

山西省肿瘤医院使用医用直线加速器项目

竣工环境保护验收监测表

(晋大地晋新验监[2022]010号)

建设单位：山西省肿瘤医院

编制单位：山西大地晋新环境科技研究院有限公司

2022年8月

前 言

山西省肿瘤医院创建于 1952 年，是一所集医疗、教学、科研、预防、康复、保健、急救为一体的现代化非营利性三甲综合医院。医院于 2022 年 6 月 24 日换领了辐射安全许可证（晋环辐证【00153】），有效期至 2027 年 1 月 2 日。许可的种类和范围为：使用 III 类、V 类放射源；使用 II、III 类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

本次验收内容为 1 台医用直线加速器，位于放疗技术楼（放疗中心）加速器 2 室。加速器 2 室核技术利用项目于 2010 年 5 月 31 日通过原山西省环境保护厅的环评审批，于 2017 年 9 月 18 日通过环保验收，验收意见函编号：晋环审批函【2017】270 号。加速器 2 室已许可，本次验收主要关注更换加速器后机房对射线的屏蔽能力。

根据环办函【2015】1758 号“关于《建设项目环境影响分类管理名录》中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函”的有关规定，山西省肿瘤医院在加速器 2 室更换 1 台医用直线加速器项目应编制安全分析报告。2022 年 5 月山西大地晋新环境科技研究院有限公司对该项目编制了安全分析报告，安全分析报告纸质版加盖公章后已上报山西省生态环境厅备案。

受山西省肿瘤医院委托，山西大地晋新环境科技研究院有限公司组织了技术人员对该项目所在场所及周围环境进行了现场调查和监测，并编制完成了《山西省肿瘤医院使用医用直线加速器项目竣工环境保护验收监测表》。

表 1

项目概况

| | | | |
|-------------------|--------------------|---|-------------|
| 项目名称 | 山西省肿瘤医院使用医用直线加速器项目 | | |
| 建设单位 | 山西省肿瘤医院 | | |
| 地 址 | 太原市杏花岭区职工新街 3 号 | 邮政编码 | 030013 |
| 法人代表 | 马晋峰 | | |
| 联 系 人 | 郝素华 | 联系电话 | 13835167638 |
| 核技术应用项目安全分析报告编制单位 | 山西大地晋新环境科技研究院有限公司 | 项目性质 | 改建 |
| 核技术应用项目安全分析报告审批部门 | / | 审批日期 | / |
| 应用类型 | 使用 II 类医用射线装置 | | |
| 辐射安全许可证 | 证书编号 | 晋环辐证【00153】 | |
| | 使用种类和范围 | 使用 III 类、V 类放射源；使用 II、III 类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。 | |
| | 发证机关 | 山西省生态环境厅 | |
| | 有效期至 | 2027 年 1 月 2 日 | |

表 2

验收依据

| | |
|-------------|--|
| <p>验收依据</p> | <p>(1) 《中华人民共和国放射性污染防治法》中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 号；</p> <p>(2) 《建设项目环境保护管理条例》国务院令第 682 号，自 2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(4) 《放射性同位素和射线装置安全许可管理办法》生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日；</p> <p>(5) 《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 20 日；</p> <p>(6) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002；</p> <p>(7) 《放射治疗放射防护》GBZ121-2020；</p> <p>(8) 《放射治疗辐射安全与防护要求》HJ1198-2021；</p> <p>(9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007) ；</p> <p>(10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) ；</p> <p>(11) 《射线装置分类》环境保护部公告 2017 第 66 号；</p> <p>(12) “关于《建设项目环境影响分类管理名录》中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函”环办函【2015】1758 号。</p> <p>(13) 《山西省肿瘤医院使用医用直线加速器项目安全分析报告》2022 年 5 月。</p> |
|-------------|--|

表 3

验收标准限值

| | |
|----------------|---|
| 验收 标准 限值 | <p>验收监测标准限值采用与安全分析报告一致，即：</p> <p>1、剂量当量率约束值： 机房屏蔽体外 0.3m 处的剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h。</p> <p>2、有效剂量验收执行标准： 职业人员年有效剂量：$\leq 5\text{mSv/a}$； 公众成员年有效剂量：$\leq 0.1\text{mSv/a}$。</p> |
|----------------|---|

表 4

项目建设情况

4.1 地理位置

山西省肿瘤医院位于太原市杏花岭区职工新街 3 号，本次验收的 1 台医用直线加速器机房位于放疗技术楼（放疗中心）加速器 2 室。该机房东侧为控制室、南侧为候诊大厅及走廊、西侧为加速器 3 室、北侧为加速器 5 室，机房上方为空场所。

医院地理位置见图 1。

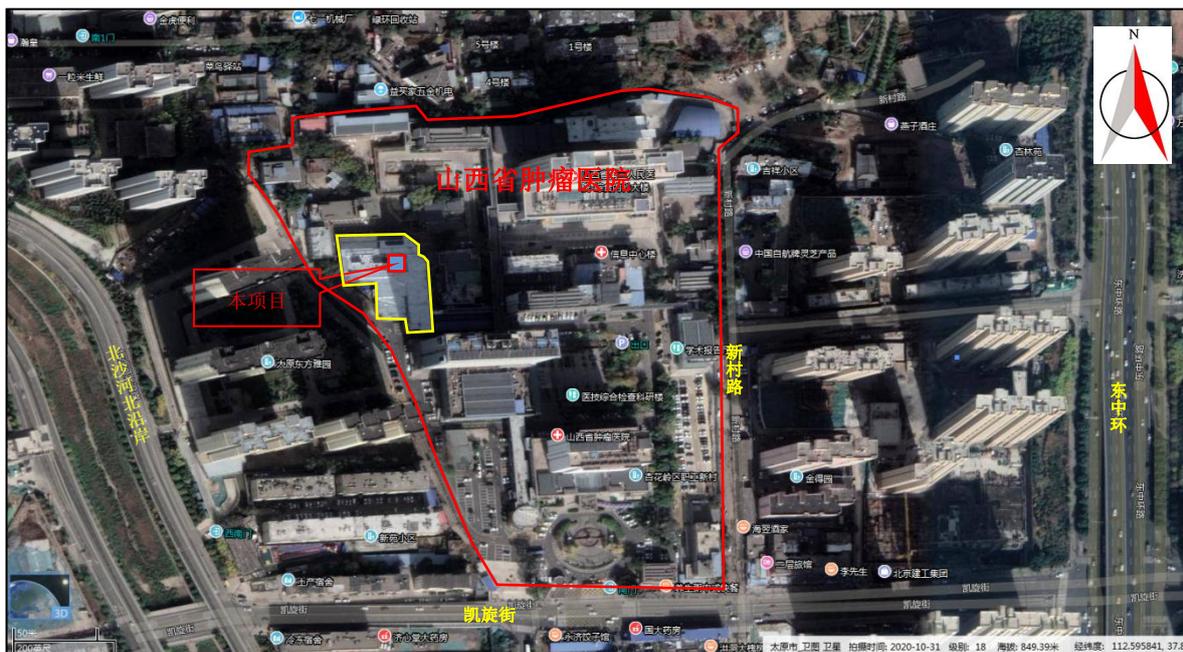


图 4-1 山西省肿瘤医院地理位置图

4.2 建设内容

(1) 山西省肿瘤医院本次验收的医用直线加速器相关参数详见下表。

表 4.1 本项目加速器参数

| 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速 粒子 | 最大 能量 (MV) | 剂量率 (MU/min) | 用途 | 工作场 所 | 备注 |
|-----------------|----|----|------|----------|---------------|-----------------|-----|-------------------------|----------|
| 医用直 线加速 器 | II | 1 | EDGE | 电子 束 | X 射线 | 10MV | 600 | 放疗技 术楼加 速器 2 室 | 本次 验收 |
| | | | | | | 6MV | | | |

(2) 本次验收的 1 台医用直线加速器位于放疗技术楼加速器 2 室，设备见图 4-2。



图 4-2 本项目医用直线加速器

4.3 污染源描述

4.3.1 正常工况下污染物及污染途径

医用直线加速器随机器开机产生 X 射线，关机 X 射线消失，开机时产生的 X 射线是污染环境的主要因子，污染途径为外照射。

4.3.2 事故工况污染物及污染途径

医用直线加速器产生的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出，因此，断电状态下较为安全，在意外情况下，可能出现的事故如下：

(1) 门机联锁装置失效

由于未及时检修，门机联锁装置失效，导致人员误入而造成超剂量照射。

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

(2) 人员滞留在机房内

工作人员或患者陪伴进入加速器机房后，未全部撤离，仍有人员滞留在机房不易察觉的地方；加速器开机治疗前，未仔细从监视器上查看机房内人员情况。

防治措施：开机运行前，工作人员认真检查机房内人员情况，除病人外，其他人员一律不得停留，待现场确认无误并通过监控再次确认后，方可进行下一步操作。

(3) 人为因素

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

防治措施：辐射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

事故工况直线加速器污染因子主要为 X 射线，污染途径为外照射。

4.4 项目定员定岗

医院目前共有辐射工作人员 282 人，均已接受初级辐射安全与防护培训班学习，并取得了上岗证，辐射工作人员上岗证均在有效期内。本次验收的医用直线加速器辐射工作人员为 7 人，均为医院现有辐射工作人员。本次加速器辐射工作人员基本信息见下表，培训证书见附件 4。

表 4.2 本次验收医用直线加速器辐射工作人员明细表

| 序号 | 姓名 | 性别 | 学历 | 专业 | 所在科室 | 培训时间 | 培训证号 |
|----|-----|----|----|----|------|---------|-------------|
| 1 | 崔桐 | 男 | 硕士 | 医学 | 放疗科 | 2019.12 | 20191220099 |
| 2 | 郭瑞嵩 | 男 | 本科 | 医学 | 放疗科 | 2019.12 | 20191220009 |
| 3 | 刘楷东 | 男 | 硕士 | 医学 | 放疗科 | 2019.12 | 20191220055 |
| 4 | 李琦 | 女 | 硕士 | 医学 | 放疗科 | 2019.12 | 20191220130 |
| 5 | 辛慧芳 | 女 | 本科 | 医学 | 放疗科 | 2019.12 | 20191220225 |
| 6 | 刘建庭 | 男 | 硕士 | 医学 | 放疗科 | 2019.12 | 20191220010 |
| 7 | 樊上飞 | 男 | 硕士 | 医学 | 放疗科 | 2019.12 | 20191220195 |

表 5

环境保护设施

5.1 辐射防护屏蔽措施

本次验收的 1 台医用直线加速器所在机房外墙（东西）长 15.8m（机房内东西长 7.4m），外墙（南北）长 13.6m（机房内南北长 8.0m），机房内高 3.7m，机房屏蔽情况见下表，机房平面布置图见图 5-1，剖面图见图 5-2。

表 5.1 医用直线加速器所在机房的屏蔽情况

| 机房 | 屏蔽层 | 相邻场所 | 射线情况 | 屏蔽层厚度 | 屏蔽材料 |
|---------------------------|-------|--------------|----------|--|--------------|
| 放疗技术楼 一层 加速器 2 室 | 东墙 | 控制室、 辅助机房 | 直射 散射 | 主屏蔽墙为 2500mm，主屏蔽带宽度为 3200mm；次屏蔽墙为 1300mm。 | 钢筋混凝土 |
| | 南迷路内墙 | 迷路 | 散射 | 1350mm | 钢筋混凝土 |
| | 南迷路外墙 | 走廊 | 散射 | 与内墙重叠部分 900mm，其他 1200mm。 | 钢筋混凝土 |
| | 西墙 | 加速器 3 室 | 直射 散射 | 主屏蔽带宽度为 4700mm；主屏蔽墙厚度为 2400mm+40mm，次屏蔽墙为 1200mm+80mm。 | 钢筋混凝土+硫酸钡混凝土 |
| | 北墙 | 加速器 5 室 | 散射 | 1500mm | 钢筋混凝土 |
| | 屋顶 | 空场所 | 直射 散射 | 主屏蔽带宽度为 6400mm；主屏蔽区厚度为 2450mm+130mm（局部），次屏蔽墙为 1200~2100。 | 钢筋混凝土+硫酸钡混凝土 |
| | 防护门 | 通道 | 散射 | 15mm 铅+150mm 中子防护层 | 铅+含硼聚乙烯 |

备注：根据院方提供资料，机房房顶、墙、迷路内外墙钢筋混凝土密度为 2.45g/cm³。

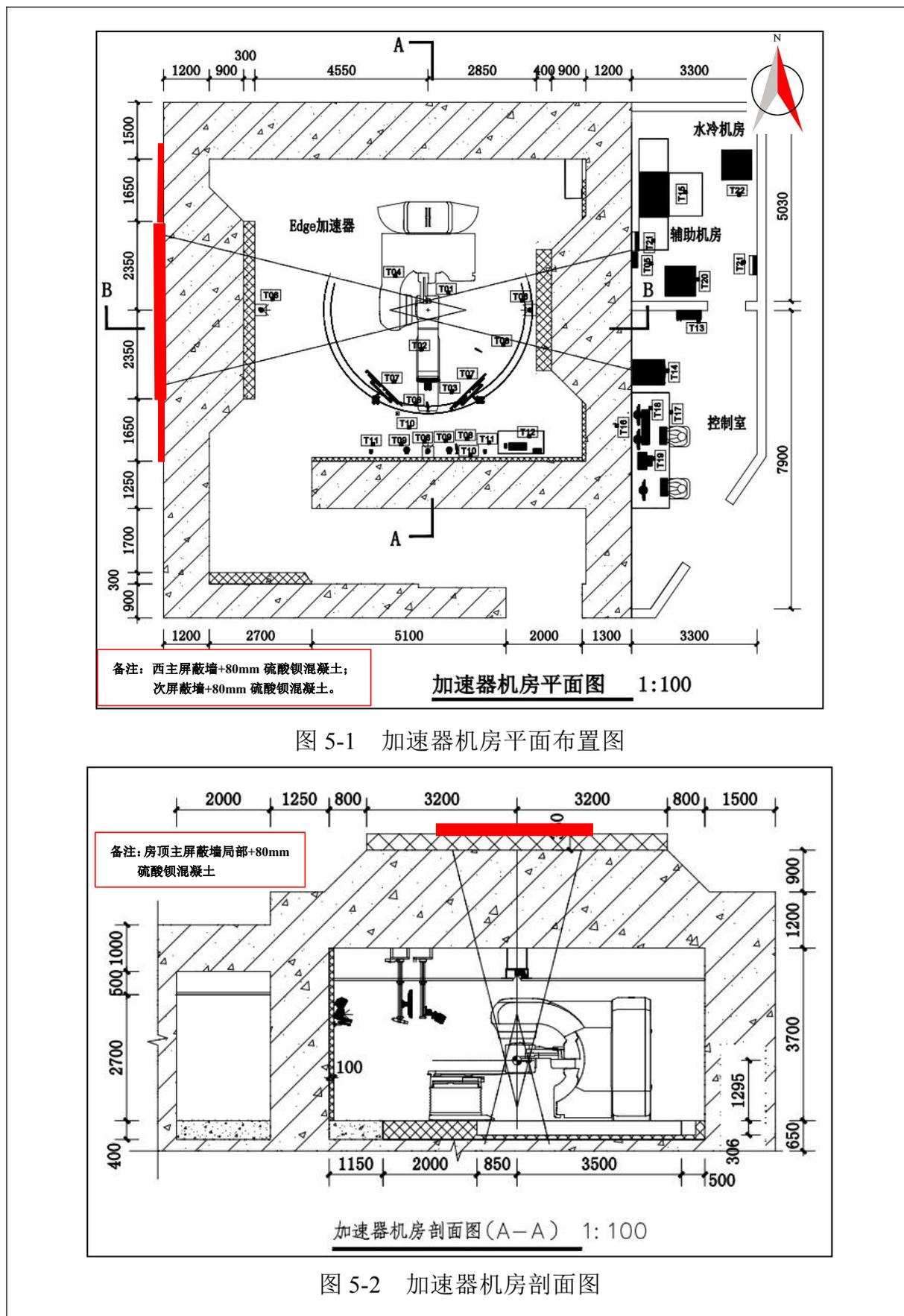


图 5-1 加速器机房平面布置图

图 5-2 加速器机房剖面图

5.2 辐射防护分区情况

(1) 控制区：以机房防护门为界的放射治疗室机房内部，此区域通过防护门、联锁装置、电离辐射警告标志、工作指示灯等措施严格控制人员进入。

(2) 监督区：防护门外的走廊、机房东侧相邻的控制室、辅助机房为监督区。
本项目辐射防护分区见图 5.3。

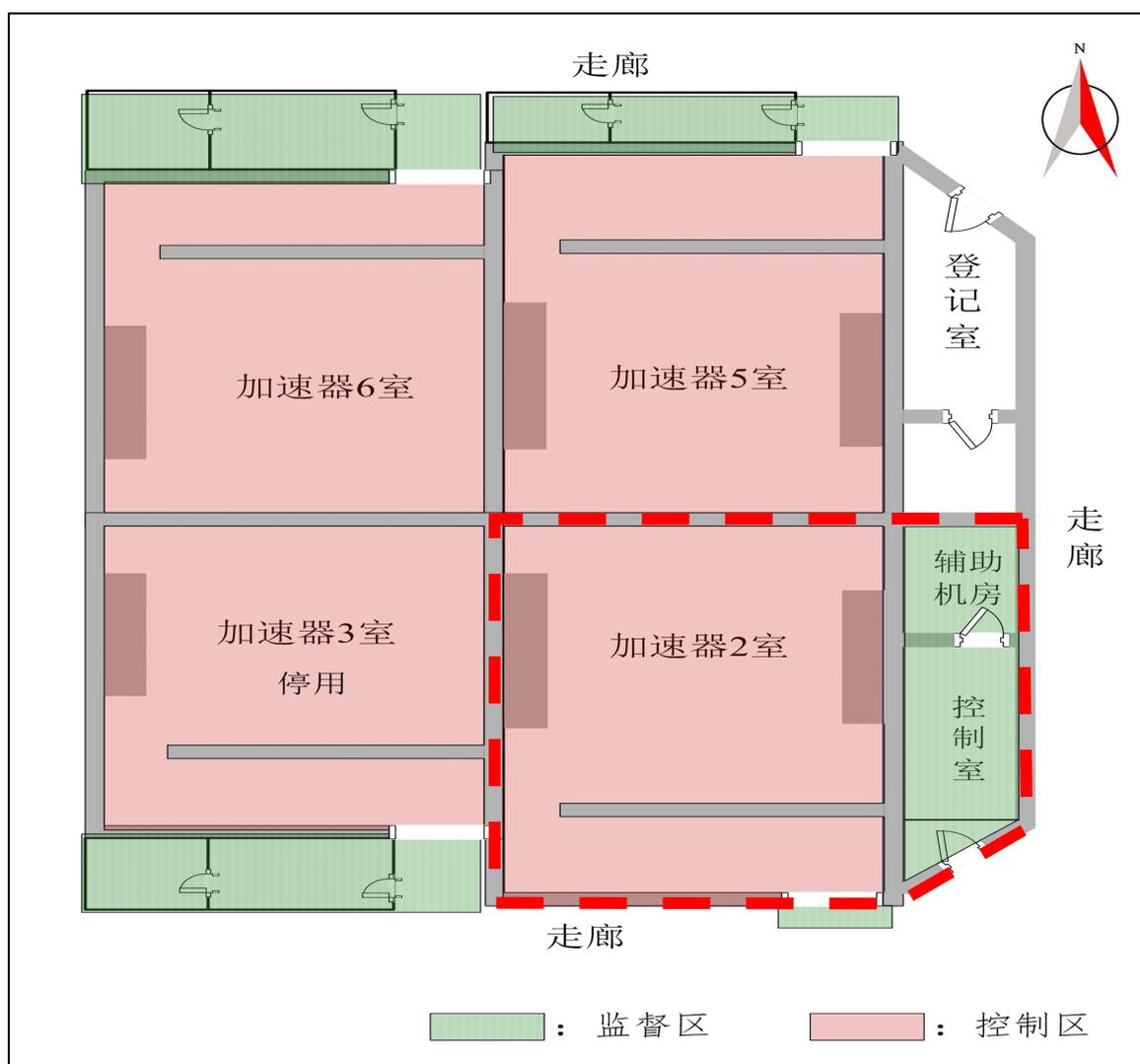


图 5-3 辐射防护分区图

5.3 采取的环保设施及措施

经过现场调查，直线加速器机房采取了如下安全防护措施：

(1) 本项目直线加速器采购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐全。

(2) 控制台上的显示器可以显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

(3) 设置多重联锁装置，以保证人员和设备的安全，防止意外事故，即：

①门机联锁，防护门与高压系统、启动电路联锁，防护门未关闭之前，加速器无法启动。

②系统联锁：当控制台计算机故障、加速器真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。

③有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，将自动终止治疗照射。

(4) 控制台有紧急停机按钮，当发现异常后，按下急停按钮开关，机器将切断加速器主电源。

(5) 视频监视系统、对讲系统：加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 4 个（防护门迷道内 1 个、机房内 3 个）、对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与治疗室内人员联系，以便于医师在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角。

(6) 警示装置

①工作状态显示装置：在加速器机房防护门上方设有工作状态指示灯并与机房防护门联锁。

②电离辐射警示标志：在加速器机房防护门外与控制室门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。

(7) 治疗室紧急设施

- ①防护门内设有开门按钮。
- ②治疗室防护门设有防门夹红外装置。
- ③治疗室内设置有紧急照明系统。
- ④治疗床旁、机房内四周墙上及迷道墙上均设置紧急停机按钮。

(8) 监测设备

①机房内安装有固定式剂量报警仪，剂量监测值能在控制室控制台上显示，超过剂量控制值后装置报警。

②放疗科已配备 1 台便携式辐射监测仪。

③配备了 1 台个人剂量报警仪。

④辐射工作人员每人配备 1 个热释光个人剂量计，工作人员进入治疗室需携带个人剂量报警仪并认真佩戴热释光剂量计。

5.3 环保设施现场照片



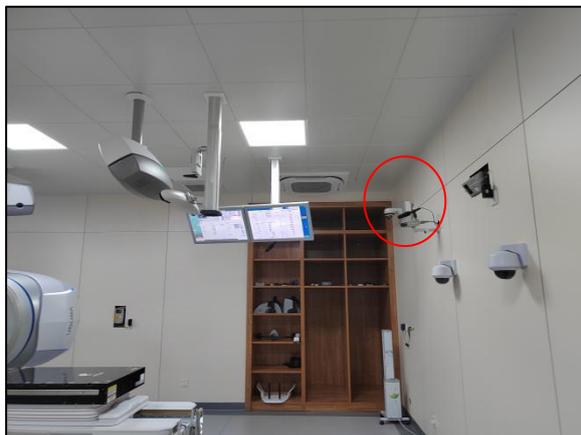
控制室内固定式剂量报警仪主机



机房内固定式剂量报警仪探头



控制室视频系统



机房南墙监视器及对讲系统



迷道内监视器



机房西墙监视器



机房北墙监视器



治疗床上急停按钮



机头急停按钮



控制台急停按钮



迷道内急停按钮 1



迷道内急停按钮 2



机房内急停按钮



送风系统



防护门防夹感应装置



电离辐射防护警示标志及工作状态灯



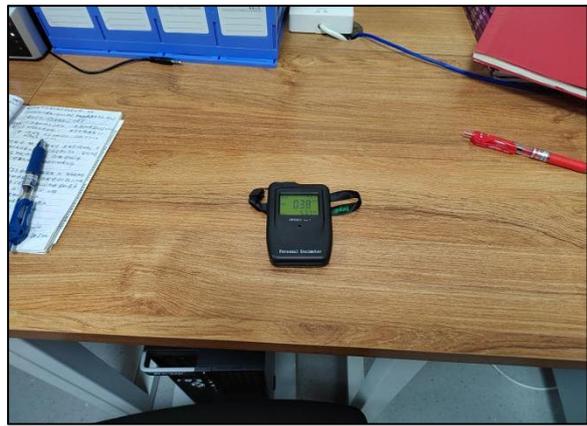
防护门外分区管理



便携式辐射监测仪



热释光个人剂量计



个人剂量报警仪

表 6

安全分析报告主要结论

6.1 安全分析报告主要结论与建议

6.1.1 安全分析报告主要采取的污染防治措施

(1) 本次验收加速器所在机房（加速 2 室）的屏蔽情况见下表：

表 6.1 医用直线加速器所在机房的屏蔽情况

| 机房 | 屏蔽层 | 屏蔽层厚度（mm） | 屏蔽材料 |
|------------------------|-------|--|---------|
| 放疗技术 楼一层加 速器 2 室 | 东墙 | 主屏蔽墙为 2500mm，主屏蔽带宽度为 3200mm；次屏蔽墙为 1300mm。 | 钢筋混凝土 |
| | 南迷路内墙 | 1350mm | 钢筋混凝土 |
| | 南迷路外墙 | 与内墙重叠部分 900mm，其他 1200mm。 | 钢筋混凝土 |
| | 西墙 | 主屏蔽墙为 2400mm，主屏蔽带宽度为 4700mm；次屏蔽墙为 1200mm。 | 钢筋混凝土 |
| | 北墙 | 1500mm | 钢筋混凝土 |
| | 屋顶 | 主屏蔽区为 2450mm，主屏蔽带宽度为 6400mm；次屏蔽墙为 1200~2100。 | 钢筋混凝土 |
| | 防护门 | 15mm 铅+150mm 中子防护层 | 铅+含硼聚乙烯 |

(2) 控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

(3) 设置多重联锁装置，以保证人员和设备的安全，防止意外事故，即：

①门机联锁，防护门与高压系统、启动电路联锁，防护门未关闭之前，加速器无法启动。②系统联锁：当控制台计算机故障、加速器真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。③有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，将自动终止治疗照射。

(4) 控制台有紧急停机按钮，当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

(5) 视频监视系统、对讲系统：加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 4 个（防护门迷道内 1 个、机房内 3 个）、对讲装置 1 套。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

(6) 监测设备

①机房内安装有固定式剂量报警仪，剂量监测值能在控制室控制台上显示，超过剂量控制值后装置报警。

②已配备 1 台便携式辐射监测仪。

③应配备至少 1 台个人剂量报警仪。

④辐射工作人员应每人配备 1 个热释光个人剂量计，工作人员进入治疗室需携带个人剂量报警仪并认真佩戴热释光剂量计。

6.1.2 环境影响安全管理措施

(1) 设有专职管理人员负责辐射安全管理。

(2) 规章制度：①操作规程；②岗位职责；③人员培训计划；④监测方案；辐射事故应急预案等制度。

(3) 建立了个人剂量档案、职业健康体检、个人健康档案等。

(4) 医院现有 282 名辐射工作人员，均参加了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，并持证上岗。本次验收的医用直线加速器辐射工作人员为 7 人，均为医院现有辐射工作人员。

6.2 项目安全分析情况

本次验收的 1 台医用直线加速器位于放疗技术楼加速器 2 室，型号为：EDGE，最大能量为 10MV。项目已于 2022 年 5 月编制了安全分析报告（编号：AF21001）。设备经山西省生态环境厅同意，于 2022 年 6 月登记到辐射安全许可证台账上。

表 7

验收监测内容

7.1 监测项目

医用直线加速器机房周围剂量当量率、中子剂量率。

7.2 监测单位

根据验收的需要，委托杭州旭辐检测技术有限公司对本次验收设备机房周围剂量当量率进行检测，并出具检验检测报告。

7.3 监测仪器

仪器设备名称：环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪

仪器设备型号：JC-5000 仪器编号：JC70-09-2019

检定机构：上海市计量测试技术研究院

检定证书号：2022H21-10-3924231001

有效期：2022 年 6 月 22 日-2023 年 6 月 21 日

仪器设备名称：中子周围剂量当量仪

仪器设备型号：BH3105E 仪器编号：JC15-09-2018

检定机构：中国计量科学研究院

检定证书号：DYjs2021-11775

有效期：2021 年 9 月 2 日-2022 年 9 月 1 日

7.4 监测内容及布点

对医用直线加速器机房四周、操作位及房顶等进行布点监测。

监测布点见图 7.1。

7.5 质量保证措施

(1) 监测使用的设备仪器经有相应资质的计量部门检定、并在有效使用期内：每次测量前、后，均对仪器的工作状态进行检查，确认仪器正常。

(2) 严格按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录，专人负责质量保证和核查、检查工作。

7.6 监测结果

检测结果详见表 7.1、7.2。检测报告见附件 3。

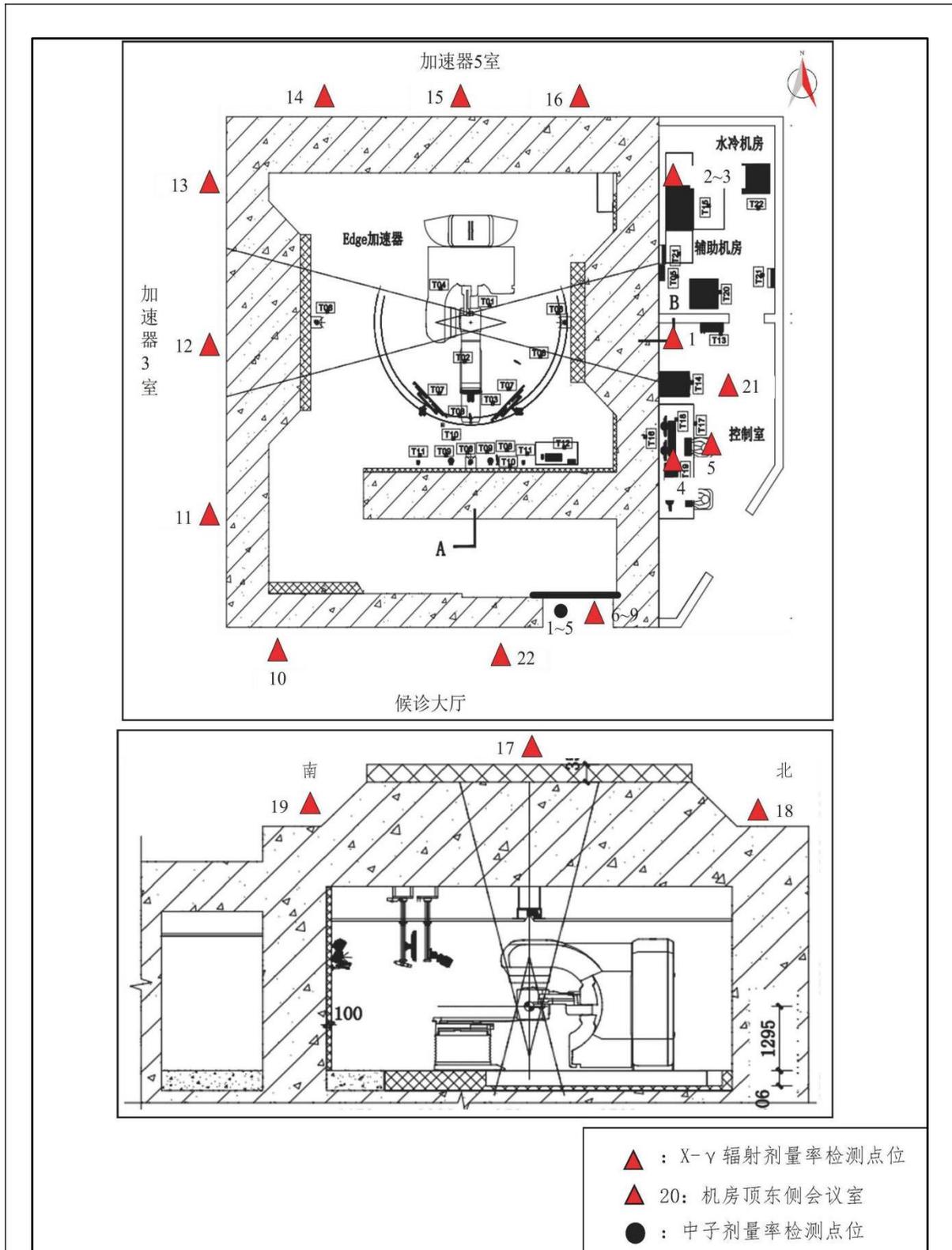


图 7-1 医用直线加速器机房现场检测点位示意图

续表 7

验收监测内容

表 7.1 医用直线加速器机房周围 X-γ辐射剂量率检测结果

| 检测 点位 | 点位描述 | 检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$) |
|----------|---|------------------------------|
| ▲1 | 机房东侧有用束防护墙外 30cm 处 (控制室内) (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 准直器角度 45°, 无模体, 照射野 30cm×30cm) | 1.89 |
| ▲2 | 机房东侧次屏蔽防护墙北侧外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.24 |
| ▲3 | 辅助机房穿越防护墙的管线口 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.22 |
| ▲4 | 机房东侧次屏蔽防护墙南侧外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.18 |
| ▲5 | 控制室操作位处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.18 |
| ▲6 | 防护门中间外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.62 |
| ▲7 | 防护门东侧门缝外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.61 |
| ▲8 | 防护门西侧门缝外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.82 |
| ▲9 | 防护门下门缝外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.60 |
| ▲10 | 机房南侧迷路外墙外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.15 |
| ▲11 | 机房西侧有用束防护墙外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 机有用线束中心轴垂直于西侧屏蔽墙体, 准直器角度 45°, 无模体, 照射野 30cm×30cm) | 1.96 |

续表 7

验收监测内容

| 续表 7.1 医用直线加速器机房周围 X-γ辐射剂量率检测结果 | | |
|---------------------------------|---|------------------------------|
| 检测 点位 | 点位描述 | 检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$) |
| ▲12 | 机房西侧次屏蔽防护墙南侧外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于西侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.47 |
| ▲13 | 机房西侧次屏蔽防护墙北侧外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于西侧屏蔽墙体, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.41 |
| ▲14 | 机房北侧(侧墙区)防护墙西侧外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直向下, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.11 |
| ▲15 | 机房北侧(侧墙区)防护墙中间外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直向下, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.13 |
| ▲16 | 机房北侧(侧墙区)防护墙东侧外 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直向下, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.11 |
| ▲17 | 机房顶部有用束防护顶板上 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于向上, 准直器角度 45°, 无模体, 照射野 30cm×30cm) | 0.61 |
| ▲18 | 机房顶部次屏蔽区防护顶板北侧上 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于向上, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.12 |
| ▲19 | 机房顶部次屏蔽区防护顶板南侧上 30cm 处 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于向上, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.12 |
| ▲20 | 机房顶东侧会议室 (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于向上, 等中心线处放置水模, 照射野 30cm×30cm) | 0.12 |
| ▲21 | 控制室(关机) | 0.12 |
| ▲22 | 机房南侧走廊(关机) | 0.11 |

续表 7

验收监测内容

表 7.2 医用直线加速器机房周围中子剂量率检测结果

| 检测 点位 | 点位描述 | 检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$) |
|----------|--|------------------------------|
| ●1 | 防护门中间外 30cm 处 (门表面) (X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 有用线束中心轴垂直于东侧屏蔽墙体, 等中心线处放置等效水模, 照射野 30cm×30cm) | 0 |
| ●2 | 防护门外 30cm 处 (左门缝) (开机工况同 1) | 0 |
| ●3 | 防护门外 30cm 处 (右门缝) (开机工况同 1) | 0 |
| ●4 | 防护门外 30cm 处 (右门缝) (开机工况同 1) | 0 |
| ●5 | 防护门中间外 30cm 处 (关机值) | 0 |

由上述检测结果可知, 在检测工况为 X 射线能量 10MV, 剂量率 600cGy/min, 照射野 30cm×30cm, 等中心线处放置水模 (除检测主屏蔽墙外), 本次验收的医用直线加速器开机时机房周围各检测点的周围剂量当量率在 0.11~1.96 $\mu\text{Sv/h}$ 之间, 扣除关机值 0.11 $\mu\text{Sv/h}$ 后, 机房周围剂量当量率最大贡献值为 1.85 $\mu\text{Sv/h}$; 防护门口外 0.3m 处的中子辐射剂量率为 0 $\mu\text{Sv/h}$, 满足机房四周屏蔽墙及房顶外 0.3m 处、屏蔽门外 0.3m 处的剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

表 8

环保设施运行效果

8.1 辐射防护监测结果评价

根据现场调查及屏蔽防护监测可知,山西省肿瘤医院本次验收的医用直线加速器开机时机房周围各检测点的周围剂量当量率在 0.11~1.96 $\mu\text{Sv/h}$ 之间,扣除关机值 0.11 $\mu\text{Sv/h}$ 后,机房周围剂量当量率最大贡献值为 1.85 $\mu\text{Sv/h}$;防护门口外 0.3m 处的中子辐射剂量率为 0 $\mu\text{Sv/h}$,满足机房四周屏蔽墙及房顶外 0.3m 处、屏蔽门外 0.3m 处的剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

8.2 环保手续执行情况

本次验收内容为 1 台医用直线加速器,位于放疗技术楼(放疗中心)加速器 2 室。由于加速器 2 室已经许可,于 2010 年 5 月 31 日通过原山西省环境保护厅的审批,于 2017 年 9 月 18 日通过验收,验收意见函编号:晋环审批函【2017】270 号。根据环办函【2015】1758 号“关于《建设项目环境影响分类管理名录》中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函”的有关规定,山西省肿瘤医院在加速器 2 室更换 1 台医用直线加速器项目应编制安全分析报告。2022 年 5 月山西大地晋新环境科技研究院有限公司对该项目编制了安全分析报告,安全分析报告纸质版加盖公章后已上报山西省生态环境厅备案。该医用直线加速器已登记到辐射安全许可证台账上。

8.3 医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序执行情况

对照《医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序》编号 NNSA/HQ-08-JD-IP-033 的检查技术程序，项目采取的环保措施见下表 8.1、8.2。

(1) 辐射安全防护设施与运行

表 8.1 项目执行“医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序”

关于辐射安全防护设施要求对照表

| 序号 | 项目 | 检查内容 | 检查结果 | |
|-----|--------------------------|----------------|------|---|
| | | | 有 | 无 |
| 1* | A 控制台及 安全 联锁 | 防止非工作人员操作的锁定开关 | √ | |
| 2* | | 控制台有紧急停机按钮 | √ | |
| 3* | | 视频监控与对讲系统 | √ | |
| 4* | | 治疗室门与高压联锁 | √ | |
| 5* | B 警示 装置 | 入口电离辐射警告标志 | √ | |
| 6* | | 入口有加速器工作状态显示 | √ | |
| 7* | | 工作场所分区及标识 | √ | |
| 8* | C 治疗 室紧 急设 施 | 屏蔽门内开门按钮 | √ | |
| 9 | | 治疗室门防夹人装置 | √ | |
| 10* | | 紧急照明或独立通道照明系统 | √ | |
| 11* | | 治疗室内有紧急停机按钮 | √ | |
| 12* | | 治疗床有紧急停机按钮 | √ | |
| 13 | D 监测 设备 | 治疗室内固定式剂量报警仪 | √ | |
| 14* | | 便携式辐射监测仪器仪表 | √ | |
| 15* | | 个人剂量报警仪 | √ | |
| 16* | | 个人剂量计 | √ | |
| 17 | E 其它 | 通风系统 | √ | |

续表 8

环保设施运行效果

(2) 管理制度及执行情况

表 8.2 项目执行“医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序”

关于管理制度与执行情况对照表

| 序号 | 项目 | 检查项目 | 成文制度 | | 执行情况 |
|----|------|----------------|------|---|-----------------------|
| | | | 有 | 无 | |
| 1 | A 综合 | 辐射安全防护管理规定 | √ | | 已制定辐射安全防护管理规定。 |
| 2 | | 安全防护设施维护与维修制度 | √ | | 已制定安全防护设施维护与维修制度。 |
| 3 | B 场所 | 场所分区管理规定 | √ | | 已进行辐射分区管理，设置辐射分区警示标示。 |
| 4 | | 操作规程 | √ | | 制定了操作规程。 |
| 5 | C 监测 | 场所及环境监测方案 | √ | | 已制定场所及环境监测方案。 |
| 6 | | 监测仪表使用与校验管理制度 | √ | | 制定了监测仪表使用管理制度。 |
| 7 | | 校验源管理制度 | | √ | 本项目不涉及校验源。 |
| 8 | D 人员 | 辐射工作人员培训/再培训制度 | √ | | 制定了辐射工作人员培训/再培训管理制度。 |
| 9 | | 辐射工作人员个人剂量管理制度 | √ | | 建立了辐射工作人员个人剂量管理制度。 |
| 10 | E 应急 | 辐射事故/事件应急预案 | √ | | 制定了辐射事故应急预案。 |
| 11 | F 三废 | 放射性“三废”管理规定 | √ | | 已制定放射性“三废”管理规定。 |

根据上述与《医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序》编号为 NNSA/HQ-08-JD-IP-033 的检查技术程序的对照，山西省肿瘤医院使用医用电子直线加速器项目已按照监督检查技术程序的内容执行。

8.4 辐射工作人员有效剂量评价

(1) 计算模式

有效剂量估算公式为： $H=D \cdot T \cdot W_R \cdot W_T$

式中： H —射线所致有效剂量，Sv；

D —贯穿辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T —受照时间，h；

W_T —组织权重因数，偏安全考虑取 1；

W_R —辐射权重因数，取 1。

(2) 相关参数的选取

根据医院提供的数据，本项目常规治疗 2min/人，2500 治疗人次/年；调强治疗 3min/人，10000 治疗人次/年，加速器年照射时间为 584 小时。辐射工作人员（共 7 人）分为 3 班轮流操作，每班 2 位工作人员操作完成，则辐射工作人员年受照时间 194.7 小时。公众人员受照时间按职业人员的 1/16 即 36.5 小时计算，则医用直线加速器辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 8.4，所致公众成员有效剂量估算结果见表 8.5。

表 8.4 医用直线加速器辐射工作人员年有效剂量估算结果

| 设备名称 | 位置 | 控制室处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 年照射时间 (h) | 年有效剂量 (mSv/a) |
|---------|-----|------------------------------|-----------|--------------------------|
| 医用直线加速器 | 控制室 | 1.78 (机房东侧主屏蔽墙后开机值-关机值) | 194.7 | 0.347 |

表 8.5 直线加速器公众成员有效剂量估算结果

| 设备名称 | 公众所处位置 | 最大剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 年受照时间 (h) | 年有效剂量 (mSv/a) |
|-------|---------------------|----------------------------|-----------|--------------------------|
| 直线加速器 | 防护门外 | 0.71 | 36.5 | 0.026 |
| | 迷道外（南走廊） | 0.04 | 36.5 | 1.46E-03 |
| | 加速器西墙外 (加速器 3 室) | 1.85 | 36.5 | 0.068 |
| | 加速器北墙外 (加速器 6 室) | 0.02 | 36.5 | 7.30E-04 |
| | 屋顶东侧（会议室） | 0.01 | 36.5 | 3.65E-04 |

续表 8

环保设施运行效果

通过理论分析：本项目直线加速器职业人员所受个人最大年有效剂量为 0.347mSv/a。根据“山西省肿瘤医院外照射个人剂量年度报告(2020 年度)编号：(2021) SXWS (N)”，本项目 7 位辐射工作人员中最大年有效剂量为 0.19mSv/a，与项目有效剂量的贡献值叠加后为 0.537mSv/a，低于 5mSv/a 的职业人员有效剂量约束值。

公众人员所受个人最大年有效剂量为 0.068mSv/a，低于 0.1mSv/a 的公众人员有效剂量约束值。

表 9

验收监测结论

9.1 验收基本情况

山西省肿瘤医院本次验收项目内容为 1 台 II 类射线装置：医用直线加速器，X 射线最大能量为 10MV，主要污染因子是 X 射线，污染途径为外照射。

9.2 验收调查情况

根据环境影响评价及环境影响评价的批复提出的要求，现场调查的情况为：

(1) 污染防治措施的落实情况

根据现场调查，该医院污染防治措施已按相应要求基本落实。

(2) 环境管理制度的落实情况

根据现场调查，该医院环境管理制度已按相应要求建立。

9.3 剂量率结论

根据检测结果：山西省肿瘤医院本次验收的医用直线加速器开机时机房周围各检测点的周围剂量当量率在 0.11~1.96 μ Sv/h 之间，扣除关机值 0.11 μ Sv/h 后，机房周围剂量当量率最大贡献值为 1.85 μ Sv/h；防护门口外 0.3m 处的中子辐射剂量率为 0 μ Sv/h，满足机房四周屏蔽墙及房顶外 0.3m 处、屏蔽门外 0.3m 处的剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。

9.4 有效剂量结论

通过理论分析：本项目直线加速器职业人员所受个人最大年有效剂量为 0.347mSv/a。根据“山西省肿瘤医院外照射个人剂量年度报告(2020 年度)编号：(2021)SXWS(N)”，本项目 7 位辐射工作人员中最大年有效剂量为 0.19mSv/a，与项目有效剂量的贡献值叠加后为 0.537mSv/a，低于 5mSv/a 的职业人员有效剂量约束值。

公众人员所受个人最大年有效剂量为 0.068mSv/a，低于 0.1mSv/a 的公众人员有效剂量约束值。

9.5 总结论

山西省肿瘤医院本次验收内容为使用 1 台医用直线加速器项目，该院环境管理制度基本齐全，安全防护措施到位，辐射工作人员持证上岗。通过现场调查及监测，基本按照安全分析报告要求进行了落实管理，建议通过竣工环保验收。

9.6 建议与要求

要在整个运行期间认真落实各项规章制度。

