    | 500  | 环保投资  | 15             | 所占比例            | 3%             |
| 应用类型       | 在陕西中医药大学第二附属医院西咸院区内新增 1 台后装机，采用 <sup>192</sup> Ir 密封放射源，放射性初始活度为 3.7×10 <sup>11</sup> Bq，属Ⅲ类放射源                            |       |                |                 |                |

陕西中医药大学第二附属医院始建于 1973 年，由秦都院区和西咸院区组成，秦都院区位于陕西省咸阳市秦都区渭阳西路 5 号，西咸院区位于西咸新区沣西新城龙台观路 831 号。为了改善西咸新区沣西新城医疗设施条件，陕西中医药大学第二附属医院在西咸院区门诊住院综合楼地下一层建设放疗科，新增 1 台后装机用于肿瘤治疗。后装机采用  $^{192}\text{Ir}$  密封放射源，放射性初始活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属Ⅲ类放射源，利用其产生的  $\gamma$  射线（平均能量 0.37MeV）可对病变组织进行近距离后装治疗。

## 1.2 原有核技术应用项目许可情况

根据陕西中医药大学第二附属医院提供的资料，医院现持有辐射安全许可证为陕环辐证[20033]，许可种类为：使用Ⅱ、Ⅲ射线装置，许可证有效期至 2027 年 2 月 9 日。目前已许可的射线装置具体情况如下表。

表 1-2 已许可的射线装置统计表

| 序号 | 射线装置名称        | 厂家型号                | 管电压 kV | 管电流 mA | 装置数量 | 所在位置        | 类别 |
|----|---------------|---------------------|--------|--------|------|-------------|----|
| 1  | 钨靶乳腺机         | 北京海思 HAWK-2M        | 39     | 72     | 1    | 放射科         | Ⅲ类 |
| 2  | 移动拍片机         | 西门子 MULTIMOBIL2.5   | 100    | 25     | 1    | 新生儿 NICU 病房 | Ⅲ类 |
| 3  | 移动 DR         | 东软 NV-550M          | 130    | 500    | 1    | 放射科         | Ⅲ类 |
| 4  | 6MV 医用加速器     | 新华 XHA600           | /      | /      | 1    | 放疗科         | Ⅱ类 |
| 5  | 牙片机           | 法国 CCDIGITAL        | 10     | 220    | 1    | 口腔科         | Ⅲ类 |
| 6  | 血管造影 X 线机     | 飞利浦 FD20            | 125    | 500    | 1    | 放射科         | Ⅱ类 |
| 7  | 小 C 臂机        | 普爱 PXL112B          | 120    | 4      | 1    | 手麻科         | Ⅲ类 |
| 8  | 数字 X 射线透视摄影系统 | 岛津 SONIALVISIONSafi | 140    | 500    | 1    | 放射科         | Ⅲ类 |
| 9  | 模拟定位机         | 新华 SL-IE            | 500    | 100    | 1    | 放疗科         | Ⅲ类 |
| 10 | 口腔全景机         | 英迈杰 OC100-4-1-2     | 70     | 2.5    | 1    | 口腔科         | Ⅲ类 |
| 11 | X 线数字摄像系统     | 天地智慧 td-dr1800      | 800    | 75     | 1    | 放射科         | Ⅲ类 |
| 12 | G 型臂          | 东方惠儿 DigiArc        | 110    | 4      | 1    | 手麻科         | Ⅲ类 |
| 13 | 大口径 CT        | XHCT-16             | 500    | 100    | 1    | 放疗科         | Ⅲ类 |
| 14 | CT            | 东软 NeuViz128        | 140    | 800    | 1    | CT 室        | Ⅲ类 |
| 15 | 10MV 直线加速器    | XHA1400             | 10MV   | /      | 1    | 加速器治疗室      | Ⅱ类 |
| 16 | 数字减影血管造影机     | Artis Qfloor        | 125    | 1000   | 1    | 第一手术室       | Ⅱ类 |
| 17 | 中 C           | Artis Qfloor        | 125    | 40     | 1    | 第二手术室       | Ⅱ类 |
| 18 | 小 C 型臂        | HMC-50              | 90     | 10     | 1    | 5 层手术室      | Ⅲ类 |

经现场核实，西电集团医院现有射线装置 18 台，均已编制环境影响报告表或填报环境影响登记表，已取得环评批复并组织完成竣工环境保护验收工作，持证期间，已按环评及批复要求以及国家相关法律法规要求落实了各项辐射安全与防护措施。

### 1.3 项目由来

为改善医疗设施条件，提高医疗服务水平，陕西中医药大学第二附属医院拟在西咸院区新增使用 1 台后装机，配套使用 1 枚出厂活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的  $^{192}\text{Ir}$  放射源，根据《放射源分类办法》，该放射源属于Ⅲ类放射源；拟新增 1 台电子直线加速器、1 台 DSA、1 台中 C 形臂，根据《射线装置分类》，上述 3 台均属于Ⅱ类射线装置。根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（国家生态环境部令第 16 号）和《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（生态环境部令第 7 号）相关规定，该项目应进行环境影响评价，故陕西中医药大学第二附属医院于 2020 年 12 月委托核工业二〇三研究所对该项目进行环境影响评价工作，并编制了《陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目环境影响报告表》。2021 年 8 月 3 日，陕西省生态环境厅对该项目环境影响评价文件进行了审批，并出具了审批意见（批复文号：陕环批复〔2021〕106 号）。

目前，陕西中医药大学第二附属医院已按国家及地方环境保护主管部门相关要求履行环保手续，电子直线加速器、DSA、中 C 形臂机房已建成，并于 2021 年 11 月 24 日在医院会议室召开了“陕西中医药大学第二附属医院射线装置核技术利用项目”竣工环境保护验收会，该项目验收报告已于 2021 年 11 月 26 日在医院官网进行公示，并上传至全国建设项目竣工环境保护验收信息系统。如今医院后装机放射源已配备到位，后装机机房各项环境保护设施和安全防护设施已调试完成，具备了环境保护竣工验收条件，因此本次仅对“陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”中的后装机部分进行竣工验收。

为此，陕西中医药大学第二附属医院于 2022 年 4 月委托核工业二〇三研究所对该项目进行部分竣工环境保护验收工作。我所接受委托后，立即组织专业技术人员到项目现场进行监测，收集相关基础资料，根据国家、省市的有关法律法规，编

写完成了陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目（后装机部分）竣工环境保护验收监测报告表。

## 1.4 验收要求

（1）根据建设项目环评文件及批复、设计资料，核实项目建设内容是否与环评一致；

（2）通过现场监测与调查，核实项目辐射防护设施、安全防护措施、管理措施能否满足国家相关标准、环境影响报告表及批复文件要求，评估工作人员、公众年有效剂量是否能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)以及环评文件提出剂量约束值要求。若不满足，提出相应的整改要求；

（3）针对“陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”后装机部分，依据国家相关标准、环评文件以及批复要求逐项进行调查，得出验收结论。

## 1.5 项目建设情况

### 1.5.1 地理位置

陕西中医药大学第二附属医院西咸院区位于沣西新城龙台观路 831 号，医院地理位置优越，交通便利，距沣西新城管委会约 2 公里。北侧紧邻 G3023 国道，南侧为沣西吾悦广场，西侧为银杏大厦，东侧为沣润和园小区。其交通地理位置情况见图 1-1。



图 1-1 陕西中医药大学第二附属医院西咸院区地理位置

### 1.5.2 医院总平面布置

陕西中医药大学第二附属医院西咸院区门诊住院综合楼以医疗街为连廊，连接 3 栋门诊楼、2 栋住院楼，门诊楼垂直电梯 7 部、扶梯 8 部，住院楼垂直电梯 20 部，水平相连，上下相通。本项目后装机机房位于门诊住院综合楼地下 1 层，其所在位置具体情况见图 1-2。

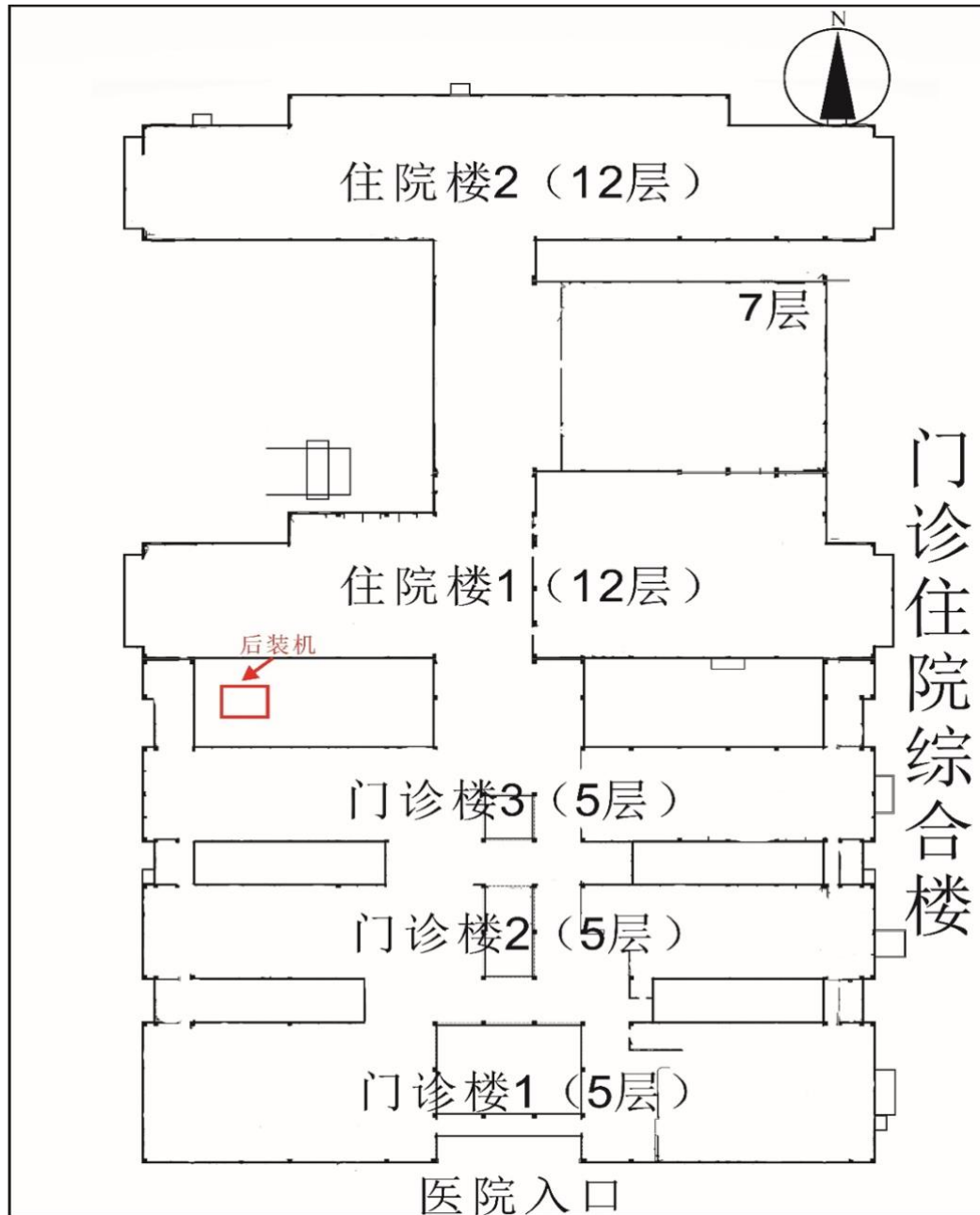


图 1-2 陕西中医药大学第二附属医院总平面布局图

### 1.5.3 项目环评、审批及建设情况

“陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”环评审批情况见表 1-2。

表 1-2 “陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”后装机部分环评审批以及建设情况

| 审批时间              | 项目环评内容   | 环评审批情况  | 实际建设情况   |
|-------------------|--|---|--|
| 2021 年<br>8 月 3 日 | 陕西中医药大学第二附属医院在西咸院区新增使用 1 台后装机，配套使用 1 枚出厂活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 $^{192}\text{Ir}$ 放射源 | 详见附件 2：关于“陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”环评批复（陕环批复（2021）106 号） | 经现场核查，陕西中医药大学第二附属医院已按照环评内容新增 1 台后装机，并购置 1 枚出厂活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 $^{192}\text{Ir}$ 放射源，其建设内容与环评一致 |

### 1.5.4 新增射线装置项目建设情况

根据陕西中医药大学第二附属医院提供资料及现场核实，陕西中医药大学第二附属医院新增 1 台后装机情况为：已在门诊住院综合楼地下 1 层新增一台后装机，并配套购置 1 枚出厂活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的  $^{192}\text{Ir}$  放射源。放射源具体情况见表 1-3。

表 1-3 本项目新增密封放射源基本信息

| 序号 | 核素                | 类别   | 总活度（Bq）/活度×枚数  | 使用场所      | 备注 |
|----|-------------------|------|--|-----------|----|
| 1  | $^{192}\text{Ir}$ | III类 | $3.7 \times 10^{11} \text{Bq} / 3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ | 西咸院区后装机机房 | 新增 |

本项目后装机机房平面布局图见图 1-3。

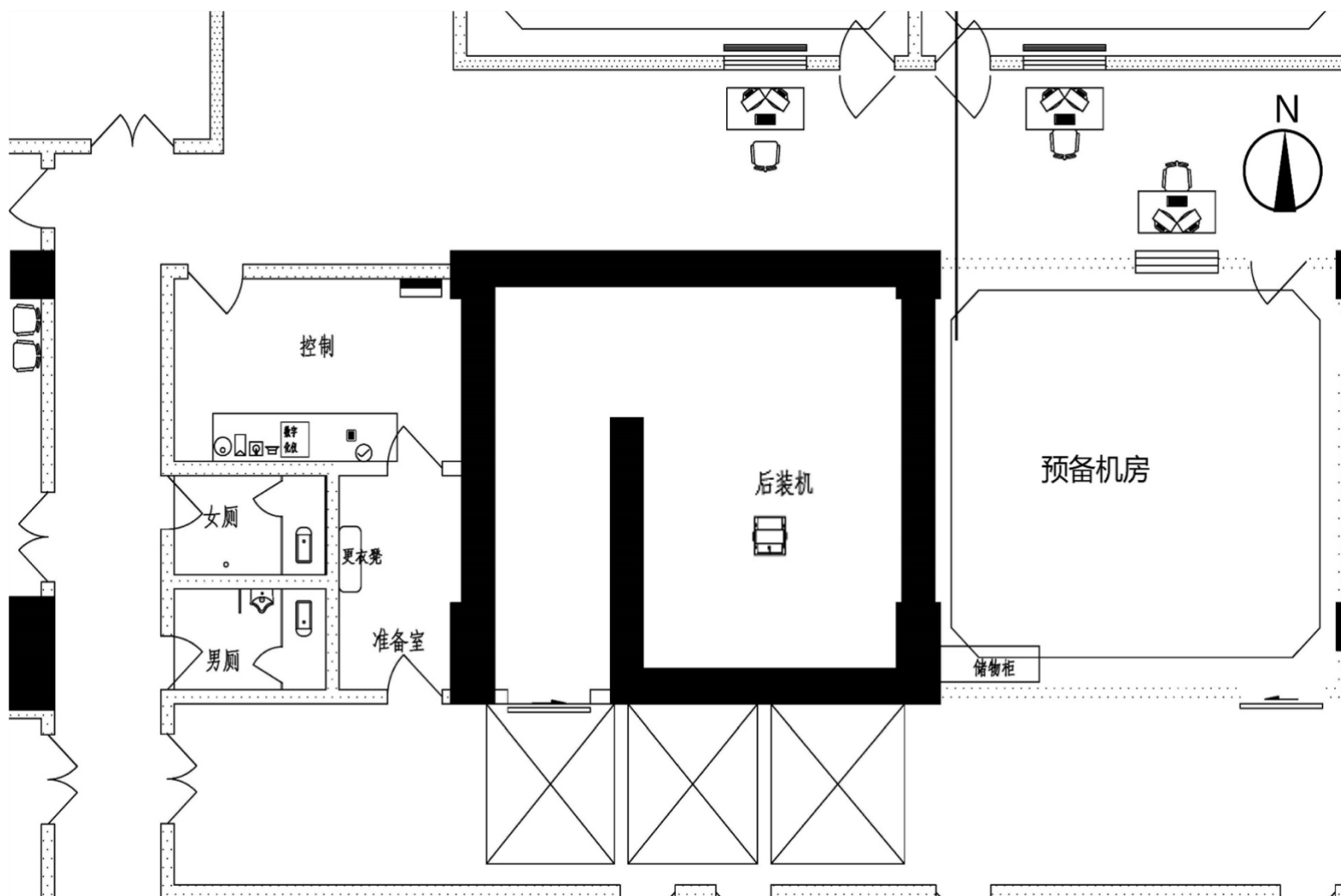


图 1-3 门诊住院综合楼地下 1 层后装机机房平面布局图

| <p>本项目后装机机房建设情况如表 1-4 所示，建成后设备现状见照片 1~2。</p> <p>表 1-4 后装机机房建设情况一览表</p>  |      |   |             |
|---|------|---|-------------|
| 工作场所  | 项目   | 环评阶段机房尺寸及屏蔽参数   | 实际建设是否与环评一致 |
| 后装机机房   | 尺寸参数 | 长 7.4m×宽 6.4m×高 2.75m，体积 130.24m³   | 一致          |
|   | 北墙   | 600mm 混凝土   | 一致          |
|   | 西墙   | 600mm 混凝土   | 一致          |
|   | 南墙   | 600mm 混凝土   | 一致          |
|   | 东墙   | 600mm 混凝土   | 一致          |
|   | 顶部   | 600mm 混凝土   | 一致          |
|   | 迷道内墙 | 600mm 混凝土   | 一致          |
|   | 防护门  | 5mm 铅当量   | 一致          |
| <p>经现场调查核实，医院建成后的后装机机房屏蔽墙体材料及厚度均与环评阶段设计值一致，调查结果表明，医院已按照环评阶段设计参数进行建设，项目建设内容与环评一致。</p>  |      |   |             |
|   |      |  |             |
| 照片 1 后装机  |      | 照片 2 操作台  |             |
| <p>1.5.5 人员编制及工作制度</p> <p>医院已在院区调配 4 名辐射工作人员从事后装机操作（张禄、孙立哲、杨超、李欣。其中孙立哲、杨超、李欣同时负责后装机及电子直线加速器的治疗操作工作），与环评阶段拟配备人数一致。上述人员均已通过辐射安全和防护专业知识考核，持证上岗。根据医院提供资料，每年计划治疗人数为 200 人。</p> |      |   |             |
| <p>1.5.6 环保投资</p>   |      |   |             |

陕西中医药大学第二附属医院环评阶段环保总投资估算值约为 3000 万元，环保投资约为 50 万元，为项目投资额的 1.67%，经核查，本项目后装机部分实际投资 500 万元，环保投资 15 万元，为项目投资额的 3%。

其中环保投资主要为辐射安全设施购置费用、个人防护用品的购置费用、辐射环境监测费用、个人剂量计的购置及检测费用、职业病健康检查费用等。本项目环保投资一览表见表 1-5。

表 1-5 环保投资估算表

| 实施时段    | 类别                    | 污染源或污染物                         | 污染防治措施或设施   | 费用     |
|---------|-----------------------|---------------------------------|---|--------|
| 项目准备阶段  | 环境咨询                  | —                               | —   | 2      |
| 施工期     | 废气                    | 施工扬尘等                           | 定期洒水  | 0.5    |
|         | 固体废物                  | 生活垃圾                            | 统一纳入医院生活垃圾清运系统  | 0.5    |
| 项目验收阶段  | 竣工验收监测                | —                               | —   | 2.0    |
| 运营期     | 固体废物                  | <sup>192</sup> Ir 放射源           | 交由厂家回收  | 0.5    |
|         | 废气                    | NO <sub>x</sub> 、O <sub>3</sub> | 通风装置  | 1      |
|         | 辐射环境                  | γ 射线                            | 门-机联锁、视频监控及对讲设施、紧急停机按钮及回源装置、卡源处理、工作状态指示灯、剂量和时间联锁系统、门灯联锁、红外防夹装置等 | 5.0    |
|         |                       |                                 | 机房防护墙、防护门及观察窗   | 计入工程投资 |
| 环境管理    | 制定环境管理制度              |                                 |   | —      |
|         | 配备个人防护用品              |                                 |   | 1.0    |
| 环境监测    | 配备辐射环境检测仪器，定期自检       |                                 |   | 0.5    |
| 人员管理    | 辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检    |                                 |   | 1.0    |
|         | 辐射工作人员至少每 2 年进行职业健康体检 |                                 |   | 1.0    |
| 总投资（万元） |                       |                                 |   | 35     |

#### 1.5.7 评价范围及环境保护目标

根据环评文件，本项目环境保护目标为从事医学诊疗的辐射工作人员、手术医护人员、机房外周边公众。经现场核查，项目环境保护目标与环评阶段相同。

表 1-5 陕西中医药大学第二附属医院本项目环境保护目标一览表

| 工作场所               | 保护对象    | 类型   | 规模     | 相对位置关系 |         | 年有效剂量控制水平 |
|--------------------|---------|------|--------|--------|---------|-----------|
|                    |         |      |        | 方位     | 最近距离(m) |           |
| 后装机机房              | 控制室工作人员 | 职业人员 | 4 人    | W      | 0.3     | ≤5mSv     |
|                    | 控制廊人员   | 公众   | 约 10 人 | N      | 0.3     | ≤0.25mSv  |
|                    | 准备室人员   | 公众   | 约 2 人  | W      | 0.3     | ≤0.25mSv  |
|                    | 患者通道人员  | 公众   | 约 10 人 | S      | 0.3     | ≤0.25mSv  |
|                    | CT 机房人员 | 公众   | 约 3 人  | E      | 0.3     | ≤0.25mSv  |
|                    | 治疗室人员   | 公众   | 约 3 人  | 楼上     | 1       | ≤0.25mSv  |
| 后装机机房外滞留的其它工作人员或公众 |         |      |        |        | 0.3~50  | ≤0.25mSv  |

## 1.6 项目工艺流程及产生的主要污染物

本次项目验收1台配套1枚<sup>192</sup>Ir密封放射源（放射源出厂活度为 $3.7 \times 10^{11}$ Bq）的后装机，根据《放射源分类办法》，该放射源属于Ⅲ类放射源。

### 1.6.1 后装机治疗工作原理

用于后装技术的治疗装置即后装治疗机。后装技术是先将空载的施源器放置于体腔内预先定好的位置，再通过遥控的传动方式将一个密封放射源从储源器传送到施源器后进行腔内治疗的技术。后装治疗具有治疗距离短，源周局部剂量高，周边剂量迅速跌落的特点，因而在提高肿瘤局部照射剂量的同时，可有效保护周边正常组织和重要器官。后装技术的应用使医护人员摆脱了以往进行近距离治疗时手持放射源直接受照的危险，明显降低了医务人员的受照剂量，提高了摆位和固定的精度，也缩短了照射时间，减轻了患者的痛苦。后装机治疗工作原理图见图1-4。



图 1-4 后装机治疗工作原理图

### 1.6.2 后装机操作流程及产污环节图

## 一、操作流程

后装机的大致操作流程为：透视—埋置施源器—固定位置—接管—模拟运行—<sup>192</sup>Ir 植入治疗。具体步骤如下：

- (1) 检查后装机、模拟定位机、TPS 的各项参数；
- (2) 治疗前认真核对患者的科室、姓名、住院号及治疗计划；
- (3) 工作人员进入后装机机房给患者安装施源器，插入定位缆后转入模拟定位机或 C 型臂下照片，调整施源器位置至符合要求；
- (4) 用数字化仪或图像传输，输入各驻留点，用 TPS 重建各点的三维坐标，根据临床要求，设计和优化治疗计划；
- (5) 工作人员退出机房，关闭屏蔽门，在控制室内通过计算机遥控步进马达系统，实行“模拟源探路，放射源治疗”，先走假源，无故障后开始走真源放射治疗；
- (6) 治疗过程中，通过监视器严密观察患者；
- (7) 放射治疗结束后，真源自动复位，确认放射源回到罐中心后，将患者移出机房，取出施源器，并观察患者有无不适；
- (8) 治疗结束后，关闭后装机；
- (9) 放射治疗时如出现意外情况立即中止治疗，源自动复位，撤离患者，向有关领导报告，请专业维修人员处理。

后装机具体操作流程及产物环节见图 1-5。

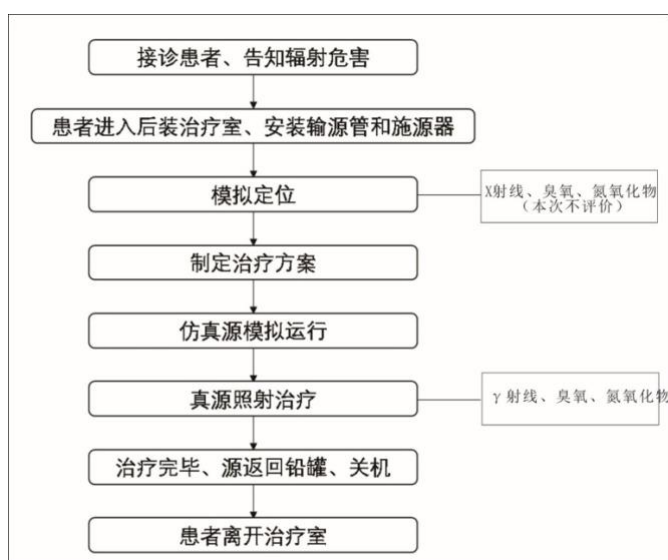


图 1-5 后装机具体操作流程及产物环节图

## 二、污染物以及源项分析

$^{192}\text{Ir}$  为密封源， $\beta$  射线被完全屏蔽，源活性物质也不会泄漏，因此只有  $\gamma$  射线对人体产生外照射，机房采取了迷路的屏蔽措施，仅少量散射线和穿透机房屏蔽的漏射线对机房外环境产生辐射影响。

### 1) 正常工况

后装治疗机使用的放射源为点状米粒大，密封型，外有不锈钢包壳，且在正常使用情况下，运行时主要污染为：

#### (1) $\gamma$ 射线

后装机正常运行时的主要污染因子为能量流形式的  $\gamma$  射线。在正常治疗条件下，后装机  $^{192}\text{Ir}$  放射源发出的平均能量为 370keV 的  $\gamma$  射线，有小部分穿过治疗室屏蔽体(包括屏蔽墙、顶棚)及迷路防护门泄漏到工作场所及周围环境中对环境保护目标产生  $\gamma$  外照射。后装机储源状态下同样也有  $\gamma$  射线产生，对周围的工作人员和公众产生  $\gamma$  外照射。

#### (2) 废源存储

$^{192}\text{Ir}$  源活度一般衰变至 74GBq 后就需要更换，换下的废源直接由源供应商回收，不在医院存放，对周边环境影响较小。

#### (3) 有害气体

$^{192}\text{Ir}$  后装  $\gamma$  源近距离治疗机在工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。若机房通风条件差，臭氧等有害气体累积浓度过高，会危害人员呼吸道健康。

因此，在开机期间， $\gamma$  射线成为污染的主要因子， $^{192}\text{Ir}$  源退役后成为放射性固体废物。

### 2) 事故工况

(1) 在源密封壳破损，源活性物质泄漏；

(2) 治疗过程中，发生卡源事故；

(3) 后装治疗机可能出现安全联锁失效、人员误入治疗室的情况，还可能发生放射源阻丝、源位异常等故障。

表 2 验收依据

## 2.1 相关法律、法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日；
- (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；
- (4) 《建设项目环境保护管理条例》（修订），国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日；
- (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日；
- (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日；
- (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局第 31 号令，2006 年 3 月 1 日施行；环境保护部第 3 号令第一次修正，2008 年 12 月 6 日施行；根据环境保护部第五次部务会议关于修改部分规章的决定第二次修正，2017 年 12 月 20 日；环境保护令第 20 号（2），2021 年 1 月 4 日。
- (8) 关于发布《放射源分类办法》的公告，环境保护部 2005 年第 62 号公告，2005 年 12 月 23 日；
- (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录 2021 年版》，国家环境保护部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日；
- (10) 《陕西省放射性污染防治条例》，2019 年 7 月 31 日陕西省第十三届人民代表大会常务委员会第十二次会议《关于修改〈陕西省产品质量监督管理条例〉等二十七部地方性法规的决定》第二次修正；
- (11) 关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环发[2018]29 号），2018 年 6 月 6 日；
- (12) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，环境保护部国环规环评[2017]4 号，2017 年 12 月 20 日；
- (13) 《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》，生态环境部 2018 年第 9 号公告，2018 年 5 月 15 日。

(14) 《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 2019 年第 57 号公告，2020 年 1 月 1 日实施。

## 2.2 环评文件及批复

(1) 《陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目环境影响报告表》核工业二〇三研究所，2021 年 1 月；

(2) 陕西省生态环境厅关于“陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”环境影响报告表的批复（陕环批复[2021]106 号），2021 年 8 月。

## 2.3 验收标准

### 2.3.1 剂量限值

本项目环评阶段提出的辐射工作人员和公众年有效剂量需控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关条款要求以下，具体见表 2-1 中的限值。

表 2-1 职业照射与公众照射的年有效剂量

| 照射类别 | 剂量限值                        | 环评管理限值    |
|------|-----------------------------|-----------|
| 职业照射 | 连续 5 年的年平均有效剂量不应超过 20mSv    | 5mSv/a    |
| 公众照射 | 关键人群连续 5 年的年平均有效剂量不应超过 1mSv | 0.25mSv/a |

根据《陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目环境影响报告表》，该项目职业人员、公众年附加有效剂量约束值分别取 5mSv/a、0.25mSv/a。陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目环境影响报告表取得批复后，2021 年 12 月 1 日起《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）开始实施，故本次验收结合 HJ1198-2021 剂量约束值要求进行剂量限值复核，HJ1198-2021 标准内规定一般情况下，职业人员、公众年附加有效剂量约束值分别取 5mSv/a、0.1mSv/a。

### 2.3.2 机房屏蔽墙体外周围剂量当量率

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 $H_c$ ，见式（1）：

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (1)$$

$\dot{H}_c$ ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$H_e$ ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周( $\mu\text{Sv/周}$ )，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的人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

$t$ ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（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，取值方法参见附录A。

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 $H_{c,\max}$ ：

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

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

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 $H_{c,\max}$ ，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 $\dot{H}_c$ 。

环评阶段后装机机房各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表2-2。

表 2-2 关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

| 关注点      | 辐射类型 | 使用因子<br>(U) | 居留因子<br>(T) | $H_c$<br>( $\mu\text{Sv/周}$ ) | $\dot{H}_{c,d}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $\dot{H}_{c,\max}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 最终取值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|----------|------|-------------|-------------|-------------------------------|---|--|------------------------------|
|          |      |             |             |                               | 计算值                                     |  |                              |
| 北墙外0.3m处 | 有用线束 | 1           | 1/5         | 5                             | 37.3                                    | 10   | 10                           |
| 西墙外0.3m处 | 有用线束 | 1           | 1           | 100                           | 149.3                                   | 2.5  | 2.5                          |
| 南墙外0.3m处 | 有用线束 | 1           | 1/8         | 5                             | 59.7                                    | 10   | 10                           |
| 东墙外0.3m处 | 有用线束 | 1           | 1/2         | 5                             | 14.9                                    | 2.5  | 2.5                          |
| 屋顶外表面1m处 | 有用线束 | 1           | 1/2         | 5                             | 14.9                                    | 2.5  | 2.5                          |

### 2.3.3 辐射安全设施

#### 一、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）规定：

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；通风次数应不小于 4 次/h。

#### 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，确保其报警工程正常。

#### 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。

6.4.4.2 放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。

#### 6.4.5 应急储存设施

6.4.5.1  $\gamma$  源后装治疗设施应配备应急储源器。

#### 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。

#### 二、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关内容

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 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（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联锁措施：

a) 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；

b) 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；

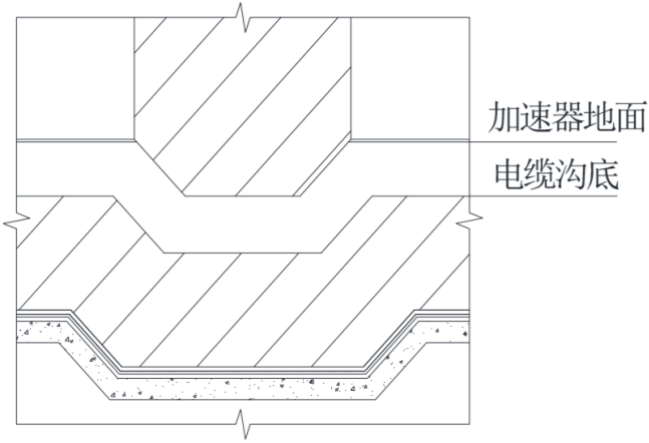
c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f) 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。

#### 8.4 气态废物管理要求

8.4.1 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。

表 3 辐射防护措施与安全管理措施

|  |      |   |
|--|------|---|
| 3.1 辐射防护措施   |      |   |
| 后装机机房实际建成的辐射屏蔽具体参数见表 3-1。  |      |   |
| 表 3-1 后装机治疗室辐射屏蔽设计参数   |      |   |
| 工作场所   | 项目   | 实际建成的机房尺寸参数、屏蔽材料及厚度                           |
| 后装机<br>机房  | 尺寸参数 | 长 7.4m×宽 6.4m×高 2.75m，体积 130.24m <sup>3</sup> |
|  | 北墙   | 600mm 混凝土                                     |
|  | 西墙   | 600mm 混凝土                                     |
|  | 南墙   | 600mm 混凝土                                     |
|  | 东墙   | 600mm 混凝土                                     |
|  | 顶部   | 600mm 混凝土                                     |
|  | 迷道内墙 | 600mm 混凝土                                     |
|  | 防护门  | 5mm 铅当量                                       |
| 后装机治疗室已采取以下辐射安全设施：   |      |   |
| (1) 通风：在治疗室内已设置通风，并采用上进下排、进风口与排风口设置对角的方式，通风量为 1000m <sup>3</sup> /h，治疗室体积为 130.24m <sup>3</sup> ，通风换气次数平均为 7 次/h，大于相关标准内规定通风换气次数不小于 4 次/h。 |      |   |
| 后装机机房的通风管道、水管、电缆管道等穿越屏蔽墙，穿越管线孔取“U”型，在地沟的入口或出口有一定厚度的屏蔽盖板。电缆沟穿防护墙大样图如下：  |      |   |
|    |      |   |
| 图 3-1 管线孔设计图   |      |   |

(2) 辐射剂量监测仪：已在治疗室内上安装了固定式辐射剂量监测仪，实时监测治疗室内辐射环境水平，辐射监测结果实时在控制室面板显示。

(3) 联锁装置：已设置门-机联锁装置；已设置从治疗室内开启防护门的按钮，且防护门已安装防挤压装置，以防止防护门关闭过程中，夹伤人员。

(4) 标志与指示灯：在治疗室防护门上已设置电离辐射警示标识，已在贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明，已在防护门上方及后装机治疗机房内安装照射状态指示灯。当治疗机启动时，工作指示灯亮，提示人员不得进出治疗室；当治疗机关闭时，工作指示灯熄灯，此时人员可以进出。

(5) 急停开关：已在控制台、后装机设备表面人员易触及位置、后装机机房入口处各设置 1 个急停开关，机房内东墙、西墙、北墙上各设置 1 个急停开关，满足按下急停开关使放射源自动回到后装治疗设备的安全要求（由于后装机设备贴近机房南墙放置，设备表面已设置急停开关，故机房内南墙未设置急停开关）。

(6) 视频监控及对讲设施：已在治疗室北墙、东墙及机房迷路尽头墙壁上安装了摄像头，在治疗床附近安装了对讲器，在控制室安装显示器和对讲设备。已安装在线监控系统，与陕西省核与辐射安全监督站联网。

(7) 回源装置：治疗期间，发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源可自动返回工作贮源器，并发出声光报警信号。

(8) 手动回源处理：配置手动回源装置，卡源时可手动将源回收至储源器。已配备储源容器、长柄镊子等应急设备。

已配备的辐射防护设施见照片 1~照片 8。



照片 1 通风装置（排风口）



照片 2 通风装置（进风口）



照片 3 辐射剂量监测仪显示单元



照片 4 工作状态指示灯及警示标识



照片 5 急停开关



照片 6 监控系统



照片 7 钥匙开关



照片 8 长柄镊子

对照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）标准相关规定，结合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关内容，陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目（后装机部分）辐射防护安全设施落实情况见表

3-2。

表 3-2 陕西中医药大学第二附属医院后装机治疗室已采取辐射安全设施与标准对比情况

| 项目          | GBZ121-2020标准相关规定                                  | HJ1198-2021标准相关规定   | 本项目实际建设情况                                      | 符合性 |
|-------------|--|---|--|-----|
| 通风          | 机房内设置通风装置,上进下出,通风次数不小于4次/h                         | 放射治疗室内应设置强制排风系统,全排全送,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                              | 在治疗室内已设置通风,并采用上进下排、全排全送的方式,通风换气次数平均为7次/h       | 符合  |
| 监测报警装置      | 应安装固定式剂量监测报警装置                                     | 含放射源的放射治疗室应设置固定式辐射剂量监测仪   | 已安装固定式剂量监测报警装置                                 | 符合  |
| 门-机联锁       | 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 | 放射治疗室应设置门-机/源联锁装置,应设置室内紧急开门装置,防护门应设置防夹伤功能;  | 已设置门-机联锁装置;已在迷道入口处设置从治疗室内开启防护门的装置,且防护门已安装防挤压装置 | 符合  |
| 标志与指示灯      | 机房门外应有电离辐射警告标志与工作状态指示灯                             | 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;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 | 已在机房门外、贮源容器外表面张贴电离辐射警示标志;已在防护门上方及机房内安装照射状态指示灯  | 符合  |
| 急停开关        | 放射治疗设备控制台上应设置急停开关                                  | 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,且有醒目标识及文字                                    | 已应在控制台、后装机设备邻近墙面人员易触及位置以及治疗机房内墙面设置急停开关         | 符合  |
| 应急储存设施      | $\gamma$ 源后装治疗设施应配备应急储源器                           | /   | 已在治疗室内配备储源容器、长柄镊子等应急设备                         | 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    | 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                                       | 已安装视频装置;已设置设置对讲装置,能直接与机房内人员进行沟通                | 符合  |

### 3.2 辐射安全管理措施

#### (1) 分区管理

项目已进行分区管理，具体划分为：

控制区：后装机治疗室。

监督区：治疗室北侧控制廊，西侧控制室和准备室，南侧患者通道。

后装机机房控制区、监督区分区见图 3-2。

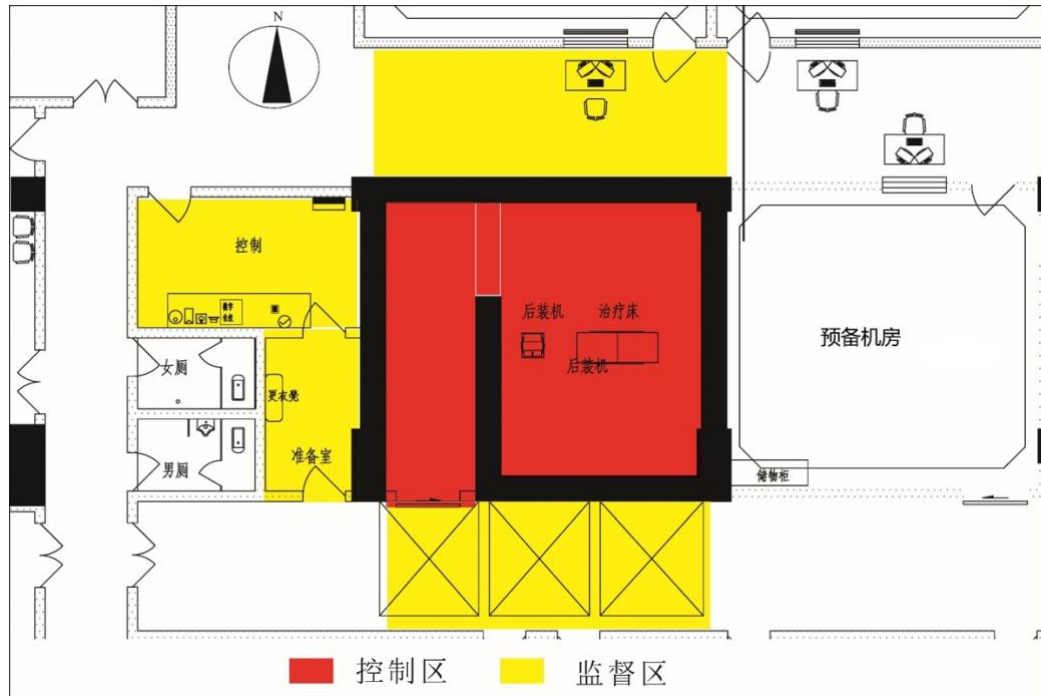


图 3-2 后装机机房控制区、监督区分

## (2) 辐射安全与环境管理机构

陕西中医药大学第二附属医院对辐射环境安全管理十分重视，已成立以医院院长为组长，医务部主任为主要负责人的辐射安全与放射防护管理领导小组及委员会（陕中二附院政发[2020]13 号，见附件 7），负责医院日常辐射安全监管和协调工作，并已根据陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化相关规定，明确了医院决策层、辐射防护负责人、放射性作业人员相关工作职责。

## (2) 辐射安全管理规章制度

医院已安排专人兼职负责医院辐射安全管理工作；医院已制定了较为完善的规章制度，主要有：《放射人员个人剂量监测制度》、《放射性同位素与射线装置放射防护管理制度》、《放射性同位素与射线装置使用场所安全措施》、《辐射安全防护设施维护与维修制度》、《辐射安全和安全保卫制度》、《辐射工作人员培训管理制度》、《辐射监测仪校验、维修与管理制度》、《辐射监测制度》、

《人员健康管理制度》、《防护用品管理制度》、《放疗科人员岗位职责》、《放射防护档案管理制度》、《放射科操作规程》、《放射治疗规章制度》、《心脑血管介入室辐射安全应急预案》、《直线加速器操作规程》、《直线加速器剂量联锁失灵安全应急预案》、《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》等，建设单位已针对本次新增的后装机制定相应的《治疗质量保证大纲》、《放射源使用登记、台帐管理制度》等，并已修改完善相关管理制度。根据本项目运行中可能出现的辐射事故，结合项目实际情况，医院已针对可能发生辐射事故类型，完善现有的《辐射事故应急预案》。

### （3）人员培训

陕西中医药大学第二附属医院该项目拟调配4名辐射工作人员负责后装机操作，该4名人员是：张禄、孙立哲、杨超、李欣。其中孙立哲、杨超、李欣同时承担陕西中医药大学第二附属医院西咸院区后装机、加速器放射治疗工作。4名辐射工作人员均取得辐射安全和防护培训合格证书，持证上岗。

### （4）剂量检查和职业健康检查

陕西中医药大学第二附属医院已安排4名辐射工作人员从事后装机治疗操作，为4名辐射工作人员配备个人剂量计，个人剂量计每季度送有资质单位检测，按要求建立工作人员个人累计剂量档案；陕西中医药大学第二附属医院已为项目辐射工作人员进行了年度职业健康检查，并建立了职业病健康监护档案。并承诺项目运行后，定期对辐射工作人员进行体检，将体检结果纳入职业病健康监护档案中。

表 4 监测方法和质量保证措施

| <b>4.1 监测方法</b>  |  |
|--|--|
| 监测方法见表 4-1。  |  |
| 表 4-1 监测方法   |  |
| 项目   | 监测方法   |
| 周围剂量当量率  | 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；<br>《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020） |
| <b>4.2 质量保证措施</b>  |  |
| 本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和核工业二〇三研究所分析测试中心编制的质量体系文件的要求，实施全过程质量控制。   |  |
| (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性；   |  |
| (2) 监测分析方法采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员持证上岗；  |  |
| (3) 所用监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内；   |  |
| (4) 监测报告严格实行审核制度。  |  |
| <b>4.3 保护目标</b>  |  |
| 根据陕西中医药大学第二附属医院西咸院区平面布置图以及本项目后装机机房平面布局，结合后装机工作原理，考虑能量流的传播随距离的平方成衰减关系，确定本项目环境保护目标为从事医学诊疗的辐射工作人员、手术医护人员、机房外周边公众人员。 |  |

表 5 验收监测及年有效剂量估算

|  |   |                        |               |                    |                             |
|--|---|------------------------|---------------|--------------------|-----------------------------|
| <b>5.1 监测因子</b>  |   |                        |               |                    |                             |
| 周围剂量当量率  |   |                        |               |                    |                             |
| <b>5.2 监测日期</b>  |   |                        |               |                    |                             |
| 2022 年 4 月 14 日  |   |                        |               |                    |                             |
| <b>5.3 监测仪器及测量范围</b>   |   |                        |               |                    |                             |
| 项目使用的监测仪器、测量范围、检定情况见表 5-1。   |   |                        |               |                    |                             |
| 表 5-1 监测仪器、测量范围、监测方法及检定情况  |   |                        |               |                    |                             |
| 项目   | 仪器名称及型号，<br>设备编号                        | 测量<br>范围               | 检定单位          | 检定证书编<br>号         | 检定证书有效<br>期                 |
| 周围剂量当<br>量率  | X-γ 辐射仪<br>型号：AT1123 编号：<br>FHP032-2019 | 50nSv/h<br>~<br>10Sv/h | 中国计量科学<br>研究院 | DLjl2021-<br>13640 | 2021.5.14<br>~<br>2022.5.13 |
| <b>5.4 验收监测工况以及监测内容</b>  |   |                        |               |                    |                             |
| 陕西中医药大学第二附属医院西咸院区在住院楼地下一层使用 1 台后装机进行治疗。受建设单位委托，本次对西咸院区后装机工作场所及周边环境进行监测。其监测内容为： |   |                        |               |                    |                             |
| (1) 机房屏蔽墙体外表面 30cm 处周围剂量当量率；   |   |                        |               |                    |                             |
| (2) 防护门及缝隙外表面 30cm 处周围剂量当量率；   |   |                        |               |                    |                             |
| (3) 操作室工作人员操作位置处周围剂量当量率；   |   |                        |               |                    |                             |
| (4) 机房周边环境人员活动处周围剂量当量率。  |   |                        |               |                    |                             |
| <b>5.5 监测布点图</b>   |   |                        |               |                    |                             |
| 陕西中医药大学第二附属医院后装机工作场所及周边环境周围剂量当量率测点位示意图监测布点图见如图 5-1。                            |   |                        |               |                    |                             |



## 5.6 监测结果及评价

### 5.6.1 监测结果

陕西中医药大学第二附属医院西咸院区室内、室外天然环境本底监测结果见表 5-2。后装机治疗室及周边环境周围剂量当量率监测结果见表 5-3。

表 5-2 陕西中医药大学第二附属医院西咸院区  
天然环境（室内、室外）监测结果 nSv/h

| 序号 | 监测点位描述      | 周围剂量当量率 |     | 备注     |
|----|-------------|---------|-----|--------|
|    |             | 范围值     | 均值  |        |
| A1 | 室内环境        | 105~110 | 107 | 室内环境本底 |
| A2 | 室外环境（道路、空地） | 97~103  | 100 | 室外环境本底 |

说明：表中监测结果未扣除仪器对宇宙辐射响应值。

表 5-3 后装机治疗室及周边环境周围剂量当量率监测结果

| 序号 | 监测点位描述          |         | 周围剂量当量率     |      |             |     | 备注            |
|----|-----------------|---------|-------------|------|-------------|-----|---------------|
|    |                 |         | 贮源状态（μSv/h） |      | 治疗状态（nSv/h） |     |               |
|    |                 |         | 范围值         | 均值   | 范围值         | 均值  |               |
| 1  | 储源器<br>南侧表面     | 5cm 处   | 4.50~7.24   | 6.01 | /           |     | （μSv/h）       |
| 2  |                 | 100cm 处 | 1.69~1.88   | 1.75 |             |     |               |
| 3  | 储源器<br>北侧表面     | 5cm 处   | 0.32~0.41   | 0.34 |             |     |               |
| 4  |                 | 100cm 处 | 173~197     | 182  |             |     |               |
| 5  | 储源器<br>西侧表面     | 5cm 处   | 1.83~1.94   | 1.87 |             |     | （μSv/h）       |
| 6  |                 | 100cm 处 | 0.64~0.71   | 0.68 |             |     |               |
| 7  | 储源器<br>东侧表面     | 5cm 处   | 2.39~2.60   | 2.49 |             |     |               |
| 8  |                 | 100cm 处 | 0.49~0.63   | 0.54 |             |     |               |
| 9  | 治疗室<br>防护门      | 顶部缝隙    | 112~118     | 115  | 114~122     | 118 | 外表面<br>30cm 处 |
| 10 |                 | 底部缝隙    | 110~116     | 113  | 118~125     | 122 |               |
| 11 |                 | 西侧缝隙    | 112~118     | 113  | 110~118     | 114 |               |
| 12 |                 | 东侧缝隙    | 112~117     | 115  | 116~124     | 121 |               |
| 13 |                 | 表面      | 110~115     | 113  | 112~120     | 117 |               |
| 14 | 控制室工作人员<br>操作位置 |         | 108~113     | 111  | 121~128     | 124 |               |
| 15 | 治疗室西侧屏蔽墙体       |         | 110~115     | 113  | 124~131     | 127 | 外表面<br>30cm 处 |
| 16 | 治疗室南侧屏蔽墙体       |         | 121~129     | 125  | 184~208     | 195 |               |
| 17 | 治疗室东侧屏蔽墙体       |         | 113~119     | 115  | 153~172     | 165 |               |
| 18 | 治疗室北侧屏蔽墙体       |         | 111~118     | 114  | 124~133     | 128 |               |
| 19 | 后装机治疗室楼上        |         | 107~113     | 110  | 107~116     | 113 |               |

续表 5-3 后装机治疗室及周边环境周围剂量当量率监测结果

| 序号 | 监测点位描述 | 周围剂量当量率     |     |             |     | 备注 |
|----|--------|-------------|-----|-------------|-----|----|
|    |        | 贮源状态（nSv/h） |     | 治疗状态（nSv/h） |     |    |
|    |        | 范 围 值       | 均 值 | 范 围 值       | 均 值 |    |
| 20 | 热疗机房 1 | 117~122     | 119 | 118~127     | 122 |    |
| 21 | 热疗机房 2 | 120~124     | 122 | 120~129     | 124 |    |
| 22 | 准备室    | 119~124     | 122 | 132~145     | 138 |    |
| 23 | 办公室    | 118~122     | 120 | 130~142     | 137 |    |
| 24 | 计划室    | 120~124     | 122 | 124~132     | 128 |    |
| 25 | 管线穿墙位置 | 110~115     | 113 | 122~130     | 126 |    |

说明：1、表中监测结果未扣除仪器对宇宙辐射响应值。

2、后装机治疗室楼下为是实土层，故未监测楼下周围剂量当量率。

### 5.6.2 监测结果评价

经监测，陕西中医药大学第二附属医院西咸院区天然环境室内、外环境本底监测值分别为 105~110nSv/h、97~103nSv/h。

项目后装机贮源状态下，储源器表面 5cm 处周围剂量当量率为 0.32~7.24μSv/h，储源器表面 1m 处周围剂量当量率为 173nSv/h~1.88μSv/h，满足《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（SW262-2017）中“距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50μSv/h，距离贮源器表面 100cm 处，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h。”

项目后装机治疗状态下，机房防护门四面缝隙及外表面 30cm 处的周围剂量当量率为 110~125nSv/h，治疗室西、南、东、北及楼上的周围剂量当量率分别为 124~131nSv/h、184~208nSv/h、153~172nSv/h、124~133nSv/h、107~116nSv/h，工作人员操作位的的周围剂量当量率为 121~128nSv/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）及环评阶段关注点剂量约束值要求。

### 5.7 职业人员与公众年有效剂量评价

γ 射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量计算公式如下：

$$H_{\gamma}=D_{\gamma}\times t\times 10^{-3}(\text{mSv}) \quad (5-1)$$

式中： $H_{\gamma}$ —γ 射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量当量，mSv；

$D_{\gamma}$ —人员停留位置处剂量率，μSv/h；

$t$ —人员年接触 γ 射线或 X 射线时间，h；

### 5.7.1 职业人员年有效剂量

#### (1) 摆位工作人员年有效剂量

为确保辐射工作人员工作环境的安全，掌握工作人员年受照剂量程度，陕西中医药大学第二附属医院已为本项目工作人员配备了个人剂量计，并与陕西思迈奥健康科技服务有限公司签订合同，按季度为本项目辐射工作人员进行个人剂量计检测。

根据建设单位提供的资料，本项目后装机配备 $^{192}\text{Ir}$ 密封放射源，该源在自然状态下会自发衰变发射出 $\gamma$ 射线，工作人员在治疗室内对患者摆位时，不可避免的受到 $^{192}\text{Ir}$ 密封放射源泄露辐射影响，从而增加其辐射剂量。从保守角度分析，每次摆位最长时间取1min，根据医院提供资料，每年计划治疗人数为200人，摆位人员按固定一人计算，则该摆位人员在治疗室内停留时间为3.33h，本底辐射剂量率取环境本底最小剂量率105nSv/h，人员居留因子取1，人员停留位置剂量率取储源器表面1m处周围剂量当量率最大监测值1.88 $\mu\text{Sv/h}$ ，计算得到该摆位人员在摆位过程中所接受的年附加有效剂量为 $5.91\times 10^{-3}\text{mSv}$ 。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录B1.1.1.1要求。

#### (2) 控制室内职业人员年有效剂量

根据医院提供资料，后装机操作人员年工作时间按33.3h计算，控制室内职业人员受到的年辐射剂量按式（5-1）进行计算，人员剂量率取控制室工作人员操作位置最大监测值128nSv/h，本底辐射剂量率取后装机闭源状态下，控制室工作人员操作位置最小剂量率108nSv/h，人员居留因子取1，计算得到该摆位人员在摆位过程中所接受的年附加有效剂量为 $6.66\times 10^{-4}\text{mSv}$ 。

#### (3) 工作人员叠加年有效剂量

根据建设单位提供的资料，以保守情况考虑，项目后装机治疗室摆位和控制室操作为同一人，因此，后装机辐射工作人员最大年附加有效剂量为 $6.58\times 10^{-3}\text{mSv}$ 。

陕西中医药大学第二附属医院拟为项目配备4名工作人员（张禄、孙立哲、杨超、李欣）。其中孙立哲、杨超、李欣同时负责陕西中医药大学第二附属医院西咸院区后装机及电子直线加速器的治疗操作工作。根据建设单位提供的资料，电

子直线加速器周工作负荷约为300Gy/周，工作场所年最大工作时间为65h，经监测，电子直线加速器出束状态下，加速器机房控制室内工作人员操作位处周围剂量当量率最大监测值为127nSv/h，该位置本底剂量率最小监测值为103nSv/h，人员居留因子取1，电子直线加速器辐射工作人员年有效剂量为 $1.56 \times 10^{-3}$ mSv/a。则项目辐射工作人员总年有效剂量为 $8.14 \times 10^{-3}$ mSv/a。满足项目环评阶段职业人员年附加有效剂量约束值5mSv/a的要求，同时满足相关标准剂量限值要求。

### 5.7.2 公众剂量估算

后装机机房附近公众人员受到的年辐射剂量计算结果见表 5-4。

表5-4 后装机机房公众年有效剂量

| 后装机工作状态 | 点位描述           | 剂量率<br>( $\mu$ Sv/h) | 年照射时间<br>(h/a) | 居留因子 | 年剂量<br>(mSv/a)        |
|---------|----------------|----------------------|----------------|------|-----------------------|
| 治疗状态    | 北墙外 0.3m（走廊）   | 0.028                | 33.3           | 1/5  | $1.86 \times 10^{-4}$ |
|         | 南墙外 0.3m（走廊）   | 0.103                |                | 1/5  | $6.86 \times 10^{-4}$ |
|         | 东墙外 0.3m（预备机房） | 0.067                |                | 1/2  | $1.12 \times 10^{-3}$ |
|         | 热疗机房 1         | 0.022                |                | 1/2  | $3.67 \times 10^{-4}$ |
|         | 热疗机房 2         | 0.024                |                | 1/2  | $3.67 \times 10^{-4}$ |
|         | 准备室            | 0.04                 |                | 1/2  | $6.65 \times 10^{-4}$ |
|         | 办公室            | 0.037                |                | 1/2  | $6.15 \times 10^{-4}$ |
|         | 计划室            | 0.027                |                | 1/2  | $4.50 \times 10^{-4}$ |
|         | 后装机治疗室楼上       | 0.011                |                | 1/2  | $1.67 \times 10^{-4}$ |
| 贮源状态    | 北墙外 0.3m（走廊）   | 0.013                | 3.33           | 1/5  | $8.66 \times 10^{-6}$ |
|         | 南墙外 0.3m（走廊）   | 0.024                |                | 1/5  | $1.60 \times 10^{-5}$ |
|         | 东墙外 0.3m（预备机房） | 0.014                |                | 1/2  | $2.33 \times 10^{-5}$ |
|         | 热疗机房 1         | 0.017                |                | 1/2  | $2.83 \times 10^{-5}$ |
|         | 热疗机房 2         | 0.019                |                | 1/2  | $3.16 \times 10^{-5}$ |
|         | 准备室            | 0.019                |                | 1/2  | $3.16 \times 10^{-5}$ |
|         | 办公室            | 0.017                |                | 1/2  | $2.83 \times 10^{-5}$ |
|         | 计划室            | 0.019                |                | 1/2  | $3.16 \times 10^{-5}$ |
|         | 后装机治疗室楼上       | 0.008                |                | 1/2  | $1.33 \times 10^{-5}$ |

项目环评阶段公众环境保护目标包括控制廊人员、准备室人员、患者通道人员、CT 机房人员、治疗室人员及其他偶然停留人员，结合后装机工作原理，考虑能量流的传播随距离的平方成衰减关系，本项目结合现场监测结合，选取后装机

机房东、西、南、北墙外表面 30cm 处及顶棚外 1m 处公众可抵达的最近点位进行公众年有效剂量估算，经计算，本项目后装机治疗时致公众最大年附加有效剂量为  $1.14 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，满足相关标准限值要求和公众年剂量管理目标值  $0.25 \text{mSv/a}$  的要求。

综上所述，陕西中医药大学第二附属医院新增后装机核技术应用项目运行状态下，所致职业人员与公众年附加有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准和环评提出的管理目标限值要求，同时满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）限值要求（工作人员职业照射的剂量约束值为  $5 \text{mSv/a}$ ，公众的剂量约束值为  $0.1 \text{mSv/a}$ ）。

表 6 环境影响评价报告验收内容及批复要求落实情况

根据该项目环评文件“三同时措施一览表”内容以及陕西省环境保护厅对该项目环评批复意见（陕环批复〔2021〕106 号），对陕西中医药大学第二附属医院采取的辐射安全设施、管理措施进行现场检查，检查结果见表 6-1。

表 6-1 环境影响评价报告、环评批复落实情况

| 项目        | 环评或批复要求   | 落实情况  |
|-----------|---|---|
| 辐射安全管理机构  | 设立辐射安全管理机构或指派辐射管理专职人员，并以文件形式明确辐射防护管理小组的主要职责。  | 公司已成立辐射安全与防护管理委员会，以“陕中二附院政发[2020]13 号”文明确机构成员、职责  |
| 辐射安全和防护措施 | 屏蔽措施：各项辐射防护措施严格按照环评报告中有关参数施工  | 已严格按照环评阶段设计参数进行建设   |
|           | 设置通风换气装置、固定辐射剂量监测仪、门-机联锁装置、标志与指示灯、视频监控及对讲设施、回源装置、在线监控系统、紧急停机按钮、长柄镊子、储源罐等  | 已在治疗室内设置通风，通风量为 1000m <sup>3</sup> /h，治疗室体积为 130.24m <sup>3</sup> ，通风换气次数平均为 7 次/h；已安装固定是辐射剂量监测仪；已设置门-机联锁装置，已在迷道入口设置从治疗室内开启防护门的装置，防护门已安装防挤压装置；已在治疗室防护门上设置电离辐射警示标识；已设置视频监控、在线监控系统；已设置紧急停机按钮；已配备储源容器、长柄镊子等应急设备。 |
| 人员配置      | 辐射管理人员和辐射工作人员上岗前均应参加辐射安全和防护专业知识的考核，经考核合格上岗  | 辐射工作人员均已取得辐射安全和防护培训合格证书，持证上岗。   |
|           | 个人剂量监测、人员职业健康监护：辐射工作人员应佩戴个人剂量计，每季度送有资质单位检测，建立个人剂量档案。安排辐射工作人员定期进行职业病健康检查，并建立职业健康监护档案   | 辐射工作人员已配备个人剂量计，每季度送有资质单位检测；医院已定期组织辐射工作人员进行职业性健康检查，并建立职业健康监护档案。  |
| 建立健全规章制度  | 制定《辐射防护管理人员岗位职责》、《放射诊疗工作场所辐射防护安全管理制度》、《涉辐项目网上管理系统运行管理制度》、《辐射防护安全操作规程》、《放射工作人员辐射剂量监测制度》、《辐射工作人员健康管理制度》、《辐射安全防护设施维护维修制度》、《辐射工作场所监测制度》、《辐射防护监测管理规定》、《射线装置使用登记、台帐管理制度》、《辐射工作人员教育培训制度及培训计划》等规章制度 | 已按相关要求制定完整的辐射环境管理规章制度。针对放射源使用过程中可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。  |

续表 6-1 环境影响评价报告、环评批复落实情况

| 项目        | 环评或批复要求   | 落实情况   |
|-----------|---|--|
| 监测仪器和防护用品 | X- $\gamma$ 辐射剂量率仪 1 台  | 医院已配备 1 台 RJ38-3602 辐射防护剂量仪，仪器校准证书见附件 9。           |
| 环评批复要求    | 项目建设和运行期间，要严格落实报告中提出污染防治措施，按照辐射安全管理标准化建设要求，逐项完善相关制度和防护要求，不断提升辐射安全管理水平 | 项目已采用报告中提出辐射防护措施，已按照辐射安全标准化要求成立辐射环境管理机构，制定了相应规章制度。 |

经调查，该项目已落实环境影响评价报告、环评批复提出的各项污染防治措施，满足验收要求。

表 7 与辐射安全标准化要求相符性分析

| 对照陕西省环保厅关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环发[2018]29 号）相关规定，陕西中医药大学第二附属医院辐射安全管理要求落实情况见表 7-1。 |   |   |   |
|--|---|---|---|
| 表7-1 辐射安全管理标准化相关要求落实情况   |   |   |   |
| 管理内容   | 管理要求  | 有 | 无 |
| 决策层  | 就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。                          | 有 |   |
|  | 年初工作安排的和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。                                   | 有 |   |
|  | 明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。   | 有 |   |
|  | 提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。   | 有 |   |
| 辐射防护负责人  | 参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。 | 有 |   |
|  | 负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交一年度评估报告。                      | 有 |   |
|  | 建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。                                       | 有 |   |
|  | 建立辐射安全管理档案。   | 有 |   |
|  | 对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录。                              | 有 |   |
| 直接从事放射工作的作业人员  | 岗前进行职业健康体检，结果无异常。   | 有 |   |
|  | 参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。                                       | 有 |   |
|  | 了解本岗位的工作性质，熟悉本岗位辐射安全责任，并对确保岗位辐射安全做出承诺。                            | 有 |   |
|  | 熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理。                                      | 有 |   |
| 机构建设   | 设立辐射环境安全机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人。                      | 有 |   |
| 制度建立与执行  | 建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。     | 有 |   |
|  | 建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。         | 有 |   |
|  | 建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。     | 有 |   |

续表7-1 辐射安全管理标准化相关要求落实情况

| 管理内容    | 管理要求   | 有 | 无 |
|---------|--|---|---|
| 制度建立与执行 | 建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划,并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核,建立相关检查考核资料档案。   | 有 |   |
|         | 建立辐射工作人员职业健康体检管理制度,定期对辐射工作人员进行职业健康体检,对体检异常人员及时复查,保证职业人员健康监护档案的连续有效性。   | 有 |   |
|         | 建立辐射安全防护设施的维护与维修制度(包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等),并建立维护与维修工作记录档案(包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间)。                | 有 |   |
| 制度建立与执行 | 建立辐射安全防护设施的维护与维修制度(包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等),并建立维护与维修工作记录档案(包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间)。                | 有 |   |
|         | 建立辐射环境监测制度,定期对辐射工作场所及周围环境进行监测,并建立有效的监测记录或监测报告档案。   | 有 |   |
|         | 建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度,定期对监测仪器设备进行检定,并建立检定档案。   | 有 |   |
| 应急管理    | 结合本单位实际,制定具有可操作性的辐射事故应急预案,定期进行辐射事故应急演练。  | 有 |   |
|         | 辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容:①可能发生的辐射事故及危害程度分析;②应急组织指挥体系和职责分工;③应急人员培训和应急物资准备;④辐射事故应急响应措施;⑤辐射事故报告和处理程序。 | 有 |   |

表 8 结论及建议

(1) 陕西中医药大学第二附属医院已按照建设项目相关法律法规要求，对“陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目”进行环境影响评价工作，并取得环评批复文件，已履行环保手续。目前，陕西中医药大学第二附属医院该项目电子直线加速器、DSA、中 C 形臂、后装机机房均已建设完成，电子直线加速器、DSA、中 C 形臂已于 2021 年 11 月完成环境保护竣工验收。后装机及其配套放射源已配备到位，已具备了环境保护竣工验收条件。

(2) 陕西中医药大学第二附属医院该项目已按照环评阶段设计参数建设，经现场监测，后装机在正常使用工况下，其机房及周边环境各监测点周围剂量当量率满足 GBZ121-2020 中相关条款限值要求。

(3) 陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目（后装机部分）已按照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、环评以及批复要求，采取了相应的辐射安全设施。针对后装机工作场所，已在治疗室内设置通风，通风换气次数平均为 7 次/h；已设置门-机联锁装置，已在迷道入口设置从治疗室内开启防护门的装置，防护门已安装防挤压装置；已在治疗室防护门上设置电离辐射警示标识，已安装照射状态指示灯；已在控制台、后装机设备表面人员易触及位置、后装机机房入口处各设置 1 个急停开关，治疗室内北墙、东墙、西墙上各设置 1 个急停开关；已设置视频监控、对讲交流系统。

(4) 陕西中医药大学第二附属医院已为后装机机房配备 1 台 RJ38-3602 型辐射防护剂量仪，项目 4 名辐射工作人员均已取得辐射安全和防护培训合格证书，持证上岗。辐射工作人员定期进行职业健康检查，建立职业健康监护档案。医院已为项目 4 名辐射工作人员配备个人剂量计，每季度送有资质单位进行检测，并建立个人剂量档案。

(6) 陕西中医药大学第二附属医院已按照陕西省环保厅下发的关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环发[2018]29 号）相关要求，成立了辐射安全与防护管理委员会，明确辐射安全责任人，规定相关职责，并按照该文件要求，建立了一整套规章制度。

(7) 根据建设单位提供资料及项目所在地剂量监测结果，考虑项目辐射工作

人员同时承担后装机治疗室摆位、控制室操作及电子直线加速器机房控制室操作的叠加影响，本项目后装机辐射工作人员最大年附加有效剂量为  $8.14 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关规定。经现场监测结果估算，扣除环境本底后，本项目后装机出源时致公众最大年附加有效剂量为  $1.14 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足环评阶段提出工作人员年有效剂量  $5 \text{mSv}$  和公众  $0.25 \text{mSv}$  限值要求，及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）限值要求（工作人员职业照射的剂量约束值为  $5 \text{mSv/a}$ ，公众的剂量约束值为  $0.1 \text{mSv/a}$ ）。

综上所述，陕西中医药大学第二附属医院后装机、射线装置应用项目（后装机部分）已按照环评文件及批复要求要求落实了相关辐射安全措施、管理措施，职业人员和公众年有效剂量满足标准要求，已具备竣工环境保护验收条件，满足竣工环境保护验收要求。