

核技术利用建设项目

江苏省肿瘤医院  
扩建放射诊疗项目  
环境影响报告表



生态环境部监制

# 目 录

|      |                      |         |
|------|----------------------|---------|
| 表 1  | 项目基本情况 .....         | - 1 -   |
| 表 2  | 放射源 .....            | - 8 -   |
| 表 3  | 非密封放射性物质 .....       | - 8 -   |
| 表 4  | 射线装置 .....           | - 9 -   |
| 表 5  | 废弃物（重点是放射性废弃物） ..... | - 11 -  |
| 表 6  | 评价依据 .....           | - 12 -  |
| 表 7  | 保护目标与评价标准 .....      | - 16 -  |
| 表 8  | 环境质量和辐射现状 .....      | - 23 -  |
| 表 9  | 项目工程分析与源项 .....      | - 32 -  |
| 表 10 | 辐射安全与防护 .....        | - 74 -  |
| 表 11 | 环境影响分析 .....         | - 96 -  |
| 表 12 | 辐射安全管理 .....         | - 186 - |
| 表 13 | 结论与建议 .....          | - 193 - |
| 表 14 | 审批 .....             | - 201 - |



高质量发展医疗服务能力提升项目”第一批基地单位、公立医院高质量发展省级试点单位和江苏省研究型医院，2023年获江苏省高水平医院建设单位。目前编制床位1161张，设28个临床及医技科室，肿瘤科和胸外科为国家级临床重点专科，中西医结合科为国家中医药工作示范单位，拥有2个国家级重点专科、9个省级临床重点专科，1个省重点学科，肺癌、食管癌、胃癌、鼻咽癌、淋巴瘤等多个学科处于国内先进水平。

江苏省肿瘤医院拟对现有院区进行扩建，新建1栋门诊楼（地上六层、地下二层建筑）、1栋科研教学楼（地上六层、地下二层建筑）和1栋手术物资楼（地上四层建筑）。该项目已编制《江苏省肿瘤医院改扩建工程建设项目环境影响报告书》并于2017年6月28日取得原南京市环境保护局的批复文件（文号：宁环建〔2017〕22号，环境影响报告书部分内容和批复文件见附件8）。

为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，江苏省肿瘤医院拟在门诊楼负二层放疗中心新建4座放疗机房，分别配备1台Elekta Unity型磁共振影像引导直线加速器（简称“MR直线加速器”，X射线能量：7.2MV，为II类射线装置）、1台X线立体定向放射治疗系统（简称“射波刀”，X射线能量： $\leq 6$  MV，为II类射线装置）、1台Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统（兼具医用直线加速器（X射线能量：6MV，为II类射线装置）治疗、伽玛刀（内含18枚 $^{60}\text{Co}$ 放射源，总活度为 $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用I类集聚源）治疗和CBCT（最大管电压为150kV，最大管电流为64mA）图像引导功能）和1台Ethos型直线加速器（X射线能量：6MV，为II类射线装置；自带CBCT（最大管电压为140kV，最大管电流为630mA）图像引导功能）；拟在手术物资楼二层新建1座术中放疗室并配备1台Mobetron 2000型术中放射治疗用移动式电子线术中直线加速器（简称“术中加速器”，电子线能量：6、9、12MeV，为II类射线装置）；拟在手术物资楼三层新建4座射线装置机房，分别配备3台数字减影血管造影机（简称“DSA”，管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ，为II类射线装置）和2台CT（管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ，为III类射线装置）。

江苏省肿瘤医院拟从放疗科现有人员中调配共计17名辐射工作人员承担放疗中心4座放疗机房的辐射工作，其中技师15人、物理师2人。本项目运行后，15名技师拟分为4组、每组3~4人，每个小组对应承担1台设备的辐射工作，不兼职其他放射工作。辐射工作人员年工作250天，1#放疗机房内配备的MR加速器年出束运行时间约1500h，2#放疗机房内配备的射波刀年出束运行时间约2500h，3#放疗机房内配

备的 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头年出束运行时间约 500h、使用伽玛刀聚集治疗头年出束运行时间约 416.7h，4#放疗机房内配备的 Ethos 型医用直线加速器年出束运行时间约 1500h。

江苏省肿瘤医院拟新聘用 2 名辐射工作人员承担手术物资楼二层术中放疗室的辐射工作，术中放疗室内配备的术中加速器，开展常规的术中放疗工作量预计为 10 人次/周，平均每人照射剂量为 20Gy，则周工作负荷  $W=20\text{Gy} \times 10 \text{ 人次/周}=200\text{Gy/周}$ 。本项目术中加速器照射野中心处常用最高治疗剂量率为 300cGy/min，则周出束时间为 1.11h、年出束时间为 55.6h。

江苏省肿瘤医院拟从介入科现有人员中调配共计 5 名辐射工作人员承担手术物资楼三层 DSA 手术室的辐射工作，其中手术医生 3 人、技师 1 人、护士 1 人，不兼职其他辐射工作。根据医院提供的 DSA 工作负荷，DSA 手术室内设备透视工况年出束时间为 66.67h，摄影工况年出束时间为 2.22h，摄影和透视累计出束时间为 68.89h。

江苏省肿瘤医院拟新聘用共计 10 名辐射工作人员承担手术物资楼三层复合手术室 1、2 的辐射工作，其中手术医生 6 人、技师 2 人、护士 2 人。本项目新聘用的 10 名辐射工作人员存在 2 座手术室交叉工作的情况，根据医院提供的 DSA 工作负荷，复合手术室 1、2 内设备透视工况年出束时间均为 83.33h，摄影工况年出束时间均为 4.17h，摄影和透视累计出束时间均为 87.5h。医院拟在手术物资楼三层配备 1 台 CT 用于开展术前患者成像和术后影像评估，存放于设备间，使用时通过滑轨移动至复合手术室 1 或复合手术室 2 内 DSA 检查床进行扫描，不与同室的 DSA 设备同时出束，CT 在复合手术室 1 和复合手术室 2 内的年出束运行时间均为 4.17h。

江苏省肿瘤医院拟新聘用 2 名辐射工作人员共同承担手术物资楼三层 CT 室的辐射工作，不兼职其他放射工作。辐射工作人员年工作 250 天，CT 年出束运行时间约 52.1h。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目需进行环境影响评价。受江苏省肿瘤医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了扩建放射诊疗项目的环境影响评价工作（见附件 1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第

16号, 2021年版), 本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“医疗使用 I 类放射源的; 使用 II 类射线装置的”项目, 确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司在资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上, 编制了项目环境影响报告表。江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目情况见表 1-1:

表 1-1 江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目情况一览表

| 放射源  |                                    |    |                    |                   |                          |                    |          |                                  |     |
|------|------------------------------------|----|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|----------|----------------------------------|-----|
| 序号   | 放射源名称                              | 数量 | 总活度 (Bq)           | 放射源类别             | 工作场所名称                   | 活动种类               | 环评情况     | 备注                               |     |
| 1    | <sup>60</sup> Co                   | 18 | 8.88E+14           | 医用 I 类<br>集聚源     | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>3#放疗机房 | 使用                 | 本次<br>环评 | Taichi Pro 型多<br>模式一体化放射<br>治疗系统 |     |
| 射线装置 |                                    |    |                    |                   |                          |                    |          |                                  |     |
| 序号   | 射线装置<br>名称型号                       | 数量 | 最大能量 (MeV)         | 射线装置<br>类别        | 工作场所名称                   | 活动<br>种类           | 环评<br>情况 | 备注                               |     |
| 1    | MR 直线加速器<br>(Elekta Unity 型)       | 1  | X 射线: 7.2MV        | II 类              | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>1#放疗机房 | 使用                 | 本次<br>环评 | /                                |     |
| 2    | 射波刀<br>(型号未定)                      | 1  | X 射线: ≤6MV         | II 类              | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>2#放疗机房 | 使用                 | 本次<br>环评 | /                                |     |
| 3    | 多模式一体化放<br>射治疗系统<br>(Taichi Pro 型) | 1  | X 射线: 6MV          | II 类              | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>3#放疗机房 | 使用                 | 本次<br>环评 | 自带 CBCT<br>(150kV/64mA)          |     |
| 4    | 医用直线<br>加速器<br>(Ethos 型)           | 1  | X 射线: 6MV          | II 类              | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>4#放疗机房 | 使用                 | 本次<br>环评 | 自带 CBCT<br>(140kV/630mA)         |     |
| 5    | 术中加速器<br>(Mobetron 2000<br>型)      | 1  | 电子线: 6、9、<br>12MeV | II 类              | 手术物资楼二层<br>术中放疗室         | 使用                 | 本次<br>环评 | /                                |     |
| 序号   | 射线装置<br>名称型号                       | 数量 | 最大管<br>电压<br>(kV)  | 最大管<br>电流<br>(mA) | 射线装<br>置类别               | 工作场所名称             | 活动<br>种类 | 环评<br>情况                         | 备注  |
| 6    | DSA<br>(型号未定)                      | 1  | ≤125               | ≤1000             | II 类                     | 手术物资楼三层<br>DSA 手术室 | 使用       | 本次<br>环评                         | 单球管 |
| 7    | DSA<br>(型号未定)                      | 1  | ≤125               | ≤1000             | II 类                     | 手术物资楼三层<br>复合手术室 1 | 使用       | 本次<br>环评                         | 单球管 |

|    |               |   |      |       |      |                     |    |          |                            |
|----|---------------|---|------|-------|------|---------------------|----|----------|----------------------------|
| 8  | DSA<br>(型号未定) | 1 | ≤125 | ≤1000 | II类  | 手术物资楼三层<br>复合手术室2   | 使用 | 本次<br>环评 | 单球管                        |
| 9  | CT<br>(型号未定)  | 1 | ≤140 | ≤1000 | III类 | 手术物资楼三层<br>复合手术室1、2 | 使用 | 本次<br>环评 | 滑轨CT, 可移动, 不与复合手术室内DSA同时出束 |
| 10 | CT<br>(型号未定)  | 1 | ≤140 | ≤1000 | III类 | 手术物资楼三层<br>CT室      | 使用 | 本次<br>环评 | /                          |

注：本项目型号未定的设备，参数选取参考建设单位招标意向及主流供货商的主要技术参数。

## 二、项目选址情况

江苏省肿瘤医院位于江苏省南京市玄武区百子亭42号，医院东侧为昆仑路，南侧为百子亭后小区（居民区）和江苏凤凰新华书店集团有限公司地块，西侧为百子亭，北侧为洞庭路。本次扩建放射诊疗项目位于门诊楼负二层和手术物资楼二层、三层。门诊楼为地上六层、地下二层建筑，门诊楼东侧为院内道路和2号楼（病房楼），南侧为4号楼（门诊楼），西侧为院内道路、地下车库入口和百子亭，北侧为院内道路、室外停车场和科研教学楼；手术物资楼为地上四层建筑，手术物资楼东侧为院内道路、11号楼（CT室、核磁共振室）和10号楼（后勤保障楼），南侧为院内道路和1号楼（手术中心、病房楼），西侧为院内道路、百子亭42号民国建筑群和科研教学楼，北侧为院内道路和洞庭路。江苏省肿瘤医院地理位置示意图附图1，院区平面布置及周围环境示意图见附图2。

本次扩建放射诊疗项目主要包括：

1、于门诊楼负二层放疗中心1#放疗机房内配备1台Elekta Unity型MR直线加速器（X射线能量：7.2MV），用于肿瘤的放射治疗。1#放疗机房东侧为走道、控制室和辅助机房，北侧为2#放疗机房，南侧、西侧和下方均为土层，上方为地下车库机动车坡道和结构空腔。

2、于门诊楼负二层放疗中心2#放疗机房内配备1台射波刀（型号未定，X射线能量：≤6MV），用于肿瘤的放射治疗。2#放疗机房东侧为走道、控制室和设备间，南侧为1#放疗机房，北侧为3#放疗机房，西侧和下方均为土层，上方为地下车库机动车坡道和结构空腔。

3、于门诊楼负二层放疗中心3#放疗机房内配备1台Taichi Pro型多模式一体化放射治疗系统（兼具医用直线加速器（X射线能量：6MV，为II类射线装置）治疗、伽

玛刀（内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能），用于肿瘤的放射治疗。3#放疗机房东侧为走道、控制室和设备间，南侧为 2#放疗机房，北侧为 4#放疗机房，西侧和下方均为土层，上方为地下车库机动车坡道和进风机房。

4、于门诊楼负二层放疗中心 4#放疗机房内配备 1 台 Ethos 型直线加速器（X 射线能量：6MV，为 II 类射线装置；自带 CBCT（最大管电压为 140kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能），用于肿瘤的放射治疗。4#放疗机房东侧为走道、控制室和设备间，南侧为 3#放疗机房，北侧为烧伤病房（战时），西侧和下方均为土层，上方为地下车库机动车坡道和弱电机房。门诊楼负二层放疗中心平面布置示意图见附图 3。

5、于手术物资楼二层术中放疗室内配备 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器（电子线能量：6、9、12MeV），用于全身肿瘤术中放射治疗。术中放疗室东侧为控制室、电梯和污洗间，南侧为走廊，西侧为手术室，北侧为污物通道、标本间和污洗间，下方为去污区，上方为复合手术室 2 及控制室。手术物资楼二层平面布置示意图见附图 6。

6、于手术物资楼三层 DSA 手术室内配备 1 台 DSA（型号未定，单球管，最大管电压  $\leq 125\text{kV}$ ，最大管电流  $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展医疗诊断和介入治疗。DSA 手术室东侧为控制室和污物通道，南侧为缓冲间，西侧为设备间和楼梯间，北侧临空，下方为卫生间、缓冲间和卫生通过间，上方为医生办公室。

7、于手术物资楼三层复合手术室 1 和复合手术室 2 内各配备 1 台 DSA（型号未定，单球管，最大管电压  $\leq 125\text{kV}$ ，最大管电流  $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展医疗诊断和介入治疗。医院拟配置 1 台 CT（型号未定，最大管电压  $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流  $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展术前患者成像和术后影像评估，存放于设备间，使用时通过滑轨移动至复合手术室 1 或复合手术室 2 内 DSA 检查床进行扫描，不与同室的 DSA 设备同时出束。复合手术室 1 和复合手术室 2 相邻而建，共用设备间位于 2 座手术室中间，2 座复合手术室东侧、西侧均为控制室，南侧为洁净通道，西侧为控制室，北侧为污物通道，上方为手术麻醉科室，下方为手术室和术中放疗室。

8、于手术物资楼三层 CT 室内配备 1 台 CT（型号未定，最大管电压  $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流  $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展医疗诊断。CT 室东侧、西侧均为控制室，南侧为缓冲间，北侧为污物通道，上方为手术护理部办公室和资料室，下方为卫生通过间。

手术物资楼三层平面布置示意图见附图 7。

本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除西至百子亭（距放疗中心最近约 3m）和院外停车场（距放疗中心最近约 23m）、北至洞庭路（距手术物资楼辐射机房最近约 8m）和院外绿化（距手术物资楼辐射机房最近约 30m）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外百子亭、停车场、洞庭路、绿化处其他公众等。

### 三、原有核技术利用项目许可情况

江苏省肿瘤医院持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证[01290]），有效期至：2026 年 6 月 6 日，许可种类和范围为“使用 III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”。医院辐射安全许可证正副本见附件 4，现有核技术利用项目情况见附件 5。

医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。

### 四、实践正当性分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊断和治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，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。

表 2 放射源

| 序号 | 核素名称             | 总活度 (Bq) /<br>活度 (Bq) × 枚数 | 类别            | 活度种类 | 用途   | 使用场所                     | 贮存方式与地点                        | 备注                          |
|----|------------------|----------------------------|---------------|------|------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1  | <sup>60</sup> Co | 8.88E+14 (共 18 枚)          | 医用 I 类<br>集聚源 | 使用   | 放射治疗 | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>3#放疗机房 | 随机器存放于多模式<br>一体化放射治疗系统<br>屏蔽体内 | 使用年限约 6~8 年,<br>半衰期为 5.27 年 |
| /  | /                | /                          | /             | /    | /    | /                        | /                              | /                           |
|    |                  |                            |               |      |      |                          |                                |                             |
|    |                  |                            |               |      |      |                          |                                |                             |

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

| 序号 | 核素名称 | 理化性质 | 活动种类 | 实际日最大<br>操作量 (Bq) | 日等效最大操<br>作量 (Bq) | 年最大用量<br>(Bq) | 用途 | 操作方式 | 使用场所 | 贮存方式与地点 |
|----|------|------|------|-------------------|-------------------|---------------|----|------|------|---------|
| /  | /    | /    | /    | /                 | /                 | /             | /  | /    | /    | /       |
|    |      |      |      |                   |                   |               |    |      |      |         |
|    |      |      |      |                   |                   |               |    |      |      |         |
|    |      |      |      |                   |                   |               |    |      |      |         |

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 名称                   | 类别  | 数量  | 型号                 | 加速<br>粒子 | 最大能量 (MeV)          | 额定电流 (mA) /<br>剂量率 (Gy/h)       | 用途   | 工作场所                     | 备注                       |
|----|----------------------|-----|-----|--------------------|----------|---------------------|---------------------------------|------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | MR 直线<br>加速器         | II类 | 1 台 | 型号未定               | 电子       | X 射线：≤7.2MV         | X 线最高剂量率：<br>700cGy/min         | 放射治疗 | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>1#放疗机房 | /                        |
| 2  | 射波刀                  | II类 | 1 台 | 型号未定               | 电子       | X 射线：≤6MV           | 0.8m 处 X 线最高剂<br>量率：1050cGy/min | 放射治疗 | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>2#放疗机房 | /                        |
| 3  | 多模式一体<br>化放射治疗<br>系统 | II类 | 1 台 | Taichi Pro 型       | 电子       | X 射线：6MV            | X 射线最高剂量率：<br>1400cGy/min       | 放射治疗 | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>3#放疗机房 | 自带 CBCT<br>(150kV/64mA)  |
| 4  | 医用直线<br>加速器          | II类 | 1 台 | Ethos 型            | 电子       | X 射线：6MV            | X 线最高剂量率：<br>800cGy/min         | 放射治疗 | 门诊楼负二层<br>放疗中心<br>4#放疗机房 | 自带 CBCT<br>(140kV/630mA) |
| 5  | 术中加速器                | II类 | 1 台 | Mobetron<br>2000 型 | 电子       | 电子线能量：6、9、<br>12MeV | 电子线：300cGy/min                  | 放射治疗 | 手术物资楼二层<br>术中放疗室         | /                        |
| /  | /                    | /   | /   | /                  | /        | /                   | /                               | /    | /                        | /                        |
|    |                      |     |     |                    |          |                     |                                 |      |                          |                          |
|    |                      |     |     |                    |          |                     |                                 |      |                          |                          |
|    |                      |     |     |                    |          |                     |                                 |      |                          |                          |

(二) X射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序号 | 名称  | 类别   | 数量 | 型号   | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 用途            | 工作场所                 | 备注                            |
|----|-----|------|----|------|------------|------------|---------------|----------------------|-------------------------------|
| 1  | DSA | II类  | 1台 | 型号未定 | ≤125       | ≤1000      | 医用诊断/<br>介入治疗 | 手术物资楼三层<br>DSA 手术室   | 单球管                           |
| 2  | DSA | II类  | 1台 | 型号未定 | ≤125       | ≤1000      | 医用诊断/<br>介入治疗 | 手术物资楼三层<br>复合手术室 1   | 单球管                           |
| 3  | DSA | II类  | 1台 | 型号未定 | ≤125       | ≤1000      | 医用诊断/<br>介入治疗 | 手术物资楼三层<br>复合手术室 2   | 单球管                           |
| 4  | CT  | III类 | 1台 | 型号未定 | ≤140       | ≤1000      | 医用诊断          | 手术物资楼三层<br>复合手术室 1、2 | 滑轨 CT, 可移动, 不与复合手术室内 DSA 同时出束 |
| 5  | CT  | III类 | 1台 | 型号未定 | ≤140       | ≤1000      | 医用诊断          | 手术物资楼三层<br>CT 室      | /                             |
| /  | /   | /    | /  | /    | /          | /          | /             | /                    | /                             |
|    |     |      |    |      |            |            |               |                      |                               |

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

| 序号 | 名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压 (kV) | 最大靶电流 (μA) | 中子强度 (n/s) | 用途 | 工作场所 | 氚靶情况    |      |    | 备注 |
|----|----|----|----|----|------------|------------|------------|----|------|---------|------|----|----|
|    |    |    |    |    |            |            |            |    |      | 活度 (Bq) | 贮存方式 | 数量 |    |
| /  | /  | /  | /  | /  | /          | /          | /          | /  | /    | /       | /    | /  | /  |
|    |    |    |    |    |            |            |            |    |      |         |      |    |    |

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称                           | 状态 | 核素名称             | 活度   | 月排放量   | 年排放总量   | 排放口浓度 | 暂存情况               | 最终去向                               |
|------------------------------|----|------------------|--|--------|---------|-------|--------------------|------------------------------------|
| 退役放射源                        | 固体 | $^{60}\text{Co}$ | 使用约 6~8 年后退役，共 18 枚，退役时总活度约为 $4.03\text{E}+14 \text{ Bq}$ （6 年后）<br>$\sim 3.10\text{E}+14\text{Bq}$ （8 年后） | /      | /       | /     | 暂存在多模式一体化放射治疗系统设备内 | 退役放射源送生产厂家回收处理。                    |
| DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物 | 固体 | /                | /  | 约 56kg | 约 675kg | /     | 暂存在机房内的废物桶         | 手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。  |
| 臭氧、氮氧化物                      | 气态 | /                | /  | 少量     | 少量      | /     | 不暂存                | 通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。 |
| /                            | /  | /                | /  | /      | /       | /     | /                  | /                                  |
|                              |    |                  |  |        |         |       |                    |                                    |
|                              |    |                  |  |        |         |       |                    |                                    |
|                              |    |                  |  |        |         |       |                    |                                    |
|                              |    |                  |  |        |         |       |                    |                                    |

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

|          |   |
|----------|---|
| 法规<br>文件 | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过，2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，中华人民共和国主席令 第九号，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》，中华人民共和国主席令 第七十七号，2002年10月28日发布，根据2016年7月2日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议《关于修改〈中华人民共和国节约能源法〉等六部法律的决定》第一次修正，根据2018年12月29日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》第二次修正；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《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 第709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令 第253号，1998年11月29日发布，根据2017年7月16日《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（中华人民共和国国务院令 第682号）修订，2017年10月1日起施行；</p> <p>(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），生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《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；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，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；</p> |
|----------|---|

|                  |  |
|------------------|--|
|                  | <p>(10) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年 第 62 号，2005 年 12 月 23 日起施行；</p> <p>(11) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第 2 号公告，2018 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(12) 《关于发布&lt;建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法&gt;配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 38 号，2019 年 10 月 25 日发布；</p> <p>(13) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 39 号，2019 年 10 月 25 日发布；</p> <p>(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》，生态环境部公告 2019 年 第 57 号，2019 年 12 月 24 日发布；</p> <p>(15) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(16) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版），苏政办函〔2020〕26 号，2020 年 2 月 19 日发布；</p> <p>(17) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号，2021 年 5 月 28 日发布；</p> <p>(18) 《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2025〕1 号，2025 年 9 月 21 日起施行；</p> <p>(19) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日发布；</p> <p>(20) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日发布；</p> <p>(21) 《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49 号，2020 年 6 月 21 日发布；</p> <p>(22) 《市政府办公厅关于印发南京市突发环境事件应急预案等 4 个应急预案的通知》，宁政办发〔2024〕24 号，2024 年 5 月 7 日发布。</p> |
| <p>技术<br/>标准</p> | <p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标</p>   |

|    |   |
|----|---|
|    | <p>准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）；</p> <p>（3）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>（4）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>（5）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>（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）；</p> <p>（7）《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）；</p> <p>（8）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：<math>\gamma</math>射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；</p> <p>（9）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>（10）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>（11）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（12）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>（13）《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。</p> |
| 其他 | <p>附图：</p> <p>（1）江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目地理位置示意图；</p> <p>（2）江苏省肿瘤医院院区平面布置及周围环境示意图；</p> <p>（3）江苏省肿瘤医院门诊楼负二层放疗中心平面布置及分区示意图；</p> <p>（4）江苏省肿瘤医院门诊楼负一层平面布置示意图；</p> <p>（5）江苏省肿瘤医院手术物资楼一层平面布置示意图；</p> <p>（6）江苏省肿瘤医院手术物资楼二层术中放疗室平面布置及分区示意图；</p> <p>（7）江苏省肿瘤医院手术物资楼三层射线装置机房平面布置及分区示意图；</p> <p>（8）江苏省肿瘤医院手术物资楼四层平面布置示意图；</p> <p>（9）江苏省肿瘤医院门诊楼负二层放疗中心放疗机房通风管道布设示意图；</p>   |

(10) 江苏省肿瘤医院门诊楼放疗中心放疗机房通风管道排风口布设示意图。

附件：

- (1) 项目委托书；
- (2) 放射源和射线装置使用承诺书；
- (3) 退役源处置承诺书；
- (4) 辐射安全许可证正副本；
- (5) 原有核技术利用项目基本情况一览表；
- (6) 辐射工作场所屏蔽设计情况；
- (7) 术中加速器相关技术文献；
- (8) 《江苏省肿瘤医院改扩建工程建设项目环境影响报告书》部分内容及其批复文件；
- (9) 本项目辐射环境现状监测报告；
- (10) 本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书；
- (11) 本项目辐射工作场所设计图。

表 7 保护目标与评价标准

### 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次扩建放射诊疗项目工作场所实体屏蔽体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

### 保护目标

本次扩建放射诊疗项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区；不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）要求，本项目建设址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元（详见附件 10）；本项目为核技术利用项目，根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本次扩建放射诊疗项目主要考虑使用放射源和射线装置开展放射诊断和治疗工作过程中可能对周围环境产生的辐射影响。本项目周围 50m 评价范围除西至百子亭（距放疗中心最近约 3m）和院外停车场（距放疗中心最近约 23m）、北至洞庭路（距手术物资楼辐射机房最近约 8m）和院外绿化（距手术物资楼辐射机房最近约 30m）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外百子亭、停车场、洞庭路、绿化处其他公众等。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

| 项目         | 序号       | 环境保护目标        |           | 方位          | 最近距离  | 保护对象类别 | 人口规模 | 剂量约束值要求          |
|------------|----------|---------------|-----------|-------------|-------|--------|------|------------------|
| 门诊楼负二层放疗中心 | 1        | 门诊楼负二层        | 技师、物理师    | 治疗室和机房东侧控制室 | 紧邻    | 辐射工作人员 |      | 5mSv/a<br>(职业人员) |
|            | 2        | 门诊楼负二层        | 其他医务人员    | 放疗机房四周      | 约 12m | 公众     |      | 0.1mSv/a<br>(公众) |
|            |          |               | 其他患者、周围公众 |             |       |        |      |                  |
|            |          | 门诊楼负一层        | 其他医务人员    | 放疗机房四周      | 约 5m  | 公众     |      |                  |
|            |          |               | 其他患者、周围公众 |             |       |        |      |                  |
|            |          |               | 周围公众      |             |       |        |      |                  |
|            | 门诊楼一层~六层 | 其他医务人员        | 放疗机房上方    | 约 9m        | 公众    |        |      |                  |
|            |          | 其他患者、周围公众     |           |             |       |        |      |                  |
|            | 3        | 2号楼(病房楼)      | 其他医务人员    | 东侧          | 约 45m | 公众     |      |                  |
|            |          |               | 其他患者、周围公众 |             |       |        |      |                  |
|            | 4        | 1号楼(手术中心、病房楼) | 其他医务人员    | 东侧          | 约 49m | 公众     |      |                  |
|            |          |               | 其他患者、周围公众 |             |       |        |      |                  |
|            | 5        | 4号楼(门诊楼)      | 其他医务人员    | 南侧          | 约 9m  | 公众     |      |                  |
| 其他患者、周围公众  |          |               |           |             |       |        |      |                  |
| 6          | 百子亭      |               | 西侧        | 约 3m        | 公众    |        |      |                  |
| 7          | 院外停车场    |               | 西侧        | 约 23m       | 公众    |        |      |                  |
| 8          | 科研教学楼    | 工作人员          | 北侧        | 约 12m       | 公众    |        |      |                  |
|            |          | 周围公众          |           |             |       |        |      |                  |
| 9          | 院内道路、停车场 |               | 四周        | 约 3m        | 公众    |        |      |                  |
| 手术物资楼      | 1        | 手术物资楼二层术中放疗室  | 操作技师      | 控制室         | 紧邻    | 辐射工作人员 |      | 5mSv/a<br>(职业人员) |
|            | 2        | 手术物资楼         | 操作技师      | 控制室         | 紧邻    | 辐射工    |      |                  |

|             |                           |            |       |      |       |            |                  |  |
|-------------|---------------------------|------------|-------|------|-------|------------|------------------|--|
|             |                           | 三层 DSA 手术室 | 医师、护士 | 机房内  | /     | 作人员        |                  |  |
| 3           | 手术物资楼<br>三层复合手<br>术室 1、2  | 操作技师       |       | 控制室  | 紧邻    | 辐射工<br>作人员 | 0.1mSv/a<br>(公众) |  |
|             |                           | 医师、护士      |       | 机房内  | /     |            |                  |  |
| 4           | 手术物资楼<br>三层 CT 室          | 操作技师       |       | 控制室  | 紧邻    | 辐射工<br>作人员 |                  |  |
| 5           | 手术物资楼<br>二层、三层            | 其他医务人员     |       | 机房四周 | 紧邻    | 公众         |                  |  |
|             |                           | 其他患者、周围公众  |       |      |       |            |                  |  |
|             | 手术物资楼<br>一层               | 工作人员       |       | 机房下方 | 约 3m  | 公众         |                  |  |
| 周围公众        |                           |            |       |      |       |            |                  |  |
| 手术物资楼<br>四层 | 工作人员                      |            | 机房上方  | 约 2m | 公众    |            |                  |  |
|             | 周围公众                      |            |       |      |       |            |                  |  |
| 6           | 11 号楼 (CT<br>室、核磁共<br>振室) | 其他医务人员     |       | 东侧   | 约 21m | 公众         |                  |  |
|             |                           | 其他患者、周围公众  |       |      |       |            |                  |  |
| 7           | 10 号楼 (后勤保障楼)             |            |       | 东南侧  | 约 28m | 公众         |                  |  |
| 8           | 1 号楼<br>(手术中<br>心、病房楼)    | 其他医务人员     |       | 南侧   | 约 10m | 公众         |                  |  |
|             |                           | 其他患者、周围公众  |       |      |       |            |                  |  |
| 9           | 科研教学楼                     | 工作人员       |       | 西侧   | 约 33m | 公众         |                  |  |
|             |                           | 周围公众       |       |      |       |            |                  |  |
| 10          | 百子亭 42 号民国建筑群             |            |       | 西侧   | 约 21m | 公众         |                  |  |
| 11          | 洞庭路                       |            |       | 北侧   | 约 8m  | 公众         |                  |  |
| 12          | 院外绿化                      |            |       | 北侧   | 约 30m | 公众         |                  |  |
| 13          | 院内道路                      |            |       | 四周   | 约 4m  | 公众         |                  |  |

## 评价标准

### 一、工作人员职业照射和公众照射剂量限值：

本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中个人剂量限值，见表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

| 对象           | 要求  |
|--------------|---|
| 职业照射<br>剂量限值 | 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：<br>①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv；<br>②任何一年中的有效剂量，50mSv；<br>③眼晶体的年当量剂量，150mSv；<br>④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。 |
| 公众照射<br>剂量限值 | 实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值：<br>①年有效剂量，1mSv；<br>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。                               |

二、剂量约束值：

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，确定本项目剂量约束值为：职业照射的剂量约束值为 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

三、放疗机房关注点处的周围剂量当量率参考控制水平：

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关规定及本项目 1#~4#放疗机房、术中放疗室内设备周开机或出源治疗时间，估算得到各放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平  $H_c$ ，见表 7-3。

表 7-3 放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平

| 参考点 <sup>1)</sup> |               | 居留因子<br>$T^{2)}$ | 使用因子<br>$U^{3)}$ | 周剂量控制值<br>( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ) | 周工作时间 (h)<br><sup>4)、5)</sup> | 剂量率参考控制水平<br>( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) <sup>6)</sup> |             |       |             |
|-------------------|---------------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--|-------------|-------|-------------|
|                   |               |                  |                  |                                       |                               | $H_{c,d}$  | $H_{c,max}$ | $H_c$ |             |
| 一#放疗机房            | 北墙 (a 点)      | 2#放疗机房           | 1/2              | 1/4                                   | 100                           | 30   | 26.7        | 10    | <b>10</b>   |
|                   | 屋顶 (l 点)      | 停车场坡道            | 1/40             | 1/4                                   | 5                             | 30   | 26.7        | 10    | <b>10</b>   |
|                   | 迷路墙外 (f 点)    | 控制室              | 1                | 1                                     | 100                           | 30   | 3.33        | 2.5   | <b>2.5</b>  |
|                   | 迷路外墙 (k 点)    | 辅助机房             | 1/16             | 1                                     | 5                             | 30   | 2.67        | 10    | <b>2.67</b> |
|                   | 迷路入口防护门 (g 点) |                  |                  | 1/8                                   | 1                             | 5  | 30          | 1.33  | 10          |

|        |                |           |      |      |      |       |       |      |             |             |
|--------|----------------|-----------|------|------|------|-------|-------|------|-------------|-------------|
| 2#放疗机房 | 北墙 (a 点)       | 3#放疗机房    | 1/2  | 1/20 | 100  | 50    | 80    | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 东墙 (b 点)       | 控制室       | 1    | 1/20 | 100  | 50    | 40    | 2.5  | <b>2.5</b>  |             |
|        | 东墙 (c 点)       | 设备间       | 1/16 | 1/20 | 5    | 50    | 32    | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 南墙 (d 点)       | 1#放疗机房    | 1/2  | 1/20 | 100  | 50    | 80    | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 屋顶 (l 点)       | 停车场坡道     | 1/40 | 1/20 | 5    | 50    | 80    | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 迷路入口防护门 (g 点)  |           |      | 1/8  | 1/20 | 5     | 50    | 16   | 10          | <b>10</b>   |
| 3#放疗机房 | 南墙 (a 点)       | 2#放疗机房    | 1/2  | 1    | 100  | 18.33 | 10.9  | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 北墙 (b 点)       | 4#放疗机房    | 1/2  | 1    | 100  | 18.33 | 10.9  | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 屋顶 (l 点)       | 停车场坡道     | 1/40 | 1    | 5    | 18.33 | 10.9  | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 迷路墙外 (f 点)     | 控制室       | 1    | 1    | 100  | 18.33 | 5.45  | 2.5  | <b>2.5</b>  |             |
|        | 迷路外墙 (k 点)     | 设备间       | 1/16 | 1    | 5    | 18.33 | 4.36  | 10   | <b>4.36</b> |             |
|        | 迷路入口防护门 (g 点)  |           |      | 1/8  | 1    | 5     | 18.33 | 2.18 | 10          | <b>2.18</b> |
| 4#放疗机房 | 北墙 (a 点)       | 烧伤病房 (战时) | 1/2  | 1/4  | 100  | 30    | 26.7  | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 南墙 (b 点)       | 3#放疗机房    | 1/2  | 1/4  | 100  | 30    | 26.7  | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 屋顶 (l 点)       | 停车场坡道     | 1/40 | 1/4  | 5    | 30    | 26.7  | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 迷路墙外 (f 点)     | 控制室       | 1    | 1    | 100  | 30    | 3.33  | 2.5  | <b>2.5</b>  |             |
|        | 迷路外墙 (k 点)     | 设备间       | 1/16 | 1    | 5    | 30    | 2.67  | 10   | <b>2.67</b> |             |
|        | 迷路入口防护门 (g 点)  |           |      | 1/8  | 1    | 5     | 30    | 1.33 | 10          | <b>1.33</b> |
| 术中放疗室  | 1#-东墙外30cm处    | 污洗间       | 1/16 | 1    | 5    | 1.11  | 72    | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 2#-东墙外30cm处    | 缓冲间/电梯    | 1/16 | 1    | 5    | 1.11  | 72    | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 3#-东墙外30cm处    | 控制室       | 1    | 1    | 100  | 1.11  | 90    | 2.5  | <b>2.5</b>  |             |
|        | 4#-东侧防护门外30cm处 |           |      | 1/8  | 1    | 100   | 1.11  | 720  | 10          | <b>10</b>   |
|        | 5#-南墙外30cm处    | 临空        | /    | 1    | 5    | 1.11  | /     | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 6#-南侧防护门外30cm处 |           |      | 1/16 | 1    | 5     | 1.11  | 72   | 10          | <b>10</b>   |
|        | 7#-西墙外30cm处    | 手术室       | 1/16 | 1    | 5    | 1.11  | 72    | 10   | <b>10</b>   |             |
|        | 8#-北侧防护门外30cm处 |           |      | 1/16 | 1    | 5     | 1.11  | 72   | 10          | <b>10</b>   |

|             |               |      |   |   |      |    |    |           |
|-------------|---------------|------|---|---|------|----|----|-----------|
| 9#-北墙外30cm处 | 标本间           | 1/16 | 1 | 5 | 1.11 | 72 | 10 | <b>10</b> |
| 10#-下方      | 去污区           | 1/16 | 1 | 5 | 1.11 | 72 | 10 | <b>10</b> |
| 11#-上方      | 复合手术室<br>(三层) | 1/16 | 1 | 5 | 1.11 | 72 | 10 | <b>10</b> |
| 12#-上方      | 办公室(四层)       | 1/16 | 1 | 5 | 1.11 | 72 | 10 | <b>10</b> |

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中相关规定,距 DSA 机房和 CT 机房墙体、门、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方(楼上)距顶棚地面 100cm 处、地面下方(楼下)距楼下地面 170cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5 $\mu$ Sv/h。

#### 四、辐射环境质量现状检测评价参考值

根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(辐射防护 第 13 卷第 2 期,1993 年 3 月,江苏省环境监测站)确定本项目建设址的辐射环境质量现状检测评价参考值,见表 7-4。

表 7-4 江苏省全省环境天然 $\gamma$ 辐射水平调查结果 (单位: nGy/h)

|         | 原野剂量率     | 道路剂量率      | 室内剂量率      |
|---------|-----------|------------|------------|
| 测值范围    | 33.1~72.6 | 18.1~102.3 | 50.7~129.4 |
| 均值      | 50.4      | 47.1       | 89.2       |
| 标准差 (s) | 7.0       | 12.3       | 14.0       |

注: 测量值已扣除宇宙射线响应值, 现状评价时, 取测值范围数值: 即原野为 (33.1~72.6) nGy/h; 道路为 (18.1~102.3) nGy/h; 室内为 (50.7~129.4) nGy/h。

#### 五、参考资料:

- (一) 《辐射防护导论》, 方杰主编。
- (二) 《辐射防护手册 (第一分册) 》, 李德平、潘自强主编。

表 8 环境质量和辐射现状

## 环境质量和辐射现状

### 一、项目位置、布局和周边环境

江苏省肿瘤医院位于江苏省南京市玄武区百子亭 42 号，医院东侧为昆仑路，南侧为百子亭后小区（居民区）和江苏凤凰新华书店集团有限公司地块，西侧为百子亭，北侧为洞庭路。

本次扩建放射诊疗项目位于门诊楼负二层和手术物资楼二层、三层。门诊楼为地上六层、地下二层建筑，门诊楼东侧为院内道路和 2 号楼（病房楼），南侧为 4 号楼（门诊楼），西侧为院内道路、地下车库入口和百子亭，北侧为院内道路、室外停车场和科研教学楼；手术物资楼为地上四层建筑，手术物资楼东侧为院内道路、11 号楼（CT 室、核磁共振室）和 10 号楼（后勤保障楼），南侧为院内道路和 1 号楼（手术中心、病房楼），西侧为院内道路、百子亭 42 号民国建筑群和科研教学楼，北侧为院内道路和洞庭路。

本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除西至百子亭（距放疗中心最近约 3m）和院外停车场（距放疗中心最近约 23m）、北至洞庭路（距手术物资楼辐射机房最近约 8m）和院外绿化（距手术物资楼辐射机房最近约 30m）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外百子亭、停车场、洞庭路、绿化处其他公众等。本项目拟建址周边环境见图 8-1 至图 8-7。

图 8-1 门诊楼

图 8-2 手术物资楼

图 8-3 1 号楼

图 8-4 10 号楼、11 号楼

图 8-5 4 号楼

图 8-6 6 号楼

图 8-7 院区北侧

## 二、辐射环境现状调查

根据《环境 $\gamma$ 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）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本项目拟建址周围进行布点，测量 $\gamma$ 辐射剂量率。监测结果见表 8-1 至表 8-4，监测点位示意图见图 8-8 至图 8-11。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目： $\gamma$ 辐射剂量率

监测日期：2025 年 7 月 29 日

天气：多云

温度：33℃

湿度：73%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过检验检测机构资质认定（证书编号：22102034350，检测资质见附件 9），具备相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

数据记录及处理： $\gamma$ 空气吸收剂量率：开机预热，手持仪器或将仪器固定在三脚架上。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 10 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并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20Sv/Gy。

评价方法：参照江苏省天然 $\gamma$ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

检测仪器：6150 AD 6/H+6150AD-b/H 型 X- $\gamma$ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2024 年 10 月 28 日~2025 年 10 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2024-0107802）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 $\mu$ Sv/h

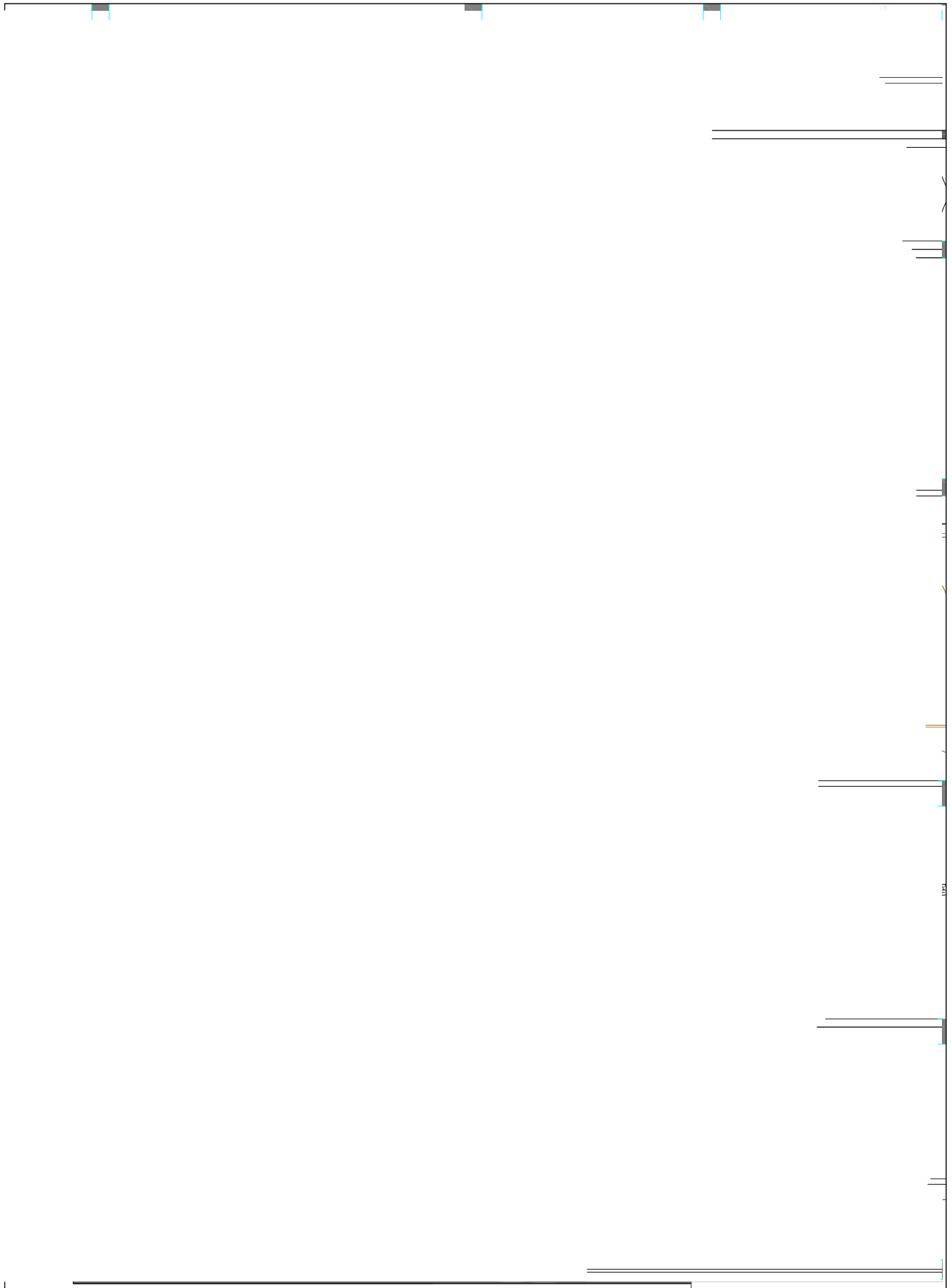


图 8-8 门诊楼负二层放疗中心周围环境监测点位示意图

表 8-1 门诊楼负二层放疗中心周围环境 $\gamma$ 辐射水平

| 测点编号 | 测点描述     | 测量结果<br>(nGy/h) | 标准差 | 备注 |
|------|----------|-----------------|-----|----|
| 1    | 1#放疗机房内  | 65              | 2   | 楼房 |
| 2    | 1#放疗机房东侧 | 66              | 2   | 楼房 |
| 3    | 2#放疗机房内  | 64              | 3   | 楼房 |
| 4    | 2#放疗机房东侧 | 62              | 2   | 楼房 |
| 5    | 3#放疗机房内  | 63              | 2   | 楼房 |
| 6    | 3#放疗机房东侧 | 66              | 3   | 楼房 |
| 7    | 4#放疗机房内  | 69              | 3   | 楼房 |
| 8    | 4#放疗机房东侧 | 70              | 3   | 楼房 |
| 9    | 5#放疗机房北侧 | 67              | 2   | 楼房 |
| 10   | 1#放疗机房上方 | 64              | 2   | 道路 |
| 11   | 2#放疗机房上方 | 61              | 2   | 道路 |
| 12   | 3#放疗机房上方 | 61              | 2   | 道路 |
| 13   | 4#放疗机房上方 | 60              | 3   | 道路 |

注：1、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f\bar{X} - \mu_c X_c')$ 计算，其中， $C_f$ 为仪器量程检定/校准因子，本项目为 1.02； $E_f$ 为仪器检验源效率因子； $\bar{X}$ 为现场监测时仪器  $n$  次读数的平均值； $\mu_c$ 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1； $X_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为 25nGy/h；

2、检测期间，毗邻场所无放射设备运行；

3、检测点位见图 8-8。

表 8-2 手术物资楼二层术中放疗室周围环境 $\gamma$ 辐射水平

| 测点编号 | 测点描述        | 测量结果<br>(nGy/h) | 标准差 | 备注 |
|------|-------------|-----------------|-----|----|
| 1    | 术中放疗室内      | 74              | 2   | 楼房 |
| 2    | 术中放疗室东侧控制室内 | 78              | 2   | 楼房 |
| 3    | 术中放疗室南侧洁净通道 | 79              | 2   | 楼房 |
| 4    | 术中放疗室西侧手术室内 | 76              | 2   | 楼房 |

|   |             |    |   |    |
|---|-------------|----|---|----|
| 5 | 术中放疗室北侧污物通道 | 79 | 2 | 楼房 |
| 6 | 术中放疗室东侧缓冲间  | 73 | 2 | 楼房 |
| 7 | 术中放疗室下方     | 79 | 2 | 楼房 |

注：1、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f\bar{X} - \mu_c X_c')$ 计算，其中， $C_f$ 为仪器量程检定/校准因子，本项目为 1.02； $E_f$ 为仪器检验源效率因子； $\bar{X}$ 为现场监测时仪器  $n$  次读数的平均值； $\mu_c$ 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1； $X_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为 25nGy/h；

2、检测期间，毗邻场所无放射设备运行；

3、检测点位见图 8-9。

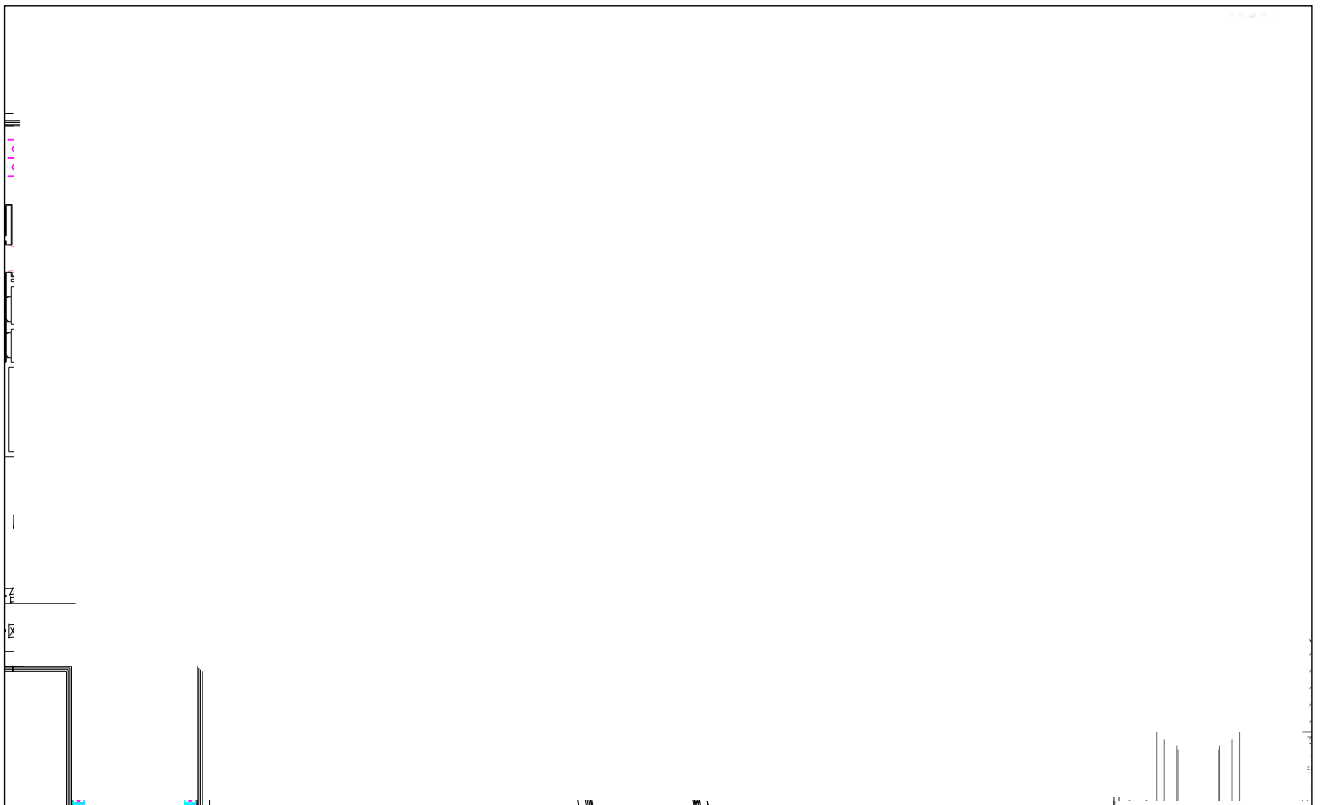


图 8-9 手术物资楼二层术中放疗室周围环境监测点位示意图

表 8-3 手术物资楼三层射线装置机房周围环境 $\gamma$ 辐射水平

| 测点编号 | 测点描述          | 测量结果<br>(nGy/h) | 标准差 | 备注 |
|------|---------------|-----------------|-----|----|
| 1    | DSA 手术室内      | 75              | 2   | 楼房 |
| 2    | DSA 手术室东侧控制室内 | 72              | 3   | 楼房 |
| 3    | DSA 手术室南侧缓冲间  | 71              | 2   | 楼房 |
| 4    | DSA 手术室西侧设备间内 | 75              | 2   | 楼房 |

|    |                |    |   |    |
|----|----------------|----|---|----|
| 5  | CT 室内          | 71 | 2 | 楼房 |
| 6  | CT 室东侧控制室内     | 69 | 1 | 楼房 |
| 7  | CT 室北侧污物通道     | 70 | 2 | 楼房 |
| 8  | 复合手术室 1 内      | 72 | 3 | 楼房 |
| 9  | 复合手术室 1 设备间内   | 77 | 2 | 楼房 |
| 10 | 复合手术室 1 南侧洁净通道 | 79 | 2 | 楼房 |
| 11 | 复合手术室 1 北侧污物通道 | 79 | 1 | 楼房 |
| 12 | 复合手术室 2 内      | 80 | 2 | 楼房 |
| 13 | 复合手术室 2 东侧控制室内 | 79 | 6 | 楼房 |
| 14 | 复合手术室 2 北侧污物通道 | 75 | 2 | 楼房 |
| 15 | DSA 手术室上方      | 76 | 2 | 楼房 |
| 16 | CT 室上方         | 73 | 2 | 楼房 |
| 17 | 复合手术室 1 上方     | 76 | 2 | 楼房 |
| 18 | 复合手术室 2 上方     | 74 | 2 | 楼房 |
| 19 | DSA 手术室下方      | 71 | 2 | 楼房 |
| 20 | CT 室下方         | 75 | 2 | 楼房 |

注：1、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f\bar{X} - \mu_c X_c')$ 计算，其中， $C_f$ 为仪器量程检定/校准因子，本项目为 1.02； $E_f$ 为仪器检验源效率因子； $\bar{X}$ 为现场监测时仪器  $n$  次读数的平均值； $\mu_c$ 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1； $X_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为 25nGy/h；

2、检测期间，毗邻场所无放射设备运行；

3、检测点位见图 8-10。

表 8-4 扩建放射诊疗项目周围环境 $\gamma$ 辐射水平

| 测点编号 | 测点描述     | 测量结果<br>(nGy/h) | 标准差 | 备注 |
|------|----------|-----------------|-----|----|
| 1    | 11 号楼西侧  | 53              | 3   | 道路 |
| 2    | 10 号楼西北侧 | 49              | 3   | 道路 |
| 3    | 1 号楼北侧   | 42              | 3   | 道路 |

|   |               |    |   |    |
|---|---------------|----|---|----|
| 4 | 4号楼北侧         | 51 | 2 | 道路 |
| 5 | 百子亭42号民国建筑群北侧 | 39 | 3 | 道路 |
| 6 | 洞庭路           | 37 | 2 | 道路 |
| 7 | 百子亭           | 64 | 5 | 道路 |

注：1、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f\bar{X} - \mu_c X_c')$ 计算，其中， $C_f$ 为仪器量程检定/校准因子，本项目为1.02； $E_f$ 为仪器检验源效率因子； $\bar{X}$ 为现场监测时仪器 $n$ 次读数的平均值； $\mu_c$ 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为0.8，平房取值为0.9，原野、道路取值为1； $X_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为25nGy/h；

2、检测期间，毗邻场所无放射设备运行；

3、检测点位见图8-11。



图8-10 手术物资楼三层射线装置机房周围环境监测点位示意图

由表8-1至表8-4监测结果可知，江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目拟建址室内点位周围环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率在（62~80）nGy/h，位于江苏省建筑物室内 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7~129.4）nGy/h范围内；室外点位周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为（37~64）nGy/h，位于江苏省道路 $\gamma$ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h范围内。

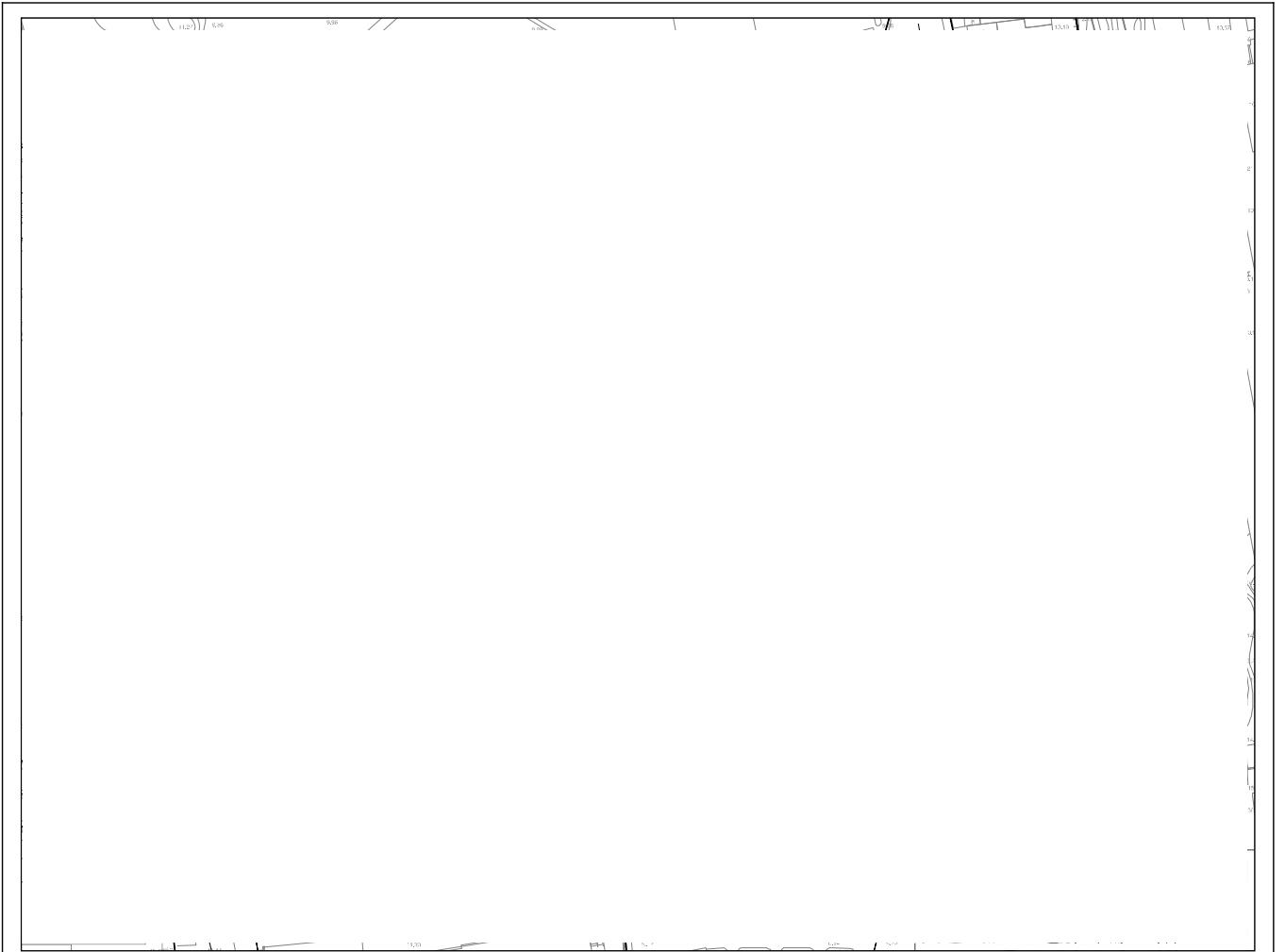


图 8-11 扩建放射诊疗项目周围环境监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

## 工程设备与工艺分析

### 一、工程设备

江苏省肿瘤医院拟在门诊楼负二层放疗中心新建 4 座放疗机房，分别配备 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器（X 射线能量：7.2MV）、1 台射波刀（X 射线能量： $\leq 6\text{MV}$ ）、1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统（兼具医用直线加速器（X 射线能量为 6MV）治疗、伽玛刀（内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能）和 1 台 Ethos 型直线加速器（X 射线能量：6MV；自带 CBCT（最大管电压为 140kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能）；拟在手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室并配备 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器（电子线能量：6、9、12MeV）；拟在手术物资楼三层新建 4 座射线装置机房，配备 3 台 DSA（管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ）和 2 台 CT（管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ）。

#### 1、MR 直线加速器

江苏省肿瘤医院拟于门诊楼负二层放疗中心 1#放疗机房内配备 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器（X 射线能量：7.2MV），用于肿瘤的放射治疗。Elekta Unity 型 MR 直线加速器外观见图 9-1。



图 9-1 Elekta Unity 型 MR 直线加速器外观图

MR 直线加速器中的直线加速器部分，与普通医用电子直线加速器相似。直线加速器部分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。

医院拟引进 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器，有用线束朝北墙、南墙、顶部和地面照射，其主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 Elekta Unity 型 MR 直线加速器技术参数情况一览表

| 项目名称          |               | 技术参数*             |
|---------------|---------------|-------------------|
| 型号            |               | Elekta Unity 型    |
| 位置            |               | 门诊楼负二层放疗中心 1#放疗机房 |
| 主要技术指标        |               | X 射线：7.2MV        |
| 源轴距 SAD       |               |                   |
| 等中心点至机房地坪的高度  |               |                   |
| 等中心点处 X 辐射剂量率 |               |                   |
| 最大照射野大小       |               |                   |
| 靶材料           |               |                   |
| 射束衰减器         | 参数            |                   |
|               | 主射线方向设备表面剂量率  |                   |
|               | 非主射线方向设备表面剂量率 |                   |
| 用途            |               | 放射治疗              |

注：本项目 Elekta Unity 型 MR 直线加速器设备参数由建设单位及供货商提供。

## 2、射波刀

江苏省肿瘤医院拟于门诊楼负二层放疗中心 2#放疗机房内配备 1 台射波刀(型号

未定，X 射线能量 $\leq 6\text{MV}$ ），用于肿瘤的放射治疗。常见的射波刀外观见图 9-2。



图 9-2 常见的射波刀外观图

射波刀包括以下部分：

(1) 直线加速器 (Linear Accelerator)：射波刀使用一个紧凑型、能产生  $6\text{MVX}$  射线的轻型直线加速器，直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上。该直线加速器配有 12 个准直器，准直器直径从  $5\text{mm}$  到  $60\text{mm}$ 。

(2) 机器人机械臂 (Robot Arm)：机器人机械臂头端上安装有直线加速器，它带动直线加速器围绕患者在前、后、左、右、上、下六度空间自由转动，按照计算机预设的路线，机械臂可将直线加速器调整到最多两百余个位置（或节点），在每个节点处可以从 12 个角度投照射线，因此提供多达最多三千个方位发出射线。每到一个预设治疗点，机械臂停止运动，直线加速器对准靶区投照相应的放射剂量。

(3) 治疗床 (Treatment Table)：射波刀的治疗床也由机器人控制，可以在六度空间自由移动。

(4) 靶区定位（影像）追踪系统 (Target Localization System)：与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同，射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架，颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位（影像）追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断 X 射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成。两组 X 射线球管发出的低能 X 线相互垂直，交叉穿过头颅（或患者肿瘤的治疗部位），影像探测器获得颅骨的数字图像，并将影像资料传输到数据处理系统 (Image

Processing System, IPS), 计算机与事先 CT 扫描获得的颅骨数字重建图像 (DDR) 相比较, 首先确定颅骨的精确位置, 然后得出治疗靶目标 (病灶) 的精确位置。靶区定位追踪系统使用 4 套计算机软件, 治疗颅内病变时, 使用 6 维颅骨追踪软件; 治疗脊髓、脊柱及其周围肿瘤时, 使用 Xsight Spine (脊柱追踪软件); 治疗部分周围型肺癌时, 使用 Xsight Lung (肺部追踪软件); 治疗随呼吸运动的肿瘤时或需要埋置金标时, 使用金标追踪和呼吸追踪系统。

(5) 治疗计划系统: 治疗计划系统由计算机工作站和 Multiplan 治疗计划软件组成。患者治疗前, 先做 CT 或 MRI 定位, 将定位影像传输到计算机内。医生先勾画出计划治疗的肿瘤和重要器官, 然后设置中心点, 最后选择准直器并给出肿瘤和重要器官的剂量要求, 计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。根据治疗的需要, 医生可设计单次治疗, 也可设计分次治疗。射波刀治疗计划系统不仅具有常规的正向治疗计划, 而且还有任意形状逆向治疗计划。正向治疗计划是医生根据病灶的大小和形状, 选择相应的准直器和照射方式逐步设计出一个和病灶形状几乎一样的照射形状, 然后给出周边剂量和中心剂量。逆向治疗计划是医生先勾画出计划照射的靶区以及给出靶区和重要器官的剂量要求, 计算机自动设计一个满足设定条件的治疗计划。

(6) 呼吸追踪系统: 当治疗肺部肿瘤或受呼吸运动影响的肿瘤 (肝癌、胰腺肿瘤等) 时, 肿瘤随着患者的呼吸而上下左右运动。治疗这些体部肿瘤之前, 需要向肿瘤内或周围放置金标 (由黄金制成的, 长 5mm, 直径 0.8mm 的圆柱体称为金标), 金标放置 5-7 天后才能实施射波刀治疗。呼吸追踪是让患者穿上胸前带有发红光二极管的背心, 呼吸追踪摄像机通过捕捉二极管的运动获得肺部的呼吸运动节律, 计算机建立呼吸模型。治疗时, 通过追踪金标的位置获得肿瘤的精确位置, 同时计算机根据呼吸节律, 自动微调机器人机械臂, 让射线始终精确瞄准病灶。

(7) 计算机网络集成与控制系统: 射波刀拥有一个计算机工作站 (SGI), SGI 计算机通过网络控制机器人机械臂、控制直线加速器何时投照射线、治疗床的移动和治疗靶区位置的追踪。此外, 治疗时获得的骨骼图像与定位图像的自动比对均在 SGI 计算机掌控下自动进行。

医院拟引进 1 台射波刀, 有用线束朝四侧墙体、顶部和地面照射, 其主要技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目射波刀技术参数情况一览表

| 项目名称          | 技术参数*             |
|---------------|-------------------|
| 型号            | 型号未定              |
| 位置            | 门诊楼负二层放疗中心 2#放疗机房 |
| 主要技术指标        | X 射线：≤6MV         |
| 源轴距 SAD       |                   |
| 等中心点至机房地坪的高度  |                   |
| 等中心点处 X 辐射剂量率 |                   |
| 最大照射野大小       |                   |
| 靶材料           | 钨合金               |
| 用途            | 放射治疗              |

注：本项目射波刀型号未定，参数为建设单位招标意向及主流供货商的常用参数，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

### 3、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统

江苏省肿瘤医院拟于门诊楼负二层放疗中心 3#放疗机房内配备 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统，兼具医用直线加速器（X 射线能量：6MV，为 II 类射线装置）治疗、伽玛刀（内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA，为 III 类射线装置）图像引导功能，三种功能集成于同一个滚筒中，用于肿瘤的放射治疗。Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统外观见图 9-3。

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统兼具医用直线加速器治疗功能和伽玛刀治疗功能。同时为将病灶准确地置于放射区域，在医用直线加速器治疗模块和伽玛刀聚焦治疗模块之间，配备有 CBCT 图像引导系统模块，三种功能集成于同一个滚筒中，治疗时医用直线加速器、伽玛刀和 CBCT 不同时开机。



图 9-3 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统外观图

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统由主机系统、电气控制系统、放射治疗计划系统、射野验证系统和高压发生器组成。

#### (1) 主机系统

主机系统包含滚筒、底座、治疗床等，滚筒中安装医用直线加速器治疗头、伽玛刀聚焦治疗头和 CBCT 图像引导系统模块。主机系统结构示意图见图 9-4。



图 9-4 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统主机系统结构示意图

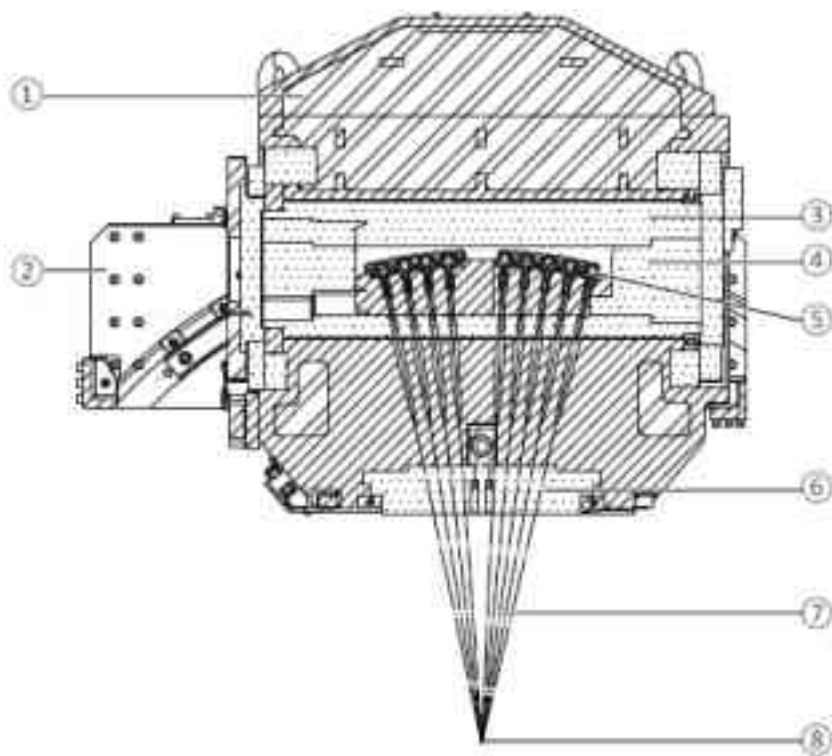
## 1.1 医用直线加速器治疗头

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、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行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 左右的真空射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 射线束，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。

## 1.2 伽玛刀聚焦治疗头

伽玛刀聚焦治疗头安装在机架的滚筒上，与滚筒进行可靠的固定连接。聚焦头主要包括箱体、钨滚筒、钴源匣、准直器、非共面组件、防碰撞组件以及相应的控制和驱动组件组成。

聚焦头内置按一定规则布置的 18 颗密封  $^{60}\text{Co}$  放射源；配套的准直体上有 7 组不同规格准直器，可形成 7 组不同大小的聚焦野，准直器可自动更换。放射源发射出的伽玛射线经钨滚筒上的预准直通道，再经准直体上的终准直通道后形成边沿锋利的窄射束，聚集于辐射野中心，并随聚焦头一起围绕机架轴线进行旋转，对辐射野中心进行旋转聚焦照射，实现聚焦放疗的作用。聚焦治疗头的结构示意图如图 9-5 所示。



①箱体 ②非共面组件 ③钨滚筒 ④钴源匣 ⑤钴源 ⑥准直体 ⑦射束 ⑧焦点

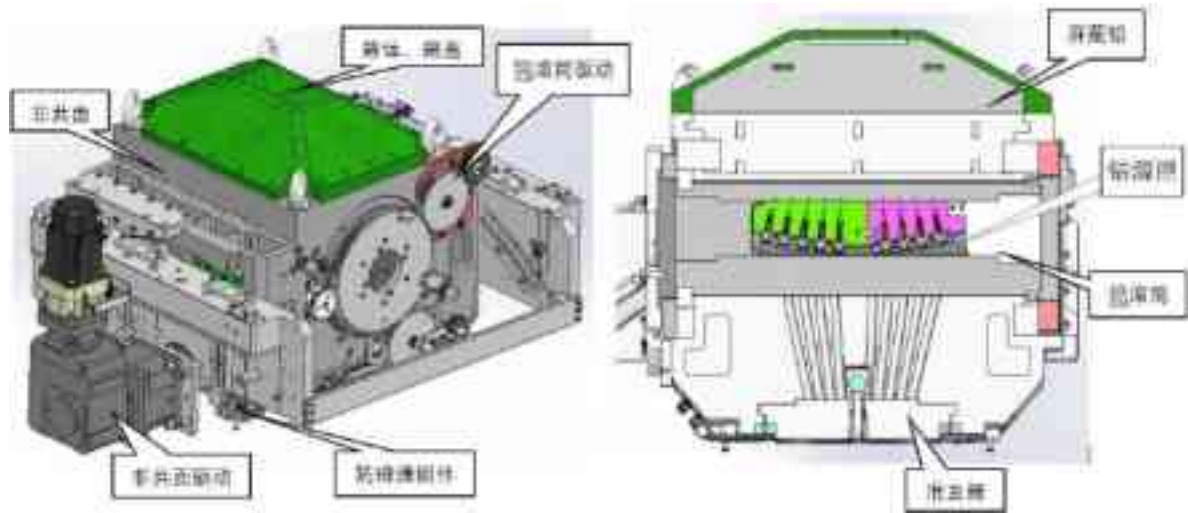


图 9-5 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统伽玛刀聚焦治疗头的结构示意图

### 1.2.1 箱体

箱体设置多处功能部件的安装位置，并承担主要屏蔽功能，能在最大程度上屏蔽不必要的杂散辐射，保护系统的部件免受辐射损伤。

### 1.2.2 非共面组件

非共面组件安装在箱体两侧，是聚焦头主体与机架之间的连接部件。非共面组件保证聚焦头主体在主机架上有可靠准确的位置，同时实现聚焦头非共面摆动，从而改变照射角度。非共面组件在  $14^{\circ}$  范围内摆动。

### 1.2.3 钨滚筒

钨滚筒通过两端轴承与聚焦头箱体连接，是固定钴源匣的组件。钨滚筒上有 18 个预准直通道，与源匣中 18 颗放射源相对应，用于对放射源发出的伽玛射束进行初步准直。

### 1.2.4 钴源匣

钴源匣内安装 18 颗源，分两排排布，每排 9 颗，两排源之间的夹角为  $4^{\circ}$ ，通过准直器在距源下端 750mm 处聚焦。放射源在钴源匣中的排布范围为纬度  $-13.3^{\circ}$  至  $+13.3^{\circ}$ 。18 颗放射源的总活度最大值为 24000Ci，单颗放射源活度最大值为 1333.33Ci。钴源匣示意图见图 9-6。

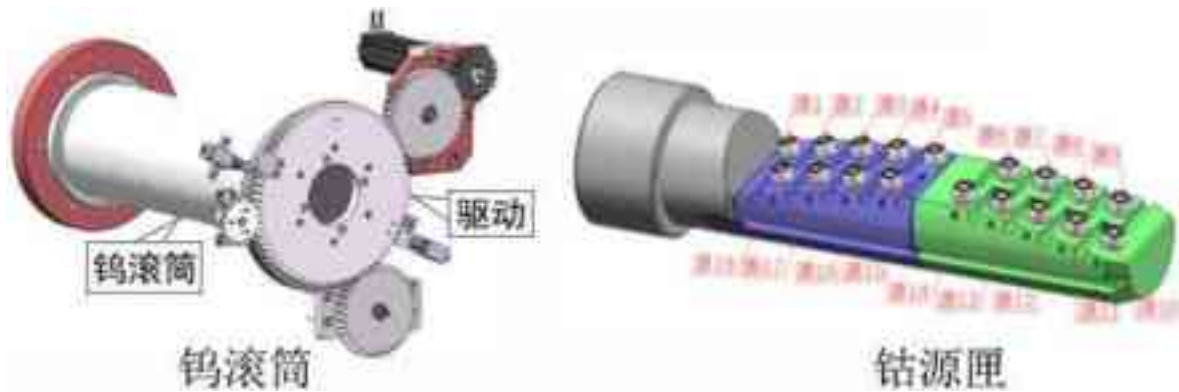
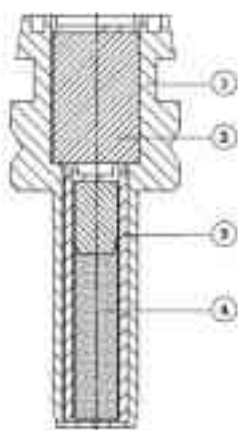


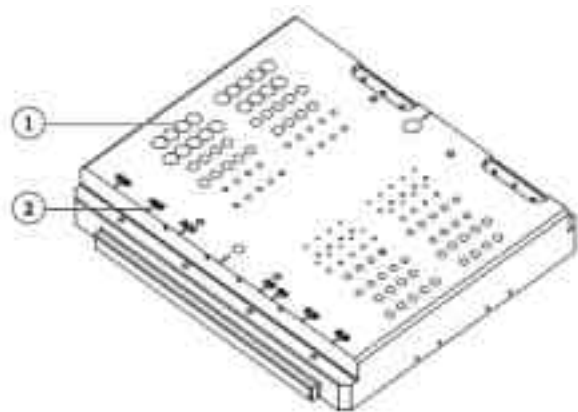
图 9-6 钨滚筒和钴源匣示意图

放射源的活性区为直径约 6mm，长 30mm 的圆柱形，其外形为直径 23.5mm，长 57.5mm 的圆柱体包壳。放射源的外形如图 9-7 所示。



①外包壳 ②屏蔽柱 ③内包壳 ④放射源

图 9-7 放射源外形示意图



①准直孔 ②准直器规格

图 9-8 准直器示意图

### 1.2.5 准直体

准直体用于对放射源发出的伽玛射线进行最终约束，共包含 7 组不同规格的准直器，分别为  $\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 9\text{mm}$ 、 $\Phi 12\text{mm}$ 、 $\Phi 16\text{mm}$ 、 $\Phi 20\text{mm}$ 、 $\Phi 25\text{mm}$ 、 $\Phi 35\text{mm}$ 。

$\Phi 12\text{mm}$  的准直器使用频率最高，定义为标准的准直器。

$\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 9\text{mm}$ 、 $\Phi 12\text{mm}$ 、 $\Phi 16\text{mm}$ 、 $\Phi 20\text{mm}$  的准直器适用于头部和体部治疗。

$\Phi 25\text{mm}$ 、 $\Phi 35\text{mm}$  的准直器只适用于体部治疗。

每组准直器包含 18 个准直孔，排列形式与钴源匣中的 18 颗放射源的几何排列形式一致。18 个孔的轴线在空间上聚焦于一点，即焦点位置。钨滚筒旋转时，同时移动准直体做直线运动，实现开、关源及选择不同规格的准直器的功能。准直器示意图见图 9-8。

准直器是通过导轨安装在箱体上，可以在箱体上进行移动来实现不同准直孔规格的切换。准直器驱动部分是常规的电机、减速机、滚柱丝杠结构，通过软件控制驱动实现

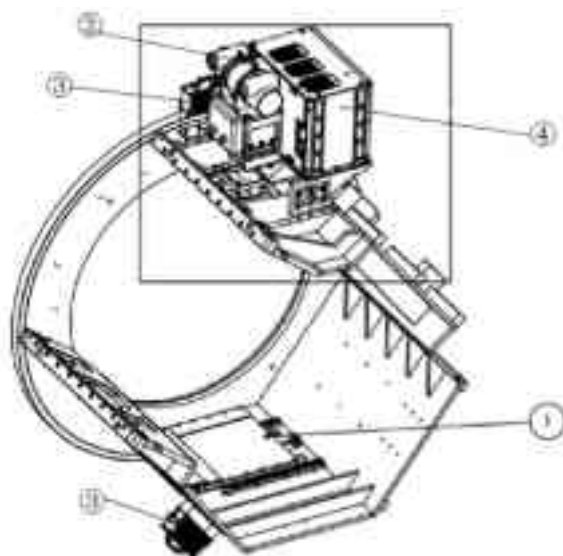
准直器的自动切换。在与驱动部分相对的丝杠另一端设置有手摇机构及失电制动器，以保证在失电状态时，准直器能够有效锁紧。准直器检测部分包括光栅和开关。

准直器结构为 70mm 钨，聚焦治疗头对面平衡锤体结构为钢 82mm+铅 305mm+铅铋合金 60mm，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。

### 1.3 CBCT 图像引导系统

CBCT 图像引导系统采用治疗床，将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定治疗床坐标，将 CT 图像中病灶的坐标转换到本系统的坐标系中。目前，使用伽玛刀聚焦治疗头治疗支持头部 CBCT 采集，使用医用直线加速器治疗支持头部和体部的 CBCT 采集。在治疗前，通过图像引导定位装置进行摆位验证，和治疗床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。

CBCT 图像引导系统主要部件包括：kV 级影像平板、X 射线球管、影像光阑、高压发生器。CBCT 图像引导系统示意图见图 9-9。



①kV 级影像平板及其驱动组件 ②X 射线球管组件 ③平板探测器电源模块 ④高压发生器组件

图 9-9 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统 CBCT 图像引导系统示意图

CBCT 图像引导系统模块包括 CBCT 影像平板、球管、高压发生器以及图像处理软件。CBCT 系统 X 射线机安装于医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头之间，影像平板位于射线机对面，便于在医用直线加速器或伽玛刀治疗过程中提供病灶的三维图像。

CBCT 是锥形束投照计算机重组断层影像设备，其原理为 X 射线发生器以较低的射量围绕照射体做环形 DR（数字式投照），然后将围绕体多次“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。

该系统采用定位床，用负压袋将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定三维立体坐标，将 CT/MRI 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，在治疗时，通过基于 CBCT 的图像引导定位装置进行摆位验证，通过三维床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。治疗过程中，CBCT 图像引导系统可以随时监测患者靶区的位置偏移，超出许可范围时给出警告并可中止治疗。

#### 1.4 滚筒机架

滚筒机架是带动整个治疗头作 $\pm 255^\circ$ 旋转的机构，由两端面的大轴承支撑，轴承安装在轴承座上。滚筒是由伺服电机通过两级齿轮减速机经齿轮传动带动滚筒端面的齿圈进行旋转的，滚筒的两端面的大轴承确保滚筒在径向与轴向很小的窜动量。滚筒做旋转时，带动放射源、加速器绕人体转动的同时治疗头又绕垂直于滚筒轴线的轴做摆动运动而不断变换入射角度，从而实现非共面拉弧治疗。

#### 1.5 治疗床

由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床分别沿 X、Y、Z 三个方向做直线运动，从而将病灶位置精确地送到要照射的位置。三维床的升降部分配置了带制动伺服电机，能使床在上升到所需位置时可靠地保证停止在该位置上不变，同时设备还设置了基于 CBCT 的图像引导定位系统，可以直接以人体骨标记来定位病灶，避免了由于人体体重不同而引起的床变形带来的误差及手动定位引起的误差，以保证治疗精度。

整个三维床按结构分为：上床板、中床板、立柱、支撑及底座。上床板按水平长度方向做直线运动，为整个坐标系的 Y 轴方向。中床板按水平宽度方向做直线运行，为整个坐标系的 X 轴方向。立柱按高度方向做直线运动，为整个坐标系的 Z 轴方向。

#### 1.6 患者定位系统

立体定位系统包括定位床、负压袋和头部定位装置 3 部分。

定位床是确定靶区的三维坐标基准，由碳纤维及发泡颗粒制成，由于碳纤维及发泡颗粒的比重非常小，对射线的影响几乎没有，同时又具有非常高的强度，使患者的体重对其产生的变形非常小。定位床分为床身、头托，其中在床身两内侧有数个凸台，负压袋可以可靠地固定在床上，患者在床上的位置基本确定。这样在 CT/MRI 进行病灶扫描时，患者病灶位置与床就会有相对关系。

负压袋是用来定位患者在立体定位床中位置的真空袋，由复合高分子材料制成，通过专门的工具将其抽成真空，又与人体适形，可以满足在多次使用时的重复定位要求。

由于人体的形状不同，每个患者都需要专用的负压袋。

头部定位装置专门用于适形头部肿瘤治疗时，确定患者头部肿瘤位置坐标。主要由固定架、头部固定框、左右 N 线板、头钉等部分组成。“N”线位于两侧的 N 线板内。本系统为有创定位，做 CT 扫描时，用头钉刺破头皮直至头骨一定深度，将头部与固定框连为一体固定。

## (2) 电气控制系统

电气控制系统由操作控制台、操作计算机、轴控制器控制系统、伺服驱动系统及伺服电机、CBCT、EPID、后备电源、传感器、连接电缆、对讲系统、视频监视系统等组成。

其中操作控制台包括操作台、操作计算机主机及显示器、视频监控系统、对讲系统。控制台安装于治疗室旁的控制室内，通过各种类型的电缆与治疗室内的主机相连，在操作控制台上安装有操纵控制盒、操作计算机、对讲系统、视频监控系统完成对主机的控制、与患者进行对话、监视患者的状态等用于治疗的一系列操作。操作控制台上安装有紧急停止按钮，在设备运行或调试过程中，如果发现问题可以通过按下紧急停止按钮，关闭放射源，停止设备运行，确保患者人身及设备安全。

## (3) 放射治疗计划系统

治疗计划系统是为临床医生提供的交互式断层图像的三维重建工具，确定靶区和重要器官的几何描述；在辅助医生和物理师制定治疗方案时，计算剂量的分布并直观显示，用以评估该方案的效果、提供改进方案的依据；从而确定最优化的治疗计划，并打印输出治疗报告和控制文件。

## (4) 射野验证系统

射野验证的作用是质量保证。首先，使用 EPID 离线采集带有准直器投影的参考光野，在后续验证流程中，射野验证程序允许操作人员手动/自动采集待验证光野，进行自动比对，经过手动确认，最终输出射野验证报告。射野验证软件包括射野采集、射野验证、上位机通讯、系统配置、QA 报告、模板上传下载等功能模块。

## (5) 高压发生器

高压发生器主要用来在集成控制单元控制下，产生稳定的、高频逆变后的直流高压，提供给 X 射线球管和旋转阳极驱动电路电压。灯丝电流控制电路供给 X 射线球管灯丝产生稳定的管电流。

## (6) 医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头不同时出束治疗控制系统

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统有医用直线加速器+CBCT 治疗模式和伽玛刀+CBCT 治疗模式两种治疗模式，医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头不同时出束。为控制该系统医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头不同时出束，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统通过以下四个方面设计进行控制：

6.1 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统的治疗过程是由病案驱动的，病案由治疗野组成，治疗野按顺序依序执行，医用直线加速器和伽玛刀治疗不会出现在同一个治疗野中，如果同时出现，则病案自检无法通过。

6.2 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统的治疗控制界面中，有医用直线加速器和伽玛刀两种治疗模式。当切换到伽玛刀治疗模式时，医用直线加速器高压断电，无法产生 X 射线；当切换到医用直线加速器治疗模式时，伽玛放射源和准直器都无法打开。

6.3 在治疗、服务和 QA 等模式下，医用直线加速器治疗头和伽玛刀聚焦治疗头都不允许同时使用。医用直线加速器治疗头出束时，除了停束和急停按钮，其他按钮均失效，无法进行其他操作；同理，伽玛刀聚焦治疗头出束时，也无法进行其他操作。

6.4 伽玛刀聚焦治疗头关源不到位时，有硬件联锁，同时关源指示灯闪烁。设备无法进行其他操作，直到关源到位。

医院拟引进 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统，有用线束朝北墙、南墙、顶部和地面照射，其主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统主要技术参数

| 设备型号                     | 功能模块    | 参数        | 具体情况        |
|--------------------------|---------|-----------|-------------|
| Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统 | 医用直线加速器 | X 射线能量    | 6MV         |
|                          |         | 等中心处最大剂量率 | 1400cGy/min |
|                          |         | 等中心处最大照射野 |             |
|                          |         | SAD       |             |
|                          |         | 等中心到地面距离  |             |
|                          |         | 泄漏辐射      |             |
|                          |         | 屏蔽体       |             |

|      |      |                           |  |
|------|------|---------------------------|--|
|      | 伽玛刀  | 聚焦头射线源                    |  |
|      |      | 聚焦头准直器                    |  |
|      |      | 聚焦头初装源 $\Phi 35$ 准直器焦点剂量率 |  |
|      |      | 焦点到射线源距离                  |  |
|      |      | 聚焦头屏蔽                     |  |
|      |      | 伽玛聚焦头对面平衡屏蔽锤体             |  |
|      | CBCT | 最大管电压                     |  |
|      |      | 最大管电流                     |  |
|      |      | 距靶 1m 处最大剂量率              |  |
|      |      | 曝光时间                      |  |
|      |      | X 射线球管自带屏蔽体               |  |
| 旋转角度 |      |                           |  |

注：本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统技术参数由建设单位及供货商提供。

#### 4、Ethos 型医用直线加速器

江苏省肿瘤医院拟于门诊楼负二层放疗中心 4#放疗机房内配备 1 台 Ethos 型医用直线加速器（X 射线能量：6MV），用于肿瘤的放射治疗。Ethos 型医用直线加速器外观见图 9-10。



图 9-10 Ethos 型医用直线加速器外观图

Ethos 型医用直线加速器主要的设备组成与普通医用电子直线加速器相似，通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，主要由三大部分组成，即电子发射单元，电子加速单元和电子束引出单元，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。

医院拟引进 1 台 Ethos 型医用直线加速器，有用线束朝北墙、南墙、顶部和地面照射，其主要技术参数见表 9-4。

表 9-4 本项目 Ethos 型医用直线加速器技术参数情况一览表

| 项目名称            | 技术参数*             |
|-----------------|-------------------|
| 型号              | Ethos 型           |
| 位置              | 门诊楼负二层放疗中心 4#放疗机房 |
| 主要技术指标          | X 射线：6MV          |
| 源轴距 SAD         |                   |
| 等中心点至机房地坪的高度    |                   |
| 距靶 1m 处 X 辐射剂量率 |                   |
| 最大照射野大小         |                   |
| 自带屏蔽壳体          |                   |

靶材料

自带 CBCT 参数

用途

放射治疗

注：本项目 Ethos 型医用直线加速器技术参数由建设单位及供货商提供。

### 5、Mobetron 2000 型术中加速器

江苏省肿瘤医院拟于手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室并配备 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器（电子线能量：6、9、12MeV），用于肿瘤的放射治疗。Mobetron 2000 型术中加速器外观见图 9-11。



图 9-11 本项目 Mobetron 2000 型术中加速器外观示意图

Mobetron 2000 型术中加速器是适用于手术室内进行电子束术中放疗、可全方位移动、具有一定自我防护功能的电子线直线加速器。该术中加速器由三部分组成，包括治疗单元、调制单元和控制单元，其中治疗单元由治疗头（射线发生装置）、机架、机柜、射线阻挡器、落地基座和运输装置几个部分构成；调制单元（调制器柜中的电源系统）集中了绝大多数的系统电源电路；操作人员控制台上液晶显示器和键区，用来设定机器和远程控制机器进行治疗。

医院拟引进 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器，其主要技术参数见表 9-5。

表 9-5 本项目 Mobetron 2000 型术中加速器技术参数情况一览表

| 项目名称         | 技术参数*             |
|--------------|-------------------|
| 能量           | 电子线三档可选：6、9、12MeV |
| 照射野中心点处最高剂量率 | 电子线：300cGy/min    |
| 源皮距 SSD      |                   |
| 限光筒          |                   |
| 限光筒平坦度对称性    |                   |
| 组织补偿块        |                   |
| 旋转范围         |                   |
| 平移范围         |                   |

注：本项目 Mobetron 2000 型术中加速器技术参数由建设单位及供货商提供。

## 6、DSA

江苏省肿瘤医院拟于手术物资楼三层 DSA 手术室、复合手术室 1 和复合手术室 2 内各配备 1 台 DSA (型号未定, 单球管, 最大管电压 $\leq 125\text{kV}$ , 最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ), 用于开展医疗诊断和介入治疗。常见 DSA 外观见图 9-12。

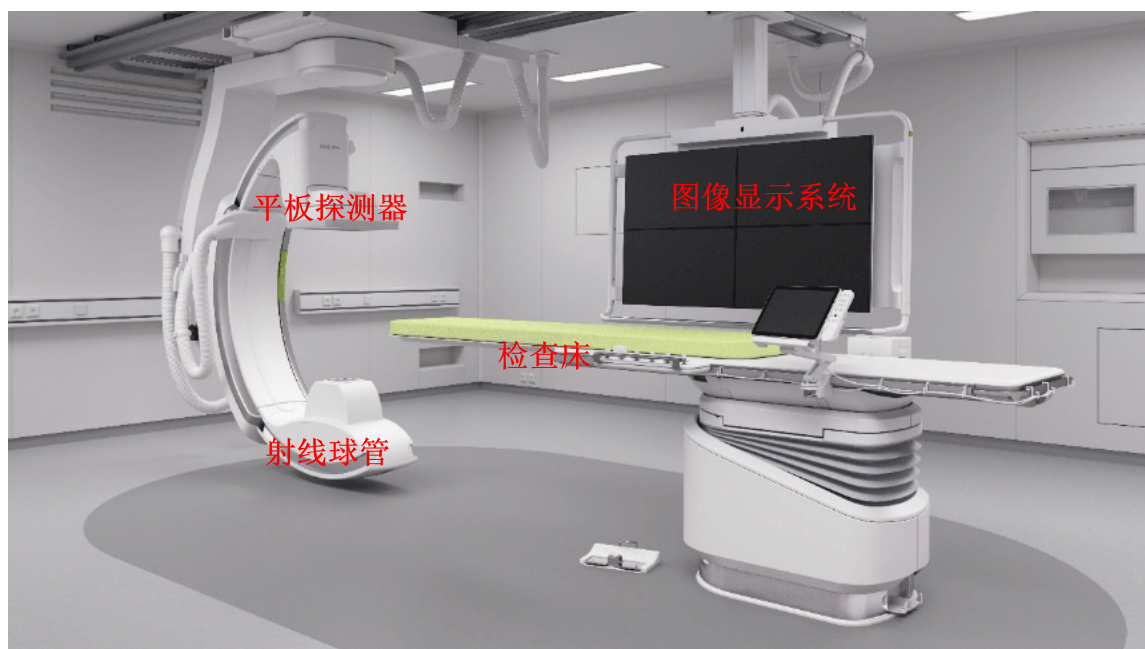


图 9-12 常见 DSA 外观示意图

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 形臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置（包括 X 射线球管及其附件、高压发生器、X 射线控制器等）和图像检测系统（包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等）组成。

医院拟引进 3 台 DSA，其主要技术参数见表 9-6，配套设备配置情况见表 9-7。

表 9-6 本项目 DSA 主要设备技术参数

| 项目名称       | 技术参数*              |                    |                    |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 型号         | 型号未定（单球管）          |                    |                    |
| 位置         | 手术物资楼三层<br>DSA 手术室 | 手术物资楼三层<br>复合手术室 1 | 手术物资楼三层<br>复合手术室 2 |
| 最大管电压      | ≤125kV             |                    |                    |
| 最大管电流      | ≤1000mA            |                    |                    |
| X 射线球管滤过条件 |                    |                    |                    |
| 出束方向       |                    |                    |                    |
| 焦皮距        |                    |                    |                    |
| 照射野        |                    |                    |                    |

注：本项目 DSA 型号未定，参数为建设单位招标意向及主流供货商的常用参数，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

表 9-7 本项目每台 DSA 配套设备一览表

| 序号 | 名称    | 数量  | 用途        | 位置  |
|----|-------|-----|-----------|-----|
| 1  | 电源柜   | 1 套 | DSA 配电    | 设备间 |
| 2  | 高压发生柜 | 1 套 | DSA 高压装置  | 设备间 |
| 3  | 系统控制柜 | 1 套 | 设备控制和数据传输 | 设备间 |
| 4  | 控制系统  | 1 套 | DSA 设备操作  | 控制室 |

## 7、CT

江苏省肿瘤医院拟于手术物资楼三层 CT 室内配备 1 台 CT（型号未定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA），用于开展医疗诊断。医院拟在手术物资楼三层配备 1 台 CT（型号未定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA），用于开展术前患者成像和术后影像评估，存放于设备间，使用时通过滑轨移动至复合手术室 1

或复合手术室 2 内 DSA 检查床进行扫描，不与同室的 DSA 设备同时出束。常见 CT 外观见图 9-13。



图 9-13 常见 CT 外观示意图

CT 主要由电源系统、控制系统、X 射线发生系统、影像接收系统以及其他辅助装置构成。医院拟引进 2 台 CT，其主要技术参数见表 9-8。

表 9-8 本项目 CT 主要设备技术参数

| 项目名称                | 技术参数*           |                      |
|---------------------|-----------------|----------------------|
| 型号                  | 型号未定            |                      |
| 位置                  | 手术物资楼三层<br>CT 室 | 手术物资楼三层<br>复合手术室 1、2 |
| 最大管电压               | ≤140kV          |                      |
| 最大管电流               | ≤1000mA         |                      |
| 过滤片                 | 2.5mmAl         |                      |
| 距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率 | 1mGy/h          |                      |
| 用途                  | 医疗诊断            |                      |

注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl；根据《医用

电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 的相应要求，距靶 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

## 二、工作原理及工作流程

### （一）工作原理

#### 1、Elekta Unity 型 MR 直线加速器

Elekta Unity 型 MR 直线加速器是将直线加速器治疗与 1.5T 高场强核磁共振技术结合，利用 MR 直线加速器中加速器产生的高能射线杀死肿瘤细胞，治疗过程中，通过磁共振扫描来捕捉肿瘤及其周围组织的高品质图像，能够清楚的看到患者的实时解剖成像，因此，在放射治疗过程中可以精确定位并锁定肿瘤从而做出精确的辐射治疗，减少了正常组织在辐射下的暴露时间。由于在肿瘤患者的治疗过程中，肿瘤和周围的解剖结构每天都会自然地改变形状和位置，在实际的治疗过程中，这种改变对放疗精度的影响很大，利用磁共振成像，可以给肿瘤辐射更多的放疗剂量，并同时减少周围器官的副作用。

#### 2、射波刀

Cyber Knife（中文译名射波刀或赛博刀）是一种新型立体定向放射治疗装置，集影像引导系统和高准确性的治疗于一身，将一个 6MVX 射线的轻型电子直加速器安放在一个有 6 个自由度的机械臂上，利用机械臂的全向投照能力对肿瘤进行精确、非共面和多中心的放射治疗。射波刀是全球唯一整合最先进的机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行追踪治疗。

#### 3、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统将 1 个 6MV 医用直线加速器治疗头、1 个医用伽玛刀聚焦治疗头和 1 个 CBCT 图像引导系统模块集成于同一个滚筒上，从而具备医用直线加速器和伽玛刀两种治疗功能，CBCT 在每次治疗时可进行患者的实时位置验证，减小患者治疗位置误差，提升治疗效果。

#### 4、Ethos 型医用直线加速器

Ethos 型医用直线加速器相对于普通医用电子直线加速器，该类型加速器大幅精简治疗操作步骤，减少误差发生的可能性，其系统性优化了多弧容积调强、多野调强治疗等先进技术。叶片速度提高到 5cm/s，机架旋转速度提升至四倍，从而提供高质

量和高效率的治疗；该加速器采用双重多叶光栅，其在等中心点的最大照射野范围为 $28\times 28\text{cm}$ ，比常规直线加速器小，自屏蔽系统具备100%射野面积覆盖能力；CBCT图像采集和正侧位成像时间短，无论是常规放射治疗还是调强放射治疗，射束投照时间通常只需约3分钟，大大减少了出束时间；叶片布局“层叠交错”，优化了调强能力，并减少叶片间漏射。该类型直线加速器自带自屏蔽系统（内含172mm铅板），使得机房尺寸及防护要求变低，主射线方向线束在穿过患者身体后经屏蔽系统屏蔽，使主射线透射率小于0.1%。同时加速器照射野范围比常规加速器小，因此正常组织损伤、放疗副作用等也大大减小。该设备运行过程中，仅产生6MV的X射线束，不产生电子束。

### 5、Mobetron 2000 型术中加速器

目前，医学界公认的治疗肿瘤的主要方法为手术治疗、放射治疗和化疗。但随着科技的进步和人们对肿瘤的进一步了解，肿瘤的综合治疗方式已被广泛接受和认可。而术中放射治疗正是一种综合治疗，是指在手术中对肿瘤切除后的区域、肿瘤和残余细胞、亚临床病灶、高危转移复发区域以及手术不能切除的肿瘤组织，进行一次性大剂量照射。

术中放射治疗技术在临床应用上有着特殊的重要意义和广泛的应用前景。一方面，术中放射治疗技术是将传统上通常为首选的手术治疗与近几十年发展起来的放射治疗技术进行有效地结合，配合其他手段可以达到任何单一技术无法实现的疗效。另一方面，不同于外照射放疗（由于受到周围正常组织耐受量的限制，为得到均匀足够的照射量，须选择不同能量的射线采用多野照射技术），术中放射治疗直接作用于治疗部位，单次大剂量相当于分次外照射剂量生物效应的2.5倍。术中放射治疗可以应用在头颈部肿瘤、消化系统肿瘤、肺癌、妇科肿瘤、前列腺肿瘤、骨科肿瘤等多种肿瘤的治疗。

在使用 Mobetron 2000 型术中加速器进行术中放疗时，操作人员可以通过操作与治疗模块相连接的手控盒，使治疗头沿C型臂作等中心旋转（包括在AB平面内旋转 $\pm 45^\circ$ 与GT平面内旋转范围 $\pm 30^\circ$ ，还能前后左右各 $\pm 5\text{cm}$ 范围幅度的平移）。此外，治疗头还可以在垂直方向按 $\pm 15\text{cm}$ 距离升降。从而实现治疗头在三维范围内的移动，方便各种摆位的需要。

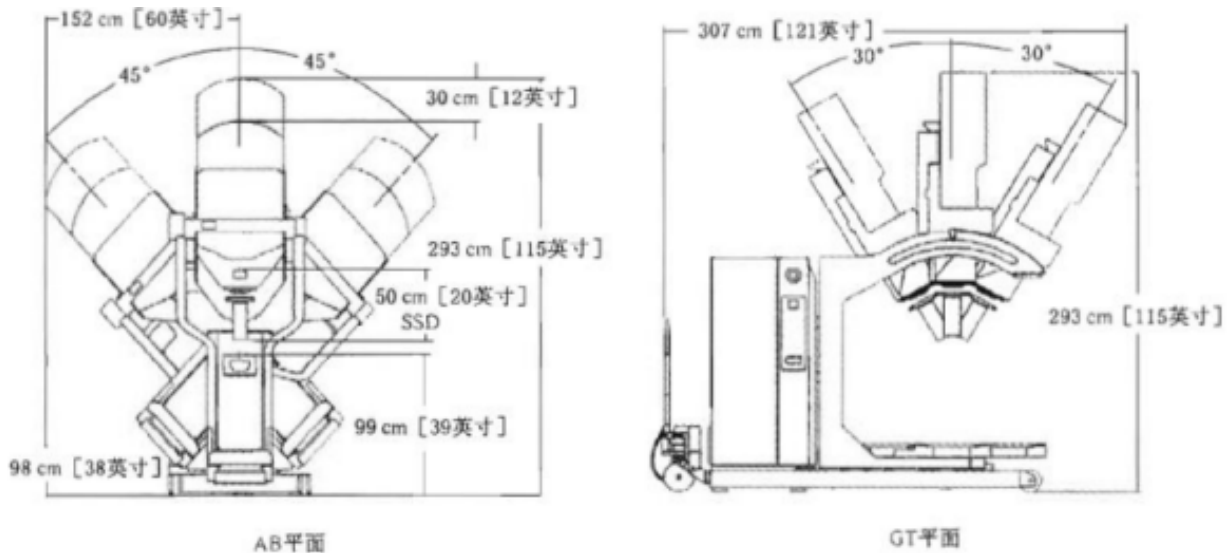


图 9-14 Mobetron 2000 型术中加速器旋转治疗范围示意图

## 6、DSA

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少、浓度低、损伤小、较安全，节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。DSA 系统结构图见图 9-15。

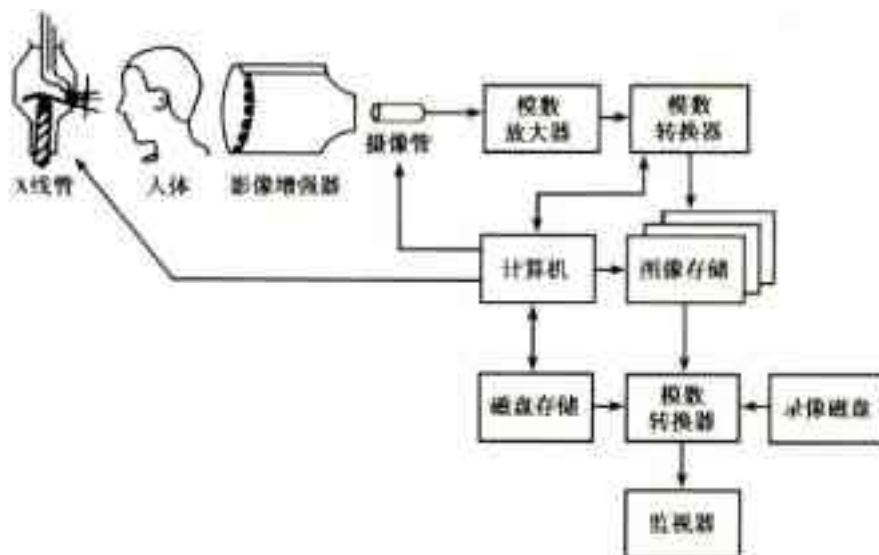


图 9-15 DSA 系统结构图

DSA 是引导介入治疗的重要医学影像设备，通过置入体内的各种导管（约 1.5-2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

## 7、CT

CT 工作时由射线球管产生 X 射线，X 射线穿透人体受检部位后被探测器接收。由于人身体各部分组成物质的不同，X 射线在穿透不同部位时的衰减程度也不一样，最终探测器上接收到的 X 射线强度也不一样。探测器可将不同强度的 X 射线转换成电信号，电信号经转换为数字信号，最终在屏幕上以不同灰度显示出来，就得到了受检部位的影像。

### （二）工作流程及产污环节

#### 1、Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀和 Ethos 型医用直线加速器

江苏省肿瘤医院放疗中心 Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀和 Ethos 型医用直线加速器放射治疗工作流程及产污环节分析见图 9-16，其工作流程如下：

（1）患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过模拟定位机（依托医院现有 1 台 SOMATO Mgo.Sim 型和 1 台 SOMATO A Definition AS 型 CT 模拟定位机）扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；

（2）放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

（3）物理师根据医师要求设计放射治疗计划，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；

（4）技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

（5）技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程中，会产生 X 射线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物（Ethos 型医用直线加速器具有自适应放射治疗特点，治疗当天可利用设备自带的 CBCT 影像功能，根据患者实时状态对治疗计划进行微调。根据实际情况，该功能可使用也可不采用）；

（6）治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

图 9-16 本项目放疗中心 Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀和 Ethos 型医用直线加速器放射治疗工作流程及产污环节分析示意图

## 2、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统具备医用直线加速器和伽玛刀两种治疗功能，配备有 CBCT 图像引导系统模块，治疗时医用直线加速器治疗头、伽玛刀聚焦治疗头和 CBCT 不同时开机。

江苏省肿瘤医院放疗中心 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统放射治疗工作流程及产污环节分析见图 9-17，其工作流程如下：

(1) 患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过模拟定位机(依托医院现有 1 台 SOMATO Mgo.Sim 型和 1 台 SOMATOA Definition AS 型 CT 模拟定位机)扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；

(2) 放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

(3) 物理师根据医师要求设计放射治疗计划，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；

(4) 技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

(5) 技师在控制室内使用 CBCT 图像引导系统模块对病灶进行扫描，并与 CT 模拟定位机扫描图像做对比，校准摆位精度后，按照医疗方案设置参数，调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程中，会产生 X 射线、 $\gamma$ 射线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

(6) 治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

图 9-17 本项目放疗中心 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统  
放射治疗工作流程及产污环节分析示意图

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源。因此放射源的运输和医疗使用管理均按 I 类源进行，放射源订购、使用和退役流程如下：

(1) 订购：医院在订购之前应向省生态环境主管部门提出申请，提交《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第十九条规定的申请材料。订购时，医院根据《辐射安全许可证》许可的范围提出订购需求，本项目设备生产厂家提供放射源的所有技术参数和文件，并跟踪放射源的生产进度（放射源生产期间工作人员所受照射不在本评价范围内）。订购完成后，医院应当在完成之日起 20 日内，向省级生态环境部门备案。

(2) 使用：设备正常使用时，由医院负责放射源的安保工作，期间安全由医院负责。

(3) 退役：由放射源生产厂家负责回收退役放射源（放射源退役时应进行退役评价，工作人员所受照射不在本评价范围内），退役手续由医院办理，回收期间安全由放射源生产厂家负责。

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统所用  $^{60}\text{Co}$  放射源约 6~8 年更换一次。医院在换源前应于当地公安、生态环境部门、卫生主管部门备案，取得他们的协助、监督和认可。 $^{60}\text{Co}$  放射源的生产、运输均由放射源生产厂家负责，每次医院申购

放射源后由放射源生产厂家运输至机房，装源工作由设备生产厂家委派的工程师在机房内完成（所受照射不在本评价范围内），医院辐射工作人员不进入机房参与装源、换源工作，倒源操作完毕后，退役放射源交由放射源生产厂家回收处理。倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自进行倒源。倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。源退役时，倒源期间由江苏省肿瘤医院承担安全主体责任，源办理完成转移手续后、源由倒源单位运输离开建设单位后，责任由放射源生产厂家负责。

### 3、Mobetron 2000 型术中加速器

江苏省肿瘤医院术中加速器项目工作流程及产污环节分析见图 9-18，其工作流程如下：

（1）专用加速器接通电源，物理师进行日常质量保证检查，确保机器运转正常，并保持暖机状态（机器预热，不出束，无辐射）；

（2）外科医生主刀，并在麻醉师和手术护士配合下，完成对患者肿瘤的切除；

（3）肿瘤切除手术近完成时，放疗医生进入手术室；

（4）外科医生和放疗医生根据手术情况协商照射野范围及限光筒的选择，并决定照射能量和剂量；

（5）麻醉医生查看患者，确保患者在放疗时仍处于麻醉状态；

（6）护士将手术床移到专用加速器旁，治疗头位于待照射位置上方（治疗头可以前后  $30^{\circ}$  或左右  $45^{\circ}$  微调，下面按常用的  $0^{\circ}$  方向进行估算）；

（7）护士在加速器治疗头上安装所选择的限光筒，协助医生将限光筒对准照射部位。既要防止限光筒挤压正常器官组织，又要尽可能使限光筒紧紧贴近照射区。随后通过固定系统将限光筒与患者固定在手术床上，根据需要，用消毒铅片屏蔽周围正常组织使之免受照射；

（8）物理师微调治疗头，进行激光到位对准，实现射束中轴与限光筒中心轴的对准与吻合；

（9）全体医务人员撤离出手术室，放疗医生、物理师进入控制室控制设备进行出束，其他外科医生、护士、麻醉师等在治疗室南侧走道等候；

- (10) 物理师将所需要的照射剂量值输入控制台；
- (11) 出束，进行术中放射治疗；
- (12) 达到一定的照射剂量后，断束，结束术中放射治疗；
- (13) 护士将手术床移回原位，外科医生完成手术；
- (14) 待手术结束，患者被送出手术室后，关机并断掉专用加速器电源。

图 9-18 本项目术中加速器放射治疗工作流程及产污环节分析示意图

### 3、DSA

江苏省肿瘤医院 DSA 项目在进行曝光时分为两种情况：

#### (1) 医疗诊断

DSA 检查（诊断）采用是根据采集的造影部位图像，对患者病变部位进行诊断，以选择合适的治疗方案。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员指导患者摆位并调整 X 射线球管、人体、影像接收器三者之间的距离，然后进行出束摄影，获取底片；下一步为患者注射造影剂、出束摄影或透视，获取样片。计算机将样片信号减去底片信号后，得到仅显示造影剂分布的图像，即血管图像。医护人员根据该图像识别、判断患者病变的具体部位、病变程度及类型，以选择合适的治疗方案。

#### (2) 介入治疗

介入治疗是医师、护士在 DSA 出束曝光条件下，根据影像引导，为患者实施如血管扩张、清淤、送入支架等治疗操作。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员指导患者摆位并调整 X 射线球管、人体、影像接收器三者之间的距离，然后进行出束曝光，获取底片；下一步为患者注射造影剂，再次出束曝光，获取样片。计算机将样片信号减

去底片信号后，得到仅显示造影剂分布的图像，即血管图像。介入治疗手术过程中，DSA 间歇多次出束透视，获取手术过程中的动态图像，医护人员根据图像引导完成治疗操作。

#### DSA 的产污环节分析：

本项目采用先进的数字显影技术，电脑成像，不使用显（定）影液，不产生废显影液、废定影液和废胶片，注入的造影剂不含放射性。设备运行过程中产生的污染物主要为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物以及手术过程中产生的医疗废物。DSA 工作流程及产污环节如图 9-19。

图 9-19 DSA 工作流程及产污环节示意图

#### 4、CT

江苏省肿瘤医院 CT 工作流程及产污环节分析见图 9-20，工作流程如下：

- (1) 检查正当性判断，预约登记；
- (2) 确定患者所需进行检查的部位和范围，进行摆位；
- (3) 进行 X 射线影像诊断检查，隔室操作；此环节 CT 出束时会产生 X 射线外照射，同时机房内空气被 X 射线电离产生少量臭氧及氮氧化物；
- (4) 诊断结束，患者离开。

图 9-20 CT 工作流程及产污环节示意图

江苏省肿瘤医院于复合手术室 1、2 内使用 CT 进行患者的术前和术后评价，工作流程如下：

(1) 将复合手术室内 DSA 装置的 C 形臂移动至远离 DSA 检查床的停止位并触发位置信号开关；

(2) 打开复合手术室与设备间之间的防护移门，从设备间内将 CT 滑动机架从停止位沿导轨移至工作位，到达工作区域时触发位置信号开关；

(3) 完成准备工作后，对复合手术室进行清场，确保手术室各防护门处于关闭状态；

(4) 进行 X 射线影像诊断检查，隔室操作；此环节 CT 出束时会产生 X 射线外照射，同时机房内空气被 X 射线电离产生少量臭氧及氮氧化物；

(5) 诊断结束，患者离开，工作人员将 CT 滑动机架移至设备间内停止位并触发信号位置开关，将 DSA 装置的 C 形臂复位。

因软硬件互锁，CT 无法与同室的 DSA 设备同时出束。

### 三、原有工艺不足及改进情况

本项目拟配备的医疗设备，可满足医院日益增加的就诊需求，提高接诊效率，使患者的放射治疗更为精准高效。

医院已建立完善的辐射安全与防护规章制度，且在日常工作中严格按照规章制度执行。本项目拟配备的医疗设备将沿用医院原有辐射安全管理制度，并纳入射线装置使用登记管理中，医院应结合单位具体情况，完善辐射安全管理制度，针对新增设备使其具有较强的针对性和可操作性，将管理制度在日常工作中落实到位。

## 污染源项描述

一、放疗中心（Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统和 Ethos 型医用直线加速器）

### （一）放射性污染

## 1、MR 直线加速器

辐射：Elekta Unity 型 MR 直线加速器在治疗过程中，会产生最大能量为 7.2MV 的 X 射线，等中心处 X 射线最高输出剂量率为 700cGy/min。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。

核磁部分不属于核技术利用范畴，本项目不做相关评价。

## 2、射波刀、Ethos 型医用直线加速器

辐射：射波刀在治疗过程中，会产生最大能量为 6MV 的 X 射线，等中心处 X 射线最高输出剂量率为 1050cGy/min；Ethos 型医用直线加速器在治疗过程中，会产生最大能量为 6MV 的 X 射线，等中心处 X 射线最高输出剂量率为 800cGy/min（自带 CBCT 图像引导功能，在工作状态下会发出 X 射线，最大管电压为 140kV、最大管电流为 630mA）。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。

## 3、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统

### （1）医用直线加速器治疗头

①X 射线外照射：Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头以 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。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟配备的医用直线加速器治疗头的 X 射线能量为 6MV，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 1400cGy/min，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中子：本项目拟配备的医用直线加速器治疗头的 X 射线能量为 6MV。依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）规定（§4.3.2.5），当加速器 X 射线 $\leq 10\text{MV}$ 时，中子及其影响可忽略。

因此，本项目设备使用医用直线加速器治疗头开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

### （2）伽玛刀聚焦治疗头

①辐射：伽玛刀未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的 $\gamma$ 射线会穿透屏蔽体，对

进入机房的人员及室外公众等产生照射。

伽玛刀在治疗过程中，机房治疗室内来自放射源的直射、散射和漏射 $\gamma$ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

本项目拟配备的伽玛刀聚焦治疗头内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源。核素  $^{60}\text{Co}$  是一种人工生产的放射性核素，主要由  $^{59}\text{Co}$  在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。 $^{60}\text{Co}$  核素衰变过程中发射出 0.315MeV 的  $\beta$  射线和能量分别为 1.173MeV 和 1.332MeV 的两种  $\gamma$  射线，平均能量为 1.25MeV。 $^{60}\text{Co}$  放射源特性见表 9-9，衰变纲图见图 9-21。

表 9-9  $^{60}\text{Co}$  放射性核素特性

| 核素名称             | 半衰期   | 衰变类型及分支比 (%) | 主要 $\alpha$ 、 $\beta$ 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%) | 主要 $\gamma$ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)  | 空气比释动能率常数 ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) |
|------------------|-------|--------------|--|--|---|
| $^{60}\text{Co}$ | 5.27a | $\beta^-$    | -  | $\beta^-$ : 0.315 (99.74%)<br>$\gamma$ : 1.173 (99.87%)<br>$\gamma$ : 1.332 (99.98%) | 0.308   |

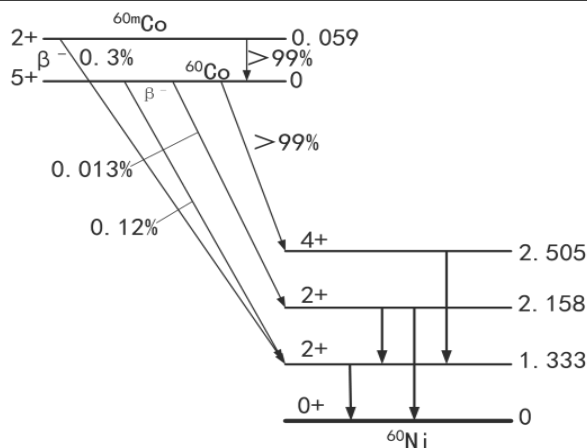


图 9-21  $^{60}\text{Co}$  衰变纲图

根据设备厂家提供的数据，本系统源载体外部采用钨合金准直器、钨合金滚筒以及屏蔽箱体，可以将杂散辐射屏蔽到最低水平。这些设计保证：非治疗状态下距设备表面 1m 处的辐射剂量率小于  $20\mu\text{Gy/h}$ ，距离放射源 5cm 处的辐射剂量率小于  $200\mu\text{Gy/h}$ 。开  $\Phi 35$  准直器模拟治疗状态以及关束后，治疗区内设备周围的辐射剂量率分布见表 9-10。

表 9-10 (a) 治疗状态下治疗区内辐射剂量率的矩阵测量结果

| 测量点<br>位置      |   | 辐射剂量率 (mGy/h)  |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                |   | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | A <sub>5</sub> | A <sub>6</sub> | A <sub>7</sub> | A <sub>8</sub> | A <sub>9</sub> | A <sub>10</sub> | A <sub>11</sub> | A <sub>12</sub> | A <sub>13</sub> | A <sub>14</sub> | A <sub>15</sub> |
| B <sub>1</sub> | 1 | 0.021          | 0.026          | 0.022          | 0.033          | 0.023          | 0.021          | 0.019          | 0.021          | 0.022          | 0.022           | 0.021           | 0.021           | 0.022           | 0.027           | 0.029           |
|                | 2 | 0.022          | 0.023          | 0.019          | 0.031          | 0.027          | 0.026          | 0.028          | 0.023          | 0.024          | 0.025           | 0.022           | 0.021           | 0.029           | 0.034           | 0.032           |
|                | 3 | 0.021          | 0.032          | 0.022          | 0.027          | 0.035          | 0.032          | 0.029          | 0.026          | 0.027          | 0.032           | 0.025           | 0.018           | 0.028           | 0.034           | 0.036           |
| B <sub>2</sub> | 1 | 0.030          | 0.027          | 0.031          | 0.028          | 0.029          | 0.025          | 0.020          | 0.020          | 0.025          | 0.026           | 0.024           | 0.019           | 0.028           | 0.032           | 0.032           |
|                | 2 | 0.042          | 0.023          | 0.034          | 0.047          | 0.038          | 0.031          | 0.025          | 0.035          | 0.026          | 0.040           | 0.018           | 0.030           | 0.031           | 0.032           | 0.038           |
|                | 3 | 0.028          | 0.029          | 0.029          | 0.034          | 0.029          | 0.031          | 0.034          | 0.032          | 0.030          | 0.036           | 0.018           | 0.025           | 0.036           | 0.032           | 0.034           |
| B <sub>3</sub> | 1 | 0.023          | 0.036          | 0.028          | 0.035          | 0.037          | 0.039          | 0.028          | 0.025          | 0.022          | 0.030           | 0.021           | 0.019           | 0.034           | 0.036           | 0.038           |
|                | 2 | 0.034          | 0.040          | 0.034          | 0.037          | 0.035          | 0.034          | 0.036          | 0.037          | 0.038          | 0.035           | 0.029           | 0.039           | 0.040           | 0.042           | 0.047           |
|                | 3 | 0.041          | 0.048          | 0.027          | 0.035          | 0.047          | 0.052          | 0.042          | 0.050          | 0.051          | 0.047           | 0.044           | 0.059           | 0.041           | 0.039           | 0.039           |
| B <sub>4</sub> | 1 | 0.061          | 0.032          | 0.038          | 0.051          | 0.056          | 0.051          | 0.043          | 0.029          | 0.069          | 0.060           | 0.037           | 0.050           | 0.052           | 0.064           | 0.064           |
|                | 2 | 0.054          | 0.076          | 0.046          | 0.058          | 0.081          | 0.049          | 0.038          | 0.043          | 0.068          | 0.058           | 0.052           | 0.052           | 0.056           | 0.069           | 0.069           |
|                | 3 | 0.054          | 0.051          | 0.057          | 0.088          | 0.060          | 0.069          | 0.079          | 0.087          | 0.065          | 0.081           | 0.072           | 0.053           | 0.054           | 0.052           | 0.042           |
| B <sub>5</sub> | 1 | 0.060          | 0.065          | 0.093          | 0.087          | 0.096          | 0.073          | 0.089          | 0.041          | 0.075          | 0.059           | 0.067           | 0.126           | 0.066           | 0.054           | 0.046           |
|                | 2 | 0.097          | 0.078          | 0.093          | 0.113          | 0.142          | 0.119          | 0.075          | 0.048          | 0.108          | 0.094           | 0.065           | 0.074           | 0.075           | 0.061           | 0.047           |
|                | 3 | 0.057          | 0.070          | 0.071          | 0.102          | 0.145          | 0.135          | 0.118          | 0.130          | 0.100          | 0.089           | 0.102           | 0.068           | 0.078           | 0.051           | 0.042           |
| B <sub>6</sub> | 1 | 0.023          | 0.082          | 0.142          | 0.141          | 0.160          | 0.142          | 0.216          | 0.045          | 0.136          | 0.119           | 0.122           | 0.105           | 0.047           | 0.037           | 0.033           |
|                | 2 | 0.063          | 0.080          | 0.123          | 0.192          | 0.203          | 0.326          | 0.127          | 0.150          | 0.168          | 0.209           | 0.151           | 0.102           | 0.067           | 0.052           | 0.034           |
|                | 3 | 0.059          | 0.085          | 0.112          | 0.200          | 0.203          | 0.297          | 0.321          | 0.295          | 0.162          | 0.165           | 0.125           | 0.088           | 0.065           | 0.046           | 0.032           |
| B <sub>7</sub> | 1 | 0.010          | 0.067          | 0.082          | 0.121          | 0.210          | 0.175          | 0.122          | 0.222          | 0.228          | 0.105           | 0.098           | 0.038           | 0.037           | 0.037           | 0.037           |
|                | 2 | 0.0:           |                |                |                |                |                |                |                |                |                 | 0.154           | 0.096           | 0.045           | 0.038           | 0.037           |
|                | 3 | 0.0:           |                |                |                |                |                |                |                |                |                 | 0.151           | 0.081           | 0.038           | 0.037           | 0.052           |
| B <sub>8</sub> | 1 | 0.046          | 0.053          | 0.073          | 0.110          | 0.235          | 0.164          | 0.256          | 0.099          | 0.223          | 0.123           | 0.066           | 0.056           | 0.047           | 0.037           | 0.033           |
|                | 2 | 0.068          | 0.056          | 0.060          | 0.183          | 0.909          | 1.861          | 2.554          | 2.557          | 1.083          | 0.418           | 0.103           | 0.059           | 0.062           | 0.046           | 0.032           |

|                 |   |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 3 | 0.041 | 0.055 | 0.058 | 0.142 | 0.325 | 0.790 | 0.944  | 0.946 | 0.658 | 0.190 | 0.074 | 0.064 | 0.043 | 0.037 | 0.029 |       |
| B <sub>9</sub>  | 1 | 0.027 | 0.041 | 0.068 | 0.086 | 0.042 | 0.107 | 0.104  | 0.122 | 0.050 | 0.083 | 0.102 | 0.076 | 0.046 | 0.037 | 0.035 |       |
|                 | 2 | 0.027 | 0.053 | 0.088 | 0.189 | 0.154 | 1.446 | 14.746 | 7.005 | 0.626 | 0.256 | 0.109 | 0.097 | 0.046 | 0.041 | 0.035 |       |
|                 | 3 | 0.063 | 0.052 | 0.093 | 0.107 | 0.225 | 0.184 | 0.192  | 0.220 | 0.139 | 0.156 | 0.080 | 0.061 | 0.046 | 0.043 | 0.041 |       |
| B <sub>10</sub> | 1 | 0.046 | 0.038 | 0.027 | 0.039 | /     | /     | /      | /     | /     | /     | 0.100 | 0.064 | 0.058 | 0.053 | 0.036 |       |
|                 | 2 | 0.051 | 0.051 | 0.081 | 0.126 | /     | /     | /      | /     | /     | /     | 0.131 | 0.063 | 0.048 | 0.061 | 0.044 |       |
|                 | 3 | 0.043 | 0.068 | 0.074 | 0.099 | /     | /     | /      | /     | /     | /     | 0.080 | 0.061 | 0.046 | 0.048 | 0.039 |       |
| B <sub>11</sub> | 1 | 0.047 | 0.039 | 0.035 | 0.105 | /     | /     | /      | /     | /     | /     | 0.061 | 0.057 | 0.063 | 0.037 | 0.034 |       |
|                 | 2 | 0.042 | 0.054 | 0.072 | 0.092 | /     | /     | /      | /     | /     | /     | 0.069 | 0.057 | 0.041 | 0.037 | 0.030 |       |
|                 | 3 | 0.055 | 0.043 | 0.070 | 0.082 | /     | /     | /      | /     | /     | /     | 0.069 | 0.053 | 0.042 | 0.049 | 0.040 |       |
| B <sub>12</sub> | 1 | 0.033 | 0.023 | 0.033 | 0.026 | 0.030 | 0.039 | 0.051  | 2.046 | 0.035 | 0.077 | 0.063 | 0.051 | 0.036 | 0.034 | 0.029 |       |
|                 | 2 | 0.045 | 0.049 | 0.061 | 0.060 | 0.062 | 0.646 | 4.622  | 4.129 | 0.183 | 0.084 | 0.069 | 0.044 | 0.064 | 0.036 | 0.030 |       |
|                 | 3 | 0.035 | 0.052 | 0.053 | 0.067 | 0.103 | 0.103 | 0.075  | 0.056 | 0.061 | 0.066 | 0.088 | 0.045 | 0.041 | 0.031 | 0.031 |       |
| B <sub>13</sub> | 1 | 0.045 | 0.031 | 0.031 | 0.062 | 0.093 | 0.168 | 0.139  | 0.132 | 0.187 | 0.047 | 0.047 | 0.033 | 0.046 | 0.040 | 0.032 |       |
|                 | 2 | 0.039 | 0.041 | 0.045 | 0.079 | 0.200 | 0.845 | 0.378  | 0.308 | 0.464 | 0.110 | 0.059 | 0.052 | 0.040 | 0.035 | 0.029 |       |
|                 | 3 | 0.045 | 0.039 | 0.044 | 0.048 | 0.104 | 0.323 | 0.244  | 0.303 | 0.203 | 0.069 | 0.046 | 0.041 | 0.041 | 0.040 | 0.026 |       |
| B <sub>14</sub> | 1 | 0.027 | 0.030 | 0.031 | 0.060 | 0.066 | 0.120 | 0.100  | 0.112 | 0.098 | 0.038 | 0.051 | 0.028 | 0.025 | 0.026 | 0.019 |       |
|                 | 2 | 0.014 | 0.028 | 0.037 | 0.095 | 0.167 | 0.246 | 0.207  | 0.195 | 0.241 | 0.114 | 0.069 | 0.035 | 0.013 | 0.028 | 0.031 |       |
|                 | 3 | 0.025 | 0.030 | 0.045 | 0.077 | 0.192 | 0.233 | 0.207  | 0.193 | 0.184 | 0.171 | 0.052 | 0.037 | 0.036 | 0.028 | 0.032 |       |
| B <sub>15</sub> | 1 | 0.028 | 0.023 | 0.025 | 0.0   |       |       |        |       |       |       | 10    | 0.067 | 0.032 | 0.041 | 0.028 | 0.023 |
|                 | 2 | 0.031 | 0.031 | 0.042 | 0.0   |       |       |        |       |       |       | 33    | 0.092 | 0.047 | 0.042 | 0.033 | 0.029 |
|                 | 3 | 0.028 | 0.040 | 0.051 | 0.073 | 0.081 | 0.120 | 0.106  | 0.114 | 0.146 | 0.093 | 0.085 | 0.056 | 0.031 | 0.027 | 0.022 |       |
| B <sub>16</sub> | 1 | 0.024 | 0.018 | 0.023 | 0.018 | 0.019 | 0.059 | 0.074  | 0.073 | 0.044 | 0.077 | 0.057 | 0.045 | 0.041 | 0.027 | 0.024 |       |
|                 | 2 | 0.025 | 0.027 | 0.025 | 0.039 | 0.041 | 0.052 | 0.056  | 0.066 | 0.097 | 0.077 | 0.038 | 0.051 | 0.042 | 0.028 | 0.025 |       |
|                 | 3 | 0.032 | 0.048 | 0.047 | 0.033 | 0.024 | 0.034 | 0.035  | 0.065 | 0.076 | 0.063 | 0.067 | 0.051 | 0.039 | 0.027 | 0.022 |       |

说明：1、A<sub>1</sub>-A<sub>15</sub>指治疗区内，面对机架时，从右侧墙壁到左侧墙壁每隔0.5m的测量点；  
2、B<sub>1</sub>-B<sub>16</sub>指治疗区内，面对机架时，从前侧墙壁到后侧墙壁每隔0.5m的测量点；

- 3、每列 1、2、3 分别为地面处、等中心高度、等中心高度以上 1.0m 的测量点；  
4、“/”为设备所在处。

表 9-10 (b) 非治疗状态下治疗区内辐射剂量率的矩阵测量结果

| 测量点<br>位置      |   | 辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------|---|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                |   | A <sub>1</sub>             | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | A <sub>5</sub> | A <sub>6</sub> | A <sub>7</sub> | A <sub>8</sub> | A <sub>9</sub> | A <sub>10</sub> | A <sub>11</sub> | A <sub>12</sub> | A <sub>13</sub> | A <sub>14</sub> | A <sub>15</sub> |
| B <sub>1</sub> | 1 | 0.14                       | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            |
|                | 2 | 0.14                       | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            |
|                | 3 | 0.14                       | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            |
| B <sub>2</sub> | 1 | 0.14                       | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            |
|                | 2 | 0.14                       | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14           | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            | 0.14            |
|                | 3 | 0.15                       | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            |
| B <sub>3</sub> | 1 | 0.15                       | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            |
|                | 2 | 0.15                       | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15           | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            | 0.15            |
|                | 3 | 0.17                       | 0.17           |                |                |                |                |                |                |                | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            |
| B <sub>4</sub> | 1 | 0.16                       | 0.16           |                |                |                |                |                |                |                | 0.16            | 0.16            | 0.16            | 0.16            | 0.16            | 0.16            |
|                | 2 | 0.16                       | 0.16           |                |                |                |                |                |                |                | 0.16            | 0.16            | 0.16            | 0.16            | 0.16            | 0.16            |
|                | 3 | 0.18                       | 0.18           | 0.18           | 0.18           | 0.18           | 0.18           | 0.18           | 0.18           | 0.18           | 0.18            | 0.18            | 0.18            | 0.18            | 0.18            | 0.18            |
| B <sub>5</sub> | 1 | 0.17                       | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            |
|                | 2 | 0.17                       | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17           | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            | 0.17            |
|                | 3 | 0.20                       | 0.20           | 0.20           | 0.20           | 0.20           | 0.20           | 0.20           | 0.20           | 0.20           | 0.20            | 0.20            | 0.20            | 0.20            | 0.20            | 0.20            |
| B <sub>6</sub> | 1 | 0.20                       | 0.20           | 0.20           | 0.21           | 0.21           | 0.21           | 0.20           | 0.20           | 0.19           | 0.19            | 0.14            | 0.18            | 0.18            | 0.17            | 0.17            |
|                | 2 | 0.16                       | 0.16           | 0.17           | 0.21           | 0.22           | 0.23           | 0.24           | 0.22           | 0.21           | 0.21            | 0.19            | 0.17            | 0.18            | 0.22            | 0.22            |
|                | 3 | 0.22                       | 0.23           | 0.23           | 0.24           | 0.25           | 0.25           | 0.23           | 0.20           | 0.22           | 0.23            | 0.23            | 0.22            | 0.21            | 0.22            | 0.22            |
| B <sub>7</sub> | 1 | 0.20                       | 0.20           | 0.20           | 0.21           | 0.21           | 0.21           | 0.20           | 0.20           | 0.19           | 0.19            | 0.14            | 0.18            | 0.18            | 0.17            | 0.17            |
|                | 2 | 0.16                       | 0.16           | 0.17           | 0.21           | 0.22           | 0.23           | 0.24           | 0.22           | 0.21           | 0.21            | 0.19            | 0.17            | 0.18            | 0.22            | 0.22            |
|                | 3 | 0.22                       | 0.23           | 0.23           | 0.24           | 0.25           | 0.25           | 0.23           | 0.20           | 0.22           | 0.23            | 0.23            | 0.22            | 0.21            | 0.22            | 0.22            |
| B <sub>8</sub> | 1 | 0.16                       | 0.18           | 0.18           | 0.18           | 0.37           | 0.35           | 0.21           | 0.22           | 0.20           | 0.38            | 0.31            | 0.21            | 0.18            | 0.18            | 0.18            |

|                       |          |      |      |      |      |      |      |      |       |             |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------------|------|------|------|------|------|------|
|                       | <b>2</b> | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.45 | 0.40  | 0.32        | 0.32 | 0.29 | 0.26 | 0.20 | 0.18 | 0.18 |
|                       | <b>3</b> | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.34 | 0.35 | 0.37 | 0.36 | 0.33  | 0.34        | 0.32 | 0.32 | 0.31 | 0.32 | 0.31 | 0.31 |
| <b>B<sub>9</sub></b>  | <b>1</b> | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.25 | 0.31 | 0.34 | 0.29 | 0.13  | 0.16        | 0.22 | 0.24 | 0.21 | 0.20 | 0.17 | 0.17 |
|                       | <b>2</b> | 0.22 | 0.24 | 0.25 | 0.24 | 0.26 | 0.35 | 1.10 | 1.15  | 0.75        | 0.27 | 0.24 | 0.22 | 0.21 | 0.22 | 0.22 |
|                       | <b>3</b> | 0.33 | 0.35 | 0.38 | 0.46 | 0.73 | 0.75 | 1.40 | 0.90  | 0.55        | 0.56 | 0.55 | 0.56 | 0.43 | 0.45 | 0.45 |
| <b>B<sub>10</sub></b> | <b>1</b> | 0.11 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.16 | 0.16 | 0.30  | 0.13        | 0.22 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.23 |
|                       | <b>2</b> | 0.19 | 0.20 | 0.19 | 0.21 | 0.15 | 0.13 | 0.63 | 2.41  | 0.68        | 0.20 | 0.22 | 0.22 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
|                       | <b>3</b> | 0.34 | 0.34 | 0.48 | 0.51 | 1.03 | 1.74 | 2.55 | 4.84  | 3.26        | 1.97 | 1.44 | 1.35 | 0.81 | 0.71 | 0.71 |
| <b>B<sub>11</sub></b> | <b>1</b> | 0.15 | 0.15 | 0.12 | 0.13 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | /     | 0.24        | 0.20 | 0.19 | 0.20 | 0.18 | 0.20 | 0.20 |
|                       | <b>2</b> | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.25 | 0.10 | 2.10 | 32.58 | 1.83        | 1.12 | 0.51 | 1.83 | 1.73 | 1.63 | 1.63 |
|                       | <b>3</b> | 0.26 | 0.25 | 0.49 | 0.57 | 0.97 | 3.77 | 3.66 | 2.20  | <b>8.75</b> | 8.14 | 3.97 | 1.64 | 1.22 | 1.07 | 1.07 |
| <b>B<sub>12</sub></b> | <b>1</b> | 0.17 | 0.15 | 0.16 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21  | 0.21        | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.16 | 0.15 | 0.17 |
|                       | <b>2</b> | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.20 | 0.22 | 0.26 | 1.16  | 0.26        | 0.22 | 0.20 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.17 |
|                       | <b>3</b> | 0.32 | 0.36 | 0.39 | 0.54 | 0.59 | 1.04 | 5.70 | 4.07  | 5.70        | 1.04 | 0.59 | 0.54 | 0.39 | 0.36 | 0.32 |
| <b>B<sub>13</sub></b> | <b>1</b> | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.31 | 0.22 | 0.22 | 0.22  | 0.22        | 0.22 | 0.21 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
|                       | <b>2</b> | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.20 |      |      |       |             |      |      | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
|                       | <b>3</b> | 0.25 | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.56 |      |      |       |             |      |      | 0.29 | 0.27 | 0.25 | 0.25 |
| <b>B<sub>14</sub></b> | <b>1</b> | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.20 | 0.34 |      |      |       |             |      |      | 0.20 | 0.14 | 0.14 | 0.15 |
|                       | <b>2</b> | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.13 | 0.27 | 0.25  | 0.27        | 0.13 | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
|                       | <b>3</b> | 0.27 | 0.29 | 0.31 | 0.38 | 0.70 | 0.99 | 0.96 | 0.90  | 0.96        | 0.99 | 0.70 | 0.38 | 0.31 | 0.29 | 0.27 |
| <b>B<sub>15</sub></b> | <b>1</b> | 0.15 | 0.16 | 0.15 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.27  | 0.26        | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.15 | 0.16 | 0.15 |
|                       | <b>2</b> | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.15  | 0.16        | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
|                       | <b>3</b> | 0.27 | 0.31 | 0.33 | 0.38 | 0.73 | 0.60 | 0.73 | 0.82  | 0.73        | 0.60 | 0.73 | 0.38 | 0.33 | 0.31 | 0.27 |
| <b>B<sub>16</sub></b> | <b>1</b> | 0.15 | 0.16 | 0.15 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20  | 0.20        | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.15 | 0.16 | 0.15 |
|                       | <b>2</b> | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.15  | 0.16        | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
|                       | <b>3</b> | 0.20 | 0.41 | 0.42 | 0.43 | 0.38 | 0.39 | 0.36 | 0.38  | 0.36        | 0.39 | 0.38 | 0.43 | 0.42 | 0.41 | 0.20 |

说明：1、A<sub>1</sub>-A<sub>15</sub>指治疗区内，面对机架时，从右侧墙壁到左侧墙壁每隔0.5m的测量点；  
2、B<sub>1</sub>-B<sub>16</sub>指治疗区内，面对机架时，从前侧墙壁到后侧墙壁每隔0.5m的测量点；  
3、每列1、2、3分别为地面处、等中心高度、等中心高度以上1.0m的测量点。

②放射性固体废物：<sup>60</sup>Co放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

### （3）CBCT 图像引导系统

CBCT 图像引导系统在工作状态下会发出X射线，最大管电压为150kV、最大管电流为64mA。CBCT产生的X射线是随机器的开、关而产生和消失，在开机出束期间，X射线是主要污染因子。

## （二）非放射性污染

1、废气：Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统、Ethos 型医用直线加速器在工作状态时，会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

## 二、Mobetron 2000 型术中加速器

### （一）放射性污染

1、电子线：本项目术中加速器为移动式电子加速器，电子束最大能量为12MeV，治疗模式仅为电子线治疗。由于电子束射程短、穿透能力弱，其在人体内射程仅为几厘米，基本上全部进入人体。因此，电子束不是室内辐射的主要来源，在屏蔽防护设计时可以考虑不用考虑电子线的防护。

2、X射线：室内辐射场的剂量贡献主要来自于电子束射入人体后产生的韧致辐射，其能量不超过12MeV。而从限光筒与人体组织之间缝隙泄漏的电子束、以及束流损失造成的电子辐射很少，故由电子束泄漏或束流损失造成的韧致辐射也相对较小。因此，在屏蔽防护设计时应主要考虑韧致辐射的防护。

同时还应注意，该术中加速器所用的薄层不锈钢限光筒对韧致辐射X射线源几乎

没有屏蔽作用，所以加速器产生的电子束流与人体作用的点位处几乎作为一个裸源向四周发射光子，只是光子能量的大小与角分布的状况相关联。

在 12MeV 的电子束向下照射时，竖直向下方向的韧致辐射能量和强度最大，装置在电子束相应主束区设有 12.5cm 厚铅板（近似六边形，面积约 0.25m<sup>2</sup>）用来阻挡该方向韧致辐射，但旁侧的散射辐射也是不容忽视的，这也是影响术中放疗专用手术室地板屏蔽的关键因素。

专用手术室四周墙壁及屋顶，主要由：45 度至 180 度方向韧致辐射、0~45 度方向韧致辐射的散射、泄漏辐射几部分叠加而成，这些辐射并不能受到束流阻挡器铅板的衰减，需要通过屏蔽以降低手术室墙外辐射剂量率。

**3、中子：**根据相关资料，光子与铅的光核反应阈值为 7.368MeV。而本项目术中加速器的最大电子线能量为 12MeV，且专用手术室内造成专用加速器电子线韧致辐射的是人体，其原子序数较低，近似于水，手术室内产生的韧致辐射能量较低，较高能量的韧致辐射份额很小。

术中加速器产生的韧致辐射以中低能辐射为主，产生的中子份额很小，在通过距离防护的条件下，不需要对其进行额外的附加屏蔽，但在后期的验收监测和年度检测中应加强对术中放疗专用手术室屏蔽墙外中子的检测。

**4、感生放射性：**根据《移动式加速器术中放射治疗的辐射防护与安全评价》和《术中放疗加速器中子剂量当量率的测量研究》可知，本项目术中加速器产生的韧致

辐射以中低能辐射为主，产生的中子份额很小，且产生的韧致辐射平均能量约为4MeV，产生的感生放射性影响很小。

## （二）非放射性污染

1、**废气**：术中加速器在工作状态时，会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、**废水**：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、**固体废物**：主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

## 三、DSA

### （一）放射性污染

DSA 在工作状态下会发出X射线，本项目拟配置的 DSA 型号未定，其最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA，主要用作血管造影检查及配合介入治疗，由于存在影像增强器，从而降低了造影所需的 X 射线剂量，再加上一次血管造影检查需要时间很短，因此血管造影检查的辐射影响较小。而介入放射需要长时间的透视和大量的摄影，对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

DSA 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。辐射场中的 X 射线包括有用线束（主束）、漏射线和散射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

#### 1、有用线束

本项目 DSA 为单球管设备，即使旋转机头，其有用线束投射方向仍为由下至上、朝屋顶照射，有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常与设备最大管电压和管电流之间留有一定的裕量。根据医院提供资料，DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60~80）kV/（5~20）mA，摄影模式的工况为（60~80）kV/（100~500）mA。

DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 DSA 的 X 射线管的过

滤条件从《辐射防护导论》(方杰著)附图 3 中查取。本项目 DSA 过滤材料按照 2.5mmAl 滤片进行剂量预测,查《辐射防护导论》附图 3,本项目正常运行时最大电压为 80kV,离靶 1 米处的发射率约为 5mGy·m<sup>2</sup>/mA·min。

## 2、散射线

本项目 DSA 的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线,其强度与有用线束的 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

## 3、泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“(77)用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内,以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时,离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”(在距离源 1m 处不超过 100cm<sup>2</sup>的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm<sup>2</sup>面积上进行平均测量),以及《医用电气设备 第 1-3 部分:基本安全和基本性能的通用要求 并列标准:诊断 X 射线设备的辐射防护》(GB 9706.103-2020)中 12.4 的相应要求,取本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

工作负荷:根据医院提供的资料,本项目 DSA 的工作负荷情况见表 9-11。

表 9-11 (a) 本项目手术物资楼三层 DSA 手术室内拟配备 DSA 的工作负荷

| (1) 透视 |        |        |            |            |          |
|--------|--------|--------|------------|------------|----------|
| 手术类别   | 年开展工作量 |        | 每台手术透视曝光时间 |            | 年透视曝光时间  |
| 肿瘤介入   | 400 台  |        | 约 10min    |            | 约 66.67h |
| 小计     | /      |        | /          |            | 约 66.67h |
| (2) 摄影 |        |        |            |            |          |
| 手术类别   | 年开展工作量 | 单次采集时间 | 单台手术采集次数   | 单台手术最大采集时间 | 年采集时间    |
| 肿瘤介入   | 400 台  | 0.5~1s | 10-20 次    | 20s        | 约 2.22h  |
| 小计     | /      | /      | /          | /          | 约 2.22h  |
| 总计     |        |        |            |            | 约 68.89h |

表 9-11 (b) 本项目手术物资楼三层复合手术室内拟配备 2 台 DSA 的工作负荷

| (1) 透视 |        |            |          |            |         |
|--------|--------|------------|----------|------------|---------|
| 手术类别   | 年开展工作量 | 每台手术透视曝光时间 |          | 年透视曝光时间    |         |
| 肿瘤介入   | 500 台  | 约 10min    |          | 约 83.33h   |         |
| 小计     | /      | /          |          | 约 83.33h   |         |
| (2) 摄影 |        |            |          |            |         |
| 手术类别   | 年开展工作量 | 单次采集时间     | 单台手术采集次数 | 单台手术最大采集时间 | 年采集时间   |
| 肿瘤介入   | 500 台  | 0.5~1s     | 10-30 次  | 30s        | 约 4.17h |
| 小计     | /      | /          | /        | /          | 约 4.17h |
| 总计     |        |            |          |            | 约 87.5h |

江苏省肿瘤医院拟从介入科现有人员中调用共计 5 名辐射工作人员承担手术物资楼三层 DSA 手术室的辐射工作，其中手术医生 3 人、技师 1 人、护士 1 人（名单见表 9-12），不兼职其他辐射工作。根据医院提供的 DSA 工作负荷，DSA 手术室内设备透视工况年出束时间为 66.67h，摄影工况年出束时间为 2.22h，摄影和透视累计出束时间为 68.89h。

表 9-12 本项目介入科拟调配的辐射工作人员名单

| 序号 | 姓名 | 性别 | 岗位       | 培训合格证书编号* | 科室  |
|----|----|----|----------|-----------|-----|
| 1  |    | 男  | 医师（第一术者） |           | 介入科 |
| 2  |    | 男  | 医师（第一术者） |           | 介入科 |
| 3  |    | 男  | 医师（第二术者） |           | 介入科 |
| 4  |    | 男  | 技师       |           | 介入科 |
| 5  |    | 男  | 护士       |           | 介入科 |

注：刁峻峰、许永琪为新进人员。

江苏省肿瘤医院拟新聘用共计 10 名辐射工作人员承担手术物资楼三层复合手术室 1、2 的辐射工作，其中手术医生 6 人、技师 2 人、护士 2 人。本项目新聘用的 10 名辐射工作人员存在 2 座手术室交叉工作的情况，根据医院提供的 DSA 工作负荷，

复合手术室 1、2 内设备透视工况年出束时间均为 83.33h，摄影工况年出束时间均为 4.17h，摄影和透视累计出束时间均为 87.5h。

## （二）非放射性污染

1、**废气：**DSA 在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、**废水：**主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、**固体废物：**DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物，暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

## 四、CT

### （一）放射性污染

CT 在工作状态下会发出 X 射线，本项目拟配置的 CT 型号未定，其最大管电压为 140kV、最大管电流为 1000mA。CT 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。

根据医院提供的工作量，本项目 CT 室内配备的 CT 年出束运行时间约 52.1h（日接诊量最大 50 人次，周工作 5 天，每年工作 50 周，患者扫描时间平均按 15s 计），CT 在复合手术室 1 和复合手术室 2 内的年出束运行时间均为 4.17h（年扫描人数约 1000 人次，单次扫描时间平均按 15s 计）。

### （二）非放射性污染

1、**废气：**CT 在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、**废水：**主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、**固体废物：**主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫

部门处理，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

江苏省肿瘤医院拟在门诊楼负二层放疗中心新建 4 座放疗机房，分别配备 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器（X 射线能量：7.2MV）、1 台射波刀（X 射线能量： $\leq 6$ MV）、1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统（兼具医用直线加速器（X 射线能量：6MV）治疗、伽玛刀（内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能）和 1 台 Ethos 型直线加速器（X 射线能量：6MV；自带 CBCT（最大管电压为 140kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能）；拟在手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室并配备 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器（电子线能量：6、9、12MeV）；拟在手术物资楼三层新建 4 座射线装置机房，配备 3 台 DSA（管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ）和 2 台 CT（管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ）。

（一）放疗中心（Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统和 Ethos 型医用直线加速器）

本项目拟于门诊楼负二层放疗中心新建 4 座放疗机房（由南向北依次为 1#~4#放疗机房），并分别配备 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器、1 台射波刀、1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统和 1 台 Ethos 型直线加速器。

本项目拟于门诊楼负二层放疗中心 1#放疗机房内配备 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器（X 射线能量：7.2MV），用于肿瘤的放射治疗。1#放疗机房东侧为走道、控制室和辅助机房，北侧为 2#放疗机房，南侧、西侧和下方均为土层，上方为地下车库机动车坡道和结构空腔。1#放疗机房控制室与治疗室分离，治疗室东西长 7.65m、南北长 7.40m、净面积为  $57.9\text{m}^2$ （不含迷路），机房顶部屏蔽内表面至地面约 4.00m（装饰面层下机房高 2.60m）；设置“L”型迷路，迷路横宽 2.0m，迷路内口宽 2.4m，迷路口设有防护门。

本项目拟于门诊楼负二层放疗中心 2#放疗机房内配备 1 台射波刀（型号未定，X 射线能量： $\leq 6$ MV），用于肿瘤的放射治疗。2#放疗机房东侧为走道、控制室和设备间，南侧为 1#放疗机房，北侧为 3#放疗机房，西侧和下方均为土层，上方为地下车

库机动车坡道和结构空腔。2#放疗机房控制室与治疗室分离，治疗室东西长 6.60m、南北长 7.40m、净面积为 51.4m<sup>2</sup>（不含迷路），机房顶部屏蔽内表面至地面约 3.85m（装饰面层下机房高 3.20m）；设置“L”型迷路，迷路横宽 1.92m，迷路内口宽 2.0m，迷路口设有防护门。

本项目拟于门诊楼负二层放疗中心 3#放疗机房内配备 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统（兼具医用直线加速器（X 射线能量为 6MV，为 II 类射线装置）治疗、伽玛刀（内含 18 枚 <sup>60</sup>Co 放射源，总活度为 8.88E+14Bq，为医用 I 类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能），用于肿瘤的放射治疗。3#放疗机房东侧为走道、控制室和设备间，南侧为 2#放疗机房，北侧为 4#放疗机房，西侧和下方均为土层，上方为地下车库机动车坡道和进风机房。3#放疗机房控制室与治疗室分离，治疗室东西长 7.70m、南北长 7.00m、净面积为 53.8m<sup>2</sup>（不含迷路），机房顶部屏蔽内表面至地面约 3.60m（装饰面层下机房高 2.90m）；设置“L”型迷路，迷路横宽 2.0m，迷路内口宽 2.1m，迷路口设有防护门。

本项目拟于门诊楼负二层放疗中心 4#放疗机房内配备 1 台 Ethos 型直线加速器（X 射线能量：6MV，为 II 类射线装置；自带 CBCT（最大管电压为 140kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能），用于肿瘤的放射治疗。4#放疗机房东侧为走道、控制室和设备间，南侧为 3#放疗机房，北侧为烧伤病房（战时），西侧和下方均为土层，上方为地下车库机动车坡道和弱电机房。4#放疗机房控制室与治疗室分离，治疗室东西长 7.00m、南北长 8.448m、净面积为 59.1m<sup>2</sup>（不含迷路），机房顶部屏蔽内表面至地面约 3.60m（装饰面层下机房高 3.00m）；设置“L”型迷路，迷路横宽 2.0m，迷路内口宽 2.0m，迷路口设有防护门。

1#~4#放疗机房布局符合《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”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“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求”“治疗机房均应设置迷路”等规定，本项目 1#~4#放疗机房布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将屏蔽产生射线的 1#~4#放疗机房治疗室、迷路作为辐射防护控制区，在治疗室入口处设置电离辐射警告标志，出束期间除患者外禁止任何人员进入；拟将控制室、设备间或辅助机房和防护门外走道作

为辐射防护监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，出束期间禁止无关人员进入。本项目辐射防护分区的划分符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《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要求。江苏省肿瘤医院门诊楼负二层放疗中心平面布置及分区示意图见附图 3。

### （二）Mobetron 2000 型术中加速器

本项目拟于手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室并配备 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器（电子线能量：6、9、12MeV），用于肿瘤的放射治疗。术中放疗室位于手术物资楼二层手术区的最内侧，东侧为控制室、电梯和污洗间，南侧为走廊，西侧为手术室，北侧为污物通道、标本间和污洗间，下方为去污区，上方为复合手术室 2 及控制室。术中放疗室与控制室分离，放疗室东西长 6.40m、南北长 5.80m、净面积为 37.1m<sup>2</sup>。术中放疗室内东部设有一块东西长 3.20m、南北长 2.20m 的外凸区域，用于存放术中加速器，待有放疗需求时，将术中加速器推至术中放疗室内手术床侧。本项目术中加速器配套设备独立用房，治疗室与控制室分开单独布置，区域划分明确，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内”的规定，项目布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将术中放疗室作为辐射防护控制区，在放疗室入口处设置电离辐射警告标志，出束期间除患者外禁止任何人员进入；拟将与术中放疗室相邻的控制室、污洗间、标本间、缓冲间、污物通道、手术室、洁净通道作为辐射防护监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，出束期间禁止无关人员进入。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要求。江苏省肿瘤医院手术物资楼二层术中放疗室平面布置及分区示意图见附图 6。

### （三）DSA

本项目拟于手术物资楼三层 DSA 手术室内配备 1 台 DSA（型号未定，单球管，最大管电压≤125kV，最大管电流≤1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。DSA

手术室东侧为控制室和污物通道，南侧为缓冲间，西侧为设备间和楼梯间，北侧临空，下方为卫生间、缓冲间和卫生通过间，上方为医生办公室。本项目手术物资楼三层 DSA 手术室东西长 5.20m，南北长 9.80m，有效使用面积为 50.9m<sup>2</sup>。

本项目拟于手术物资楼三层复合手术室 1 和复合手术室 2 内各配备 1 台 DSA（型号未定，单球管，最大管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展医疗诊断和介入治疗。复合手术室 1 和复合手术室 2 相邻而建，共用设备间位于 2 座手术室中间，2 座复合手术室东侧、西侧均为控制室，南侧为洁净通道，西侧为控制室，北侧为污物通道，上方为手术麻醉科室，下方为手术室和术中放疗室。本项目手术物资楼三层复合手术室 1 东西长 7.80m，南北长 7.50m，有效使用面积为 58.5m<sup>2</sup>；复合手术室 2 东西长 9.25m，南北长 6.35m，有效使用面积为 58.7m<sup>2</sup>。

本项目 DSA 配套独立用房，房间由射线装置机房和控制室组成。DSA 机房控制室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目拟将手术物资楼三层 DSA 手术室、复合手术室 1 和复合手术室 2 作为辐射防护控制区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志；将与 DSA 手术室、复合手术室 1 和复合手术室 2 相邻的控制室和设备间划为监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。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。

#### （四）CT

本项目拟于手术物资楼三层 CT 室内配备 1 台 CT（型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展医疗诊断。CT 室东侧、西侧均为控制室，南侧为缓冲间，北侧为污物通道，上方为手术护理部办公室和资料室，下方为卫生通过间。本项目手术物资楼三层 CT 室东西长 5.00m，南北长 7.50m，有效使用面积为 37.5m<sup>2</sup>。

本项目拟于手术物资楼三层复合手术室内配置 1 台 CT（型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展术前患者成像和术后影像评估，存放于 2 座复合手术室之间的设备间，使用时通过滑轨移动至复合手术室 1 或复合手术室 2 内 DSA 检查床进行扫描，不与同室的 DSA 设备同时出束。

本项目 CT 配套独立用房，房间由射线装置机房和控制室组成。CT 机房控制室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目拟将手术物资楼三层 CT 室作为辐射防护控制区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志；将与 CT 室相邻的控制室和设备间划为监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。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。江苏省肿瘤医院手术物资楼三层射线装置机房平面布置及分区示意图见附图 7。

## 二、辐射防护屏蔽设计

### （一）放疗中心

本项目拟在门诊楼负二层放疗中心新建 4 座放疗机房，采用混凝土浇筑结构，迷路入口设铅防护门。具体屏蔽设计参数见表 10-1，屏蔽设计图见图 10-1。

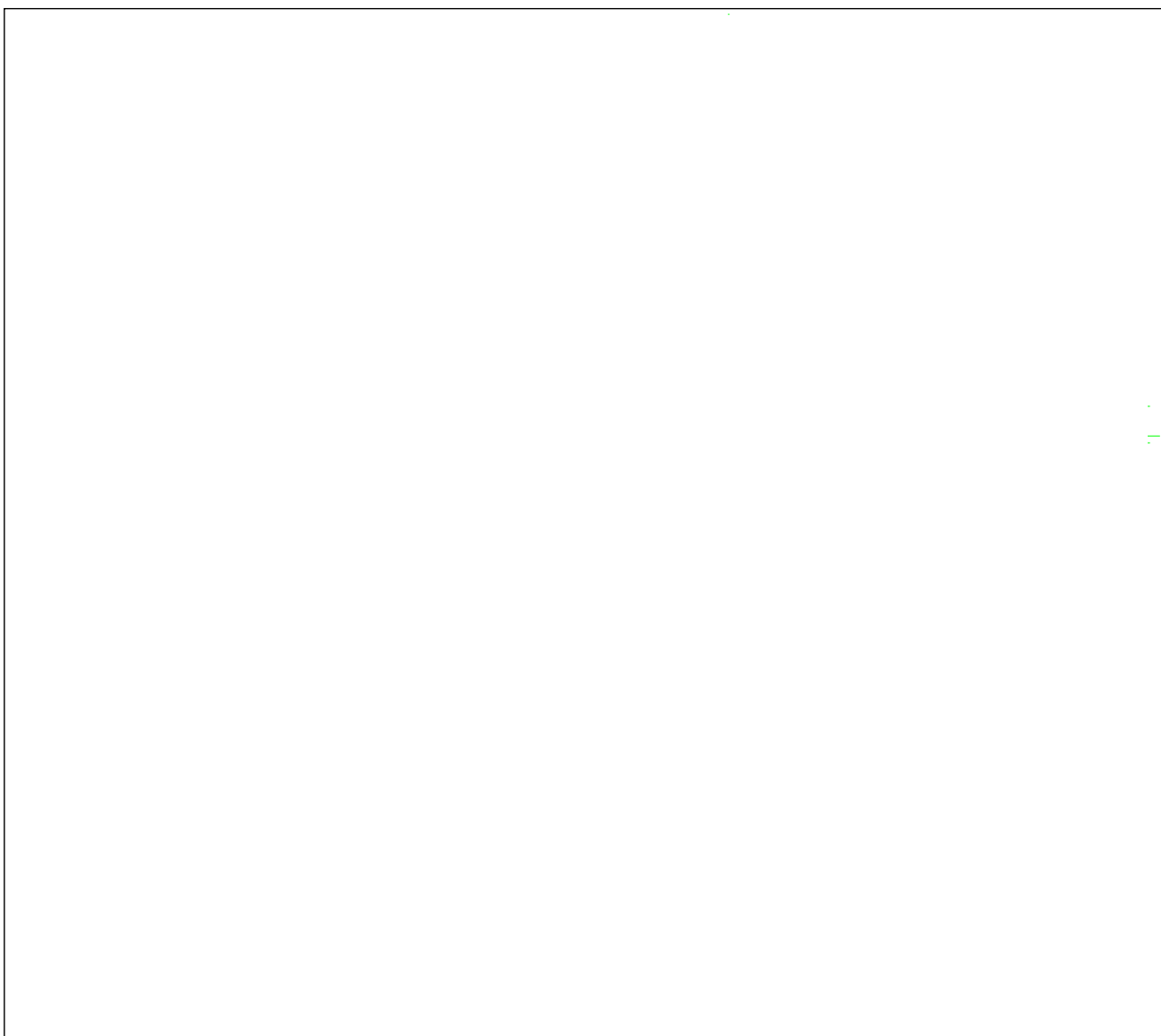


图 10-1 (a) 1#放疗机房屏蔽设计图

表 10-1 (a) 门诊楼负二层放疗中心 1#放疗机房屏蔽设计参数

| 场所名称   | 屏蔽防护设计 <sup>1)</sup> |      | 屏蔽设计 (厚度及材质) <sup>2)</sup> |
|--------|----------------------|------|----------------------------|
| 1#放疗机房 | 东墙                   | 迷路内墙 |                            |
|        |                      | 迷路外墙 |                            |
|        | 南墙                   |      |                            |
|        | 西墙                   |      |                            |
|        | 北墙                   |      |                            |
|        | 屋顶                   |      |                            |
|        | 防护门                  |      |                            |

注：1、1#放疗机房南墙外、南墙外和下方均为土层，人员不可达；

2、混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，重晶石混凝土密度为 3.6g/cm<sup>3</sup>，铅密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>。

表 10-1 (b) 门诊楼负二层放疗中心 2#放疗机房屏蔽设计参数

| 场所名称   | 屏蔽防护设计 <sup>1)</sup> |      | 屏蔽设计 (厚度及材质) <sup>2)</sup> |
|--------|----------------------|------|----------------------------|
| 2#放疗机房 | 东墙                   | 迷路内墙 |                            |
|        |                      | 迷路外墙 |                            |
|        | 南墙                   |      |                            |
|        | 西墙                   |      |                            |
|        | 北墙                   |      |                            |
|        | 屋顶                   |      |                            |
|        | 防护门                  |      |                            |

注：1、2#放疗机房西墙外和下方均为土层，人员不可达；

2、混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，重晶石混凝土密度为 3.6g/cm<sup>3</sup>，铅密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>；

3、迷路内墙中段附加重晶石混凝土通过植筋连接钢筋网、支模进行浇筑。

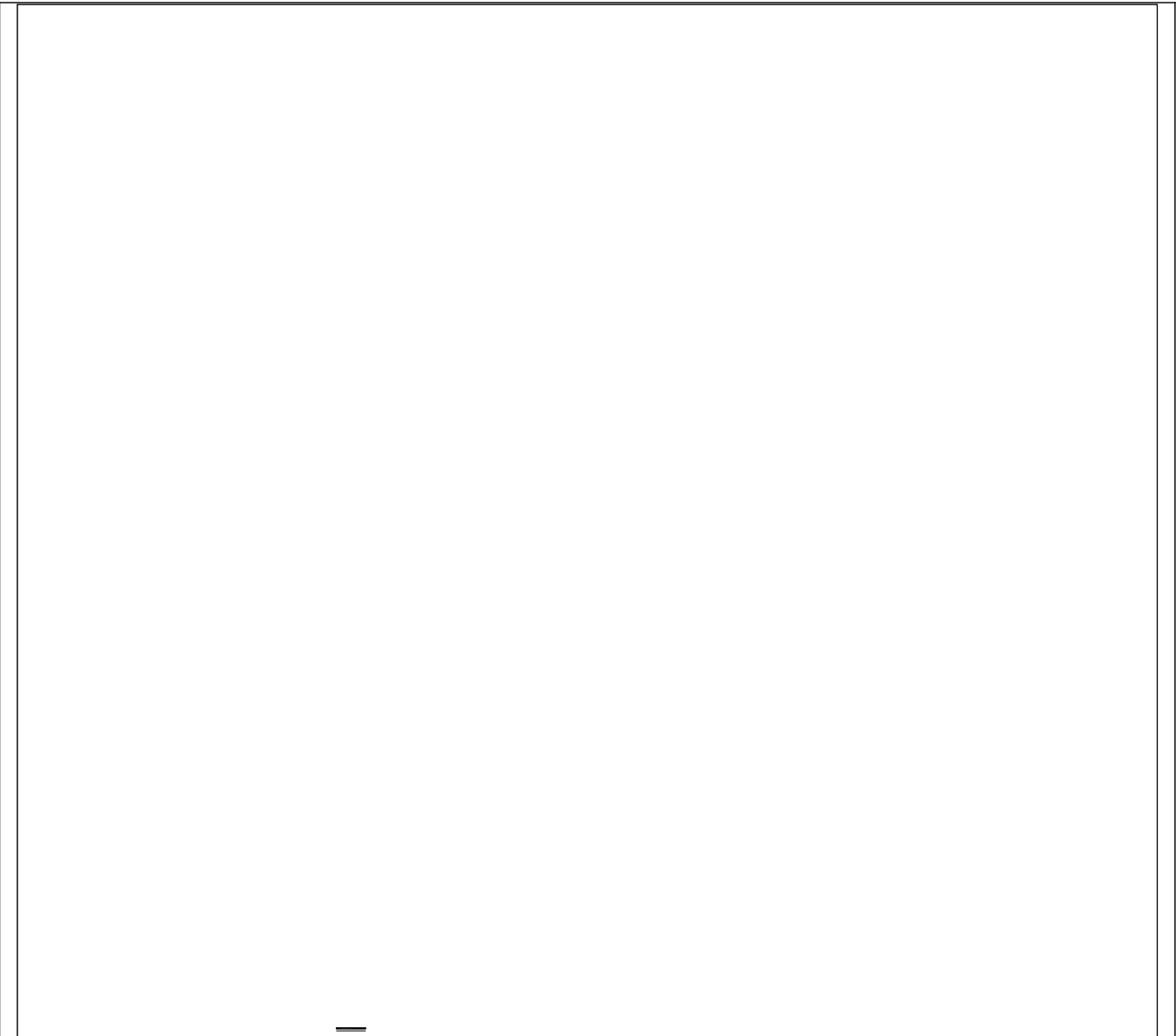


图 10-1 (b) 2#放疗机房屏蔽设计图

表 10-1 (c) 门诊楼负二层放疗中心 3#放疗机房屏蔽设计参数

| 场所名称   | 屏蔽防护设计 <sup>1)</sup> |      | 屏蔽设计 (厚度及材质) <sup>2)</sup> |
|--------|----------------------|------|----------------------------|
| 3#放疗机房 | 东墙                   | 迷路内墙 | —                          |
|        |                      | 迷路外墙 | —                          |
|        | 南墙                   |      | —                          |
|        | 西墙                   |      | —                          |
|        | 北墙                   |      | —                          |
|        | 屋顶                   |      | —                          |
|        | 防护门                  |      | —                          |

注：1、3#放疗机房西墙外和下方均为土层，人员不可达；

2、混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>。

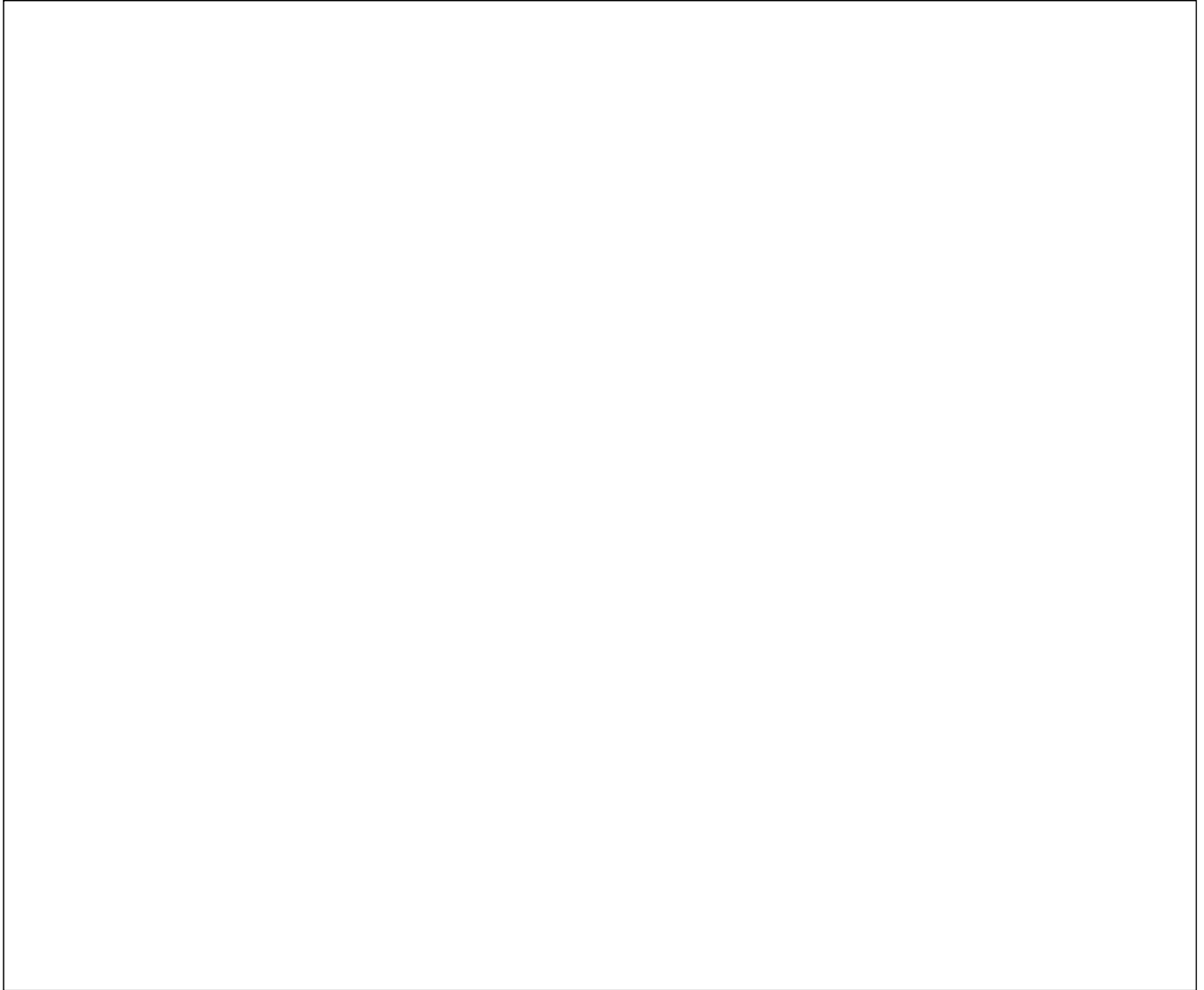


图 10-1 (c) 3#放疗机房屏蔽设计图

表 10-1 (d) 门诊楼负二层放疗中心 4#放疗机房屏蔽设计参数

| 场所名称   | 屏蔽防护设计 <sup>1)</sup> |      | 屏蔽设计（厚度及材质） <sup>2)</sup> |
|--------|----------------------|------|---------------------------|
| 4#放疗机房 | 东墙                   | 迷路内墙 | _____                     |
|        |                      | 迷路外墙 | _____                     |
|        | 南墙                   |      | _____                     |
|        | 西墙                   |      | _____                     |
|        | 北墙                   |      | _____                     |
|        | 屋顶                   |      | _____                     |
|        | 防护门                  |      | _____                     |

注：1、4#放疗机房西墙外和下方均为土层，人员不可达；

2、混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>。



图 10-1 (d) 4#放疗机房屏蔽设计图

### (二) 术中加速器

本项目拟在手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室，采用混凝土浇筑结构，入口设铅防护门。具体屏蔽设计参数见表 10-2。

表 10-2 手术物资楼二层术中放疗室屏蔽设计参数

| 工作场所名称           | 屏蔽体  | 主要屏蔽材料及厚度 |
|------------------|------|-----------|
| 手术物资楼二层<br>术中放疗室 | 四侧墙体 |           |
|                  | 顶面   |           |
|                  | 底面   |           |
|                  | 防护门  |           |

注：1、实心砖密度为 1.97g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>；

2、机房顶面附加的硫酸钡水泥铺设于机房上方的楼板地面。



图 10-2 术中放疗室屏蔽设计图

### (三) DSA

本项目拟在手术物资楼三层新建 3 座 DSA 机房，具体屏蔽设计参数见表 10-3。

表 10-3 手术物资楼三层 DSA 机房屏蔽设计参数

| 工作场所名称             | 屏蔽体  | 主要屏蔽材料及厚度 |
|--------------------|------|-----------|
| 手术物资楼三层<br>DSA 手术室 | 四侧墙体 |           |
|                    | 顶面   |           |
|                    | 底面   |           |
|                    | 防护门  |           |

|                    |      |  |
|--------------------|------|--|
|                    | 观察窗  |  |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 1 | 四侧墙体 |  |
|                    | 顶面   |  |
|                    | 底面   |  |
|                    | 防护门  |  |
|                    | 观察窗  |  |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 2 | 四侧墙体 |  |
|                    | 顶面   |  |
|                    | 底面   |  |
|                    | 防护门  |  |
|                    | 观察窗  |  |

注：1、实心砖密度为  $1.97\text{g/cm}^3$ ，混凝土密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ，铅密度为  $11.3\text{g/cm}^3$ ；  
2、机房顶面附加的铅板均铺设于机房上方的楼板地面。

#### （四）CT

本项目拟在手术物资楼三层新建 1 座 CT 室，具体屏蔽设计参数见表 10-4。

表 10-4 手术物资楼三层 CT 室屏蔽设计参数

| 工作场所名称          | 屏蔽体  | 主要屏蔽材料及厚度 |
|-----------------|------|-----------|
| 手术物资楼三层<br>CT 室 | 四侧墙体 |           |
|                 | 顶面   |           |
|                 | 底面   |           |
|                 | 防护门  |           |
|                 | 观察窗  |           |

注：1、实心砖密度为  $1.97\text{g/cm}^3$ ，混凝土密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ，铅密度为  $11.3\text{g/cm}^3$ ；  
2、机房顶面附加的铅板铺设于机房上方的楼板地面。

### 三、辐射安全和防护措施

#### （一）放疗中心

为保障本项目放疗设备的安全运行，避免在出束期间人员误留或误入治疗室内而

发生误照射事故，医院在本项目放疗中心 4 座放疗机房设置有相应的辐射安全措施，主要有：

### 1、电线电缆布设

### 2、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。本项目放疗机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

### 3、通风要求

本项目放疗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。放疗机房进风口拟设在治疗室吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高，进风口与排风口位置对角设置，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“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”的要求。放疗机房进排风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进、排风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。废气经排风管道由放疗中心楼顶排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

### 4、电离辐射警告标志和工作状态指示灯

放疗机房入口拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与放疗设备联锁，防止无关人员逗留和误入。

### 5、紧急停机装置

在放疗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，急停按钮拟设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，按下急停按钮，即可停止放疗设

备出束或出源照射。

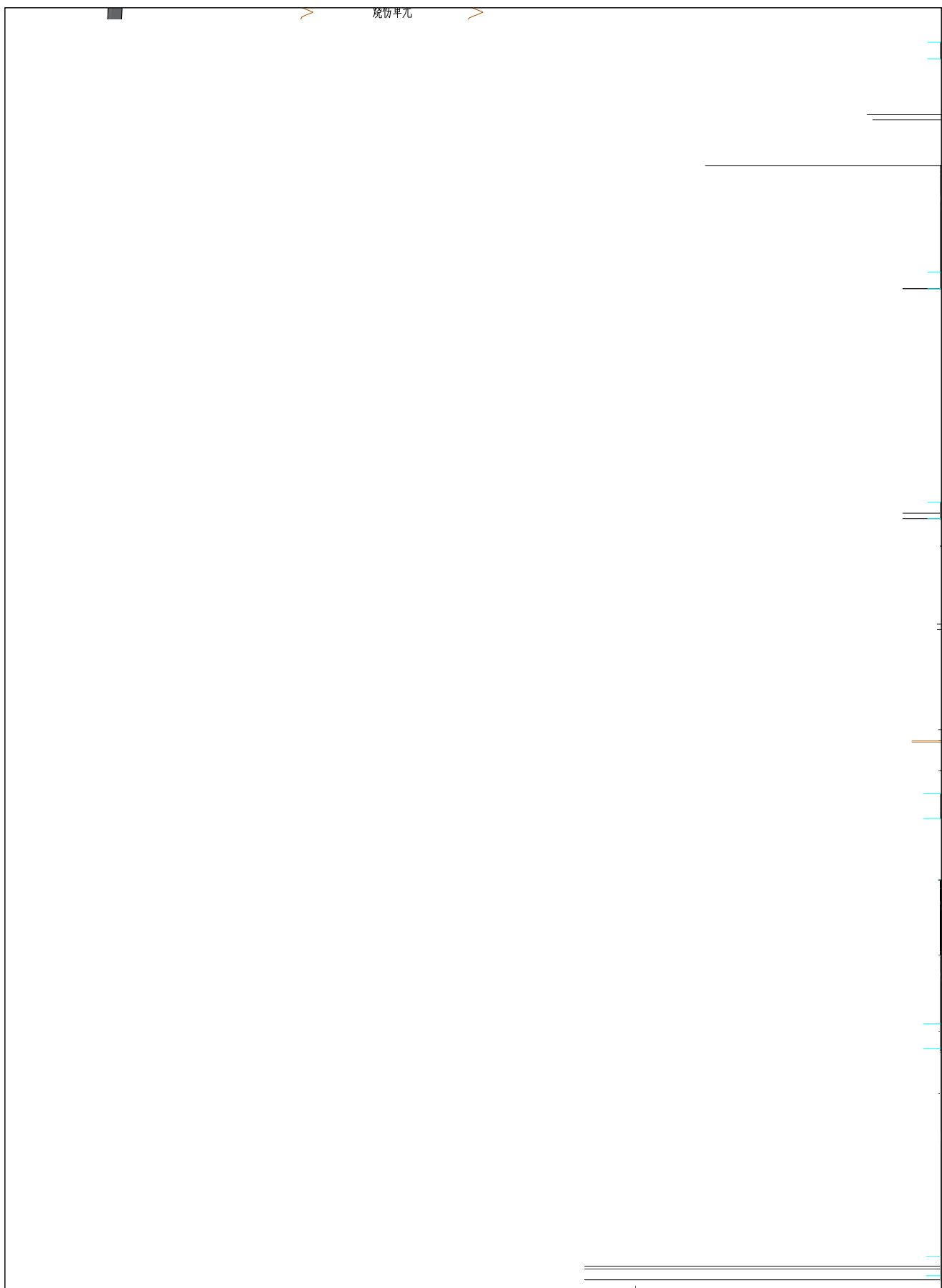


图 10-3 放疗机房主要安全设施位置示意图

## 6、紧急开门装置

放疗机房拟在迷路内设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能。

## 7、安全联锁装置

放疗机房拟设置门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。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医院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、视频装置和双向交流对讲装置

本项目放疗机房控制室拟设置在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷路区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统，实时观察机房内的动态。

## 9、固定式辐射剂量监测仪

本项目放疗机房治疗室迷路的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有异常情况下报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

### （十）其他

Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统设计配备 UPS，断电情况下可持续供电，保证关源步骤的完成，确保患者和辐射工作人员的辐射安全；配置有紧急情况下的快速手动关源装置，当自动关源系统出现故障时，可通过该装置将放射源迅速关闭，保证安全。

### （二）术中加速器

#### 1、电线电缆布设

术中放疗室电缆线穿墙方式拟采用“U”型穿墙管道，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。

#### 2、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，还要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。根据经验，建议门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度应大于门缝的 10 倍，方能有效避免门缝处的射线泄漏。

#### 3、通风要求

本项目术中放疗室拟设计有通风装置，术中放疗室内拟采用机械进、出风，通风

换气频率为不低于 4 次/h。

#### **4、电离辐射警告标志和工作状态指示灯**

术中放疗室各防护门处拟设置电离辐射警告标志，在南侧、北侧防护门上方拟设置工作状态指示灯，工作状态指示灯与术中加速器联锁，防止无关人员逗留和误入。

#### **5、安全联锁装置**

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。除术中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。

#### **6、开门装置**

术中放疗室拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。

#### **7、紧急停机装置**

除术中加速器上自带紧急停机开关外，术中放疗室内各侧墙体上以及控制室的控制台上也各设置 1 个紧急停机按钮，以避免术中放疗室内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

#### **8、监视和对讲装置**

本项目术中放疗室拟设计安装监控系统和对讲装置，实时观察机房内的动态。

#### **9、固定式辐射剂量监测仪**

本项目术中放疗室内拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

#### **10、其他辐射安全管理措施**

本项目术中放疗室内配备的术中加速器均在夜间开展出束治疗，此时术中放疗室的四周及上方、下方区域均无人员滞留。在进行术中放疗前，对术中放疗室周围及上、下房进行巡查并清场，关闭各房间和通道的入口门，在入口处明显位置设置临时的电离辐射警告标志，并安排专人巡逻，确保在出束治疗时周围无其他无关人员逗留。

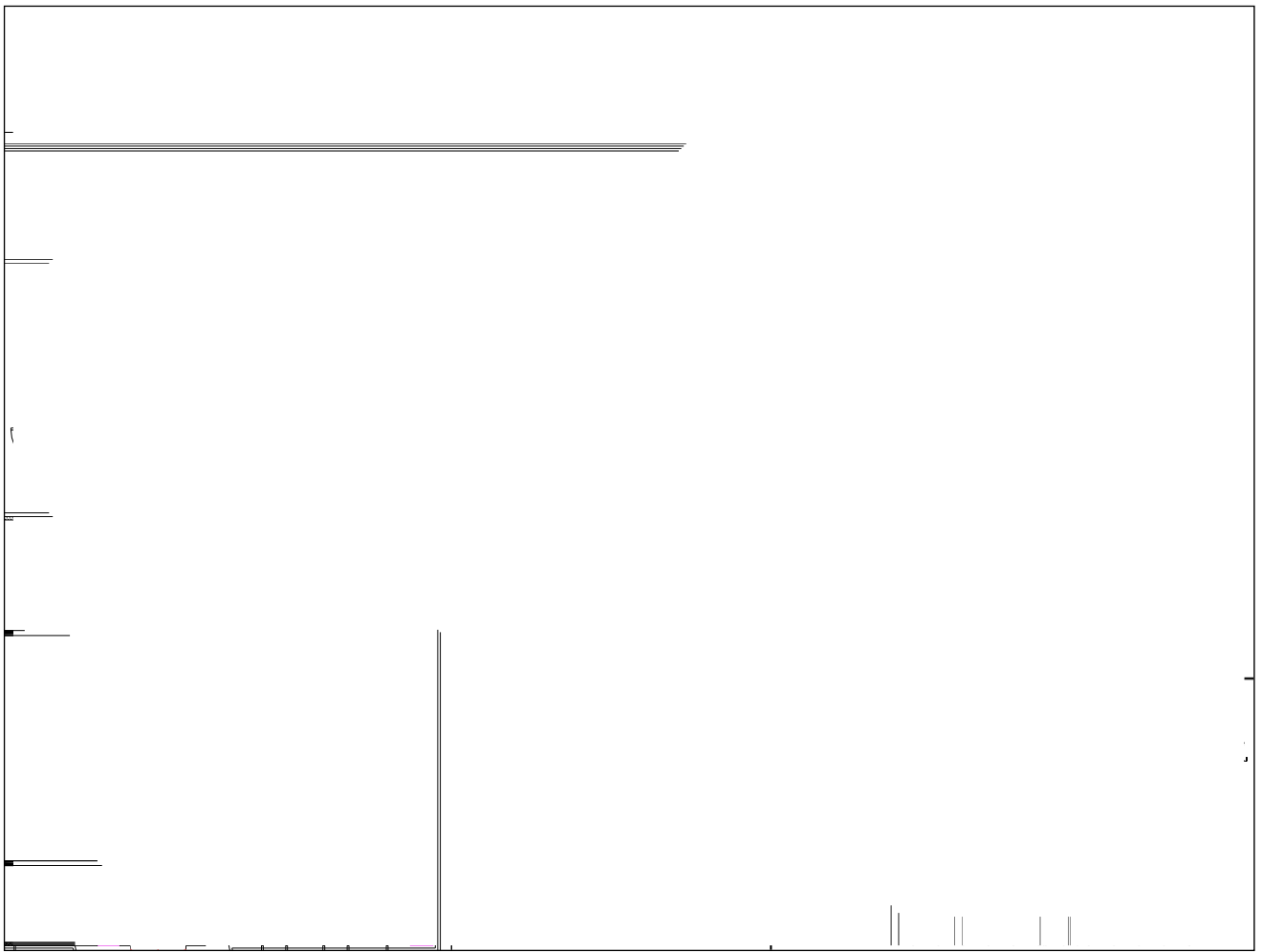


图 10-4 本项目术中放疗室辐射安全设施示意图

### （三）DSA

#### 1、电离辐射警告标志

医院拟在 DSA 手术室、复合手术室入口处设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

#### 2、门灯联动

本项目 DSA 手术室、复合手术室患者防护门拟采用电动推拉式机房门，拟设有防夹装置和曝光时关闭机房门的管理措施，防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。DSA 手术室、复合手术室其余防护门均拟为平开机房门，拟设置自动闭门装置。

#### 3、急停按钮

医院拟在 DSA 手术室、复合手术室内的治疗床边操作面板自带 1 个急停按钮，各按钮分别与 X 射线系统连接，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止 X 射

线系统出束。

#### 4、观察窗或摄像监控装置和对讲装置

医院拟在DSA手术室、复合手术室控制室墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态防护门开闭情况。DSA手术室、复合手术室控制室内拟设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流。

#### 5、防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、剂量报警仪、个人剂量计等，医院拟购置的各类防护用品除介入防护手套防护能力为 0.025mm 铅当量外，其余防护用品防护能力均为 0.5mm 铅当量。本项目 DSA 设备自带铅防护吊帘、床侧防护帘等辅助防护设施，其防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。

#### 6、人员监护

医院拟为本项目 3 台 DSA 配备 15 名辐射工作人员，应为辐射工作人员配备个人剂量计，采用双剂量计监测方法，定期送检且需做好个人剂量档案管理工作。该医院应开展辐射工作人员的职业健康监护，定期安排其在有相应资质医院体检，建立个人剂量档案。

#### 7、规章制度

完善并落实射线装置相关的安全使用制度、管理制度，从事辐射工作的医务人员均须参加放射工作的培训与辐射安全培训考核。辐射工作人员在操作过程中遵守以上制度，严格按操作程序，避免发生事故。

#### 8、其他辐射安全措施

介入治疗需要长时间的透视和大量的摄影，对患者和医务人员来说辐射剂量较高，因此在评估介入治疗的效应和操作时，其辐射损伤必须要加以考虑。由于需要医务人员在机房内，X 射线球管工作时产生的散射线对医务人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

(1) 操作中减少透视时间和减少摄影的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入人员在操作时应尽量远离检查床。

(2) 一般说来，降低患者剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入人员的培训，包括放射防护的培训，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅

速，以减少患者和介入人员的剂量。

(3) 所有在介入治疗手术室内的工作人员都应开展个人剂量监测，医院应结合工作人员个人剂量监测的数据采取措施，控制和减少工作人员的受照剂量。

(4) 引入的 DSA 及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量。

(5) 介入人员应该结合 DSA 设备的特点，了解一些降低剂量的方法，比如脉冲透视、优化滤线器、除滤线栅、图像处理、低剂量透视等方法。

(6) 加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与发生器、透视和数字成像的性能以及其他相关设备应该定期进行检测。

(7) 临床介入手术时，介入医生需站在 DSA 床边操作，仅依赖于医务人员身着铅橡胶围裙、机器自带的铅防护帘等防护设备被动防护。一般来说，床下和床侧球管对医务人员的辐射剂量，由头、颈、胸至腹部呈现剂量逐渐上升的趋势，故操作人员除个人防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜及介入防护手套等）外，应着重考虑 X 射线机操作侧的屏蔽，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，且能消毒。本项目 DSA 设备自带床侧防护帘、铅防护帘及铅悬挂防护屏，以上组合屏蔽防护措施的设置，能够有效降低介入手术医务人员的吸收剂量。

本次扩建 1 台 DSA 项目工作场所划分控制区和监督区，实施分区管理，布局基本合理，相关防护安全设施、污染防治措施等符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

#### **（四）CT**

##### **1、电离辐射警告标志**

CT 室入口处拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

##### **2、工作状态指示灯**

CT 室患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并与机房防护门有效关联。

##### **3、闭门装置**

平开机房门拟设有自动闭门装置，推拉式机房门拟设有曝光时关闭机房门的管理措施，防护门关闭的情况下，设备才能出束照射。

#### 4、急停按钮

在 CT 室控制室及设备上均设置有急停按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止 X 射线系统出束。

#### 5、观察窗

CT 室控制室侧墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。

#### 6、防护用品

医院拟为患者配备的个人防护用品主要有铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套等，防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。

#### 7、工作人员防护用品

医院拟为本项目辐射工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有放射性污染防护服、个人剂量报警仪、个人剂量计等。

本次扩建放射诊疗项目工作场所划分控制区和监督区，实施分区管理，布局基本合理，在落实以上辐射安全措施后，相关防护安全设施、污染防治措施等符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

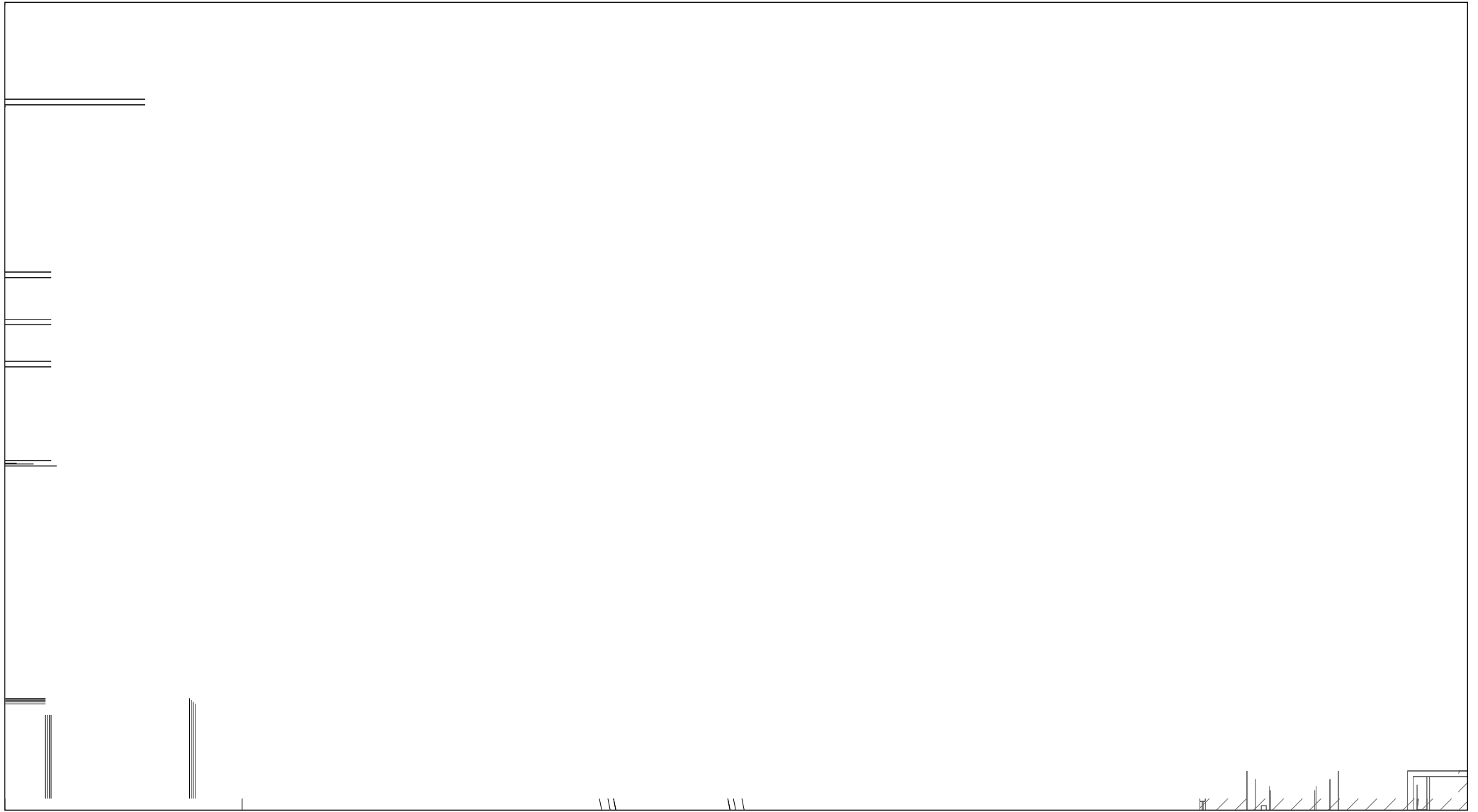


图 10-5 本项目手术物资楼三层射线装置机房主要安全设施位置示意图

#### 四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

表 10-5 个人防护用品和辅助防护设施配置符合性

| 项目  | 分项   |        | 《放射诊断放射防护要求》<br>(GBZ130-2020) 要求      | 本项目拟采取措施   |
|-----|------|--------|---------------------------------------|--|
| DSA | 工作人员 | 个人防护用品 | 铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套<br>选配：铅橡胶帽子  | 15 件铅橡胶围裙、15 件铅橡胶颈套、15 顶铅橡胶帽子、3 副铅防护眼镜、3 副介入防护手套 |
|     |      | 辅助防护设施 | 铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏<br>选配：移动铅防护屏风 | 铅防护帘、床侧防护帘                                       |
|     | 受检者  | 个人防护用品 | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套<br>选配：铅橡胶帽子    | 3 件铅橡胶围脖、3 顶铅橡胶帽子、3 件铅方巾                         |
|     |      | 辅助防护设施 | /                                     | /  |
| CT  | 工作人员 | 个人防护用品 | /                                     | /  |
|     |      | 辅助防护设施 | /                                     | /  |
|     | 受检者  | 个人防护用品 | 铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套<br>选配：铅橡胶帽子    | 2 件铅方巾、2 件铅橡胶颈套                                  |
|     |      | 辅助防护设施 | 可调节防护窗口的立位防护屏<br>选配：固定特殊受检者体位的各种设备    | /  |

江苏省肿瘤医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 5 套、中子剂量率巡测仪 1 台及个人剂量报警仪 17 台。医院拟为辐射工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（不低于 0.5mm 铅当量）及介入防护手套（不低于 0.025mm 铅当量）等个人防护用品（具体配备情况见表 10-5）。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，开展 DSA 介入治疗的辐射工作人员采用双剂量计监测方法，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

## 三废的治理

### 一、放射性“三废”

放射性固体废物： $^{60}\text{Co}$ 放射源使用到一定期限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 $^{60}\text{Co}$ 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件3）。

### 二、非放射性“三废”

#### （一）废气

术中放疗室、DSA机房、CT室内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排至室外，臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第6.2.2条款的要求：放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

本项目4座放疗机房内均设有通风装置，采用机械排风方式。放疗机房采用上进下出的通风系统，从防护门上方至机房内，进风口拟设在治疗室吊顶处，排风口下沿距治疗室地面0.3m高，进风口与排风口位置对角设置。放疗中心放疗机房通风管道布设示意图详见附图9。

本项目1#~4#放疗机房治疗室容积分别约 $316\text{m}^3$ 、 $273\text{m}^3$ 、 $261\text{m}^3$ 、 $307\text{m}^3$ （包括迷路），各放疗机房内排风机的设计通风量均为 $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时通风换气次数约为6.3~7.7次，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于4次/h”的相关要求。

#### （二）废水

辐射工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

#### （三）固体废物

DSA手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，由医院统一委托有资质单位进行处置；辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

## 建设阶段对环境的影响

本次扩建放射诊疗项目各机房及工作场所建设属于整个院区西扩工程基础建设的部分工程，施工期阶段环境影响已于《江苏省肿瘤医院改扩建工程建设项目环境影响报告书》进行分析评价，建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等，建设施工时对环境会产生如下影响：

### 一、大气

本项目在建设施工期需进行的挖掘地基、打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：

- （一）及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- （二）车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；
- （三）施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

### 二、噪声

整个建筑施工阶段，如打桩机、混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时须严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

### 三、固体废物

项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

### 四、废水

项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

建设单位在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在院区内局部区域，对周围环境影响较小。

## 运行阶段对环境的影响

### 一、辐射环境影响分析

#### (一) Elekta Unity 型 MR 直线加速器

根据建设单位提供的资料,江苏省肿瘤医院拟于门诊楼负二层放疗中心 1#放疗机房内配备 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器,主要参数为:X 射线能量:7.2MV;等中心点处(距靶 1.435m 处)最大输出剂量率:700cGy/min。

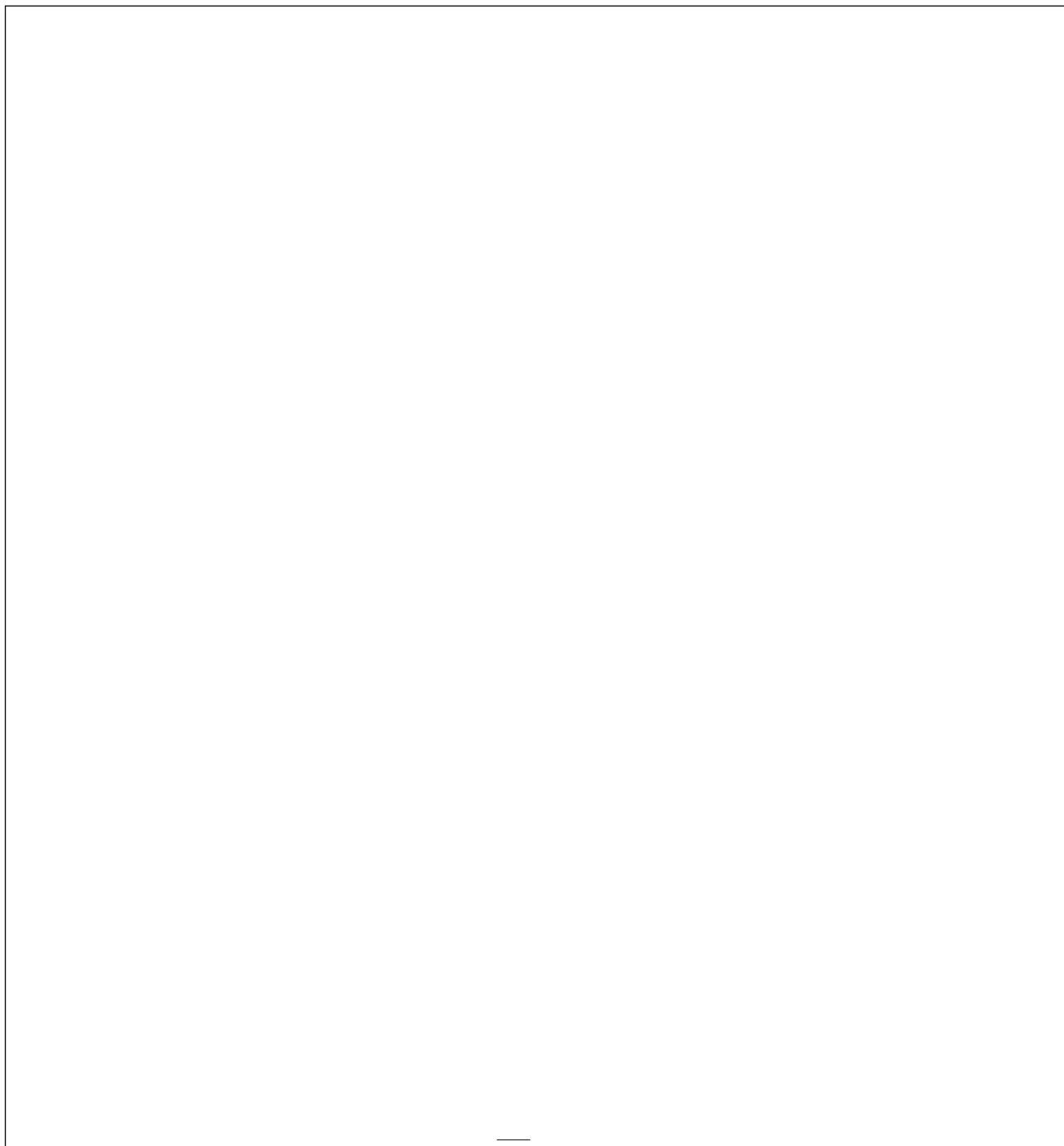


图 11-1 1#放疗机房估算点位示意图

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》

(GBZ/T 201.2-2011) 的要求, 在本项目 1#放疗机房外设定关注点。从保守角度出发, 在 1#放疗机房设计的尺寸厚度基础上, 假定 Elekta Unity 型 MR 直线加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目 1#放疗机房的关注点设定如图 11-1。

## 1、辐射防护效果预测

### (1) 有用线束投射区屏蔽设计核算 (北墙 $a$ 点及屋顶 $l$ 点、 $l'$ 点)

①主射线路径: 北墙  $o_2 \rightarrow a$ , 屋顶  $o_3 \rightarrow l$ ,  $o_3 \rightarrow l'$ 。

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算, 在给定的屏蔽物质厚度  $X$  (cm) 时, 首先按照公式 11-1 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度  $X_e$  (cm), 按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ , 再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 11-1}$$

式中:  $X$ —设计屏蔽厚度, cm;

$\theta$ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中,  $TVL_1$  (cm) 和  $TVL$  (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1 = TVL$ 。由于《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》(GBZ/T 201.2-2011) 附录 B 表 B.1 中只有 6MV 和 10MV 下的有用束在混凝土中的  $TVL_1$  和  $TVL$  值, 故采用插值法计算得出 7.2MV 下的有用束在混凝土中的  $TVL_1 = 38.2\text{cm}$ 、 $TVL = 34.2\text{cm}$ 。查 NCRP No.151, 6MV 和 10MV 下的有用束在铅板中的  $TVL_1$  和  $TVL$  均为 5.7cm, 故本项目 7.2MV 下的有用束在铅板

中的  $TVL_l$  和  $TVL$  均取 5.7cm。本项目中， $a$  点、 $l$  点、 $l'$  点相应厚度主屏蔽的  $B$  值核算见表 11-1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-3}$$

式中： $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 Elekta Unity 型 MR 直线加速器等中心点处（距靶 1.435m 处）最大输出剂量率：700cGy/min，即  $4.20\text{E}+08\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，则距靶 1m 处的最大输出剂量率为  $8.649\text{E}+08\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

$f$ —对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

### ③预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子  $B$  值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ），将其与本项目确定的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-1，其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-1 1#放疗机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

| 参数   | 北墙 ( $a$ 点) | 顶部 ( $l$ 点) | 顶部 ( $l'$ 点) |
|--|-------------|-------------|--------------|
| $X$ (cm)   |             |             |              |
| $X_e$ (cm)   |             |             |              |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |             |             |              |
| $TVL_l$ (cm)   | 砷           |             |              |
|  | 铅           |             |              |
| $TVL$ (cm)   | 砷           |             |              |
|  | 铅           |             |              |
| $B$  |             |             |              |
| $R$ (m)  |             |             |              |
| $f$  |             |             |              |

|   |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )                  | 6.18E-04 | 7.10E-05 | 1.30E-03 |
| $\dot{H}_e$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )<br>(剂量率参考控制水平) | 10       | 10       | 10       |
| 评价  | 满足       | 满足       | 满足       |

注：1、1#放疗机房顶部为结构空腔和停车场坡道，坡道为 25cm 混凝土浇筑；

2、Elekta Unity 型 MR 直线加速器射束衰减器由不锈钢和铅合金材料组合而成，铅合金密度为  $11\text{g/cm}^3$ ，10.7cm 铅合金按密度等效约 11.0cm 铅。

## (2) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算（迷路墙外 $f$ 点）

①射线路径（射线类型）： $o \rightarrow f$ （泄漏射线）。

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。公式 11-3 中， $f=0.0015$ （泄漏辐射比率）。由于《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》（GBZ/T 201.2-2011）附录 B 表 B.1 中只有 6MV 和 10MV 下的泄漏辐射在混凝土中的  $TVL_l$  和  $TVL$  值，故采用插值法计算得出 7.2MV 下的泄漏辐射在混凝土中的  $TVL_l=34.3\text{cm}$ 、 $TVL=29.6\text{cm}$ ，故公式 11-2 的  $TVL_l$  和  $TVL$ ，分别为  $TVL_l=34.3\text{cm}$ 、 $TVL=29.6\text{cm}$ 。

③预测计算结果

$f$  点的辐射剂量率预测结果见表 11-2，其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-2 1#放疗机房迷路墙外泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路墙外 ( $f$ 点) |
|--|---------------|
| $X$ (cm)   | -             |
| $X_e$ (cm)   | -             |
| $TVL_l$ (cm)   | -             |
| $TVL$ (cm)   | -             |
| $B$  | -             |
| $R$ (m)  | -             |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) | -             |
| $f$  | -             |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )                         | 1.27E-04      |

|  |     |
|--|-----|
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 2.5 |
| 评价   | 满足  |

### (3) 迷路外墙屏蔽设计核算 (迷路外墙 $k$ 点)

①射线路径 (射线类型) :  $o_2 \rightarrow k$  (泄漏射线)。

#### ②计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷路内墙照射, 该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-3 中,  $f=0.0015$  (泄漏辐射比率)。公式 11-2 的  $TVL_l$  和  $TVL$ , 分别为混凝土  $TVL_l=34.3\text{cm}$ 、 $TVL=29.6\text{cm}$ 。

#### ③预测计算结果

$k$  点的辐射剂量率预测结果见下表 11-3,  $o_2$  至  $k$  的泄漏辐射的斜射角较小, 通常以  $0^\circ$  垂直入射保守估算, 其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-3 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路外墙 ( $k$ 点) |
|--|---------------|
| $X$ (cm)   |               |
| $X_e$ (cm)   |               |
| $TVL_l$ (cm)   |               |
| $TVL$ (cm)   |               |
| $B$  |               |
| $R$ (m)  |               |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |               |
| $f$  |               |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )                         | 0.346         |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )             | 2.67          |
| 评价   | 满足            |

### (4) 迷路入口处辐射水平核算 ( $g$ 点)

根据 GBZ/T201.2-2011,  $g$  点处同时受到迷道内散射辐射 ( $o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ ) 及加速

器的泄漏辐射  $o_1$  经迷路内墙屏蔽后在迷路入口  $g$  点的辐射剂量。

①射线路径（射线类型）： $o_1 \rightarrow g$ （泄漏射线）， $o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ （散射射线）。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

$g$  点泄漏辐射剂量核算方法同  $f$  点。取泄漏因子  $f=0.0015$ ，公式 11-2 的  $TVL_l$  和  $TVL$ ，分别为  $TVL_l=34.3\text{cm}$ 、 $TVL=29.6\text{cm}$ 。

③预测计算结果

$g$  点的辐射剂量率预测结果见表 11-4，其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读出。

表 11-4 1#放疗机房迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路入口处 ( $g$ 点) |
|--|----------------|
| $X$ (cm)   | -              |
| $X_e$ (cm)   | -              |
| $TVL_l$ (cm)   | -              |
| $TVL$ (cm)   | -              |
| $B$  | -              |
| $R$ (m)  | -              |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) | -              |
| $f$  | -              |
| $\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )             | 0.122          |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )      | 0.33           |
| 评价   | 满足             |

注：1、1#放疗机房迷路内墙北段采用重晶石混凝土进行辐射屏蔽，重晶石混凝土密度为  $3.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，100.2cm 重晶石混凝土按密度等效约 153.5cm 混凝土。

2、根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中 4.3.2.5.1b），“核算加速器的泄漏辐射（以偏离  $o$  的位置  $o_1$  为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口  $g$  的辐射剂量。……核算结果应为  $g$  处的参考控制水平的一个分数（应小于 1/4）”，故本项目取  $0.33\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T201.2-2011，入口  $g$  点处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_{oig}$  按公式 11-4 计算。

$$\dot{H}_{oig} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)(\alpha_2 \cdot A)^{j-1}}{(R_1 \cdot R_2 \cdots R_j)^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-4}$$

式中： $\dot{H}_{oig}$ — $g$  处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取  $45^\circ$  散射角的值。查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2，本项目按  $7.2\text{MV}$ 、 $45^\circ$  采用插值法取值，为  $1.378 \times 10^{-3}$ ；

$F$ —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ 。本项目为  $57.4\text{cm} \times 22\text{cm} = 1262.8\text{cm}^2$ ；

$\alpha_2$ —砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取  $i$  处的入射角为  $45^\circ$ ，散射角为  $0^\circ$ ； $\alpha_2$  值见附录 B 表 B.6，通常使用其  $0.5\text{MeV}$  栏内的值；

$A$ —散射面积， $\text{m}^2$ ；

$R_1$ —“ $o \rightarrow i$ ”之间的距离， $\text{m}$ ；

$R_2 \cdots R_j$ —“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离， $\text{m}$ ；

$j$ —第  $j$  个散射过程；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶  $1\text{m}$  处的最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-5 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路入口处 ( $g$ 点)  |
|--|---|
| $\alpha_{ph}$  |   |
| $F$ ( $\text{cm}^2$ )                                    |   |
| $\alpha_2$   |   |
| $R_1$ ( $\text{m}$ )                                     |   |
| $R_2$ ( $\text{m}$ )                                     |   |
| $R_3$ ( $\text{m}$ )                                     |   |
| $A_1$ ( $\text{m}^2$ )                                   |   |
| $A_2$ ( $\text{m}^2$ )                                   |   |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ) | $8.649\text{E}+08$ ( $1.435^2 \times 4.20\text{E}+08$ ) |
| $\dot{H}_{oig}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )                     | 13.00   |

#### ④ 预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度  $X$  ( $\text{cm}$ ) 时，防护门外  $g$  点处的辐射剂量率  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )

按公式 11-5 计算，预测结果见表 11-6。

$$\dot{H} = \dot{H}_{og} \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad \text{公式 11-5}$$

式中： $\dot{H}_{og}$ —g 处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_{oig}$ —g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$TVL$ —辐射在铅中的什值层， $\text{cm}$ 。

表 11-6 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

| 参数   | 机房入口防护门外 (g 点) |
|--|----------------|
| $\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )        |                |
| $\dot{H}_{oig}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )       |                |
| $X$ (cm)                                   |                |
| $TVL$ (cm)                                 |                |
| 防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )  | 0.135          |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 1.33           |
| 评价   | 满足             |

## 2、预测计算结果汇总及评价

本项目 1#放疗机房外各关注点处的辐射剂量率预测结果见表 11-7。

表 11-7 1#放疗机房外关注点处辐射剂量率理论估算结果汇总

| 参考点    | 剂量率估算值 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 结论   |    |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|------|----|
| 1#放疗机房 | 北墙 (a 点)                    | 6.18E-04                       | 10   | 满足 |
|        | 屋顶 (l 点)                    | 7.10E-05                       | 10   | 满足 |
|        | 屋顶 (l' 点)                   | 1.30E-03                       | 10   | 满足 |
|        | 迷路外墙 (f 点)                  | 1.27E-04                       | 2.5  | 满足 |
|        | 迷路外墙 (k 点)                  | 0.346                          | 2.67 | 满足 |
|        | 迷路入口防护门 (g 点)               | 0.135                          | 1.33 | 满足 |

由表 11-7 可知，本项目 1#放疗机房屏蔽防护设计能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)的要

求。

## （二）射波刀

根据建设单位提供的资料，江苏省肿瘤医院拟于门诊楼负二层放疗中心 2#放疗机房内配备 1 台射波刀，型号未定，主要参数为：X 射线能量： $\leq 6\text{MV}$ ；等中心点处（距靶 0.8m 处）最大输出剂量率： $1050\text{cGy/min}$ 。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目 2#放疗机房外设定关注点。从保守角度出发，在 2#放疗机房设计的尺寸厚度基础上，假定射波刀最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目 2#放疗机房的关注点设定如图 11-2。




图 11-2 2#放疗机房估算点位示意图

### 1、辐射防护效果预测

本项目射波刀是将小型加速器固定安装在机器人前臂，加速器在机器人臂的带动下可由空间任何方向以准直束线精确定位照射，故本项目在进行 2#放疗机房屏蔽设计核算时，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中“D.3.3.1 各面均按有用线束（ $U < 0.05$ ）考虑机房屏蔽”进行屏蔽计算。

#### （1）有用线束屏蔽设计核算

①主射线路径（射线类型）：北墙  $o \rightarrow a$ ，东墙  $o \rightarrow b$ ， $o \rightarrow c$ ，南墙  $o \rightarrow d$ ，屋顶  $o \rightarrow l$ ， $o \rightarrow l'$ ，防护门  $o \rightarrow g$ ， $o \rightarrow g'$ 。

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的相关公式进行有用线束屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度  $X$ （cm）时，首先按照公式 11-1 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度  $X_e$ （cm），按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ，再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

对应 6MV 的 X 射线能量，查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1 的有用束值，混凝土  $TVL_l$  为 37cm， $TVL$  为 33cm；查 NCRP No.151，铅板的  $TVL_l$  和  $TVL$  均为 5.7cm。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-3}$$

式中： $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目射波刀等中心点处（距靶 0.8m 处）最大输出剂量率：1050cGy/min，即  $6.30\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，则距靶 1m 处的最大输出剂量率为  $4.032\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

$f$ —对有用线束为 1。

③预测计算结果汇总及评价

本项目 2#放疗机房外各关注点处的辐射剂量率预测结果见表 11-8，其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-8 2#放疗机房外关注点处泄漏辐射剂量率核算值

| 参数              | 北墙<br>(a 点) | 东墙<br>(b 点) | 东墙<br>(c 点) | 南墙<br>(d 点) | 迷路入口处<br>(g 点) | 顶部<br>(l 点) | 顶部<br>(l' 点) |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|--------------|
| $X$ (cm)        |             |             |             |             |                |             |              |
| $X_e$ (cm)      |             |             |             |             |                |             |              |
| $TVL_l$<br>(cm) | 砼           |             |             |             |                |             |              |
|                 | 铅           |             |             |             |                |             |              |

|   |   |       |       |       |       |                   |       |       |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
| TVL<br>(cm)   | 砷 |       |       |       |       |                   |       |       |
|   | 铅 |       |       |       |       |                   |       |       |
| B   |   |       |       |       |       |                   |       |       |
| R (m)   |   |       |       |       |       |                   |       |       |
| $\dot{H}_0$<br>( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |   |       |       |       |       |                   |       |       |
| f   |   |       |       |       |       |                   |       |       |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                     |   | 0.325 | 0.004 | 0.045 | 0.013 | 0.390             | 0.060 | 0.738 |
| $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )<br>剂量率参考<br>控制水平  |   | 10    | 2.5   | 10    | 10    | 2.5 <sup>3)</sup> | 10    | 10    |
| 评价  |   | 满足    | 满足    | 满足    | 满足    | 满足                | 满足    | 满足    |

注：1、2#放疗机房迷路内墙中段附加重晶石混凝土进行辐射屏蔽，重晶石混凝土密度为  $3.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，42.5cm 重晶石混凝土按密度等效约 65.1cm 混凝土；

2、本项目射波刀有用线束辐射在铅板中的 TVL<sub>1</sub> 和 TVL 均为 5.7cm，取自 NCRP No.151；

3、根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中 4.3.2.5.1b），“核算加速器的泄漏辐射（以偏离  $o$  的位置  $o_l$  为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口  $g$  的辐射剂量。……核算结果应为  $g$  处的参考控制水平的一个分数（应小于 1/4）”，故本项目取  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

## （2）机房入口防护门屏蔽设计核算（ $g$ 点、 $g'$ 点）

本项目射波刀机房入口设有“L”型迷路，迷路口用 15mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。

根据 GBZ/T201.2-2011，入口  $g$  点、 $g'$  点处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_{oig}$  按公式 11-4 计算。

$$\dot{H}_{oig} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)(\alpha_2 \cdot A)^{j-1}}{(R_1 \cdot R_2 \cdots R_j)^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-4}$$

表 11-9 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

| 参数                    | 迷路入口处（ $g'$ 点，二次散射） | 迷路入口处（ $g$ 点，三次散射） |
|-----------------------|---------------------|--------------------|
| $\alpha_{ph}$         |                     |                    |
| $F$ ( $\text{cm}^2$ ) |                     |                    |
| $\alpha_2$            |                     |                    |

|                                     |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|
| $R_1$ (m)                           |       |       |
| $R_2$ (m)                           |       |       |
| $R_3$ (m)                           |       |       |
| $A_1$ (m <sup>2</sup> )             |       |       |
| $A_2$ (m <sup>2</sup> )             |       |       |
| $\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h) |       |       |
| $\dot{H}_{oig}$ (μSv/h)             | 2.832 | 0.966 |

在给定防护门的铅屏蔽厚度  $X$ (cm) 时, 防护门外  $g$  点处的辐射剂量率  $\dot{H}$  (μSv/h) 按公式 11-5 计算, 预测结果见表 11-10。

$$\dot{H} = \dot{H}_{oig} \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad \text{公式 11-5}$$

表 11-10 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

| 参数                            | 机房入口防护门外 ( $g$ 点) |
|-------------------------------|-------------------|
| $\dot{H}_{og}$ (μSv/h)        |                   |
| $\dot{H}_{oig}$ (μSv/h)       |                   |
| $X$ (cm)                      |                   |
| $TVL$ (cm)                    |                   |
| 防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)  | 0.393             |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h) | 10                |
| 评价                            | 满足                |

## 2、预测计算结果汇总及评价

本项目 2#放疗机房外各关注点处的辐射剂量率预测结果见表 11-11。

表 11-11 2#放疗机房外关注点处辐射剂量率理论估算结果汇总

| 参考点    | 剂量率估算值 (μSv/h) | 剂量率参考控制水平 (μSv/h) | 结论  |    |
|--------|----------------|-------------------|-----|----|
| 2#放疗机房 | 北墙 ( $a$ 点)    | 0.325             | 10  | 满足 |
|        | 东墙 ( $b$ 点)    | 0.004             | 2.5 | 满足 |

|  |               |       |    |    |
|--|---------------|-------|----|----|
|  | 东墙 (c 点)      | 0.045 | 10 | 满足 |
|  | 南墙 (d 点)      | 0.013 | 10 | 满足 |
|  | 顶部 (l 点)      | 0.060 | 10 | 满足 |
|  | 顶部 (l' 点)     | 0.738 | 10 | 满足 |
|  | 迷路入口防护门 (g 点) | 0.393 | 10 | 满足 |

由表 11-11 可知, 本项目 2#放疗机房屏蔽设计能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的要求。

### (三) Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统

医用直线加速器治疗模式根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 中的相关内容进行估算; 伽玛刀治疗模式根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分:  $\gamma$ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 中的相关内容进行估算。

#### 1、辐射防护效果预测

##### • 医用直线加速器治疗头

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用的医用直线加速器治疗头, 主要参数为: X 射线能量: 6MV; 1m 处输出剂量率: 1400cGy/min; 射线最大出射角:

27.8°，故本项目以 X 射线能量为 6MV 的情况下，进行辐射影响分析。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目 3#放疗机房外设定关注点。从保守角度出发，在 3#放疗机房设计的尺寸厚度基础上，假定医用直线加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目 3#放疗机房的关注点设定如图 11-3。

图 11-3 3#放疗机房估算点位示意图

(1) 有用线束投射区屏蔽设计核算 (南墙  $a$  点、 $b$  点、北墙  $b$  点和屋顶  $l$  点)

①主射线路径: 南墙  $o_2 \rightarrow a$ , 北墙  $o_2 \rightarrow b$ , 屋顶  $o_3 \rightarrow l$ 。

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 的相关公式进行有用线束投射区屏蔽设计核算, 在给定的屏蔽物质厚度  $X$  (cm) 时, 首先按照公式 11-1 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度  $X_e$  (cm), 按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ , 再按照公式 11-3 计

算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中,  $TVL_1$  (cm) 和  $TVL$  (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1 = TVL$ 。本项目中, 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土  $TVL_1$  为 37cm,  $TVL$  为 33cm; 查 NCRP No.151, 铅板的  $TVL_1$  和  $TVL$  均为 5.7cm, 钢板的  $TVL_1$  和  $TVL$  均为 10cm。本项目中,  $a$  点、 $b$  点及  $l$  点相应厚度有用线束投射区屏蔽的  $B$  值核算见表 11-12。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-3}$$

式中:  $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ , 本项目为  $8.40\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$R$ —靶点至参考点的距离, m, 本项目参考点均为相应墙外 30cm;

$f$ —对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

### ③预测计算结果

本项目医用直线加速器治疗头有用线束方向自带自屏蔽装置, 射束对面的滚筒及底板屏蔽体由 120mm 铅板+70mm 钢板构成, 能完全覆盖医用直线加速器治疗头有用线束的照射区域。有用线束在穿过患者的身体后, 会穿过该设备内部的屏蔽壳体, 将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子  $B$  值代入, 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ), 将其与本项目确定的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  相比, 判断机房屏蔽设计是否满足标准要求, 计算结果见表 11-12。

表 11-12 3#放疗机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

| 参数           | 南墙 ( $a$ 点) | 北墙 ( $b$ 点) | 屋顶 ( $l$ 点) |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| $X$ (cm)     |             |             | -           |
| $X_e$ (cm)   |             |             | -           |
| $TVL_1$ (cm) | 砼           |             | -           |
|              | 铅           |             | -           |
|              | 钢           |             | -           |
| $TVL$ (cm)   | 砼           |             | -           |

|  |   |       |       |       |
|--|---|-------|-------|-------|
|  | 铅 |       |       |       |
|  | 钢 |       |       |       |
| $B$  |   |       |       |       |
| $R$ (m)  |   |       |       |       |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |   |       |       |       |
| $f$  |   |       |       |       |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                  |   | 0.175 | 0.115 | 0.026 |
| 剂量率参考控制水平<br>$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )   |   | 10    | 10    | 10    |
| 评价   |   | 满足    | 满足    | 满足    |

## (2) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (迷路墙外 $f$ 点)

①射线路径 (射线类型):  $o \rightarrow f$  (泄漏射线)。

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似有用线束投射区。公式 11-3 中,  $f=0.001$  (泄漏辐射比率, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011), 加速器的泄漏辐射比率通常取  $10^{-3}$ )。公式 11-3 的  $TVL_l$  和  $TVL$  为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土  $TVL_l=34\text{cm}$ ,  $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

$f$  点的辐射剂量率预测结果见表 11-13, 其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-13 3#放疗机房迷路墙外泄漏辐射剂量率核算值

| 参数           | 迷路墙外 ( $f$ 点) |
|--------------|---------------|
| $X$ (cm)     |               |
| $X_e$ (cm)   |               |
| $TVL_l$ (cm) |               |
| $TVL$ (cm)   |               |
| $B$          |               |

|  |          |
|--|----------|
| $R$ (m)  |          |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |          |
| $f$  |          |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                  | 1.13E-04 |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )      | 2.5      |
| 评价   | 满足       |

### (3) 迷路外墙屏蔽设计核算 (迷路外墙 $k$ 点)

①射线路径 (射线类型):  $o_2 \rightarrow k$  (泄漏射线)。

#### ②计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷路内墙照射, 该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-3 中,  $f=0.001$ 。公式 11-2 的  $TVL_l$  和  $TVL$  为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土  $TVL_l=34\text{cm}$ ,  $TVL=29\text{cm}$ 。

#### ③预测计算结果

$k$  点、 $k'$  点的辐射剂量率预测结果见下表 11-14, 其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-14 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路外墙 ( $k$ 点) | 迷路外墙 ( $k'$ 点) |
|--|---------------|----------------|
| $X$ (cm)   |               |                |
| $X_e$ (cm)   |               |                |
| $TVL_l$ (cm)   |               |                |
| $TVL$ (cm)   |               |                |
| $B$  |               |                |
| $R$ (m)  |               |                |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |               |                |
| $f$  |               |                |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                  | 0.400         | 0.403          |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )      | 4.36          |                |

评价

满足

**(4) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)**

根据 GBZ/T201.2-2011, g 点处同时受到迷路内散射辐射 ( $o_l \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ ) 及加速器的泄漏辐射  $o_l$  经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量。

①射线路径 (射线类型):  $o_l \rightarrow g$  (泄漏射线),  $o_l \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$  (散射射线)。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 f 点。

其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读出, 计算结果见表 11-15。

表 11-15 3#放疗机房迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路入口处 (g 点) |
|--|-------------|
| $X$ (cm)   |             |
| $X_e$ (cm)   |             |
| $TVL_l$ (cm)   |             |
| $TVL$ (cm)   |             |
| $B$  |             |
| $R$ (m)  |             |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |             |
| $f$  |             |
| $\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )             | 0.143       |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) *    | 0.55        |
| 评价   | 满足          |

注: 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 中 4.3.2.5.1b), “核算加速器的泄漏辐射 (以偏离  $o$  的位置  $o_l$  为中心) 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 的辐射剂量。……核算结果应为 g 处的参考控制水平的一个分数 (应小于 1/4)”, 故本项目取  $0.55\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T201.2-2011, 入口 g 点、g' 点处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_g$  按公式 11-4 计算。

$$\dot{H}_{oig} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)(\alpha_2 \cdot A)^{j-1}}{(R_1 \cdot R_2 \cdots R_j)^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-4}$$

表 11-16 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

| 参数                                  | 迷路入口处 (g'点, 二次散射) | 迷路入口处 (g 点, 三次散射) |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| $\alpha_{ph}$                       |                   |                   |
| $F$ (cm <sup>2</sup> )              |                   |                   |
| $\alpha_2$                          |                   |                   |
| $R_1$ (m)                           |                   |                   |
| $R_2$ (m)                           |                   |                   |
| $R_3$ (m)                           |                   |                   |
| $A_1$ (m <sup>2</sup> )             |                   |                   |
| $A_2$ (m <sup>2</sup> )             |                   |                   |
| $\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h) |                   | 8.40E+08          |
| $\dot{H}_g$ (μSv/h)                 | 63.22             | 21.50             |

#### ④预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度  $X$  (cm) 时, 防护门外  $g$  点处的辐射剂量率  $\dot{H}$  (μSv/h) 按公式 11-5 计算, 预测结果见表 11-17。

$$\dot{H} = \dot{H}_{oig} \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad \text{公式 11-5}$$

表 11-17 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

| 参数                            | 机房入口防护门外 (g 点) |
|-------------------------------|----------------|
| $\dot{H}_{og}$ (μSv/h)        |                |
| $\dot{H}_g$ (μSv/h)           |                |
| $X$ (cm)                      |                |
| $TVL$ (cm)                    |                |
| 防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)  | 0.179          |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h) | 2.18           |

### • 伽玛刀聚焦治疗头

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用的伽玛刀聚焦治疗头，内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源。

本项目根据设备厂家提供的治疗区内的辐射剂量率分布图来预测 3#放疗机房屏蔽防护能力，机房外关注点选取和设定如图 11-3。

#### (1) 墙体及顶部辐射防护设计核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： $\gamma$ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014），在给定的屏蔽物质厚度  $X$ （cm）时，首先按照公式 11-1 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度  $X_e$ （cm），按照公式 11-2 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ，依据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表（见表 9-10），选取表中最大的辐射剂量率数值，考虑距离衰减后再按照公式 11-6 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_{\text{表}} \cdot R_{\text{表}}^2}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-6}$$

式中： $\dot{H}_{\text{表}}$ —依据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表，选取表中最大的辐射剂量率数值， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$R_{\text{表}}$ —依据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表，选取的点位距辐射源点的距离，m；

$R$ —辐射源点至关注点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm。

根据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表，治疗状态下最大的辐射剂量率数值为  $14746\mu\text{Gy/h}$ ，位于距设备表面 0.5m、等中心高度处，选取该点位处的辐射剂量率预测治疗状态下机房外关注点的剂量率。

根据设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表，选取距设备表面 0.5m、等中心高度以上 1.0m 处测量点的辐射剂量率数值预测非治疗状态下机房外关注点的剂量率，该处测量点的辐射剂量率数值为  $8.75\mu\text{Gy/h}$ 。

查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.1， $^{60}\text{Co}$  放射源  $\gamma$  射线在混凝土中的  $TVL_I$  为 245mm、 $TVL$  为 218mm，在铅中的  $TVL_I$  和  $TVL$  均为 41mm。

在进行本项目设备伽玛刀治疗模式下的辐射环境影响估算时，将关注点处相应屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子  $B$  值代入，按照公式 11-6 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )，计算结果见表 11-18 和表 11-19，其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-18 伽玛刀治疗状态下参考点处的辐射剂量率核算值

| 参考点               | 参考距离<br>$R$ (m) | 治疗状态下机房内辐射剂量率分布情况表中最大的辐射剂量率所处点位                    |                             | 屏蔽厚度<br>$X$<br>(mm) * | 等效厚度<br>$X_e$<br>(mm) | 辐射屏蔽透射因子<br>$B$ | 剂量率估算值<br>$\dot{H}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 评价 |
|-------------------|-----------------|--|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---|----|
|                   |                 | 辐射剂量率<br>$\dot{H}_{\text{表}}$ ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 距源点距离<br>$R_{\text{表}}$ (m) |                       |                       |                 |   |    |
| 南墙 ( $a$ 点)       |                 |  |                             |                       |                       |                 | 7.80E-07                                    | 满足 |
| 北墙 ( $b$ 点)       |                 |  |                             |                       |                       |                 | 5.09E-07                                    | 满足 |
| 屋顶 ( $l$ 点)       |                 |  |                             |                       |                       |                 | 4.68E-08                                    | 满足 |
| 迷路墙外<br>( $f$ 点)  |                 |  |                             |                       |                       |                 | 9.31E-10                                    | 满足 |
| 迷路外墙<br>( $k$ 点)  |                 |  |                             |                       |                       |                 | 5.13E-05                                    | 满足 |
| 迷路外墙<br>( $k'$ 点) |                 |  |                             |                       |                       |                 | 5.23E-05                                    | 满足 |
| 迷路入口防护门 ( $g$ 点)  |                 |  |                             |                       |                       |                 | 5.39E-06                                    | 满足 |

表 11-19 伽玛刀非治疗状态下参考点处的辐射剂量率核算值

| 参考点               | 参考距离<br>$R$ (m) | 非治疗状态下距源<br>1m 处的空气比释动<br>能率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 屏蔽厚度 $X$<br>(mm) * | 等效厚度<br>$X_e$<br>(mm) | 辐射屏蔽透<br>射因子 $B$ | 剂量率估<br>算值 $\dot{H}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 评价 |
|-------------------|-----------------|---|--------------------|-----------------------|------------------|--|----|
| 南墙 ( $a$ 点)       |                 |   |                    |                       |                  | 1.85E-09                                     | 满足 |
| 北墙 ( $b$ 点)       |                 |   |                    |                       |                  | 1.21E-09                                     | 满足 |
| 屋顶 ( $l$ 点)       |                 |   |                    |                       |                  | 1.11E-10                                     | 满足 |
| 迷路墙外<br>( $f$ 点)  |                 |   |                    |                       |                  | 2.21E-12                                     | 满足 |
| 迷路外墙<br>( $k$ 点)  |                 |   |                    |                       |                  | 1.22E-07                                     | 满足 |
| 迷路外墙<br>( $k'$ 点) |                 |   |                    |                       |                  | 1.24E-07                                     | 满足 |

迷路入口防护门 (g 点)

1.28E-08

满足

## (2) 防护门辐射防护设计核算

本项目 3#放疗机房入口设有“L”型迷路，迷路口用 15mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。

入口 g 处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) 中公式计算：

$$H_s = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad \text{公式 11-7}$$

式中：A—放射源的活度，MBq；

$K_\gamma$ —放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时， $K_\gamma$ 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，查自(GBZ/T 201.3-2014)附录 C；

$S_w$ —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积， $\text{m}^2$ ；

$\alpha_w$ —散射体的散射因子，本项目取  $1.07 \times 10^{-2}$ （取值参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)表 C.4，保守取 1.25MeV 的  $45^\circ$  入射辐射和  $15^\circ$  反散射的散射因子）；

$R_1$ —辐射源至散射体中心点的距离，m；

$R_2$ —散射体中心点至计算点的距离，m。

表 11-20 3#放疗机房入口 g 点处辐射剂量率计算结果

| 参数   | 取值    |
|--|-------|
| $A \cdot K_\gamma$ ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ )   |       |
| $S_w$ ( $\text{m}^2$ )                           |       |
| $\alpha_w$ (散射体的散射因子)                            |       |
| $R_1$ (m)  |       |
| $R_2$ (m)  |       |
| 防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) | 0.097 |

注：本项目  $A \cdot K_\gamma$  选取设备厂家提供的辐射剂量率分布情况表中治疗状态下最大的辐射剂量率

数值 14746 $\mu$ Gy/h，作为源强参数。

根据公式 11-7 计算得机房入口前的散射辐射剂量率为 0.097 $\mu$ Sv/h，3#放疗机房迷路设有铅当量为 15mm 的防护门，保守取  $^{60}\text{Co}$  产生的 $\gamma$ 射线经过散射后至迷路入口 g 处的能量约为 1.25MeV，铅中的 TVL 值为 41mm，因此，经过机房入口防护门的屏蔽，g 点处的辐射剂量率为 0.042 $\mu$ Sv/h。叠加直接透过迷路内墙和防护门的剂量 (5.39E-06 $\mu$ Sv/h)，合计 g 点处的辐射剂量率为 0.042 $\mu$ Sv/h。

## 2、预测计算结果汇总及评价

本项目 3#放疗机房外各关注点处的辐射剂量率预测结果见表 11-21。

表 11-21 3#放疗机房外关注点处辐射剂量率理论估算结果汇总

| 参考点    |               | 剂量率估算值 ( $\mu$ Sv/h) |          |          | 剂量率参考控制水平 ( $\mu$ Sv/h) | 结论 |
|--------|---------------|----------------------|----------|----------|-------------------------|----|
|        |               | 加速器治疗状态              | 伽玛刀治疗状态  | 伽玛刀非治疗状态 |                         |    |
| 3#放疗机房 | 南墙 (a 点)      | 0.175                | 7.80E-07 | 1.85E-09 | 9.60                    | 满足 |
|        | 北墙 (b 点)      | 0.115                | 5.09E-07 | 1.21E-09 | 9.60                    | 满足 |
|        | 屋顶 (l 点)      | 0.026                | 4.68E-08 | 1.11E-10 | 9.60                    | 满足 |
|        | 迷路墙外 (f 点)    | 1.13E-04             | 9.31E-10 | 2.21E-12 | 2.5                     | 满足 |
|        | 迷路外墙 (k 点)    | 0.400                | 5.13E-05 | 1.22E-07 | 3.84                    | 满足 |
|        | 迷路外墙 (k' 点)   | 0.403                | 5.23E-05 | 1.24E-07 |                         |    |
|        | 迷路入口防护门 (g 点) | 0.179                | 0.042    | 1.28E-08 | 1.92                    | 满足 |

由表 11-21 可知，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头治疗状态下、使用伽玛刀聚焦治疗头治疗状态下和非治疗状态下，本项目 3#放疗机房屏蔽防护设计能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的要求。

## 3、首次装源、换源辐射环境影响分析

#### （四）Ethos 型医用直线加速器

根据建设单位提供的资料，江苏省肿瘤医院拟于门诊楼负二层放疗中心 4#放疗机房内配备 1 台 Ethos 型医用直线加速器，主要参数为：X 射线能量：6MV；1m 处最大输出剂量率：800cGy/min。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目 4#放疗机房外设定关注点。从保守角度出发，在 4#放疗机房设计的尺寸厚度基础上，假定 Ethos 型医用直线加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目 4#放疗机房的关注点设定如图 11-4。

(1) 有用线束

①主射线路径：北墙  $o_2 \rightarrow a$ ,  $o_2 \rightarrow a'$ , 南墙  $o_1 \rightarrow b$ , 屋顶  $o_3 \rightarrow l$ 。

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度  $X$  (cm) 时，首先按照公式 11-1 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度  $X_e$  (cm)，按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ，再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

本项目中，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土  $TVL_l$  为 37cm， $TVL$  为 33cm；查 NCRP No.151，铅板的  $TVL_l$  和  $TVL$  均为 5.7cm。本项目中， $a$  点、 $a'$  点、 $b$  点、 $l$  点相应厚度主屏蔽的  $B$  值核算见表 11-22。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-3}$$

式中： $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为  $4.80\text{E}+08\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

$f$ —对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

③预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子  $B$  值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-22。

表 11-22 4#放疗机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

| 参数           | 北墙 ( $a$ 点) | 北墙 ( $a'$ 点) | 南墙 ( $b$ 点) | 屋顶 ( $l$ 点) |
|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| $X$ (cm)     |             |              |             |             |
| $X_e$ (cm)   |             |              |             |             |
| $TVL_l$ (cm) | 砼           |              |             |             |
|              | 铅           |              |             |             |
| $TVL$ (cm)   | 砼           |              |             |             |
|              | 铅           |              |             |             |

|  |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|
| $B$  |       |       |       |       |
| $R$ (m)  |       |       |       |       |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |       |       |       |       |
| $f$  |       |       |       |       |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                  | 0.127 | 0.103 | 0.040 | 0.187 |
| $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )<br>(剂量率参考控制水平) | 10    |       | 10    | 10    |
| 评价   | 满足    |       | 满足    | 满足    |

## (2) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (迷路墙外 $f$ 点)

①射线路径 (射线类型):  $o \rightarrow f$  (泄漏射线)。

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-3 中,  $f=0.001$ 。公式 11-2 的  $TVL_l$  和  $TVL$  为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为  $TVL_l=34\text{cm}$ ,  $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

$f$  点的辐射剂量率预测结果见下表 11-23, 其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-23 4#放疗机房迷路墙外泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路墙外 ( $f$ 点) |
|--|---------------|
| $X$ (cm)   |               |
| $X_e$ (cm)   |               |
| $TVL_l$ (cm)   |               |
| $TVL$ (cm)   |               |
| $B$  |               |
| $R$ (m)  |               |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |               |
| $f$  |               |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                  | 4.31E-06      |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )      | 2.5           |

评价

满足

**(3) 迷路外墙屏蔽设计核算 (迷路外墙  $k$  点)**①射线路径 (射线类型) :  $o_2 \rightarrow k$  (泄漏射线)。

## ②计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷路内墙照射, 该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-3 中,  $f=0.001$ 。公式 11-2 的  $TVL_l$  和  $TVL$  为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土  $TVL_l=34\text{cm}$ ,  $TVL=29\text{cm}$ 。

## ③预测计算结果

$k$  点的辐射剂量率预测结果见表 11-24, 其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-24 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路外墙 ( $k$ 点) |
|--|---------------|
| $X$ (cm)   |               |
| $X_e$ (cm)   |               |
| $TVL_l$ (cm)   |               |
| $TVL$ (cm)   |               |
| $B$  |               |
| $R$ (m)  |               |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |               |
| $f$  |               |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                  | 0.195         |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_e$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )      | 2.67          |
| 评价   | 满足            |

**(4) 迷路入口处辐射水平核算 ( $g$  点)**

根据 GBZ/T201.2-2011,  $g$  点处同时受到迷路内散射辐射 ( $o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ ) 及加速器的泄漏辐射  $o_1$  经迷路内墙屏蔽后在迷路入口  $g$  点的辐射剂量。

①射线路径 (射线类型) :  $o_1 \rightarrow g$  (泄漏射线),  $o_1 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$  (散射射线)。

## ②泄漏辐射计算模式、参数选择及预测计算结果

$g$  点泄漏辐射剂量核算方法同  $f$  点。其中  $X_e$ 、 $R$  的取值由 CAD 图纸上读出，取泄漏因子  $f=0.001$ ，公式 11-3 的  $TVL_l$  和  $TVL$  为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为  $TVL_l=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。计算结果见表 11-25。

表 11-25 4#放疗机房迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

| 参数   | 迷路入口处 ( $g$ 点) |
|--|----------------|
| $X$ (cm)   |                |
| $X_e$ (cm)   |                |
| $TVL_l$ (cm)   |                |
| $TVL$ (cm)   |                |
| $B$  |                |
| $R$ (m)  |                |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) |                |
| $f$  |                |
| $\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )                    | 0.103          |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )             | 0.33           |
| 评价   | 满足             |

注：根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 中 4.3.2.5.1b)，“核算加速器的泄漏辐射（以偏离  $o$  的位置  $o_l$  为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口  $g$  的辐射剂量。……核算结果应为  $g$  处的参考控制水平的一个分数（应小于 1/4）”，故本项目取  $0.33\mu\text{Sv/h}$ 。

### ③ 散射辐射计算模式、参数选择及预测计算结果

根据 GBZ/T201.2-2011，入口  $g$  点处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_{oig}$  按公式 11-4 计算。

$$\dot{H}_{oig} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)(\alpha_2 \cdot A)^{j-1}}{(R_1 \cdot R_2 \cdots R_j)^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \text{公式 11-4}$$

表 11-26 4#放疗机房迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

| 参数                    | 迷路入口处 ( $g$ 点) |
|-----------------------|----------------|
| $\alpha_{ph}$         |                |
| $F$ ( $\text{cm}^2$ ) |                |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| $\alpha_2$                          |       |
| $R_1$ (m)                           |       |
| $R_2$ (m)                           |       |
| $R_3$ (m)                           |       |
| $A_1$ (m <sup>2</sup> )             |       |
| $A_2$ (m <sup>2</sup> )             |       |
| $\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h) |       |
| $\dot{H}_{oig}$ (μSv/h)             | 3.471 |

#### ④预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度  $X$  (cm) 时, 防护门外  $g$  点处的辐射剂量率  $\dot{H}$  (μSv/h) 按公式 11-5 计算, 预测结果见表 11-27。

$$\dot{H} = \dot{H}_{oig} \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad \text{公式 11-5}$$

表 11-27 4#放疗机房入口防护门外的辐射剂量率核算值

| 参数                            | 机房入口防护门外 (g 点) |
|-------------------------------|----------------|
| $\dot{H}_{og}$ (μSv/h)        |                |
| $\dot{H}_{oig}$ (μSv/h)       |                |
| $X$ (cm)                      |                |
| $TVL$ (cm)                    |                |
| $\dot{H}$ (μSv/h)             | 0.106          |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h) | 1.33           |
| 评价                            | 满足             |

## 2、预测计算结果汇总及评价

本项目 4#放疗机房外各关注点处的辐射剂量率预测结果见表 11-28。

表 11-28 4#放疗机房外关注点处辐射剂量率理论估算结果汇总

| 参考点    | 剂量率估算值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 剂量率参考控制水平<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 结论   |    |
|--------|--------------------------------|-----------------------------------|------|----|
| 4#放疗机房 | 北墙 ( <i>a</i> 点)               | 0.127                             | 10   | 满足 |
|        | 北墙 ( <i>a'</i> 点)              | 0.103                             | 10   | 满足 |
|        | 南墙 ( <i>b</i> 点)               | 0.040                             | 10   | 满足 |
|        | 屋顶 ( <i>l</i> 点)               | 0.187                             | 10   | 满足 |
|        | 迷路墙外 ( <i>f</i> 点)             | 4.31E-06                          | 2.5  | 满足 |
|        | 迷路外墙 ( <i>k</i> 点)             | 0.195                             | 2.67 | 满足 |
|        | 迷路入口防护门( <i>g</i> 点)           | 0.106                             | 1.33 | 满足 |

由表 11-28 可知, 本项目 4#放疗机房屏蔽设计能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的要求。

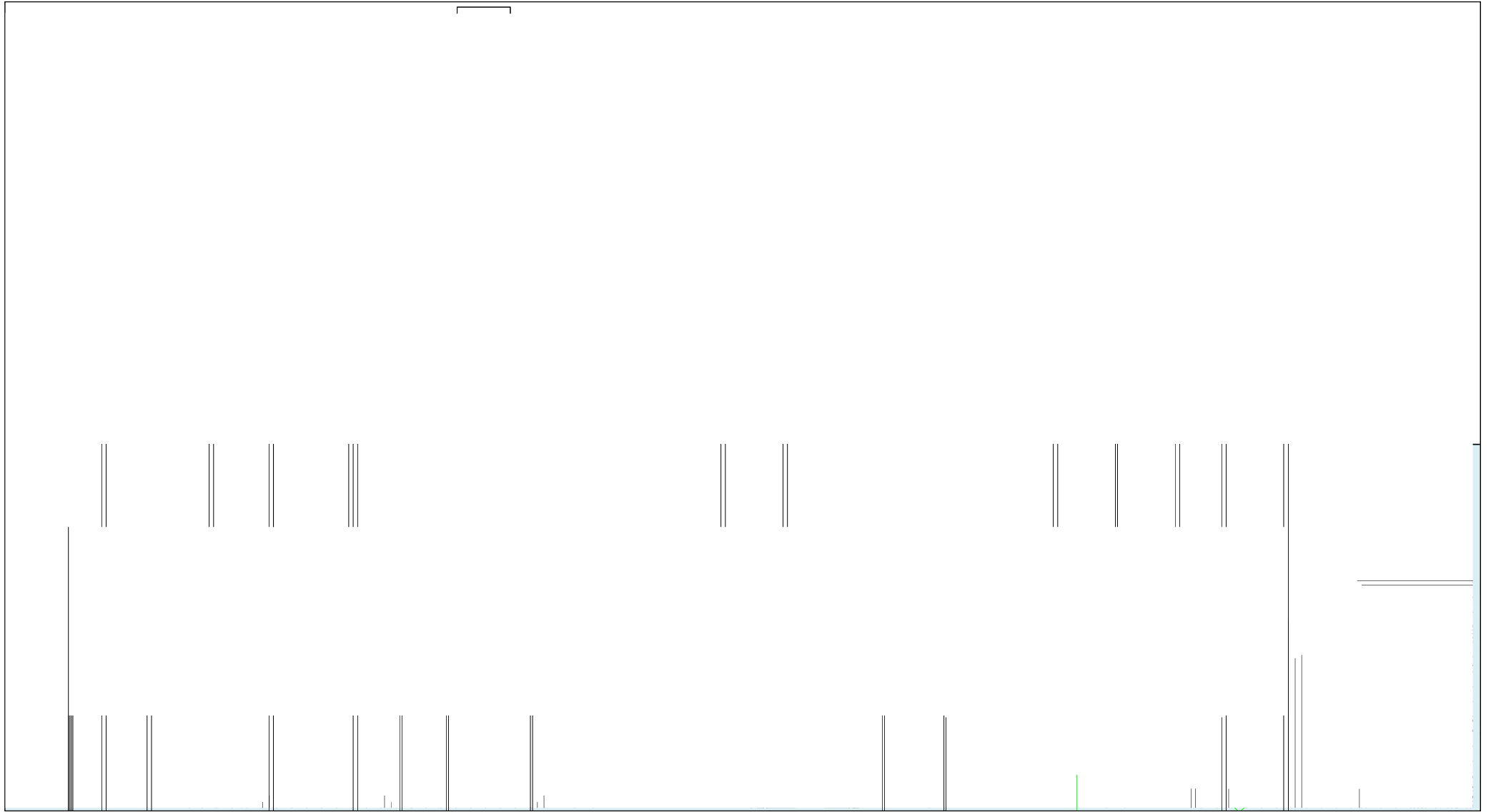


图 11-5 术中放疗室估算点位示意图

### (五) Mobetron 2000 型术中加速器

根据建设单位提供的资料，江苏省肿瘤医院拟于手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室并配备 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器，主要参数为：电子线能量：6、9、12MeV；等中心点处最大输出剂量率：300cGy/min。

本项目术中放疗室的关注点设定如图 11-5。

#### 1、韧致辐射环境影响分析

本项目 Mobetron 2000 型术中加速器开机时的周围辐射场将根据 Mobetron 1000 型术中加速器在开机时的周围辐射场推导而来。根据术中加速器生产厂家提供的文献（见附件 7），Mobetron 1000 型术中加速器在开机时的周围辐射场见图 11-6。

图 11-6 Mobetron 1000 型术中加速器在术中放疗室内开展术中放疗时室内剂量分布图 ( $\mu\text{Sv}/10\text{Gy}$ )

注：(a) 室内靶平面 ( $Z=100$ ) 上距靶 300cm 处的剂量分布；

- (b) 室内地面 (Z=0) 上距靶不同位置的剂量分布;
- (c) 室内靶 X 平面 (治疗单元左右平面) 上距靶 300cm 处的剂量分布;
- (d) 室内照射靶 Y 平面 (治疗单元前后平面) 上距靶 300cm 处的剂量分布。

上述剂量分布图是在 Mobetron 1000 型术中加速器采用向下治疗照射时的最高照射条件参数 (12MeV 电子束、照射野中心处最高治疗剂量率 1000cGy/min 和最大直径  $\Phi$ 10cm 的限光筒) 工况下测定的。由剂量分布图可以看出, 术中放疗室内, 离靶点 300cm 的位置:

向下方向 (图 11-6 (c) 及图 11-6 (d) 所示) 的辐射剂量率最高值为 6.5 $\mu$ Sv/min;  
 向上方向 (图 11-6 (c) 及图 11-6 (d) 所示) 的辐射剂量率最高值为 4.0 $\mu$ Sv/min;  
 四周方向 (图 11-6 (a) 及图 11-6 (b) 所示) 的辐射剂量率, 综合考虑靶平面及地面, 最高值分别为 2.2 $\mu$ Sv/min (180°方向, 加速器背面)、4.4 $\mu$ Sv/min (90°方向, 加速器左侧)、5.3 $\mu$ Sv/min (0°方向, 加速器正面)、4.8 $\mu$ Sv/min (270°方向, 加速器右侧)。

而本项目使用的 Mobetron 2000 型术中加速器, 最高照射条件参数为: 12MeV 电子束、照射野中心处最高治疗剂量率 300cGy/min 和最大直径  $\Phi$ 10cm 的限光筒。在产生韧致辐射的电子线能量相同的前提下, 韧致辐射剂量率与电子线剂量率成正比。因此, 由 Mobetron 1000 型术中加速器周围辐射剂量率推导至本项目 Mobetron 2000 型术中加速器周围辐射剂量率值时, 也应相应地缩小至图 11-6 中测定值的 3/10。本项目术中加速器正面朝西摆放, 由此, 用于估算本项目术中放疗室控制区外韧致辐射水平的基本参数见表 11-29。

表 11-29 用于估算本项目术中放疗室控制区外围韧致辐射水平的基本参数

| 参数                | 不同方位的辐射参数 |               |     | 备注  |
|-------------------|-----------|---------------|-----|---|
|                   | 楼下        | 水平面 (对应手术室位置) | 楼上  |   |
| 电子线最大能量 E (MeV)   | 12        | 8             | 8   | 参考《辐射防护导论》图 3.25  |
| 对应韧致辐射平均能量 E (MV) | 4         | 2.7           | 2.7 | 参考《辐射防护导论》P132 中“在实际屏蔽计算时, 可以假定韧致辐射的平均能量 $E_b$ 是入射 $\beta$ 粒子的最大能量的 1/3”。 |

|                            |   |         |                    |        |                                    |
|----------------------------|---|---------|--------------------|--------|------------------------------------|
| 300cm 处的 X-γ 辐射剂量率 (μSv/h) |   | 最大值 117 | 加速器背面最大值 39.6 (东墙) | 最大值 72 | 靶点剂量率<br>1.8×10 <sup>8</sup> μSv/h |
|                            |   |         | 加速器左侧最大值 79.2 (南墙) |        |                                    |
|                            |   |         | 加速器正面最大值 95.4 (西墙) |        |                                    |
|                            |   |         | 加速器右侧最大值 86.4 (北墙) |        |                                    |
| TVL<br>(mm)                | 铅 | 49      | 42.5               | 42.5   | 参考《辐射防护导论》<br>表 3.5                |
|                            | 砷 | 27.4    | 21.85              | 21.85  |                                    |

对于简化为点源的韧致辐射, 不考虑空气的散射和吸收, 现已知离源 300cm 处的 γ 辐射剂量率, 再经 (L<sub>2</sub>-3) m 的距离的衰减, 以及通过术中放疗室屏蔽体的减弱, 可得到屏蔽体外关注点处 X-γ 辐射剂量率。对于点源, 如果不考虑介质的散射和吸收, 它在相同方位角的周围空间所产生的直接照射剂量率与距离的平方成反比。

$$H=H_0 \cdot \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^2 \cdot \eta \quad \text{公式 11-8}$$

式中:  $H$ —关注点 X-γ 辐射剂量率, μSv/h;

$H_0$ —韧致辐射靶点外  $L_1$  处的已知 X-γ 辐射剂量率, μSv/h;

$L_1$ —韧致辐射靶点外  $L_1$  处 (已知剂量率处) 的距离, m。本项目为 3m;

$L_2$ —韧致辐射靶点到关注点的距离, m;

$\eta$ —屏蔽材料对韧致辐射的透射比, 无量纲, 仅与射线能量以及屏蔽材料的性质和厚度有关, 当射线能量确定, 屏蔽材料和厚度也确定的情况下, 为一常数。也可用相应屏蔽材料的十分之一值层推算。

本项目术中放疗室外各关注点与术中加速器韧致辐射靶点 (治疗中心点) 之间的距离见图 11-5, 根据推导的 Mobetron 2000 型术中加速器各方向最大 γ 辐射剂量率以及参照术中放疗室屏蔽设计厚度, 韧致辐射所致本项目术中放疗室外关注点处的 X-γ 辐射剂量率预测值见表 11-30。

表 11-30 术中放疗室外关注点处 γ 辐射剂量率理论估算结果汇总表

| 点位描述                      | 屏蔽前<br>剂量率<br>(μSv/h) | 屏蔽材料及厚度 (mm) | 透射比 $\eta$ | 距离 (m) | 屏蔽后<br>剂量率<br>(μSv/h) |
|---------------------------|-----------------------|--------------|------------|--------|-----------------------|
| 1#-东墙外 30cm 处 (污洗间)       |                       |              |            |        | 0.411                 |
| 2#-东墙外 30cm 处<br>(缓冲间/电梯) |                       |              |            |        | 0.137                 |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 3#-东墙外 30cm 处 (控制室) | 0.553 |
| 4#-东侧防护门外 30cm 处    | 8.369 |
| 5#-南墙外 30cm 处 (临空)  | 0.675 |
| 6#-南侧防护门外 30cm 处    | 7.356 |
| 7#-西墙外 30cm 处 (手术室) | 0.427 |
| 8#-北侧防护门外 30cm 处    | 7.402 |
| 9#-北墙外 30cm 处 (标本室) | 0.795 |
| 10#-下方 (去污区)        | 8.692 |
| 11#-上方 (复合手术室)      | 4.439 |
| 12#-上方 (四层手术麻醉科室)   | 0.181 |

## 2、中子辐射环境影响分析

现已知离源 250cm 处的中子剂量率，仅考虑距离的衰减，未考虑术中放疗室屏蔽体的减弱，可得到屏蔽体外关注点处中子剂量率，预测值见表 11-31。

表 11-31 术中放疗室外关注点处中子剂量率理论估算结果汇总表

| 点位描述                   | 离源 250cm 处的中子剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 距离 (m) | 关注点处中子剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|------------------------|---------------------------------------|--------|--------------------------------|
| 1#-东墙外 30cm 处 (污洗间)    |                                       |        | 0.845                          |
| 2#-东墙外 30cm 处 (缓冲间/电梯) |                                       |        | 0.281                          |
| 3#-东墙外 30cm 处 (控制室)    |                                       |        | 1.137                          |
| 4#-东侧防护门外 30cm 处       |                                       |        | 0.750                          |
| 5#-南墙外 30cm 处 (临空)     |                                       |        | 0.693                          |
| 6#-南侧防护门外 30cm 处       |                                       |        | 0.432                          |

|                     |  |       |
|---------------------|--|-------|
| 7#-西墙外 30cm 处 (手术室) |  | 0.364 |
| 8#-北侧防护门外 30cm 处    |  | 0.399 |
| 9#-北墙外 30cm 处 (标本室) |  | 0.749 |
| 10#-下方 (去污区)        |  | 0     |
| 11#-上方 (复合手术室)      |  | 0     |
| 12#-上方 (四层手术麻醉科室)   |  | 0     |

### 3、感生放射性环境影响分析

本项目术中加速器产生的韧致辐射以中低能辐射为主，平均能量约为 4MeV，且产生的中子份额很小，可不考虑感生放射性的影响。

### 4、预测计算结果汇总及评价

叠加韧致辐射所致术中放疗室外的 X-γ 辐射剂量率与中子剂量率后，术中放疗室外关注点处的复合剂量率见表 11-32。

表 11-32 术中放疗室外关注点处复合剂量率理论估算结果汇总

| 点位描述                      | X-γ 辐射剂量率 (μSv/h) | 中子剂量率 (μSv/h) | 复合剂量率 (μSv/h) | 参考控制水平 (μSv/h) | 评价结果 |
|---------------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|------|
| 1#-东墙外 30cm 处(污洗间)        | 0.411             | 0.845         | 1.256         | 10             | 满足   |
| 2#-东墙外 30cm 处<br>(缓冲间/电梯) | 0.137             | 0.281         | 0.418         | 10             | 满足   |
| 3#-东墙外 30cm 处(控制室)        | 0.553             | 1.137         | 1.690         | 2.5            | 满足   |
| 4#-东侧防护门外 30cm 处          | 8.369             | 0.750         | 9.119         | 10             | 满足   |
| 5#-南墙外 30cm 处 (临空)        | 0.675             | 0.693         | 1.368         | 10             | 满足   |
| 6#-南侧防护门外 30cm 处          | 7.356             | 0.432         | 7.788         | 10             | 满足   |
| 7#-西墙外 30cm 处(手术室)        | 0.427             | 0.364         | 0.791         | 10             | 满足   |
| 8#-北侧防护门外 30cm 处          | 7.402             | 0.399         | 7.801         | 10             | 满足   |
| 9#-北墙外 30cm 处(标本室)        | 0.795             | 0.749         | 1.544         | 10             | 满足   |
| 10#-下方 (去污区)              | 8.692             | 0             | 8.692         | 10             | 满足   |
| 11#-上方 (复合手术室)            | 4.439             | 0             | 4.439         | 10             | 满足   |

|                      |       |   |       |    |    |
|----------------------|-------|---|-------|----|----|
| 12#-上方<br>(四层手术麻醉科室) | 0.181 | 0 | 0.181 | 10 | 满足 |
|----------------------|-------|---|-------|----|----|

由表 11-32 可知，本项目术中加速器治疗期间，术中放疗室屏蔽墙、防护门外以及上方、下方各关注点处的辐射剂量率为（0.181~9.119） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

### （六）DSA

江苏省肿瘤医院拟于手术物资楼三层 DSA 手术室、复合手术室 1 和复合手术室 2 内各配备 1 台 DSA（型号未定，单球管，最大管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展医疗诊断和介入治疗。

#### 1、DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

##### （1）评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 规定，DSA 机房有用线束、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均应不小于 2.0mmPb。

##### （2）本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目 DSA 均为单球管设备，其有用线束投射方向为由下至上，即使旋转机头，向上的散射线和漏射线的辐射影响要小于主束向上的影响，所以本项目将 DSA 机房顶部作为有用线束投射方向。由表 10-3 可知，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及顶面（有用线束投射方向）的混凝土，地面（非有用线束投射方向）的混凝土和硫酸钡水泥，机房四侧（非有用线束投射方向）的实心砖、硫酸钡水泥和铅玻璃。本项目按额定管电压 125kV 的极端条件核算 DSA 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

##### ①混凝土、实心砖的等效铅当量厚度核算

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b) 给出的计算公式进行计算：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left( \frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{公式 11-9}$$

式中：X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ —相应屏蔽物质（本项目为混凝土、实心砖）对相应管电压 X 射

线辐射衰减的有关的拟合参数；

$B$ —给定铅厚度的屏蔽透射因子；给定铅厚度的屏蔽透射因子  $B$  值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-10}$$

式中： $B$ —给定铅厚度的屏蔽透射因子；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ —铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

$X$ —铅厚度。

由 GBZ 130-2020 中表 C.2 查取 125kV 管电压工况下 X 射线（主束）辐射衰减的有关的拟合参数，由 NCRP147 报告 TABLE A.1、TABLE C.1 查取 80kV 管电压工况下 X 射线（主束）辐射衰减的有关的拟合参数和 70kV 管电压工况下 X 射线（散射）辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-33：

表 11-33 不同管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

| 管电压       | 屏蔽材料 | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | 备注      |
|-----------|------|----------|---------|----------|---------|
| 125kV（主束） | 铅    | 2.219    | 7.923   | 0.5386   | 额定最大管电压 |
|           | 混凝土  | 0.03502  | 0.07113 | 0.6974   |         |
|           | 实心砖  | 0.02870  | 0.06700 | 1.346    |         |
| 80kV（主束）  | 铅    | 4.040    | 21.69   | 0.7187   | 常用最大管电压 |
| 70kV（散射）  | 铅    | 5.369    | 23.49   | 0.5883   |         |

注：铅密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>，实心砖密度为 1.65g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>。

本项目机房屏蔽部位涉及的混凝土、实心砖，分别按公式 11-10、公式 11-9 计算其屏蔽透射因子  $B$ 、铅当量厚度  $X$ ，计算结果列于表 11-34。

表 11-34 混凝土、实心砖屏蔽透射因子  $B$ 、铅当量厚度  $X$  计算结果

| 管电压       | 屏蔽材料 <sup>1)</sup>      | 屏蔽透射因子 $B$ | 铅当量厚度 $X$ (mm) |
|-----------|-------------------------|------------|----------------|
| 125kV（主束） | 120mm 混凝土               | 3.21E-03   | 1.44           |
|           | 250mm 混凝土               | 3.22E-05   | 3.40           |
|           | 200mm 实心砖 <sup>2)</sup> | 4.32E-04   | 2.26           |

注：1、实心砖密度为 1.97g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>；

2、本项目使用的实心砖密度为 1.97g/cm<sup>3</sup>，将该密度的 200mm 实心砖按密度折算成密度为 1.65g/cm<sup>3</sup> 的实心砖，等效约 238.8mm。

### ②DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

根据前述各屏蔽材料的等效铅当量厚度核算情况，可对本项目 DSA 机房屏蔽体等效铅当量进行汇总，结果见下表：

表 11-35 DSA 机房屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

| 工作场所               | 参数                | 设计厚度  | 125kV 等效铅当量 | 屏蔽要求 <sup>1)</sup>                                       | 评价 |
|--------------------|-------------------|---|-------------|--|----|
| 手术物资楼三层<br>DSA 手术室 | 墙体 <sup>2)</sup>  | 200mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡水泥                                    | 5.26mm      | 介入 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm。 | 满足 |
|                    | 防护门 <sup>2)</sup> | 4mm 铅板  | 4mm         |  | 满足 |
|                    | 观察窗 <sup>2)</sup> | 4mm 铅当量铅玻璃  | 4mm         |  | 满足 |
|                    | 顶面 <sup>3)</sup>  | 120mm 混凝土+3mm 铅板  | 4.44mm      |  | 满足 |
|                    | 底面 <sup>2)</sup>  | 120mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡水泥                                    | 4.44mm      |  | 满足 |
|                    | 面积                | 东西长 5.20m，南北长 9.80m，有效使用面积为 50.9m <sup>2</sup> ，层高 4.08m。 |             | 单管头 X 射线设备机房内最小有效新建面积不小于 20m <sup>2</sup> ，单边长度不小于 3.5m。 | 满足 |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 1 | 墙体 <sup>2)</sup>  | 200mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡水泥                                    | 5.26mm      | 介入 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm。 | 满足 |
|                    | 防护门 <sup>2)</sup> | 4mm 铅板  | 4mm         |  | 满足 |
|                    | 观察窗 <sup>2)</sup> | 4mm 铅当量铅玻璃  | 4mm         |  | 满足 |
|                    | 顶面 <sup>3)</sup>  | 120mm 混凝土+3mm 铅板  | 4.44mm      |  | 满足 |
|                    | 底面 <sup>2)</sup>  | 250mm 混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥                                    | 4.40mm      |  | 满足 |
|                    | 面积                | 东西长 7.80m，南北长 7.50m，有效使用面积为 58.5m <sup>2</sup> ，层高 4.38m。 |             | 单管头 X 射线设备机房内最小有效新建面积不小于 20m <sup>2</sup> ，单边长度不小于 3.5m。 | 满足 |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 2 | 墙体 <sup>2)</sup>  | 200mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡水泥                                    | 5.26mm      | 介入 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm。 | 满足 |
|                    | 防护门 <sup>2)</sup> | 4mm 铅板  | 4mm         |  | 满足 |
|                    | 观察窗 <sup>2)</sup> | 4mm 铅当量铅玻璃  | 4mm         |  | 满足 |

|  |                  |  |        |   |    |
|--|------------------|--|--------|---|----|
|  | 顶面 <sup>3)</sup> | 120mm 混凝土+3mm 铅板   | 4.44mm |   | 满足 |
|  | 底面 <sup>2)</sup> | 250mm 混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥                                       | 4.40mm |   | 满足 |
|  | 面积               | 东西长 9.25m, 南北长 6.35m, 有效使用面积为 58.7m <sup>2</sup> , 层高 4.38m。 |        | 单管头 X 射线设备机房内最小有效新建面积不小于 20m <sup>2</sup> , 单边长度不小于 3.5m。 | 满足 |

注：1、屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3；  
2、为非有用线束方向；  
3、为有用线束方向。

由表 11-35 可知，本项目 3 座 DSA 机房在额定最大管电压为 125kV 工况下屏蔽防护措施均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 C 形臂 X 射线设备机房的相关要求，即：屏蔽铅当量不少于 2mm。本项目 3 座 DSA 机房的有效使用面积、最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中单管头 X 射线设备机房的相关要求，即：有效使用面积不少于 20m<sup>2</sup>，最小单边长度不少于 3.5m。由此可推断本项目 3 座 DSA 机房的辐射屏蔽防护满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

## 2、DSA 机房的辐射影响预测

为了进一步评价辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 DSA 设备主射线方向向上，介入手术过程中，DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design for Medical Imaging X-ray Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers, P41-45）及 5.1 节（Cardiac Angiography, P72）指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此本项目 DSA 需要屏蔽的辐射仅考虑泄漏辐射和散射辐射。

本项目 DSA 的辐射影响情况见表 11-36。

表 11-36 本项目 DSA 的辐射影响情况

| 操作模式 | 正常运行时最大工况  | 辐射影响对象                        |
|------|------------|-------------------------------|
| 摄影模式 | 80kV/500mA | 机房外公众、控制室操作人员                 |
| 透视模式 | 80kV/20mA  | 机房外公众、控制室操作人员；<br>机房内介入治疗操作人员 |

于手术物资楼三层 DSA 手术室周围共布设 11 个预测点，选取如下：

- 1#-东侧防护门外 30cm 处；
- 3#-东墙外 30cm 处，控制室；
- 2#-东侧观察窗外 30cm 处，控制室；
- 4#-东侧防护门外 30cm 处；
- 5#-南侧防护门外 30cm 处；
- 6#-南墙外 30cm 处，缓冲间；
- 7#-西墙外 30cm 处，楼梯间；
- 8#-西侧防护门外 30cm 处；
- 9#-北墙外 30cm 处，临空；
- 10#-上方，医生办公室；
- 11#-下方，卫生间、缓冲间和卫生通过间。

于手术物资楼三层复合手术室 1 周围共布设 10 个预测点，选取如下：

- 1#-东侧防护门外 30cm 处；
- 2#-南侧防护门外 30cm 处；
- 3#-南墙外 30cm 处，洁净走廊；
- 4#-西侧防护门外 30cm 处；
- 5#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室；
- 6#-西墙外 30cm 处，控制室；
- 7#-北墙外 30cm 处，污物通道；
- 8#-北侧防护门外 30cm 处；
- 9#-上方，手术麻醉科室；
- 10#-下方，手术室。

于手术物资楼三层复合手术室 2 周围共布设 11 个预测点，选取如下：

- 1#-东墙外 30cm 处，控制室；
- 2#-东侧观察窗外 30cm 处，控制室；
- 3#-东侧防护门外 30cm 处；
- 4#-南墙外 30cm 处，临空；
- 5#-南墙外 30cm 处，洁净通道；
- 6#-南侧防护门外 30cm 处；

7#-西侧防护门外 30cm 处；

8#-北侧防护门外 30cm 处；

9#-北墙外 30cm 处，污物通道；

10#-上方，手术麻醉科室；

11#-下方，术中放疗室。

手术物资楼三层 DSA 机房预测点布设如图 11-7 所示。



图 11-7 手术物资楼三层 DSA 机房、CT 机房预测点布设示意图

(1) 关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的有效剂量率  $H_s$  的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1），继而在公式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到散射辐射有效剂量率计算公式：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-11}$$

式中： $H_s$ —关注点处散射辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，本项目取  $5\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即  $300000\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

$I$ —管电流，mA；本项目透视、摄影模式下正常使用的最大管电流分取 20mA、500mA；

$a$ —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取。本项目常用最大管电压为 80kV，对于散射线向机房四侧墙体投射的情况，从《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中采用内插法查取散射角  $90^\circ$  时 80kV 对应的  $a$  值为 0.0008（该取值适用于机房四侧关注点相应预测计算）；对于散射线向机房地面投射的情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角  $180^\circ$  的数据，表中所列散射角中以  $135^\circ$  最接近  $180^\circ$ ，故从该表中散射角为  $135^\circ$ 、管电压为 70kV、100kV 对应的  $a$  值采用内插法求取 80kV 对应的  $a$  值为 0.0016（该取值适用于机房地面关注点相应预测计算）；对于散射线向机房顶面投射的情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角  $0^\circ$  的数据，表中所列散射角中以  $30^\circ$  最接近  $0^\circ$ ，故从该表中散射角为  $0^\circ$ 、管电压为 70kV、100kV 对应的  $a$  值采用内插法求取 80kV 对应的  $a$  值为 0.0009（该取值适用于机房顶面关注点相应预测计算）；

$S$ —主束在受照人体上的散射面积，根据建设单位提供参数，照射野最小为  $11\text{cm} \times 11\text{cm} = 121\text{cm}^2$ ，最大为  $30\text{cm} \times 38\text{cm} = 1140\text{cm}^2$ ，考虑手术需要的最大照射面积约为  $16\text{cm} \times 16\text{cm}$ ，本项目取  $256\text{cm}^2$ ；

$d_0$ —源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目 DSA 球管的  $d_0$  取 0.45m

(符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求)；

$d_s$ —受照体至关注点的距离，m；

$B_s$ —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-2。此处散射线是指本项目常用最大管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 $\theta=90^\circ$ ）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量  $E_0$  之比值  $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08\times(1-\cos90^\circ)/0.511]=0.865$ ，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为  $80kV\times0.865=69.2kV$ ，近似取为 70kV。再将机房屏蔽体和介入操作人员防护用屏蔽物的铅当量厚度、表 11-33 中  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  值代入公式 11-10，计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值；

$K$ —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，按前述  $90^\circ$  方向一次散射线能量对应的 kV 值为 70kV， $K$  值取 1.60。

将前述有关参数代入公式 11-11，计算 DSA 常用最大工况（管电压 80kV）运行时透视模式、摄影模式下 3 座 DSA 机房外公众、控制室操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率，计算结果见表 11-37。

表 11-37 (a) DSA 手术室关注点处散射辐射剂量率计算结果

| 关注点位置                     | 操作模式 | $H_0$ ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ) | $I$ (mA) | $X$ (mm) | $B_s$ | $d_0$ (m) | $d_s$ (m) | $H_s$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|---------------------------|------|--|----------|----------|-------|-----------|-----------|----------------------------|
| 1#-东侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式 |  |          |          |       |           |           | 2.95E-08                   |
|                           | 摄影模式 |  |          |          |       |           |           | 7.38E-07                   |
| 2#-东墙外 30cm 处<br>(控制室)    | 透视模式 |  |          |          |       |           |           | 7.44E-11                   |
|                           | 摄影模式 |  |          |          |       |           |           | 1.86E-09                   |
| 3#-东侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室) | 透视模式 |  |          |          |       |           |           | 5.02E-08                   |
|                           | 摄影模式 |  |          |          |       |           |           | 1.26E-06                   |
| 4#-东侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式 |  |          |          |       |           |           | 3.07E-08                   |
|                           | 摄影模式 |  |          |          |       |           |           | 7.66E-07                   |
| 5#-南侧防护门外                 | 透视模式 |  |          |          |       |           |           | 2.05E-08                   |

|                           |     |      |  |  |  |  |  |          |
|---------------------------|-----|------|--|--|--|--|--|----------|
| 30cm 处                    |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 5.13E-07 |
| 6#-南墙外 30cm 处<br>(缓冲间)    |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 2.51E-11 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 6.28E-10 |
| 7#-西墙外 30cm 处<br>(楼梯间)    |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 7.87E-11 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 1.97E-09 |
| 8#-西侧防护门外<br>30cm 处       |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 2.88E-08 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 7.20E-07 |
| 9#-北墙外 30cm 处<br>(临空)     |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 2.41E-11 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 6.03E-10 |
| 10#-上方<br>(医生办公室)         |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 3.94E-09 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 9.85E-08 |
| 11#-下方(卫生间、缓<br>冲间和卫生通过间) |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 1.01E-08 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 2.52E-07 |
| 第一<br>术者                  | 铅衣内 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 27.54    |
|                           | 铅衣外 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 519.2    |
| 第二<br>术者                  | 铅衣内 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 6.88     |
|                           | 铅衣外 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 129.8    |

注：机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处，机房上方关注点位于距上方（楼上）地面 100cm 处，机房下方关注点位于距下方（楼下）地面 170cm 处。

表 11-37 (b) 复合手术室 1 关注点处散射辐射剂量率计算结果

| 关注点位置               | 操作模式 | $H_0$ ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/$<br>( $\text{mA}\cdot\text{h}$ )) | $I$<br>(mA) | $X$<br>(mm) | $B_s$ | $d_0$<br>(m) | $d_s$<br>(m) | $H_s$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|---------------------|------|---|-------------|-------------|-------|--------------|--------------|-------------------------------|
| 1#-东侧防护门外<br>30cm 处 | 透视模式 |   |             |             |       |              |              | 2.88E-08                      |
|                     | 摄影模式 |   |             |             |       |              |              | 7.20E-07                      |
| 2#-南侧防护门外<br>30cm 处 | 透视模式 |   |             |             |       |              |              | 2.46E-08                      |
|                     | 摄影模式 |   |             |             |       |              |              | 6.16E-07                      |
| 3#-南墙外 30cm 处       | 透视模式 |   |             |             |       |              |              | 4.87E-11                      |

|                           |     |      |  |  |  |  |  |          |
|---------------------------|-----|------|--|--|--|--|--|----------|
| (洁净走廊)                    |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 1.22E-09 |
| 4#-西侧防护门外<br>30cm 处       |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 2.69E-08 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 6.73E-07 |
| 5#-西侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室) |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 3.22E-08 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 8.05E-07 |
| 6#-西墙外 30cm 处<br>(控制室)    |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 3.62E-11 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 9.06E-10 |
| 7#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道)   |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 3.49E-11 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 8.72E-10 |
| 8#-北侧防护门外<br>30cm 处       |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 2.07E-08 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 5.17E-07 |
| 9#-上方<br>(手术麻醉科室)         |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 3.43E-09 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 8.58E-08 |
| 10#-下方 (手术室)              |     | 透视模式 |  |  |  |  |  | 1.50E-08 |
|                           |     | 摄影模式 |  |  |  |  |  | 3.74E-07 |
| 第一<br>术者                  | 铅衣内 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 27.54    |
|                           | 铅衣外 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 519.2    |
| 第二<br>术者                  | 铅衣内 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 6.88     |
|                           | 铅衣外 | 透视模式 |  |  |  |  |  | 129.8    |

注：机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处，机房上方关注点位于距上方（楼上）地面 100cm 处，机房下方关注点位于距下方（楼下）地面 170cm 处。

表 11-37 (c) 复合手术室 2 关注点处散射辐射剂量率计算结果

| 关注点位置                  | 操作模式 | $H_0$ ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/$<br>( $\text{mA}\cdot\text{h}$ )) | $I$<br>(mA) | $X$<br>(mm) | $B_s$ | $d_0$<br>(m) | $d_s$<br>(m) | $H_s$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|------------------------|------|---|-------------|-------------|-------|--------------|--------------|-------------------------------|
| 1#-东墙外 30cm 处<br>(控制室) | 透视模式 |   |             |             |       |              |              | 2.79E-11                      |
|                        | 摄影模式 |   |             |             |       |              |              | 6.98E-10                      |
| 2#-东侧观察窗外              | 透视模式 |   |             |             |       |              |              | 2.47E-08                      |

|                         |     |      |          |
|-------------------------|-----|------|----------|
| 30cm 处 (控制室)            |     | 摄影模式 | 6.16E-07 |
| 3#-东侧防护门外<br>30cm 处     |     | 透视模式 | 2.18E-08 |
|                         |     | 摄影模式 | 5.46E-07 |
| 4#-南墙外 30cm 处<br>(临空)   |     | 透视模式 | 4.72E-11 |
|                         |     | 摄影模式 | 1.18E-09 |
| 5#-南墙外 30cm 处<br>(洁净通道) |     | 透视模式 | 3.94E-11 |
|                         |     | 摄影模式 | 9.86E-10 |
| 6#-南侧防护门外<br>30cm 处     |     | 透视模式 | 2.55E-08 |
|                         |     | 摄影模式 | 6.39E-07 |
| 7#-西侧防护门外<br>30cm 处     |     | 透视模式 | 2.63E-08 |
|                         |     | 摄影模式 | 6.58E-07 |
| 8#-北侧防护门外<br>30cm 处     |     | 透视模式 | 1.83E-08 |
|                         |     | 摄影模式 | 4.57E-07 |
| 9#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道) |     | 透视模式 | 3.94E-11 |
|                         |     | 摄影模式 | 9.84E-10 |
| 10#-上方<br>(手术麻醉科室)      |     | 透视模式 | 6.10E-09 |
|                         |     | 摄影模式 | 1.53E-07 |
| 11#-下方<br>(术中放疗室)       |     | 透视模式 | 1.54E-08 |
|                         |     | 摄影模式 | 3.86E-07 |
| 第一<br>术者                | 铅衣内 | 透视模式 | 27.54    |
|                         | 铅衣外 | 透视模式 | 519.2    |
| 第二<br>术者                | 铅衣内 | 透视模式 | 6.88     |
|                         | 铅衣外 | 透视模式 | 129.8    |

注：机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处，机房上方关注点位于距上方（楼上）地面 100cm 处，机房下方关注点位于距下方（楼下）地面 170cm 处。

## (2) 关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率  $H_L$  采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K$$

公式 11-12

式中： $H_L$ —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_i$ —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率， $\text{mGy/h}$ 。本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取  $1.0\text{mGy/h}$ ；

$B$ —机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，本项目 DSA 常用最大工况管电压（ $80\text{kV}$ ）对应下 3 座 DSA 机房屏蔽体及介入操作人员防护用屏蔽物的泄漏射线屏蔽透射因子见表 11-38；

$K$ —有效剂量与空气比释动能转换系数， $\text{Sv/Gy}$ ，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，对于本项目 DSA 运行时常用最大管电压  $80\text{kV}$ ， $K$  值取 1.67。

将有关参数代入公式 11-12，计算 DSA 常用最大工况（管电压  $80\text{kV}$ ）运行时透视模式、摄影模式下 DSA 手术室外公众、控制室操作人员、机房内介入操作人员处泄漏辐射剂量率，计算结果见表 11-38。

表 11-38 (a) DSA 手术室关注点处漏辐射剂量率计算结果

| 关注点位置                 | $H_i$<br>( $\text{mGy/h}$ ) | $X$<br>( $\text{mm}$ ) | $r$<br>( $\text{m}$ ) | $B$ | $H_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|-----|----------------------------|
| 1#-东侧防护门外 30cm 处      |                             |                        |                       |     | 5.48E-07                   |
| 2#-东墙外 30cm 处（控制室）    |                             |                        |                       |     | 7.37E-09                   |
| 3#-东侧观察窗外 30cm 处（控制室） |                             |                        |                       |     | 9.33E-07                   |
| 4#-东侧防护门外 30cm 处      |                             |                        |                       |     | 5.70E-07                   |
| 5#-南侧防护门外 30cm 处      |                             |                        |                       |     | 3.81E-07                   |
| 6#-南墙外 30cm 处（缓冲间）    |                             |                        |                       |     | 2.49E-09                   |
| 7#-西墙外 30cm 处（楼梯间）    |                             |                        |                       |     | 7.80E-09                   |
| 8#-西侧防护门外 30cm 处      |                             |                        |                       |     | 5.35E-07                   |
| 9#-北墙外 30cm 处（临空）     |                             |                        |                       |     | 2.39E-09                   |
| 10#-上方（医生办公室）         |                             |                        |                       |     | 9.52E-08                   |

|                           |     |          |
|---------------------------|-----|----------|
| 11#-下方<br>(卫生间、缓冲间和卫生通过间) |     | 2.21E-07 |
| 第一术者                      | 铅衣内 | 9.55     |
|                           | 铅衣外 | 91.54    |
| 第二术者                      | 铅衣内 | 2.39     |
|                           | 铅衣外 | 22.88    |

注：机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处，机房上方关注点位于距上方（楼上）地面 100cm 处，机房下方关注点位于距下方（楼下）地面 170cm 处。

表 11-38 (b) 复合手术室 1 关注点处漏辐射剂量率计算结果

| 关注点位置                  | $H_i$<br>(mGy/h) | $X$<br>(mm) | $r$<br>(m) | $B$ | $H_L$ ( $\mu$ Sv/h) |
|------------------------|------------------|-------------|------------|-----|---------------------|
| 1#-东侧防护门外 30cm 处       |                  |             |            |     | 5.35E-07            |
| 2#-南侧防护门外 30cm 处       |                  |             |            |     | 4.58E-07            |
| 3#-南墙外 30cm 处 (洁净走廊)   |                  |             |            |     | 4.83E-09            |
| 4#-西侧防护门外 30cm 处       |                  |             |            |     | 5.00E-07            |
| 5#-西侧观察窗外 30cm 处 (控制室) |                  |             |            |     | 5.98E-07            |
| 6#-西墙外 30cm 处 (控制室)    |                  |             |            |     | 3.59E-09            |
| 7#-北墙外 30cm 处 (污物通道)   |                  |             |            |     | 3.46E-09            |
| 8#-北侧防护门外 30cm 处       |                  |             |            |     | 3.84E-07            |
| 9#-上方 (手术麻醉科室)         |                  |             |            |     | 8.41E-08            |
| 10#-下方 (手术室)           |                  |             |            |     | 3.20E-07            |
| 第一术者                   | 铅衣内              |             |            |     | 9.55                |
|                        | 铅衣外              |             |            |     | 91.54               |
| 第二术者                   | 铅衣内              |             |            |     | 2.39                |
|                        | 铅衣外              |             |            |     | 22.88               |

注：机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处，机房上方关注点位于距上方（楼上）地面 100cm 处，机房下方关注点位于距下方（楼下）地面 170cm 处。

表 11-38 (c) 复合手术室 2 关注点处漏辐射剂量率计算结果

| 关注点位置                  |     | $H_i$<br>(mGy/h) | $X$<br>(mm) | $r$<br>(m) | $B$ | $H_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|------------------------|-----|------------------|-------------|------------|-----|----------------------------|
| 1#-东墙外 30cm 处 (控制室)    |     |                  |             |            |     | 2.77E-09                   |
| 2#-东侧观察窗外 30cm 处 (控制室) |     |                  |             |            |     | 4.58E-07                   |
| 3#-东侧防护门外 30cm 处       |     |                  |             |            |     | 4.06E-07                   |
| 4#-南墙外 30cm 处 (临空)     |     |                  |             |            |     | 4.68E-09                   |
| 5#-南墙外 30cm 处 (洁净通道)   |     |                  |             |            |     | 3.91E-09                   |
| 6#-南侧防护门外 30cm 处       |     |                  |             |            |     | 4.75E-07                   |
| 7#-西侧防护门外 30cm 处       |     |                  |             |            |     | 4.89E-07                   |
| 8#-北侧防护门外 30cm 处       |     |                  |             |            |     | 3.39E-07                   |
| 9#-北墙外 30cm 处 (污物通道)   |     |                  |             |            |     | 3.47E-09                   |
| 10#-上方 (手术麻醉科室)        |     |                  |             |            |     | 8.41E-08                   |
| 11#-下方 (术中放疗室)         |     |                  |             |            |     | 3.32E-07                   |
| 第一术者                   | 铅衣内 |                  |             |            |     | 9.55                       |
|                        | 铅衣外 |                  |             |            |     | 91.54                      |
| 第二术者                   | 铅衣内 |                  |             |            |     | 2.39                       |
|                        | 铅衣外 |                  |             |            |     | 22.88                      |

注：机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处，机房上方关注点位于距上方（楼上）地面 100cm 处，机房下方关注点位于距下方（楼下）地面 170cm 处。

### 3、预测计算结果汇总及评价

本项目 3 座 DSA 机房关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-39。

表 11-39 (a) DSA 手术室关注点处辐射剂量率计算统计结果

| 关注点位置            | 操作模式 | X 射线辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |          |          |          |
|------------------|------|--------------------------------|----------|----------|----------|
|                  |      | 有用线束                           | 散射线      | 漏射线      | 合计       |
| 1#-东侧防护门外 30cm 处 | 透视模式 | /                              | 2.95E-08 | 5.48E-07 | 5.78E-07 |
|                  | 摄影模式 | /                              | 7.38E-07 |          | 1.29E-06 |

|                            |      |      |          |          |          |       |
|----------------------------|------|------|----------|----------|----------|-------|
| 2#-东墙外 30cm 处 (控制室)        | 透视模式 | /    | 7.44E-11 | 7.37E-09 | 7.45E-09 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 1.86E-09 |          | 9.23E-09 |       |
| 3#-东侧观察窗外 30cm 处<br>(控制室)  | 透视模式 | /    | 5.02E-08 | 9.33E-07 | 9.83E-07 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 1.26E-06 |          | 2.19E-06 |       |
| 4#-东侧防护门外 30cm 处           | 透视模式 | /    | 3.07E-08 | 5.70E-07 | 6.00E-07 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 7.66E-07 |          | 1.34E-06 |       |
| 5#-南侧防护门外 30cm 处           | 透视模式 | /    | 2.05E-08 | 3.81E-07 | 4.02E-07 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 5.13E-07 |          | 8.94E-07 |       |
| 6#-南墙外 30cm 处 (缓冲间)        | 透视模式 | /    | 2.51E-11 | 2.49E-09 | 2.51E-09 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 6.28E-10 |          | 3.12E-09 |       |
| 7#-西墙外 30cm 处 (楼梯间)        | 透视模式 | /    | 7.87E-11 | 7.80E-09 | 7.88E-09 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 1.97E-09 |          | 9.77E-09 |       |
| 8#-西侧防护门外 30cm 处           | 透视模式 | /    | 2.88E-08 | 5.35E-07 | 5.64E-07 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 7.20E-07 |          | 1.25E-06 |       |
| 9#-北墙外 30cm 处 (临空)         | 透视模式 | /    | 2.41E-11 | 2.39E-09 | 2.42E-09 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 6.03E-10 |          | 2.99E-09 |       |
| 10#-上方 (医生办公室)             | 透视模式 | /    | 3.94E-09 | 9.52E-08 | 9.92E-08 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 9.85E-08 |          | 1.94E-07 |       |
| 11#-下方 (卫生间、缓冲间和<br>卫生通过间) | 透视模式 | /    | 1.01E-08 | 2.21E-07 | 2.31E-07 |       |
|                            | 摄影模式 | /    | 2.52E-07 |          | 4.73E-07 |       |
| 第一术者                       | 铅衣内  | 透视模式 | /        | 27.54    | 9.55     | 37.09 |
|                            | 铅衣外  | 透视模式 | /        | 519.2    | 91.54    | 610.8 |
| 第二术者                       | 铅衣内  | 透视模式 | /        | 6.88     | 2.39     | 9.27  |
|                            | 铅衣外  | 透视模式 | /        | 129.8    | 22.88    | 152.7 |

表 11-39 (b) 复合手术室 1 关注点处辐射剂量率计算统计结果

| 关注点位置                     |      | 操作模式 | X 射线辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |          |          |       |
|---------------------------|------|------|--------------------------------|----------|----------|-------|
|                           |      |      | 有用线束                           | 散射线      | 漏射线      | 合计    |
| 1#-东侧防护门外 30cm 处          | 透视模式 | /    | 2.88E-08                       | 5.35E-07 | 5.64E-07 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 7.20E-07                       |          | 1.25E-06 |       |
| 2#-南侧防护门外 30cm 处          | 透视模式 | /    | 2.46E-08                       | 4.58E-07 | 4.83E-07 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 6.16E-07                       |          | 1.07E-06 |       |
| 3#-南墙外 30cm 处 (洁净走廊)      | 透视模式 | /    | 4.87E-11                       | 4.83E-09 | 4.87E-09 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 1.22E-09                       |          | 6.04E-09 |       |
| 4#-西侧防护门外 30cm 处          | 透视模式 | /    | 2.69E-08                       | 5.00E-07 | 5.27E-07 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 6.73E-07                       |          | 1.17E-06 |       |
| 5#-西侧观察窗外 30cm 处<br>(控制室) | 透视模式 | /    | 3.22E-08                       | 5.98E-07 | 6.31E-07 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 8.05E-07                       |          | 1.40E-06 |       |
| 6#-西墙外 30cm 处 (控制室)       | 透视模式 | /    | 3.62E-11                       | 3.59E-09 | 3.63E-09 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 9.06E-10                       |          | 4.50E-09 |       |
| 7#-北墙外 30cm 处 (污物通道)      | 透视模式 | /    | 3.49E-11                       | 3.46E-09 | 3.49E-09 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 8.72E-10                       |          | 4.33E-09 |       |
| 8#-北侧防护门外 30cm 处          | 透视模式 | /    | 2.07E-08                       | 3.84E-07 | 4.05E-07 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 5.17E-07                       |          | 9.02E-07 |       |
| 9#-上方 (手术麻醉科室)            | 透视模式 | /    | 3.43E-09                       | 8.41E-08 | 8.75E-08 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 8.58E-08                       |          | 1.70E-07 |       |
| 10#-下方 (手术室)              | 透视模式 | /    | 1.50E-08                       | 3.20E-07 | 3.35E-07 |       |
|                           | 摄影模式 | /    | 3.74E-07                       |          | 6.94E-07 |       |
| 第一术者                      | 铅衣内  | 透视模式 | /                              | 27.54    | 9.55     | 37.09 |
|                           | 铅衣外  | 透视模式 | /                              | 519.2    | 91.54    | 610.8 |
| 第二术者                      | 铅衣内  | 透视模式 | /                              | 6.88     | 2.39     | 9.27  |

|                                     | 铅衣外  | 透视模式                           | /        | 129.8    | 22.88    | 152.7 |
|-------------------------------------|------|--------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| 表 11-39 (c) 复合手术室 2 关注点处辐射剂量率计算统计结果 |      |                                |          |          |          |       |
| 关注点位置                               | 操作模式 | X 射线辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |          |          |          |       |
|                                     |      | 有用线束                           | 散射线      | 漏射线      | 合计       |       |
| 1#-东墙外 30cm 处 (控制室)                 | 透视模式 | /                              | 2.79E-11 | 2.77E-09 | 2.80E-09 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 6.98E-10 |          | 3.47E-09 |       |
| 2#-东侧观察窗外 30cm 处<br>(控制室)           | 透视模式 | /                              | 2.47E-08 | 4.58E-07 | 4.83E-07 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 6.16E-07 |          | 1.07E-06 |       |
| 3#-东侧防护门外 30cm 处                    | 透视模式 | /                              | 2.18E-08 | 4.06E-07 | 4.28E-07 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 5.46E-07 |          | 9.52E-07 |       |
| 4#-南墙外 30cm 处 (临空)                  | 透视模式 | /                              | 4.72E-11 | 4.68E-09 | 4.73E-09 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 1.18E-09 |          | 5.86E-09 |       |
| 5#-南墙外 30cm 处 (洁净通道)                | 透视模式 | /                              | 3.94E-11 | 3.91E-09 | 3.95E-09 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 9.86E-10 |          | 4.90E-09 |       |
| 6#-南侧防护门外 30cm 处                    | 透视模式 | /                              | 2.55E-08 | 4.75E-07 | 5.00E-07 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 6.39E-07 |          | 1.11E-06 |       |
| 7#-西侧防护门外 30cm 处                    | 透视模式 | /                              | 2.63E-08 | 4.89E-07 | 5.16E-07 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 6.58E-07 |          | 1.15E-06 |       |
| 8#-北侧防护门外 30cm 处                    | 透视模式 | /                              | 1.83E-08 | 3.39E-07 | 3.58E-07 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 4.57E-07 |          | 7.96E-07 |       |
| 9#-北墙外 30cm 处 (污物通道)                | 透视模式 | /                              | 3.94E-11 | 3.47E-09 | 3.51E-09 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 9.84E-10 |          | 4.45E-09 |       |
| 10#-上方 (手术麻醉科室)                     | 透视模式 | /                              | 6.10E-09 | 8.41E-08 | 9.02E-08 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 1.53E-07 |          | 2.37E-07 |       |
| 11#-下方 (术中放疗室)                      | 透视模式 | /                              | 1.54E-08 | 3.22E-07 | 3.47E-07 |       |
|                                     | 摄影模式 | /                              | 3.86E-07 |          | 7.18E-07 |       |

|      |     |      |   |       |       |       |
|------|-----|------|---|-------|-------|-------|
| 第一术者 | 铅衣内 | 透视模式 | / | 27.54 | 9.55  | 37.09 |
|      | 铅衣外 | 透视模式 | / | 519.2 | 91.54 | 610.8 |
| 第二术者 | 铅衣内 | 透视模式 | / | 6.88  | 2.39  | 9.27  |
|      | 铅衣外 | 透视模式 | / | 129.8 | 22.88 | 152.7 |

由表 11-39 可知，在常用最大工况下，摄影模式的非有用线束在 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率明显大于透视模式；DSA 手术室外辐射工作人员关注点剂量率最大为  $2.19\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，出现在东墙外控制室关注点处；公众关注点剂量率最大为  $1.29\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，出现在机房东侧防护门外污物通道关注点处。复合手术室 1 外辐射工作人员关注点剂量率最大为  $1.40\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，出现在西侧观察窗外控制室关注点处；公众关注点剂量率最大为  $1.07\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，出现在机房南侧防护门外洁净通道关注点处。复合手术室 2 外辐射工作人员关注点剂量率最大为  $1.15\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，出现在西侧防护门外设备间关注点处；公众关注点剂量率最大为  $1.11\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，出现在机房南侧防护门外洁净通道关注点处，本项目手术物资楼三层 3 座 DSA 机房屏蔽设计能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

### （七）CT

江苏省肿瘤医院拟于手术物资楼三层 CT 室内配备 1 台 CT（型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展医疗诊断。医院拟在手术物资楼三层配备 1 台 CT（型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于开展术前患者成像和术后影像评估，存放于设备间，使用时通过滑轨移动至复合手术室 1 或复合手术室 2 内 DSA 检查床进行扫描，不与同室的 DSA 设备同时出束。

#### 1、CT 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

##### （1）评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 规定，CT 机房有用线束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均应不小于  $2.5\text{mmPb}$ 。

##### （2）本项目 CT 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目手术物资楼三层 CT 室、复合手术室内拟配备的 1 台 CT 型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，按额定管电压  $140\text{kV}$  的极端条件核算 CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b) 给出的计算公式进行计算：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left( \frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{公式 11-9}$$

给定铅厚度的屏蔽透射因子  $B$  值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-10}$$

铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数见表 11-40。

表 11-40 铅、混凝土对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

| 管电压        | 屏蔽材料 | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ |
|------------|------|----------|---------|----------|
| 140kV (CT) | 铅    | 2.009    | 3.990   | 0.3420   |
|            | 混凝土  | 0.03360  | 0.01220 | 0.5190   |

本项目 CT 机房屏蔽部位涉及的混凝土、实心砖，分别按公式 11-10、公式 11-9 计算其屏蔽透射因子  $B$ 、铅当量厚度  $X$ ，计算结果列于表 11-41。

表 11-41 混凝土、实心砖屏蔽透射因子  $B$ 、铅当量厚度  $X$  计算结果

| 管电压        | 屏蔽材料      | 屏蔽透射因子 $B$ | 铅当量厚度 $X$ (mm) |
|------------|-----------|------------|----------------|
| 140kV (CT) | 120mm 混凝土 | 1.04E-02   | 1.19           |
|            | 250mm 混凝土 | 1.25E-04   | 3.01           |
|            | 200mm 实心砖 | 2.02E-03   | 1.81           |

注：1、实心砖密度为 1.97g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>；

2、本项目使用的实心砖密度为 1.97g/cm<sup>3</sup>，将该密度的 200mm 实心砖按密度折算成密度为 1.65g/cm<sup>3</sup> 的实心砖，等效约 238.8mm。

根据前述各屏蔽材料的等效铅当量厚度核算情况，可对本项目 CT 室、复合手术室屏蔽体等效铅当量进行汇总，结果见下表：

表 11-42 CT 室、复合手术室屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

| 工作场所               | 参数  | 设计厚度                   | 140kV 等效铅当量 | 屏蔽要求 <sup>1)</sup>                        | 评价 |
|--------------------|-----|------------------------|-------------|---|----|
| 手术物资楼三层<br>CT室     | 墙体  | 200mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡水泥 | 4.81mm      | CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。 | 满足 |
|                    | 防护门 | 4mm 铅板                 | 4mm         |   | 满足 |
|                    | 观察窗 | 4mm 铅当量铅玻璃             | 4mm         |   | 满足 |
|                    | 顶面  | 120mm 混凝土+3mm 铅板       | 4.19mm      |   | 满足 |
|                    | 底面  | 120mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡水泥 | 4.19mm      |   | 满足 |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 1 | 墙体  | 200mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡水泥 | 4.81mm      | CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。 | 满足 |
|                    | 防护门 | 4mm 铅板                 | 4mm         |   | 满足 |
|                    | 观察窗 | 4mm 铅当量铅玻璃             | 4mm         |   | 满足 |
|                    | 顶面  | 120mm 混凝土+3mm 铅板       | 4.19mm      |   | 满足 |
|                    | 底面  | 250mm 混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥 | 4.01mm      |   | 满足 |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 2 | 墙体  | 200mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡水泥 | 4.81mm      | CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。 | 满足 |
|                    | 防护门 | 4mm 铅板                 | 4mm         |   | 满足 |
|                    | 观察窗 | 4mm 铅当量铅玻璃             | 4mm         |   | 满足 |
|                    | 顶面  | 120mm 混凝土+3mm 铅板       | 4.19mm      |   | 满足 |
|                    | 底面  | 250mm 混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥 | 4.01mm      |   | 满足 |

本项目 CT 室、复合手术室有效使用面积和最小单边长度见表 11-43。

表 11-43 CT 室、复合手术室有效使用面积和最小单边长度核查表

| 工作场所    | 有效使用面积 (m <sup>2</sup> ) |      | 最小单边长度 (m) |      | 符合性 |
|---------|--------------------------|------|------------|------|-----|
|         | 设计值                      | 标准要求 | 设计值        | 标准要求 |     |
| CT 室    | 37.5                     | 30   | 5.00       | 4.5  | 符合  |
| 复合手术室 1 | 58.5                     | 30   | 7.50       | 4.5  | 符合  |

|         |      |    |      |     |    |
|---------|------|----|------|-----|----|
| 复合手术室 2 | 58.7 | 30 | 6.35 | 4.5 | 符合 |
|---------|------|----|------|-----|----|

由上表可知，手术物资楼三层 CT 室、复合手术室屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

## 2、CT 机房的辐射影响预测

本项目 CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT 设备以 CT 模式运行时，保守按照其常用最大管电压 140kV、最大管电流 200mA 工况下，对机房外各关注点处的辐射剂量率进行计算。

于手术物资楼三层 CT 室周围共布设 10 个预测点，选取如下：

- 1#-东墙外 30cm 处，控制室；
- 2#-南侧防护门外 30cm 处；
- 3#-南墙外 30cm 处，缓冲间；
- 4#-西侧防护门外 30cm 处；
- 5#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室；
- 6#-西墙外 30cm 处，控制室；
- 7#-北侧防护门外 30cm 处；
- 8#-北墙外 30cm 处，污物通道；
- 9#-上方，手术护理部办公室和资料室；
- 10#-下方，卫生通过间。

于手术物资楼三层复合手术室 1 周围共布设 10 个预测点，于手术物资楼三层复合手术室 2 周围共布设 11 个预测点，预测点布设如图 11-7 所示。

### （1）关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的有效剂量率  $H_s$  的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1），继而在公式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到散射辐射有效剂量率计算公式：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-11}$$

式中： $H_s$ —关注点处散射辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目 CT 的最大管电压为 140kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得  $H_0$  为  $15\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，即  $900000\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

$I$ —管电流，mA；本项目 CT 正常使用的最大管电流为 200mA；

$\alpha$ —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取。本项目常用最大管电压为 140kV，采用内插法查取散射角  $90^\circ$  时 140kV 对应的  $\alpha$  值为 0.0016；

$S$ —主束在受照人体上的散射面积，本项目取  $314\text{cm}^2$ ；

$d_0$ —源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

$d_s$ —受照体至关注点的距离，m；

$B_s$ —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见公式 11-10。根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。再将机房屏蔽体的铅当量厚度、表 11-40 中  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  值代入公式 11-10，计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值；

$K$ —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2，按前述  $90^\circ$  方向一次散射线能量对应的 kV 值为 120kV， $K$  值取 1.66。

## （2）关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率  $H_L$  采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \quad \text{公式 11-12}$$

式中： $H_L$ —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_i$ —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h。本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1mGy/h；

$B$ —机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见公式

11-10;

$K$ —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv/Gy, 查《外照射放射防护剂量转换系数标准》(WS/T 830-2024)附录表 G.2, 对于本项目 CT 运行时最大管电压为 140kV,  $K$  值取 1.65。

(3) 预测计算结果汇总及评价

本项目 3 座 CT 机房关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-44。

表 11-44 (a) 手术物资楼三层 CT 室关注点处辐射剂量率计算统计结果

| 关注点位置                       | $X$<br>(mm) | $r$<br>(m) | 散射辐射  |                            | 泄漏辐射 |                            | 关注点<br>辐射水平<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 控制<br>目标值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|-----------------------------|-------------|------------|-------|----------------------------|------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|                             |             |            | $B_s$ | $H_s$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $B$  | $H_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |                                     |                                   |
| 1#-东墙外 30cm 处<br>(控制室)      |             |            |       |                            |      |                            | 0.385                               | 2.5                               |
| 2#-南侧防护门外<br>30cm 处         |             |            |       |                            |      |                            | 0.402                               | 2.5                               |
| 3#-南墙外 30cm 处<br>(缓冲间)      |             |            |       |                            |      |                            | 0.066                               | 2.5                               |
| 4#-西侧防护门外<br>30cm 处         |             |            |       |                            |      |                            | 0.494                               | 2.5                               |
| 5#-西侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室)   |             |            |       |                            |      |                            | 0.740                               | 2.5                               |
| 6#-西墙外 30cm 处<br>(控制室)      |             |            |       |                            |      |                            | 0.148                               | 2.5                               |
| 7#-北侧防护门外<br>30cm 处         |             |            |       |                            |      |                            | 0.928                               | 2.5                               |
| 8#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道)     |             |            |       |                            |      |                            | 0.243                               | 2.5                               |
| 9#-上方<br>(手术护理部办公<br>室和资料室) |             |            |       |                            |      |                            | 0.481                               | 2.5                               |
| 10#-下方<br>(卫生通过间)           |             |            |       |                            |      |                            | 0.693                               | 2.5                               |

表 11-44 (b) 手术物资楼三层复合手术室 1 关注点处辐射剂量率计算统计结果

| 关注点位置                     | $X$<br>(mm) | $r$<br>(m) | 散射辐射  |                            | 泄漏辐射 |                            | 关注点<br>辐射水平<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 控制<br>目标值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|---------------------------|-------------|------------|-------|----------------------------|------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|                           |             |            | $B_s$ | $H_s$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $B$  | $H_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |                                     |                                   |
| 1#-东侧防护门外<br>30cm 处       |             |            |       |                            |      |                            | 0.572                               | 2.5                               |
| 2#-南侧防护门外<br>30cm 处       |             |            |       |                            |      |                            | 0.490                               | 2.5                               |
| 3#-南墙外 30cm 处<br>(洁净走廊)   |             |            |       |                            |      |                            | 0.135                               | 2.5                               |
| 4#-西侧防护门外<br>30cm 处       |             |            |       |                            |      |                            | 0.535                               | 2.5                               |
| 5#-西侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室) |             |            |       |                            |      |                            | 0.640                               | 2.5                               |
| 6#-西墙外 30cm 处<br>(控制室)    |             |            |       |                            |      |                            | 0.100                               | 2.5                               |
| 7#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道)   |             |            |       |                            |      |                            | 0.097                               | 2.5                               |
| 8#-北侧防护门外<br>30cm 处       |             |            |       |                            |      |                            | 0.412                               | 2.5                               |
| 9#-上方<br>(手术麻醉科室)         |             |            |       |                            |      |                            | 0.420                               | 2.5                               |
| 10#-下方(手术室)               |             |            |       |                            |      |                            | 1.244                               | 2.5                               |

表 11-44 (c) 手术物资楼三层复合手术室 2 关注点处辐射剂量率计算统计结果

| 关注点位置                     | $X$<br>(mm) | $r$<br>(m) | 散射辐射  |                            | 泄漏辐射 |                            | 关注点<br>辐射水平<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 控制<br>目标值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|---------------------------|-------------|------------|-------|----------------------------|------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|                           |             |            | $B_s$ | $H_s$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $B$  | $H_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |                                     |                                   |
| 1#-东墙外 30cm 处<br>(控制室)    |             |            |       |                            |      |                            | 0.077                               | 2.5                               |
| 2#-东侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室) |             |            |       |                            |      |                            | 0.490                               | 2.5                               |
| 3#-东侧防护门外<br>30cm 处       |             |            |       |                            |      |                            | 0.434                               | 2.5                               |
| 4#-南墙外 30cm 处<br>(临空)     |             |            |       |                            |      |                            | 0.131                               | 2.5                               |
| 5#-南墙外 30cm 处<br>(洁净通道)   |             |            |       |                            |      |                            | 0.680                               | 2.5                               |

|                     |       |     |
|---------------------|-------|-----|
| 6#-南侧防护门外<br>30cm 处 | 0.508 | 2.5 |
| 7#-西侧防护门外<br>30cm 处 | 0.524 | 2.5 |

(八) 辐射剂量率叠加影响分析

至  
4  
备

-  
支

南  
和  
设  
护

门口处叠加辐射剂量率最大为  $0.572\mu\text{Sv/h}$  (2#放疗机房内射波刀出来状态下  $0.393\mu\text{Sv/h}$  +3#放疗机房内 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头治疗状态下  $0.179\mu\text{Sv/h}$ +伽玛刀聚焦治疗头非治疗状态下  $1.08\mu\text{Sv/h}$ )。3#放疗机  
房  
c  
v  
力  
刀  
上

ai  
tS  
线  
最  
,  
坊

护要求》(HJ 1198-2021)的要求。

2、DSA、CT

江苏省肿瘤医院拟于手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室、于三层新建 4 座射线装置机房，由于本项目术中放疗室内配备的术中加速器均在夜间开展出束治疗，此时术中放疗室的四周及上方、下方区域均无人员滞留，故手术物资楼内主要考虑三层 4 座射线装置机房内设备同时出束可能产生的叠加辐射影响。

根据表 11-39 和表 11-44 可知，DSA 手术室和 CT 室之间的控制室处叠加辐射剂量率最大为  $1.42\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$  ( $2.19\text{E-}06\mu\text{Sv/h}+1.42\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ )、CT 室和复合手术室 1 之间的控制室处叠加辐射剂量率最大为  $1.025\mu\text{Sv/h}$  ( $0.385\mu\text{Sv/h}+0.640\mu\text{Sv/h}$ )、复合手术室 1 和复合手术室 2 之间的设备间处叠加辐射剂量率最大为  $0.572\mu\text{Sv/h}$  ( $0.572\mu\text{Sv/h}+1.15\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$ )，均能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 的要求。

### (九) 门缝、通风系统及电缆沟辐射防护评价

#### 1、放疗中心

本项目放疗中心 4 座放疗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。本项目放疗机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

根据《辐射防护导论》(方杰主编) P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”

本项目 4 座放疗机房采用上进下出的通风系统，进、排风管道均为方管，尺寸为  $500\text{mm}\times 300\text{mm}$ ，管道经防护门上方由迷路到达机房内，穿墙处采用倒“S”型设计，管道系统均避开主射线方向。射线在治疗室内至少经过一次散射才能到达进、排风管道口前，在进、排风管道内，至少再经过二次散射才能到达管道出口处，故射线到达进、排风管道出口处时已至少经过三次散射，进、排风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

本项目 1#放疗机房电缆线拟于机房东南角迷路外墙采用斜向下  $45^\circ$  方式穿墙，穿墙管道中心线于迷路侧标高为  $-5.315\text{m}$ 、于辅助机房侧标高为  $-6.715\text{m}$ ；2#放疗机房电缆线拟于机房东南角迷路外墙处采用电缆沟方式斜穿至设备间，穿墙处理地深度为  $0.25\text{m}$ ；3#、4#放疗机房电缆线穿墙方式均拟采用“U”型穿墙管道，穿墙处理地深度

分别为 0.35m、0.40m，，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线在治疗室内至少经过一次散射才能到达电缆沟前，在电缆管道内，至少再经过二次散射才能到达电缆管道出口处，故射线到电缆管道出口处时已至少经过三次散射，能够满足辐射防护要求。

(a) 1#放疗机房

(b) 2#放疗机房

(c) 3#放疗机房

(d) 4#放疗机房

图 11-8 预留电缆管道示意图

图 11-9 预留进、排风管道示意图

## 2、手术物资楼

本项目手术物资  
通排风管道穿墙方式  
按日常情况进行防护

*H*—考察

*t*—考察

*T*—居留

*U*—使用

### (一) Elekta U

本项目 1#放疗;  
120 人次, 周工作 5  
周围公众及辐射工作  
辐射剂量率估算值  
算结果列于表 11-45

七  
十

|     |                    | 场所名称    | 居留因子 | 居留时间 | 辐射剂量率  | 辐射剂量 | 辐射剂量率 |
|-----|--------------------|---------|------|------|--------|------|-------|
| 打机房 | 屋顶 ( <i>t</i> 点)   | 1号手术物资楼 | 1/10 | 1/1  | < 0.01 | 0.1  | —     |
|     | 迷路墙外 ( <i>f</i> 点) |         |      |      |        |      | —     |

|               |      |      |   |       |      |     |    |
|---------------|------|------|---|-------|------|-----|----|
| 迷路外墙 (k 点)    | 辅助机房 | 1/16 | 1 | 0.346 | 0.03 | 0.1 | 满足 |
| 迷路入口防护门 (g 点) |      | 1/8  | 1 | 0.135 | 0.03 | 0.1 | 满足 |

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

### (二) 射波刀

本项目 2#放疗机房内配备的射波刀年出束运行时间约 2500h（日接诊量最大 30 人次，周工作 5 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均按 20min 计），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-11 中 2#放疗机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13，估算周围公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-46。

表 11-46 2#放疗机房周围人员年有效剂量

| 参考点           | 参考点所在场所 | 居留因子 T* | 使用因子 U | 剂量率估算值 (μSv/h) | 人员可达处年有效剂量 (mSv/a) | 保护对象 (mSv/a) | 结论 |
|---------------|---------|---------|--------|----------------|--------------------|--------------|----|
| 北墙 (a 点)      | 3#放疗机房  | 1/2     | 1/20   | 0.325          | 0.02               | 5            | 满足 |
| 东墙 (b 点)      | 控制室     | 1       | 1/20   | 0.004          | <0.01              | 5            | 满足 |
| 东墙 (c 点)      | 设备间     | 1/16    | 1/20   | 0.045          | <0.01              | 0.1          | 满足 |
| 南墙 (d 点)      | 1#放疗机房  | 1/2     | 1/20   | 0.013          | <0.01              | 5            | 满足 |
| 顶部 (l 点)      | 停车场坡道   | 1/40    | 1/20   | 0.060          | <0.01              | 0.1          | 满足 |
| 顶部 (l' 点)     |         |         |        | 0.738          |                    |              |    |
| 迷路入口防护门 (g 点) |         | 1/8     | 1/20   | 0.393          | 0.01               | 0.1          | 满足 |

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

### (三) Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用医用直线加速器治疗头年出束运行时间约 500h（日接诊量最大 40 人次，年工作 250 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均按 3min 计），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-21

中 3#放疗机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13，估算医用直线加速器治疗模式下公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-47。

表 11-47 3#放疗机房内设备采用医用直线加速器治疗模式下机房周围人员年有效剂量

| 参考点    | 参考点所在场所       | 居留因子 T* | 使用因子 U | 剂量率估算值 (μSv/h) | 人员可达处年有效剂量 (mSv/a) |          |
|--------|---------------|---------|--------|----------------|--------------------|----------|
| 3#放疗机房 | 南墙 (a 点)      | 2#放疗机房  | 1/2    | 1              | 0.175              | 0.04     |
|        | 北墙 (b 点)      | 4#放疗机房  | 1/2    | 1              | 0.115              | 0.03     |
|        | 屋顶 (l 点)      | 停车场坡道   | 1/40   | 1              | 0.026              | 3.25E-04 |
|        | 迷路墙外 (f 点)    | 控制室     | 1      | 1              | 1.13E-04           | 5.65E-05 |
|        | 迷路外墙 (k 点)    | 设备间     | 1/16   | 1              | 0.400              | 0.01     |
|        | 迷路外墙 (k' 点)   |         | 1/16   | 1              | 0.403              | 0.01     |
|        | 迷路入口防护门 (g 点) |         | 1/8    | 1              | 0.179              | 0.01     |

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

本项目 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用伽玛刀聚集治疗头年出束运行时间约 416.7h (日接诊量最大 20 人次，年工作 200 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均按 5min 计)，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-21 中 3#放疗机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13，估算伽玛刀治疗模式下公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-48。

表 11-48 3#放疗机房内设备采用伽玛刀治疗模式下机房周围人员年有效剂量

| 参考点    | 参考点所在场所     | 居留因子 T* | 使用因子 U | 剂量率估算值 (μSv/h) | 人员可达处年有效剂量 (mSv/a) |          |
|--------|-------------|---------|--------|----------------|--------------------|----------|
| 3#放疗机房 | 南墙 (a 点)    | 2#放疗机房  | 1/2    | 1              | 7.80E-07           | 1.63E-07 |
|        | 北墙 (b 点)    | 4#放疗机房  | 1/2    | 1              | 5.09E-07           | 1.06E-07 |
|        | 屋顶 (l 点)    | 停车场坡道   | 1/40   | 1              | 4.68E-08           | 4.88E-10 |
|        | 迷路墙外 (f 点)  | 控制室     | 1      | 1              | 9.31E-10           | 3.88E-10 |
|        | 迷路外墙 (k 点)  | 设备间     | 1/16   | 1              | 5.13E-05           | 1.34E-06 |
|        | 迷路外墙 (k' 点) |         | 1/16   | 1              | 5.23E-05           | 1.36E-06 |

|               |     |   |       |       |
|---------------|-----|---|-------|-------|
| 迷路入口防护门 (g 点) | 1/8 | 1 | 0.042 | 0.002 |
|---------------|-----|---|-------|-------|

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

在进行 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统内放射源非治疗状态下对周围公众及辐射工作人员的年有效剂量估算时，居留时间保守取 2000h（日工作 8h，年工作 250 天），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-21 中 3#放疗机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13，估算伽玛刀非治疗模式下公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-49。

表 11-49 3#放疗机房内设备采用伽玛刀非治疗模式下机房周围人员年有效剂量

| 参考点    | 参考点所在场所       | 居留因子 T* | 使用因子 U | 剂量率估算值 (μSv/h) | 人员可达处年有效剂量 (mSv/a) |          |
|--------|---------------|---------|--------|----------------|--------------------|----------|
| 3#放疗机房 | 南墙 (a 点)      | 2#放疗机房  | 1/2    | 1              | 1.85E-09           | 1.85E-09 |
|        | 北墙 (b 点)      | 4#放疗机房  | 1/2    | 1              | 1.21E-09           | 1.21E-09 |
|        | 屋顶 (l 点)      | 停车场坡道   | 1/40   | 1              | 1.11E-10           | 5.55E-12 |
|        | 迷路墙外 (f 点)    | 控制室     | 1      | 1              | 2.21E-12           | 4.42E-12 |
|        | 迷路外墙 (k 点)    | 设备间     | 1/16   | 1              | 1.22E-07           | 1.53E-08 |
|        | 迷路外墙 (k' 点)   |         | 1/16   | 1              | 1.24E-07           | 1.55E-08 |
|        | 迷路入口防护门 (g 点) |         | 1/8    | 1              | 1.28E-08           | 3.20E-09 |

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

本项目投入运行后，Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统所致 3#放疗机房外公众及辐射工作人员的年有效剂量汇总结果见表 11-50。

表 11-50 3#放疗机房周围人员年有效剂量

| 参考点    | 参考点所在场所    | 年有效剂量 (mSv/a) |          |          | 人员可达处年总有效剂量 (mSv/a) | 保护对象 (mSv/a) | 结论  |    |
|--------|------------|---------------|----------|----------|---------------------|--------------|-----|----|
|        |            | 加速器治疗状态       | 伽玛刀治疗状态  | 伽玛刀非治疗状态 |                     |              |     |    |
| 3#放疗机房 | 南墙 (a 点)   | 2#放疗机房        | 0.04     | 1.63E-07 | 1.85E-09            | 0.04         | 5   | 满足 |
|        | 北墙 (b 点)   | 4#放疗机房        | 0.03     | 1.06E-07 | 1.21E-09            | 0.03         | 5   | 满足 |
|        | 屋顶 (l 点)   | 停车场坡道         | 3.25E-04 | 4.88E-10 | 5.55E-12            | <0.01        | 0.1 | 满足 |
|        | 迷路墙外 (f 点) | 控制室           | 5.65E-05 | 3.88E-10 | 4.42E-12            | <0.01        | 5   | 满足 |

|  |               |     |      |          |          |      |     |    |
|--|---------------|-----|------|----------|----------|------|-----|----|
|  | 迷路外墙 (k 点)    | 设备间 | 0.01 | 1.34E-06 | 1.53E-08 | 0.02 | 0.1 | 满足 |
|  | 迷路外墙 (k'点)    |     | 0.01 | 1.36E-06 | 1.55E-08 |      |     |    |
|  | 迷路入口防护门 (g 点) |     | 0.01 | 0.002    | 3.20E-09 | 0.01 | 0.1 | 满足 |

#### (四) Ethos 型医用直线加速器

本项目 4#放疗机房内配备的 Ethos 型医用直线加速器带有 CBCT 影像功能，其最大管电压为 140kV，产生的射线能量远小于医用直线加速器，且治疗时医用直线加速器和 CBCT 不同时出束，故 CBCT 运行对周围环境和辐射工作人员、周围公众的影响较小。

本项目 Ethos 型医用直线加速器年出束运行时间约 1500h（日接诊量最大 120 人次，周工作 5 天，每年工作 50 周，患者治疗照射时间平均按 3min 计），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-28 中 4#放疗机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13，估算周围公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-51。

表 11-51 4#放疗机房周围人员年有效剂量

| 参考点    | 参考点所在场所  | 居留因子 T*   | 使用因子 U | 剂量率估算值 (μSv/h) | 人员可达处年有效剂量 (mSv/a) | 保护对象 (mSv/a) | 结论  |    |
|--------|----------|-----------|--------|----------------|--------------------|--------------|-----|----|
| 4#放疗机房 | 北墙 (a 点) | 烧伤病房 (战时) | 1/2    | 1/4            | 0.127              | 0.04         | 5   | 满足 |
|        | 北墙 (a'点) |           |        |                | 0.103              |              |     |    |
|        | 南墙 (b 点) | 3#放疗机房    | 1/2    | 1/4            | 0.040              | 0.01         | 5   | 满足 |
|        | 屋顶 (l 点) | 停车场坡道     | 1/40   | 1/4            | 0.187              | <0.01        | 0.1 | 满足 |

|               |     |      |      |          |       |     |    |
|---------------|-----|------|------|----------|-------|-----|----|
| 迷路墙外 (f 点)    | 控制室 | 1    | 1    | 4.31E-06 | <0.01 | 5   | 满足 |
| 迷路外墙 (k 点)    | 设备间 | 1/16 | 1    | 0.195    | 0.02  | 0.1 | 满足 |
| 迷路入口防护门 (g 点) |     | 1/8  | 1/20 | 0.106    | 0.02  | 0.1 | 满足 |

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

### (五) Mobetron 2000 型术中加速器

本项目术中放疗室内配备的术中加速器，开展常规的术中放疗工作量预计为 10 人次/周，平均每人照射剂量为 20Gy，则周工作负荷  $W=20\text{Gy} \times 10 \text{ 人次/周}=200\text{Gy/周}$ 。本项目术中加速器照射野中心处常用最高治疗剂量率为 300cGy/min，则周出束时间为 1.11h、年出束时间为 55.6h。本项目术中放疗手术均在夜间进行，此时术中放疗室的四周及上方、下方区域均无人员滞留，故居留因子保守取 1/16。将表 11-32 中术中放疗室外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13，估算周围公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-52。

表 11-52 术中放疗室周围人员年有效剂量

| 参考点   | 参考点所在场所          | 居留因子 T*    | 使用因子 U | 剂量率估算值 (μSv/h) | 人员可达处年有效剂量 (mSv/a) | 保护对象 (mSv/a) | 结论  |    |
|-------|------------------|------------|--------|----------------|--------------------|--------------|-----|----|
| 术中放疗室 | 1#-东墙外 30cm 处    | 污洗间        | 1/16   | 1              | 1.256              | <0.01        | 0.1 | 满足 |
|       | 2#-东墙外 30cm 处    | 缓冲间/电梯     | 1/16   | 1              | 0.418              | <0.01        | 0.1 | 满足 |
|       | 3#-东墙外 30cm 处    | 控制室        | 1      | 1              | 1.690              | 0.09         | 5   | 满足 |
|       | 4#-东侧防护门外 30cm 处 |            | 1/8    | 1              | 9.119              | 0.06         | 5   | 满足 |
|       | 5#-南墙外 30cm 处    | 临空         | /      | 1              | 1.368              | /            | /   | /  |
|       | 6#-南侧防护门外 30cm 处 |            | 1/16   | 1              | 7.788              | 0.03         | 0.1 | 满足 |
|       | 7#-西墙外 30cm 处    | 手术室        | 1/16   | 1              | 0.791              | <0.01        | 0.1 | 满足 |
|       | 8#-北侧防护门外 30cm 处 |            | 1/16   | 1              | 7.801              | 0.03         | 0.1 | 满足 |
|       | 9#-北墙外 30cm 处    | 标本间        | 1/16   | 1              | 1.544              | 0.01         | 0.1 | 满足 |
|       | 10#-下方           | 去污区        | 1/16   | 1              | 8.692              | 0.03         | 0.1 | 满足 |
|       | 11#-上方           | 复合手术室 (三层) | 1/16   | 1              | 4.439              | 0.02         | 0.1 | 满足 |

|        |                |      |   |       |       |     |    |
|--------|----------------|------|---|-------|-------|-----|----|
| 12#-上方 | 手术麻醉科室<br>(四层) | 1/16 | 1 | 0.181 | <0.01 | 0.1 | 满足 |
|--------|----------------|------|---|-------|-------|-----|----|

注：居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

由表 11-52 可知，本项目术中放疗室外辐射工作人员的年有效剂量最大为 0.09mSv，周围公众的年有效剂量最大为 0.03mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

## （六）DSA

### 1、年有效剂量估算模式

DSA 机房周围公众、控制室辐射工作人员年有效剂量计算采用联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 中的计算公式进行估算：

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \quad \text{公式 11-14}$$

式中： $H_{Er}$ —X射线外照射年有效剂量，mSv/a；

$H_r$ —关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$T$ —居留因子；

$t$ —年照射时间，h。

DSA 机房内介入操作人员的外照射辐射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）给出的公式进行估算：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad \text{公式 11-15}$$

式中： $\alpha$ —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；本项目取 0.79；

$H_u$ —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的  $H_p(10)$ ，mSv；

$\beta$ —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；本项目取 0.051；

$H_o$ —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的  $H_p(10)$ ，

mSv。

### 2、年有效剂量估算

将有关参数代入公式 11-14，估算 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-53。

表 11-53 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

| 关注点位置                     | 操作模式 | $t(h)^{1)}$ | $T$  | 辐射剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) <sup>2)</sup> | 年有效剂量 $H_{Er}$<br>( $\text{mSv/a}$ ) |       |
|---------------------------|------|-------------|------|---|--------------------------------------|-------|
| 1#-东侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式 | 66.67       | 1/8  | 5.78E-07                                    | 4.82E-09                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 1.29E-06                                    | 3.57E-10                             |       |
| 2#-东墙外 30cm 处<br>(控制室)    | 透视模式 | 66.67       | 1    | 7.45E-09                                    | 4.97E-10                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 9.23E-09                                    | 2.05E-11                             |       |
| 3#-东侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室) | 透视模式 | 66.67       | 1    | 9.83E-07                                    | 6.55E-08                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 2.19E-06                                    | 4.86E-09                             |       |
| 4#-东侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式 | 66.67       | 1/8  | 6.00E-07                                    | 5.00E-09                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 1.34E-06                                    | 3.71E-10                             |       |
| 5#-南侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式 | 66.67       | 1/8  | 4.02E-07                                    | 3.35E-09                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 8.94E-07                                    | 2.48E-10                             |       |
| 6#-南墙外 30cm 处<br>(缓冲间)    | 透视模式 | 66.67       | 1/16 | 2.51E-09                                    | 1.05E-11                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 3.12E-09                                    | 4.32E-13                             |       |
| 7#-西墙外 30cm 处<br>(楼梯间)    | 透视模式 | 66.67       | 1/16 | 7.88E-09                                    | 3.28E-11                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 9.77E-09                                    | 1.36E-12                             |       |
| 8#-西侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式 | 66.67       | 1/8  | 5.64E-07                                    | 4.70E-09                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 1.25E-06                                    | 3.48E-10                             |       |
| 9#-北墙外 30cm 处<br>(临空)     | 透视模式 | 66.67       | /    | 2.42E-09                                    | /                                    | /     |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 2.99E-09                                    | /                                    |       |
| 10#-上方<br>(医生办公室)         | 透视模式 | 66.67       | 1    | 9.92E-08                                    | 6.61E-09                             | <0.01 |
|                           | 摄影模式 | 2.22        |      | 1.94E-07                                    | 4.30E-10                             |       |
| 11#-下方 (卫生间、缓             | 透视模式 | 66.67       | 1/16 | 2.31E-07                                    | 9.65E-10                             | <0.01 |

手术物资楼三层 DSA 手术室

|                         |                           |       |       |          |          |          |       |
|-------------------------|---------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|-------|
|                         | 冲间和卫生通过间)                 | 摄影模式  | 2.22  |          | 4.73E-07 | 6.57E-11 |       |
| 手术物资楼三层复合手术室一           | 1#-东侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式  | 83.33 | 1/8      | 5.64E-07 | 5.87E-09 | <0.01 |
|                         |                           | 摄影模式  | 4.17  |          | 1.25E-06 | 6.54E-10 |       |
|                         | 2#-南侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式  | 83.33 | 1/8      | 4.83E-07 | 5.03E-09 | <0.01 |
|                         |                           | 摄影模式  | 4.17  |          | 1.07E-06 | 5.60E-10 |       |
|                         | 3#-南墙外 30cm 处<br>(洁净走廊)   | 透视模式  | 83.33 | 1/5      | 4.87E-09 | 8.12E-11 | <0.01 |
|                         |                           | 摄影模式  | 4.17  |          | 6.04E-09 | 5.04E-12 |       |
|                         | 4#-西侧防护门外<br>30cm 处       | 透视模式  | 83.33 | 1/8      | 5.27E-07 | 5.49E-09 | <0.01 |
|                         |                           | 摄影模式  | 4.17  |          | 1.17E-06 | 6.12E-10 |       |
|                         | 5#-西侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室) | 透视模式  | 83.33 | 1        | 6.31E-07 | 5.26E-08 | <0.01 |
|                         |                           | 摄影模式  | 4.17  |          | 1.40E-06 | 5.85E-09 |       |
| 6#-西墙外 30cm 处<br>(控制室)  | 透视模式                      | 83.33 | 1     | 3.63E-09 | 3.02E-10 | <0.01    |       |
|                         | 摄影模式                      | 4.17  |       | 4.50E-09 | 1.88E-11 |          |       |
| 7#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道) | 透视模式                      | 83.33 | 1/5   | 3.49E-09 | 5.82E-11 | <0.01    |       |
|                         | 摄影模式                      | 4.17  |       | 4.33E-09 | 3.61E-12 |          |       |
| 8#-北侧防护门外<br>30cm 处     | 透视模式                      | 83.33 | 1/8   | 4.05E-07 | 4.22E-09 | <0.01    |       |
|                         | 摄影模式                      | 4.17  |       | 9.02E-07 | 4.70E-10 |          |       |
| 9#-上方<br>(手术麻醉科室)       | 透视模式                      | 83.33 | 1     | 8.75E-08 | 7.29E-09 | <0.01    |       |
|                         | 摄影模式                      | 4.17  |       | 1.70E-07 | 7.08E-10 |          |       |
| 10#-下方 (手术室)            | 透视模式                      | 83.33 | 1     | 3.35E-07 | 2.79E-08 | <0.01    |       |
|                         | 摄影模式                      | 4.17  |       | 6.94E-07 | 2.89E-09 |          |       |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室二       | 1#-东墙外 30cm 处<br>(控制室)    | 透视模式  | 83.33 | 1        | 2.80E-09 | 2.33E-10 | <0.01 |
|                         |                           | 摄影模式  | 4.17  |          | 3.47E-09 | 1.45E-11 |       |
|                         | 2#-东侧观察窗外<br>30cm 处 (控制室) | 透视模式  | 83.33 | 1        | 4.83E-07 | 4.02E-08 | <0.01 |
|                         |                           | 摄影模式  | 4.17  |          | 1.07E-06 | 4.48E-09 |       |

|                         |      |       |     |          |          |       |
|-------------------------|------|-------|-----|----------|----------|-------|
| 3#-东侧防护门外<br>30cm 处     | 透视模式 | 83.33 | 1/8 | 4.28E-07 | 4.45E-09 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 9.52E-07 | 4.96E-10 |       |
| 4#-南墙外 30cm 处<br>(临空)   | 透视模式 | 83.33 | /   | 4.73E-09 | /        | /     |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 5.86E-09 | /        |       |
| 5#-南墙外 30cm 处<br>(洁净通道) | 透视模式 | 83.33 | 1/5 | 3.95E-09 | 6.58E-11 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 4.90E-09 | 4.08E-12 |       |
| 6#-南侧防护门外<br>30cm 处     | 透视模式 | 83.33 | 1/8 | 5.00E-07 | 5.21E-09 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 1.11E-06 | 5.80E-10 |       |
| 7#-西侧防护门外<br>30cm 处     | 透视模式 | 83.33 | 1/8 | 5.16E-07 | 5.37E-09 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 1.15E-06 | 5.98E-10 |       |
| 8#-北侧防护门外<br>30cm 处     | 透视模式 | 83.33 | 1/8 | 3.58E-07 | 3.72E-09 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 7.96E-07 | 4.15E-10 |       |
| 9#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道) | 透视模式 | 83.33 | 1/5 | 3.51E-09 | 5.85E-11 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 4.45E-09 | 3.71E-12 |       |
| 10#-上方<br>(手术麻醉科室)      | 透视模式 | 83.33 | 1   | 9.02E-08 | 7.51E-09 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 2.37E-07 | 9.86E-10 |       |
| 11#-下方<br>(术中放疗室)       | 透视模式 | 83.33 | 1/2 | 3.35E-07 | 1.40E-08 | <0.01 |
|                         | 摄影模式 | 4.17  |     | 6.94E-07 | 1.45E-09 |       |

由表 11-53，手术物资楼三层 3 座 DSA 机房四周公众、控制室辐射工作人员的年附加剂量均不超过 0.01mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

将有关参数代入公式 11-15，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-54。

表 11-54 DSA 机房内介入操作人员年有效剂量估算结果

| 位置                 | $\alpha$ | $\beta$ | 部位  | 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |       |       | 年照射时间 (h) | 年有效剂量 (mSv) |
|--------------------|----------|---------|-----|----------------------------|-------|-------|-----------|-------------|
|                    |          |         |     | 散射线                        | 漏射线   | 合计    |           |             |
| 手术物资楼三层<br>DSA 手术室 | 0.79     | 0.051   | 铅衣内 | 27.5                       | 9.55  | 37.09 | 66.67     | 4.03        |
|                    |          |         | 铅衣外 | 519.2                      | 91.54 | 610.7 |           |             |
|                    |          |         | 铅衣内 | 6.88                       | 2.39  | 9.27  |           | 1.01        |
|                    |          |         | 铅衣外 | 129.8                      | 22.88 | 152.7 |           |             |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 1 | 0.79     | 0.051   | 铅衣内 | 27.5                       | 9.55  | 37.09 | 83.33     | 5.04        |
|                    |          |         | 铅衣外 | 519.2                      | 91.54 | 610.7 |           |             |
|                    |          |         | 铅衣内 | 6.88                       | 2.39  | 9.27  |           | 1.26        |
|                    |          |         | 铅衣外 | 129.8                      | 22.88 | 152.7 |           |             |
| 手术物资楼三层<br>复合手术室 2 | 0.79     | 0.051   | 铅衣内 | 27.5                       | 9.55  | 37.09 | 83.33     | 5.04        |
|                    |          |         | 铅衣外 | 519.2                      | 91.54 | 610.7 |           |             |
|                    |          |         | 铅衣内 | 6.88                       | 2.39  | 9.27  |           | 1.26        |
|                    |          |         | 铅衣外 | 129.8                      | 22.88 | 152.7 |           |             |

江苏省肿瘤医院拟从介入科现有人员中调用共计 5 名辐射工作人员承担手术物资楼三层 DSA 手术室的辐射工作，其中手术医生 3 人、技师 1 人、护士 1 人，不兼职其他辐射工作。由表 11-54 可知，DSA 手术室内的介入操作第一、第二术者操作位的年有效剂量分别为 4.03mSv、1.01mSv，第一术者操作位由 2 人承担、第二术者操作位由 1 人承担，机房内护士保守参考第二术者操作位估算年有效剂量，叠加手术医师和护士在设备摄影模式下进入控制室时受到经机房墙体屏蔽后的 DSA 散射线、漏射线照射的辐射影响（不超过 0.01mSv），假设本项目辐射工作人员均摊工作量，则第一术者位医师的年有效剂量约为 2.02mSv  $((4.03\text{mSv}+0.01\text{mSv}) \div 2)$ 、第二术者位医师和护士的年有效剂量约为 1.02mSv  $(1.01\text{mSv}+0.01\text{mSv})$ ，均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）。

江苏省肿瘤医院拟新聘用共计 10 名辐射工作人员承担手术物资楼三层复合手术室 1、2 的辐射工作，其中手术医生 6 人、技师 2 人、护士 2 人。本项目新聘用的 10

名辐射工作人员存在 2 座手术室交叉工作的情况，由表 11-54 可知，复合手术室内的介入操作第一、第二术者操作位的年有效剂量分别为 10.08mSv (5.04mSv+5.04mSv)、2.52mSv (1.26mSv+1.26mSv)，第一术者操作位由 4 人承担、第二术者操作位由 2 人承担，机房内护士保守参考第二术者操作位估算年有效剂量，叠加手术医师和护士在设备摄影模式下进入控制室时受到经机房墙体屏蔽后的 DSA 散射线、漏射线照射的辐射影响（不超过 0.01mSv），假设本项目辐射工作人员均摊工作量，则第一术者位医师的年有效剂量约为 2.53mSv ( $(10.08\text{mSv}+0.01\text{mSv}) \div 4$ )、第二术者位医师和护士的年有效剂量约为 1.27mSv ( $(2.52\text{mSv}+0.01\text{mSv}) \div 2$ )，均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中对职业人员的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）。

对于介入手术，由于其实际工作中 DSA 透视工况及操作时间的不确定性，辐射工作人员需要依靠佩戴个人剂量计进行跟踪性监测才能准确地测定其受照剂量的大小，按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019) 要求进行佩戴，开展 DSA 介入治疗的辐射工作人员采用双剂量计监测方法，医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。介入手术工作人员均按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 穿戴防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等），并充分利用自带的铅悬挂防护屏及床侧防护帘等做好自身防护，确保其年有效剂量满足标准限值要求。

### (七) CT

本项目 CT 室内配备的 CT 年出束运行时间约 52.1h（日接诊量最大 50 人次，周工作 5 天，每年工作 50 周，患者扫描时间平均按 15s 计），CT 在复合手术室 1 和复合手术室 2 内的年出束运行时间均为 4.17h（年扫描人数约 1000 人次，单次扫描时间平均按 15s 计），考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，将表 11-44 中 CT 机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-14，估算周围公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-55。

表 11-55 手术物资楼三层 CT 机房周围人员年有效剂量

| 关注点位置          | $t$ (h)                   | $T$  | 辐射剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年有效剂量 $H_{Er}$<br>( $\text{mSv/a}$ ) | 保护对象<br>( $\text{mSv/a}$ ) | 结论  |    |
|----------------|---------------------------|------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----|----|
| 手术物资楼三层 CT 室   | 1#-东墙外 30cm 处 (控制室)       | 52.1 | 1                             | 0.385                                | 0.02                       | 5   | 满足 |
|                | 2#-南侧防护门外 30cm 处          | 52.1 | 1/8                           | 0.402                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 3#-南墙外 30cm 处 (缓冲间)       | 52.1 | 1/16                          | 0.066                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 4#-西侧防护门外 30cm 处          | 52.1 | 1/8                           | 0.494                                | <0.01                      | 5   | 满足 |
|                | 5#-西侧观察窗外 30cm 处<br>(控制室) | 52.1 | 1                             | 0.740                                | 0.04                       | 5   | 满足 |
|                | 6#-西墙外 30cm 处 (控制室)       | 52.1 | 1                             | 0.148                                | 0.01                       | 5   | 满足 |
|                | 7#-北侧防护门外 30cm 处          | 52.1 | 1/8                           | 0.928                                | 0.01                       | 0.1 | 满足 |
|                | 8#-北墙外 30cm 处 (污物通道)      | 52.1 | 1/5                           | 0.243                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 9#-上方 (手术护理部办公室和<br>资料室)  | 52.1 | 1                             | 0.481                                | 0.03                       | 0.1 | 满足 |
|                | 10#-下方 (卫生通过间)            | 52.1 | 1                             | 0.693                                | 0.04                       | 0.1 | 满足 |
| 手术物资楼三层复合手术室 1 | 1#-东侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8                           | 0.572                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 2#-南侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8                           | 0.490                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 3#-南墙外 30cm 处<br>(洁净走廊)   | 4.17 | 1/5                           | 0.135                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 4#-西侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8                           | 0.535                                | <0.01                      | 5   | 满足 |
|                | 5#-西侧观察窗外 30cm 处<br>(控制室) | 4.17 | 1                             | 0.640                                | <0.01                      | 5   | 满足 |
|                | 6#-西墙外 30cm 处 (控制室)       | 4.17 | 1                             | 0.100                                | <0.01                      | 5   | 满足 |
|                | 7#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道)   | 4.17 | 1/5                           | 0.097                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 8#-北侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8                           | 0.412                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 9#-上方 (手术麻醉科室)            | 4.17 | 1                             | 0.420                                | <0.01                      | 0.1 | 满足 |
|                | 10#-下方 (手术室)              | 4.17 | 1                             | 1.244                                | 0.01                       | 0.1 | 满足 |

|              |                           |      |     |       |       |     |    |
|--------------|---------------------------|------|-----|-------|-------|-----|----|
| 手术物资楼三层复合手术室 | 1#-东墙外 30cm 处(控制室)        | 4.17 | 1   | 0.077 | <0.01 | 5   | 满足 |
|              | 2#-东侧观察窗外 30cm 处<br>(控制室) | 4.17 | 1   | 0.490 | <0.01 | 5   | 满足 |
|              | 3#-东侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8 | 0.434 | <0.01 | 5   | 满足 |
|              | 4#-南墙外 30cm 处(临空)         | 4.17 | /   | 0.131 | /     | /   | /  |
|              | 5#-南墙外 30cm 处<br>(洁净通道)   | 4.17 | 1/5 | 0.680 | <0.01 | 0.1 | 满足 |
|              | 6#-南侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8 | 0.508 | <0.01 | 0.1 | 满足 |
|              | 7#-西侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8 | 0.524 | <0.01 | 0.1 | 满足 |
|              | 8#-北侧防护门外 30cm 处          | 4.17 | 1/8 | 0.363 | <0.01 | 0.1 | 满足 |
|              | 9#-北墙外 30cm 处<br>(污物通道)   | 4.17 | 1/5 | 0.097 | <0.01 | 0.1 | 满足 |
|              | 10#-上方(手术麻醉科室)            | 4.17 | 1   | 0.420 | <0.01 | 0.1 | 满足 |
|              | 11#-下方(术中放疗室)             | 4.17 | 1/2 | 1.023 | <0.01 | 0.1 | 满足 |

## (八) 辐射剂量叠加影响分析

### 1、放疗中心

#### (1) 辐射工作人员辐射剂量叠加

江苏省肿瘤医院拟为放疗中心 4 座放疗机房配备 17 名辐射工作人员，其中技师 15 人、物理师 2 人，均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。本项目运行后，15 名技师拟分为 4 组、每组 3~4 人，每个小组对应承担 1 台设备的辐射工作，不兼职其他放射工作。

本项目放疗中心 4 座放疗机房相邻而建，技师进入机房进行协助摆位过程中，可能受到相邻机房内设备出束/出源照射产生的辐射影响。根据表 11-45、表 11-46、表 11-50 和表 11-51 计算本项目放疗中心辐射工作人员的年有效剂量，见表 11-56。

表 11-56 放疗中心辐射工作人员年有效剂量汇总

| 项目     |  | 年有效剂量 (mSv) |
|--------|--|-------------|
| 1#放疗机房 |  | —           |

|        |  |  |
|--------|--|--|
|        |  |  |
| 2#放疗机房 |  |  |
| 3#放疗机房 |  |  |
| 4#放疗机房 |  |  |

由表 11-56 可知，本项目投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最大为 0.59mSv。

### (2) 公众辐射剂量叠加

公众辐射剂量叠加主要考虑公众同时接近不同辐射工作场所的情况下，致公众年所受辐射剂量的总和。

本项目放疗中心 4 座放疗机房相邻而建，2#放疗机房和 3#放疗机房防护门处、3#放疗机房和 4#放疗机房东侧设备间处、4 座放疗机房上方停车场坡道处公众均可能受

到相邻机房内设备运行产生的叠加辐射影响。

根据表 11-45、表 11-46、表 11-50 和表 11-51 可知，故本项目运行后，2#放疗机房和 3#放疗机房防护门处公众受到的叠加年有效剂量不超过 0.02mSv (0.01mSv+0.01mSv)；3#放疗机房和 4#放疗机房东侧设备间处公众受到的叠加年有效剂量为 0.04mSv (0.02mSv+0.02mSv)；4 座放疗机房上方停车场坡道处公众受到的叠加年有效剂量不超过 0.04mSv ( $<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv}$ )。

## 2、DSA、CT

### (1) 辐射工作人员辐射剂量叠加

手术物资楼三层 4 座射线装置机房之间的控制室和设备间内辐射工作人员可能受到相邻机房内设备运行产生的叠加辐射影响。

故本项目运行后，DSA 手术室和 CT 室之间的控制室处辐射工作人员中年有效剂量最大的为第一术者位的介入医师，其受到的叠加年有效剂量为 2.06mSv (2.02mSv+0.04mSv)；CT 室和复合手术室 1 之间的控制室处辐射工作人员中年有效剂量最大的为第一术者位的介入医师，其受到的叠加年有效剂量不超过 2.56mSv (2.53mSv+0.02mSv+ $<0.01\text{mSv}$ )；复合手术室 2 的控制室处辐射工作人员中年有效剂量最大的为第一术者位的介入医师，其受到的叠加年有效剂量不超过 2.54mSv (2.53mSv+ $<0.01\text{mSv}$ )。

### (2) 公众辐射剂量叠加

公众辐射剂量叠加主要考虑公众同时接近不同辐射工作场所的情况下，致公众年所受辐射剂量的总和。

本项目 4 座射线装置机房北侧污物通道处、南侧洁净通道和缓冲区处、复合手术室 1 和复合手术室 2 之间的设备间处公众均可能受到相邻机房内设备运行产生的叠加辐射影响。

故本项目运行后，4 座射线装置机房北侧污物通道处公众受到的叠加年有效剂量不超过 0.06mSv ( $<0.01\text{mSv}+0.01\text{mSv}+(<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv})+(<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv})$ )；南侧洁净通道和缓冲区处公众受到的叠加年有效剂量不超过 0.06mSv ( $<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv}+(<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv})+(<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv})$ )；复合手术室 1 和复合手术室 2 之间的设备间处公众受到的叠加年有效剂量不超过 0.04mSv ( $(<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv})+(<0.01\text{mSv}+<0.01\text{mSv})$ )。

本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除西至百子亭（距放疗中心最近约 3m）和院外停车场（距放疗中心最近约 23m）、北至洞庭路（距手术物资楼辐射机房最近约 8m）和院外绿化（距手术物资楼辐射机房最近约 30m）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外百子亭、停车场、洞庭路、绿化处其他公众等。本项目周围 50m 评价范围内保护目标处公众由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及本项目工作场所墙体、楼体结构的屏蔽作用，其年受照剂量不超过 0.06mSv。

根据上述理论估算结果，本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

### 三、放射性“三废”影响分析

**放射性固体废物：**<sup>60</sup>Co 放射源使用到一定期限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 <sup>60</sup>Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件 3）。

### 四、非放射性“三废”影响分析

#### （一）废气

放疗机房、术中放疗室、DSA 机房、CT 室内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

#### （二）废水

辐射工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

#### （三）固体废物

DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，由医院统一委托有资质单位进行处置；辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

## 事故影响分析

本次扩建放射诊疗项目拟配备的射线装置为 II 类、III 类射线装置，拟配备的放射源为医用 I 类集聚源。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，

可能对人员产生误照射。

## 一、主要事故风险

### (一) Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀和 Ethos 型医用直线加速器项目主要事故风险

- 1、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；
- 2、设备工作过程中，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射；
- 3、放疗机房门机联锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射；
- 4、停机维修期间，因操作不当，导致工作人员受到误照射；
- 5、设备年久或更换部件和维修、检修后，未进行质量控制检测，设备性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

### (二) Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统项目主要事故风险

- 1、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；
- 2、设备工作过程中，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射；
- 3、3#放疗机房门-机/源联锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射；
- 4、设备实施治疗期间因电气故障、机械故障，伽玛刀聚焦治疗头自动回源装置及手动回源应急措施均失效的情况下，源体不能回归安全位，工作人员须进入治疗机房迅速将患者转移出机房，会对患者及进入机房的辐射工作人员造成意外超剂量照射；
- 5、<sup>60</sup>Co 放射源在倒装过程中，因操作不当，导致工作人员受到误照射；
- 6、放射源泄漏；
- 7、停机维修期间，因操作不当，导致工作人员受到误照射；
- 8、设备年久或更换部件和维修、检修后，未进行质量控制检测，设备性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

### (三) 术中加速器项目主要事故风险

- 1、机器正常工作时，人员误留、误入手术室，导致发生误照射；

2、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

3、安全联锁装置或照射信号指示灯发生故障的状况下，人员误入射线装置正在运行的手术室。

#### （四）DSA 主要事故风险

1、在介入手术操作过程中，有未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品的公众误留手术室，室内人员位于手术室床旁，导致发生误照射；

2、DSA 控制系统失灵持续出束，而此时手术室内人员未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品，室内人员位于手术室床旁，导致发生误照射；

3、设备维护人员在维护 DSA 射线管或测量探测器时，射线管正处于出束状态，维修人员处于机头上方，导致发生误照射。

#### （五）III类射线装置主要事故风险

1、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

2、射线装置曝光过程中，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射；

3、射线装置机房门灯联动失效，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射。

## 二、事故预防和处理措施

### （一）事故预防措施

1、建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

2、加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；

3、定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

### （二）事故处理措施

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下处理措施：

#### 1、Elekta Unity 型 MR 直线加速器、射波刀和 Ethos 型医用直线加速器项目事故处理方法及预防措施

（1）辐射工作人员在每日开展放射治疗前，应对放疗机房的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行门机联锁、紧急停机按钮、工作状态指示灯

等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案。一旦发现门机联锁系统、紧急停机按钮或工作状态指示灯等存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门机联锁系统、紧急停机按钮、工作状态指示灯等辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用；

(2) 定期对医用直线加速器的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账；医院应加强对日常工作的监管，在维修停机期间严格按照规程操作，确保有专人看守，能有效降低辐射事故发生的概率；

(3) 加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束；

(4) 放疗设备工作时，应定期使用辐射巡测仪进行巡检，发生异常情况应立即停止出束，并检查排除异常，做好记录。

## **2、Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统项目事故处理方法及预防措施**

(1) 辐射工作人员在每日开展放射治疗前，应对 3#放疗机房的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行门-机/源联锁、紧急停机按钮、工作状态指示灯等辐射安全措施定期检查制度，并将检查结果记录备案。一旦发现门机联锁系统、紧急停机按钮或工作状态指示灯等存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门-机/源联锁系统、紧急停机按钮、工作状态指示灯等辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用；

(2) 定期对 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立维护、维修台账；医院应加强日常工作的监管，在维修停机期间严格按照规程操作，确保有专人看守，能有效降低辐射事故发生的概率；

(3) 加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作，每次开机运行前均确认机房内无其他无关人员时，才能开机出束；

(4) Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统工作时，应定期使用辐射巡测仪进行巡检，发生异常情况应立即停止出束，并检查排除异常，做好记录；

(5)  $^{60}\text{Co}$  放射源的倒装工作由设备生产厂家完成，倒源工作由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行，严格按照辐射防护要求进行操作，建设单位负责协助工作并承担安全主体责任，医院辐射工作人员不进入机房参与装源、换源工作。

(6) 当 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统使用时间较长或因外力使放射源包壳出现破损时，会发生放射源泄漏事件；设备更换部件和维修、检修后，未进行质量控制检测，导致性能指标发生变化，发生误照射。在日常工作中，使用辐射巡测仪等仪器对机房周围辐射剂量进行监测并按标准要求定期开展质量控制检测的情况下，此类事件发生概率较低。

### 3、术中加速器事故处理方法及预防措施

- (1) 切断电源，确保术中加速器停止工作；
- (2) 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；
- (3) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

### 4、DSA 事故处理方法及预防措施

- (1) 当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保 DSA 停止工作；
- (2) 对工作人员造成额外照射时，应及时检测个人剂量计，剂量超标则人员应及时就医检查并调岗；
- (3) 对发生事故的 DSA 或其他设备故障，请设备厂家或相关单位进行维修，分析事故发生原因，不得擅自进行维修。

### 5、III类射线装置事故处理方法及预防措施

- (1) 当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保射线装置停止工作；
- (2) 射线装置曝光前，检查机房内是否有人员误留，确保在机房内无其他人员情况下进行曝光；
- (3) 对发生事故的射线装置或其他设备故障，请设备厂家或相关单位进行检测或维修，分析事故发生原因，不得擅自进行维修；
- (4) 对工作人员造成额外照射时，应及时检测个人剂量计，剂量超标则人员应及时就医检查并调岗。

医院应定期对扩建放射诊疗项目工作场所辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，

在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12 辐射安全管理

### 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《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》等法律法规要求，使用射线装置、放射源的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；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，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，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。

目前，江苏省肿瘤医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人（需参加“辐射安全管理”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗，已安排培训考核）专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次扩建放射诊疗项目修订相关文件，明确医院本项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟从放疗科调配 17 名辐射工作人员、拟从介入科调配 5 名辐射工作人员，并拟新聘用 14 名辐射工作人员来承担本项目的辐射工作，不兼职其他辐射工作。本项目拟调配的辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，拟新聘用的辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，参加“放射治疗”“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗。医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

### 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安

全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，如《放射防护工作岗位职责》《放疗设备检修维护制度》《放射源、射线装置使用登记、台账管理制度》《放射工作人员培训计划》《个人剂量监测方案》《辐射环境监测方案》《辐射事故应急预案》等。医院现有管理制度内容较为全面，具有一定的针对性和可操作性，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院已开展核医学科放射诊疗项目，相关辐射安全管理规章制度较完善，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

### 一、操作规程

明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

（一）确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

（二）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（三）在工作场所严禁吸烟、进食。

### 二、岗位职责

医院应针对本项目进行完善，明确射线装置、放射源使用工作人员、台账管理人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

### 三、辐射防护和安全保卫制度

根据射线装置及放射源的具体情况制定相应的《辐射安全和放射防护责任制度》，重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；

（二）工作人员定期开展个人剂量监测和职业健康监护。

### 四、设备维修制度

医院已制定《放疗设备检修维护制度》，应针对本项目进行完善，明确射线装置

和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线装置、安全措施（警示标志、工作指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

## 五、放射源、射线装置使用登记制度

医院已制定《放射源、射线装置使用登记、台账管理制度》，应针对本项目进行完善，重点是：规范放射源、射线装置台账使用登记记录，对购入的放射源、射线装置进行登记和跟踪记录。

## 六、人员培训计划和健康管理制

医院已制定《放射工作人员培训制度》，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《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》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。

医院已制定《个人剂量监测方案》，医院应组织辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

## 七、监测方案

医院已制定《辐射环境监测方案》，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保非密封放射性物质工作场所的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

（一）明确监测项目和频次；

（二）辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

（三）医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

（四）委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状

况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

## 辐射监测

根据辐射管理要求，江苏省肿瘤医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 5 套、中子剂量率巡测仪 1 台及个人剂量报警仪 17 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

一、委托有资质的单位定期对项目工作场所周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，周期：1~2 次/年；

二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，包括控制室工作位置和周围毗邻区域人员居留处，并保留自检记录；

四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌证。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

五、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

医院辐射工作场所监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

| 检测项目       | 检测类型     | 检测因子     | 检测单位和检测频次              | 检测点位                                      | 控制要求             |
|------------|----------|----------|------------------------|---|------------------|
| 放疗机房工作场所检测 | 竣工环保验收检测 | X-γ辐射剂量率 | 请有资质单位检测，建设项目竣工后 3 个月内 | 机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外 | 见评价标准中辐射剂量率控制水平  |
|            | 年度检测     | X-γ辐射剂量率 | 请有资质单位检测，不少于 1~2 次/年   |   |                  |
|            | 日常检测     | X-γ辐射剂量率 | 自主检测，不少于 1 次/月         |   |                  |
|            | 竣工环保验收监测 | 通风口通风速率  | 请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内 | 通风口                                       | 每小时通风换气次数不小于 4 次 |

|                  |          |                |                        |   |                 |
|------------------|----------|----------------|------------------------|---|-----------------|
| 术中放疗室工作场所检测      | 竣工环保验收检测 | X-γ辐射剂量率、中子剂量率 | 请有资质单位检测，建设项目竣工后3个月内   | 机房四周屏蔽墙外30cm处、顶棚、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外                         | 见评价标准中辐射剂量率控制水平 |
|                  | 年度检测     | X-γ辐射剂量率、中子剂量率 | 请有资质单位检测，不少于1~2次/年     |   |                 |
|                  | 日常检测     | X-γ辐射剂量率、中子剂量率 | 自主检测，不少于1次/月           |   |                 |
| DSA机房、CT机房工作场所检测 | 竣工环保验收检测 | X-γ辐射剂量率       | 请有资质单位检测，建设项目竣工后3个月内   | 距墙体、门、窗表面30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面100cm、机房地面下方（楼下）距楼下一地面170cm、操作位、电缆口外 | 见评价标准中辐射剂量率控制水平 |
|                  | 年度检测     | X-γ辐射剂量率       | 请有资质单位检测，不少于1~2次/年     |   |                 |
|                  | 日常检测     | X-γ辐射剂量率       | 自主检测，不少于1次/月           |   |                 |
| 个人剂量监测           | /        | 职业性外照射个人剂量     | 定期送有资质部门进行监测，不少于1次/三个月 | /   | 年有效剂量≤5mSv      |

江苏省肿瘤医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目，定期（不少于1次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率、中子剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。2025 年度医院已委托江苏省疾病预防控制中心开展了辐射工作场所的辐射安全与防护年度监测，监测结果均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等国家相关标准要求，均未出现剂量率超标的情况。

江苏省肿瘤医院已为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1次/3个月）和职业健康体检（1次/2年），公共卫生科负责全医院辐射工作人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放保管。2025 年度医院已委托江苏省疾病预防控制中心完成了辐射工作人员的个人剂量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等国家相关标准要求，均未出现异常。

江苏省肿瘤医院每年编写射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

根据医院《2025年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2025年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

## 辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急预案应明确以下几个方面：

- 一、应急机构和职责分工；
- 二、应急的具体人员和联系电话；
- 三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- 四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- 五、辐射事故调查、报告和处理程序。

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效地采取以下应急措施：

一、一旦发现有其他无关人员误入机房内，辐射工作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的辐射事故应急处理领导小组及上级领导报告。辐射事故应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（应急救援需要除外）。

二、对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境部门、卫生健康行政部门等主管部门。

三、迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，组织专业技术人员，尽快排除故障。

四、事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》《南京市辐射事故应急预案》等要求，在1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

江苏省肿瘤医院已经制定了《辐射事故应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关科室，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。建议医院针对本项目完善辐射事故应急预案，必须确保该预案与市级应急预案、省级应急预案在组织体系、响应分级、信息报送、应急措施等方面相互衔接、保持一致，形成上下联动的应急体系。医院开展核技术利用项目至今，未发生辐射事故。

表 13 结论与建议

## 结论

### 一、项目概况

江苏省肿瘤医院拟在门诊楼负二层放疗中心新建 4 座放疗机房，分别配备 1 台 Elekta Unity 型磁共振影像引导直线加速器（简称“MR 直线加速器”，X 射线能量：7.2MV，为 II 类射线装置）、1 台 X 线立体定向放射治疗系统（简称“射波刀”，X 射线能量： $\leq 6\text{MV}$ ，为 II 类射线装置）、1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统（兼具医用直线加速器（X 射线能量：6MV，为 II 类射线装置）治疗、伽玛刀（内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ，为医用 I 类集聚源）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能）和 1 台 Ethos 型直线加速器（X 射线能量：6MV，为 II 类射线装置；自带 CBCT（最大管电压为 140kV，最大管电流为 630mA）图像引导功能）；拟在手术物资楼二层新建 1 座术中放疗室并配备 1 台 Mobetron 2000 型术中放射治疗用移动式电子线术中直线加速器（简称“术中加速器”，电子线能量：6、9、12MeV，为 II 类射线装置）；拟在手术物资楼三层新建 4 座射线装置机房，配备 3 台数字减影血管造影机（简称“DSA”，管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ，为 II 类射线装置）和 2 台 CT（管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ，为 III 类射线装置）。

### 二、项目建设的必要性

本项目的建设，可为医院提供多种诊断手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。

### 三、实践正当性

本项目的运行，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，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。

### 四、项目产业政策符合性分析

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修改）中“限制类”“淘汰类”项目，项目符合国家产业政策。

## 五、选址合理性

江苏省肿瘤医院位于江苏省南京市玄武区百子亭 42 号，医院东侧为昆仑路，南侧为百子亭后小区（居民区）和江苏凤凰新华书店集团有限公司地块，西侧为百子亭，北侧为洞庭路。

本次扩建放射诊疗项目周围 50m 评价范围除西至百子亭（距放疗中心最近约 3m）和院外停车场（距放疗中心最近约 23m）、北至洞庭路（距手术物资楼辐射机房最近约 8m）和院外绿化（距手术物资楼辐射机房最近约 30m）外，其余方向均位于院区边界内。项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属和院外百子亭、停车场、洞庭路、绿化处其他公众等。

本次扩建放射诊疗项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区；不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）要求，本项目建设址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元；本项目为核技术利用项目，根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目放疗中心 4 座放疗机房位于门诊楼负二层西南部，周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。4 座放疗机房控制室与治疗室分离，区域划分明确；设置“L”型迷路，迷路口设有铅防护门。本项目放疗机房选址与布局符合《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》（GBZ 121-2020）的要求。

本项目手术物资楼术中放疗室和 4 座射线装置机房与控制室分开，区域划分明确，选址及布局合理。

## 六、辐射环境现状评价

江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目拟建址室内点位周围环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率在

(62~80) nGy/h, 位于江苏省建筑物室内 $\gamma$ 辐射(空气吸收)剂量率本底水平(50.7~129.4) nGy/h 范围内; 室外点位周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为(37~64) nGy/h, 位于江苏省道路 $\gamma$ 辐射(空气吸收)剂量率本底水平(18.1~102.3) nGy/h 范围内。

## 七、环境影响评价

江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目建设阶段影响可控制在医院院内局部区域, 对周围环境影响较小。

根据理论预测结果, 江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下, 项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求(职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv)。

## 八、“三废”的处理处置

$^{60}\text{Co}$  放射源使用到一定期限后产生退役的放射源, 医院已承诺将退役  $^{60}\text{Co}$  放射源交由放射源生产厂家回收处理。

本项目 4 座放疗机房内均设有通风装置, 采用机械排风方式。放疗机房采用上进下出的通风系统, 从防护门上方至机房内, 进风口拟设在治疗室吊顶处, 排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高, 进风口与排风口位置对角设置, 每小时通风换气次数约为 6.3~7.7 次。放疗机房、术中放疗室、DSA 机房、CT 室内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体, 通过动力排风装置排至室外, 臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气, 这部分废气对周围环境影响较小; 辐射工作人员产生的生活污水, 将进入医院污水处理站, 处理达标后排入城市污水管网; DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶, 手术结束后集中收集, 由医院统一委托有资质单位进行处置; 辐射工作人员产生的生活垃圾, 分类收集后, 将交由城市环卫部门处理, 对周围环境影响较小。

## 九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

江苏省肿瘤医院拟配备的 1 台 Elekta Unity 型 MR 直线加速器的 X 射线能量最大为 7.2MV、拟配备的 1 台射波刀和 1 台 Ethos 型医用直线加速器的 X 射线能量最大为 6MV, 上述设备开机期间, 产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。江苏省肿瘤医院拟配备的 1 台 Taichi Pro 型多模式一体化放射治疗系统, 兼具医用直线加速器(X 射

线能量：6MV）治疗、伽玛刀（内含 18 枚  $^{60}\text{Co}$  放射源，总活度为  $8.88\text{E}+14\text{Bq}$ ）治疗和 CBCT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 64mA）图像引导功能，设备开机期间，产生的 X 射线、 $\gamma$  射线为主要辐射环境污染因素。本项目 4 座放疗机房入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，放疗机房拟设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，出源照射状态下若开门放射源自动回到设备的安全位置；防护门拟设有防挤压功能，放疗机房治疗室迷路的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的安全管理要求。

江苏省肿瘤医院拟配备的 1 台 Mobetron 2000 型术中加速器的电子线能量最大为 12MeV，术中加速器开机期间，产生的韧致辐射为主要辐射环境污染因素。本项目术中放疗室入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与术中放疗室联络，术中放疗室拟设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能，术中放疗室控制室内拟设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的安全管理要求。

江苏省肿瘤医院拟配备的 3 台 DSA 最大管电压  $\leq 125\text{kV}$ 、最大管电流  $\leq 1000\text{mA}$ ，拟配置的 2 台 CT 最大管电压  $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流  $\leq 1000\text{mA}$ ，DSA、CT 开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目 4 座射线装置机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明；患者防护门均拟采用电动推拉式机房门，拟设有防夹装置和曝光时关闭机房门的管理措施，防护门上方拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；其余防护门均为平开机房门，拟设置自动闭门装置；控制室和机房内的治疗床边均设置急停按钮；控制室墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态防护门开闭情况；控制室设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流；拟为本项目辐射工作人员和受检者配备辐射防护装置及个人防护用品，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

## 十、辐射安全管理评价

江苏省肿瘤医院已设立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，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院已制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《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》，增补相应内容，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

医院拟从放疗科调配 17 名辐射工作人员、拟从介入科调配 5 名辐射工作人员，并拟新聘用 14 名辐射工作人员来承担本项目的辐射工作，不兼职其他辐射工作。本项目拟调配的辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，拟新聘用的辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，参加“放射治疗”“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗。医院已建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。江苏省肿瘤医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目新配备固定式剂量监测报警装置 5 套、中子剂量率巡测仪 1 台及个人剂量报警仪 17 台，用于辐射防护监测和报警。此外，医院应根据相关标准要求，为 DSA 和 CT 工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗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，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

## 建议和承诺

一、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

二、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、医院取得本项目环评批复后，应及时重新申领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

## 辐射污染防治“三同时”措施一览表

| 项目        | “三同时”措施  | 预期效果   | 预计投资<br>(万元)   |
|-----------|--|--|--|
| 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。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。  | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。   | /  |
| 辐射安全和防护措施 | <p>屏蔽措施：放疗机房四侧墙体及顶面采用混凝土+重晶石混凝土结构进行辐射防护，术中放疗室 DSA 机房四侧墙体、顶面和地面采用混凝土或硫酸钡水泥进行辐射防护，射线装置机房（DSA 机房、CT 机房）四侧墙体采用实心砖+硫酸钡水泥、顶面采用混凝土+铅板、地面采用混凝土+硫酸钡水泥进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。详见表 10-1 至表 10-4。</p> | <p>满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求。</p>   |  |
|           | 安全措施   | <p>放疗机房设置门机连锁装置，并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置，防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，放疗机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。在治疗室内设置固定式剂量监测报警装置。放疗机房内拟设置强制排风系统，进风口拟设在放疗机房上部，进风口拟设在治疗室吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高，进风口与排风口位置对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数拟不小于 4 次/h。</p> <p>术中放疗室各防护门处拟设置电离辐射警告标志，在南侧防护门上方拟设置工作状态指示灯；除术中加速器自身所带的安全连锁外，机房拟设置门-机连锁，除术中加速器上自带紧急停机开关外，术中放疗室靠近门口位置的墙壁上以及控制室的控制台上也各设置 1 个紧急停机按钮。控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络。在术中放疗室内设置固定式剂量监测报警装置。</p> | <p>满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。</p> |

|           |  |  |  |
|-----------|--|--|--|
|           | <p>射线装置机房（DSA 机房、CT 机房）入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明；患者防护门均拟采用电动推拉式机房门，拟设有防夹装置和曝光时关闭机房门的管理措施，防护门上方拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；其余防护门均为平开机房门，拟设置自动闭门装置；控制室和机房内的治疗床边均设置急停按钮；控制室墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态防护门开闭情况；控制室设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流；拟为本项目辐射工作人员和受检者配备辐射防护装置及个人防护用品；机房内设置动力通风装置，并保持良好的通风。</p> | <p>满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。</p>  |  |
|           | <p>放射性“三废”处理措施：<sup>60</sup>Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 <sup>60</sup>Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理。</p>  | <p>满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。</p> |  |
| 人员配备      | <p>辐射安全管理人员和辐射工作人员均须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后方可上岗。</p> <p>辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。</p> <p>辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立辐射工作人员职业健康档案。</p>   | <p>满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。</p>   |  |
| 监测仪器和防护用品 | <p>已配备辐射巡测仪 1 台。</p> <p>拟配备固定式剂量监测报警装置 5 套。</p>  | <p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。</p>  |  |

|          |   |   |  |
|----------|---|---|--|
|          | 拟配备中子剂量率巡测仪 1 台。  |   |  |
|          | 拟配备个人剂量报警仪 17 台。  |   |  |
|          | DSA 介入医生和受检者配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等，同时设置铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等防护用品。<br>CT 受检者配备铅方巾、铅橡胶颈套等防护用品。       | 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。                                      |  |
| 辐射安全管理制度 | 制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：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。 | 满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。 |  |
| 总计       | /   | /   |  |

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公章

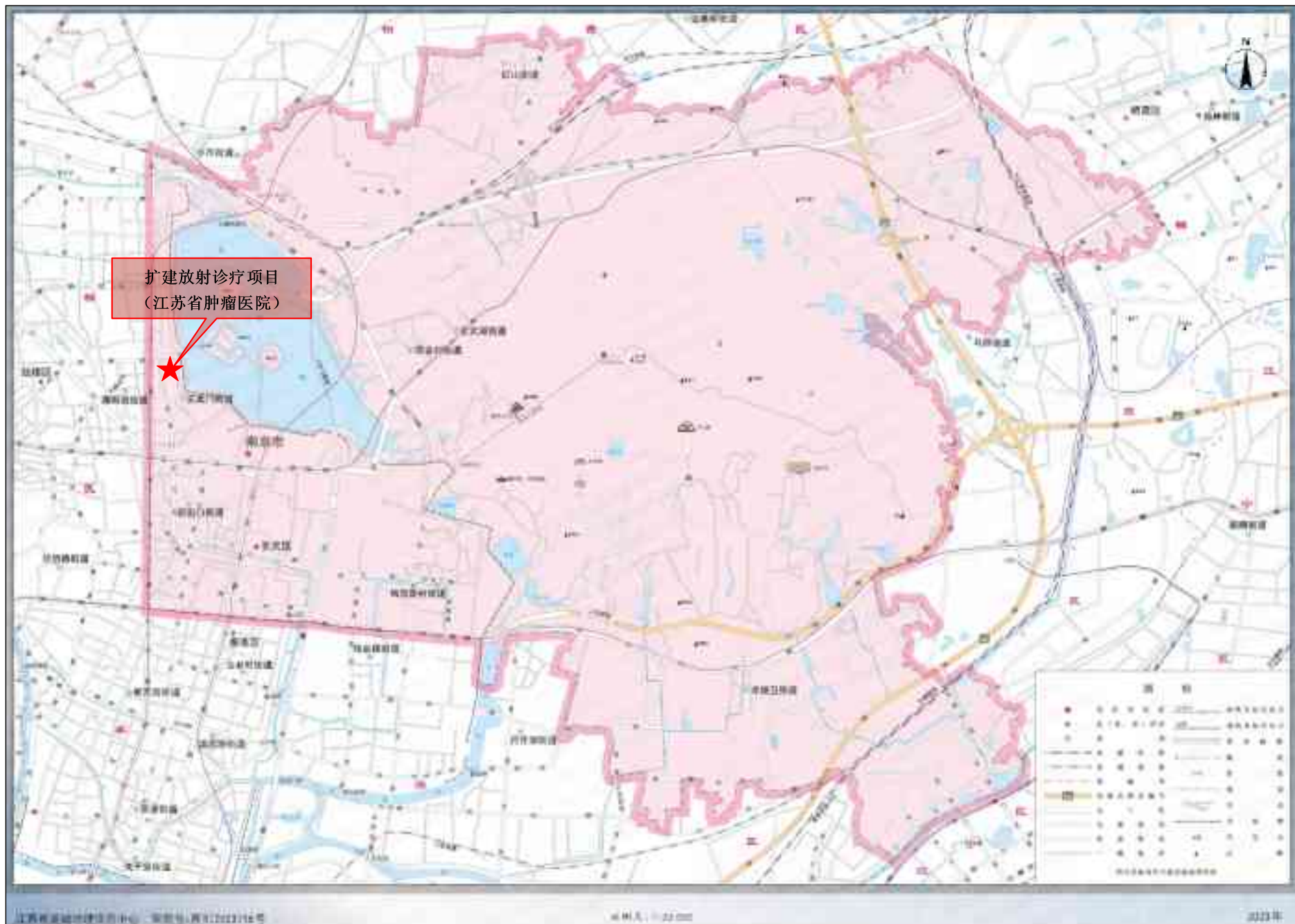
年 月 日

审批意见

经办人

公章

年 月 日



附图 1 江苏省肿瘤医院扩建放射诊疗项目地理位置示意图