

# 核技术利用建设项目

无锡锡铁医疗投资管理有限公司

无锡医疗健康产业园新建核技术利用项目

环境影响报告表

（公开本）

无锡锡铁医疗投资管理有限公司

2026 年 7 月

生态环境部监制

## 核技术利用建设项目

无锡锡铁医疗投资管理有限公司

无锡医疗健康产业园新建核技术利用项目

建设单位名称： 无锡锡铁医疗投资管理有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址： 无锡市太湖街道周新苑 280 号立信大厦 20-57

邮政编码： 214000 联系人： 宋哲人

电子邮箱：  联系电话

编制单位和编制人员情况表

|               |                                  |          |    |
|---------------|----------------------------------|----------|----|
| 项目编号          | 3du1d1                           |          |    |
| 建设项目名称        | 无锡锡铁医疗投资管理有限公司无锡医疗健康产业园新建核技术利用项目 |          |    |
| 建设项目类别        | 55--172核技术利用建设项目                 |          |    |
| 环境影响评价文件类型    | 报告表                              |          |    |
| 一、建设单位情况      |                                  |          |    |
| 单位名称（盖章）      | 无锡锡铁医疗投资管理有限公司                   |          |    |
| 统一社会信用代码      | 91320200MA7F6N797K               |          |    |
| 法定代表人（签章）     | 王克亮                              |          |    |
| 主要负责人（签字）     | 宋哲人                              |          |    |
| 直接负责的主管人员（签字） | 褚沁怡                              |          |    |
| 二、编制单位情况      |                                  |          |    |
| 单位名称（盖章）      | 江苏环保产业技术研究院股份公司                  |          |    |
| 统一社会信用代码      | 91320191MA1MG37A02               |          |    |
| 三、编制人员情况      |                                  |          |    |
| 1. 编制主持人      |                                  |          |    |
| 姓名            | 职业资格证书管理号                        | 信用编号     | 签字 |
| 王彧            | 08353243507320376                | BH020454 |    |
| 2. 主要编制人员     |                                  |          |    |
| 姓名            | 主要编写内容                           | 信用编号     | 签字 |
| 李健            | 表6、表7、表8、表11、表12、                | BH030037 |    |
| 王彧            | 表1、表2、表3、表4、表5、表9、表10、表13        | BH020454 |    |

目录

表 1 项目基本情况 ..... 1

表 2 放射源 ..... 7

表 3 非密封放射性物质 ..... 7

表 4 射线装置 ..... 8

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） ..... 9

表 6 评价依据 ..... 10

表 7 保护目标与评价标准 ..... 13

表 8 环境质量和辐射现状 ..... 22

表 9 项目工程分析与源项 ..... 31

表 10 辐射安全与防护 ..... 52

表 11 环境影响分析 ..... 68

表 12 辐射安全管理 ..... 113

表 13 结论与建议 ..... 119

表 14 审批 ..... 123

## **附图：**

附图 1 无锡医疗健康产业园新建核技术利用项目地理位置示意图

附图 2 无锡医疗健康产业园平面布置及周围环境示意图

附图 3-1 医疗综合楼地下室地下二层放疗中心平面布局及周围环境示意图

附图 3-2 放疗中心上方（地下一层）平面布局示意图

附图 3-3 放疗中心上方（一层）平面布局示意图

附图 4-1 医疗综合楼四层手术部平面布局及周围环境示意图

附图 4-2 手术部下方（三层）平面布局示意图

附图 4-3 手术部上方（五层）平面布局示意图

附图 5-1 医疗综合楼四层内镜中心平面布局及周围环境示意图

附图 5-2 内镜中心下方（三层）平面布局示意图

附图 5-3 内镜中心上方（五层）平面布局示意图

附图 6 放疗中心直线加速器机房、后装治疗机房平面及剖面布置示意图

## **附件：**

附件 1：项目委托书

附件 2：射线装置使用承诺书

附件 3：放射源使用承诺书

附件 4：废源退役方案承诺书

附件 5：本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质

附件 6：无锡医疗健康产业园环境影响报告书批复

**表 1 项目基本情况**

|                 |              |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                        |      |                        |
|-----------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------|
| 建设项目名称          |              | 无锡医疗健康产业园新建核技术利用项目                                                                                                         |                                                                                                                                                                        |      |                        |
| 建设单位            |              | 无锡锡铁医疗投资管理有限公司                                                                                                             |                                                                                                                                                                        |      |                        |
| 法人代表            |              | 王克亮                                                                                                                        | 联系人                                                                                                                                                                    | 宋哲人  | 联系电话                   |
| 注册地址            |              | 无锡市太湖街道周新苑 280 号立信大厦 20-57                                                                                                 |                                                                                                                                                                        |      |                        |
| 项目建设地点          |              | 无锡市滨湖区贡湖大道和隐秀路西南侧，金城快速内环北侧地块内                                                                                              |                                                                                                                                                                        |      |                        |
| 立项审批部门          |              | /                                                                                                                          |                                                                                                                                                                        | 批准文号 | /                      |
| 建设项目总投资<br>(万元) |              | 5000                                                                                                                       | 项目环保投资<br>(万元)                                                                                                                                                         | 500  | 投资比例(环保<br>投资/总投资)     |
| 项目性质            |              | <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他 |                                                                                                                                                                        |      | 占地面积 (m <sup>2</sup> ) |
| 应用<br>类型        | 放射源          | <input type="checkbox"/> 销售                                                                                                | <input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类                   |      |                        |
|                 |              | <input checked="" type="checkbox"/> 使用                                                                                     | <input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类 |      |                        |
|                 | 非密封放射<br>性物质 | <input type="checkbox"/> 生产                                                                                                | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物                                                                                                                                 |      |                        |
|                 |              | <input type="checkbox"/> 销售                                                                                                | /                                                                                                                                                                      |      |                        |
|                 |              | <input type="checkbox"/> 使用                                                                                                | <input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙                                                                                                                  |      |                        |
|                 | 射线装置         | <input type="checkbox"/> 生产                                                                                                | <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类                                                                                                           |      |                        |
|                 |              | <input type="checkbox"/> 销售                                                                                                | <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类                                                                                                           |      |                        |
|                 |              | <input checked="" type="checkbox"/> 使用                                                                                     | <input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类                                                                                     |      |                        |
|                 | 其他           | /                                                                                                                          |                                                                                                                                                                        |      |                        |

## 1.1 项目概述

### 1.1.1 建设单位基本情况

无锡锡铁医疗投资管理有限公司成立于 2021 年 12 月，注册地址位于无锡市太湖街道周新苑 280 号立信大厦 20-57，主要经营范围为：自有资金投资的资产管理服务；医学研究和试验发展；物业管理；非居住房地产租赁；单位后勤管理服务。

为贯彻落实《中国儿童发展纲要（2021-2030 年）》和《中国妇女发展纲要》要求，承应《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的目标》，无锡市委、市政府和无锡市卫生健康委员会研究决定建设无锡医疗健康产业园项目，加快发展健康产业，提高无锡市妇孺儿童医疗的水平。

无锡医疗健康产业园由无锡锡铁医疗投资管理有限公司出资建设，项目位于无锡市滨湖区贡湖大道和隐秀路西南侧、金城快速内环北侧地块内，占地面积约 138 亩，总建筑面积约 38 万平方米，其中地上建筑面积约 22 万平方米，地下建筑面积约 16 万平方米，编制床位约 1500 张，商业面积约 5000 平方米，是一座从出生到生育——全健康链条循环型国际 TOD 综合健康医学园区。无锡医疗健康产业园建成后，计划移交给新成立的医疗机构使用，医疗机构具体成立方案目前未确定。

无锡锡铁医疗投资管理有限公司无锡医疗健康产业园项目已委托有资质单位编制了环境影响报告书，并已于 2022 年 10 月 18 日通过了无锡市行政审批局审批（批复文件见附件 6）。

### 1.1.2 项目由来

为满足患者的就医需求，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，无锡医疗健康产业园内拟配套建设以下核技术利用项目：

（1）在医疗综合楼地下室地下二层放疗中心新建一间直线加速器机房、一间后装治疗机房、一间模拟 CT 机房及配套，在直线加速器机房内配备 1 台直线加速器、在后装治疗机房内配备 1 台  $^{192}\text{Ir}$  后装机（含  $^{192}\text{Ir}$  放射源），用于开展放射治疗，在模拟 CT 机房内配备 1 台模拟 CT，用于开展放射治疗前的模拟定位。

（2）在医疗综合楼四层手术部新建一间 DSA 复合手术室、一间 CT 机房、一间 CT 停车间及配套，在 DSA 复合手术室内配备 1 台 DSA，并配套 1 台移动 CT，开展放射诊断和介入治疗。DSA 固定在手术室内使用，CT 日常停放在 CT 停车间，根据放射诊疗需要，可移动至 CT 机房内开展放射诊断，也可移动至 DSA 复合手术室内，用于 DSA 手术过程中的放射诊断。

（3）在医疗综合楼四层内镜中心新建一间 ERCP 机房及配套，在机房内配备 1 台 ERCP 用 X 光机，开展放射诊断和介入治疗。

此外，产业园内医疗综合楼还拟配套建设放射科、急诊中心、配备 CT、DR、数字胃肠机等辐射设备，用于放射诊断，以上设备均属于 III 类射线装置，建设单位已办理建设项目环境影响登记表备案手续，不属于本次环评内容。

本项目核技术利用具体情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况一览表

| 放射源  |                       |    |                                                       |           |                        |                             |              |                    |
|------|-----------------------|----|-------------------------------------------------------|-----------|------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|
| 序号   | 放射源名称                 | 数量 | 单枚活度(Bq)                                              | 放射源类别     | 工作场所名称                 | 活动种类                        | 环评情况         | 备注                 |
| 1    | $^{192}\text{Ir}$     | 1  | $3.7 \times 10^{11}$                                  | III       | 医疗综合楼地下室地下二层放疗中心后装治疗机房 | 使用                          | 新建项目<br>本次环评 | /                  |
| 射线装置 |                       |    |                                                       |           |                        |                             |              |                    |
| 序号   | 射线装置名称                | 数量 | 最大管电压(kV)                                             | 最大管电流(mA) | 类别                     | 工作场所名称                      | 环评情况         | 备注                 |
| 1    | 直线加速器<br>(型号未定)       | 1  | X 线: $\leq 10\text{MV}$ ,<br>电子线: $\leq 22\text{MeV}$ |           | II                     | 医疗综合楼地下室地下二层放疗中心直线加速器机房     | 新建项目<br>本次环评 | 新购                 |
|      |                       |    | 150                                                   | 500       |                        |                             |              | 直线加速器自带 kVp 级 CBCT |
| 2    | DSA<br>(型号未定)         | 1  | 125                                                   | 1000      | II                     | 医疗综合楼四层手术部 DSA 复合手术室        |              | /                  |
| 3    | 移动 CT<br>(型号未定)       | 1  | 140                                                   | 800       | III                    | 医疗综合楼四层手术部 DSA 复合手术室和 CT 机房 |              | /                  |
| 4    | ERCP 用 X 光机<br>(型号未定) | 1  | 125                                                   | 1000      | II                     | 医疗综合楼四层内镜中心 ERCP 机房         |              | /                  |
| 5    | 模拟 CT<br>(型号未定)       | 1  | 140                                                   | 800       | III                    | 医疗综合楼地下室地下二层放疗中心模拟 CT 机房    |              | /                  |

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求,本项目应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

本项目为使用 III 类放射源、使用 II 类和 III 类射线装置,根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版),应编制环境影响报告表。受无锡锡铁医疗投资管理有限公司的委托,江苏环保产业技术研究院股份公司承担该公司本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析,并在结合现场勘察(委托江苏辐环环境科技有限公司进行辐射环境现状监测)等工作的基础上,编制了该项目的环境影响报告表。

## 1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

### 1、无锡医疗健康产业园位置

无锡医疗健康产业园位于无锡市滨湖区贡湖大道和隐秀路西南侧、金城快速内环北

侧地块内，产业园地理位置示意图附图 1。产业园东侧为贡湖大道，南侧为会友路，西侧为骂蠡港河，北侧为隐秀路，产业园平面布置及周围环境示意图附图 2。

## 2、本项目位置

本次核技术利用项目均位于产业园医疗综合楼内，其地下为 2 层，地上最高为 10 层。医疗综合楼东侧为园内绿化和道路、停车区，南侧为园内绿化和道路、停车区、门卫及警卫室、预留发展用地（后期规划为宿舍/办公用房），西侧为园内绿化和道路、发热门诊，北侧为园内绿化和道路、停车区、主变电所。

### （1）直线加速器机房、后装治疗机房、模拟 CT 机房

本项目直线加速器机房、后装治疗机房、模拟 CT 机房位于医疗综合楼地下室地下二层中北部放疗中心，后装治疗机房和直线加速器机房位于放疗中心最北部，东西向相邻而建，西侧为直线加速器机房，东侧为后装治疗机房，机房占据地下二层和地下一层，模拟 CT 机房位于放疗中心中部偏西，机房占据地下二层。

后装治疗机房和直线加速器机房地下二层区域东侧为地下车库、楼梯间及送风机房等辅房，南侧为患者准备间、控制室、妇科治疗室、模拟 CT 机房等放疗中心工作场所、地下车库，西侧为地下车库、配电间及排风机房等辅房，北侧为地下车库；后装治疗机房和直线加速器机房地下一层区域东侧为地下车库，南侧为隔油间、地下车库、楼梯、风机房等辅房，西侧为地下车库、楼梯、风机房等辅房，北侧为地下车、配电间、楼梯及前室等辅房；后装治疗机房和直线加速器机房楼下无建筑，加速器机房正上方楼上为地上一层输液区、VIP 输液室、室外道路，后装治疗机房正上方楼上为室外道路。

模拟 CT 机房东侧依次为走廊及诊室等放疗中心工作场所、配电间及送风机房等辅房、地下车库，南侧依次为 CT 控制室、走廊、储藏间及患者等候区等放疗中心工作场所、地下车库、配电间及电梯厅等辅房，西侧依次为走廊及办公室等放疗中心工作场所、配电间及设备机房等辅房、地下车库，北侧依次为模具库及放射治疗机房等放疗中心工作场所、地下车库，楼下无建筑，正上方楼上为地下一层车库。

### （2）DSA 复合手术室、CT 机房

本项目 DSA 复合手术室和 CT 机房位于医疗综合楼四层中部手术部，DSA 复合手术室和 CT 机房南北向间隔 CT 停车间设置，东侧依次为污洗、器械预处理间、打包间、污梯及污梯间、污物通道等，南侧依次为外洁净区通道、住院手术室等，西侧依次为控制室、内洁净区通道、手术室等，北侧依次为外洁净区通道、住院手术室等，正下方楼下为三层消毒供应中心去污区和清洗区、走道、新风机房和预留房间，正上方楼上为层流净化设备机房和后勤通道。

### （3）ERCP 机房

本项目 ERCP 机房位于医疗综合楼四层北部内镜中心，机房东侧依次为控制室、洗镜室、处置间等，南侧依次为通道、汇流排机房、储藏间、备用机房等，西侧依次为镜库、通道、洗镜室、处置间等，北侧临空，正下方楼下为三层诊室和通道，正上方楼上为五层病房和通道。

产业园医疗综合楼地下室地下二层放疗中心平面布局及周围环境见附图 3-1，放疗中心上方（地下一层）平面布局见附图 3-2，放疗中心上方（一层）平面布局见附图 3-3，四层手术部平面布局及周围环境见附图 4-1，手术部下方（三层）平面布局见附图 4-2，手术部上方（五层）平面布局见附图 4-3，四层内镜中心平面布局及周围环境见附图 5-1，内镜中心下方（三层）平面布局见附图 5-2，内镜中心上方（五层）平面布局见附图 5-3。

### 3、项目选址合理性分析

根据建设单位提供资料、现场调查和附图 2 可知，本项目各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点；各辐射工作场所所处位置相对独立，各设备均设有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开；直线加速器机房、后装治疗机房集中建设，设置在地下二层的北端，机房下方为土层，四周为地下车库、控制室等辅房，加速器机房大部分区域正上方、后装治疗机房正上方为室外道路，加速器机房仅迷道区域正上方涉及地上一层输液区、VIP 输液室（避开主射线区域），因医院诊疗需要，输液区、VIP 输液室可能涉及孕产妇、儿童，根据理论估算，项目对周围环境的辐射影响均能够满足本项目管理目标要求，项目周围无环境制约因素。

本项目环境保护目标主要是项目辐射工作人员、产业园内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员、隐秀路上流动人员。

本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等环境敏感区，不涉及江苏省国家级生态保护红线区域和江苏省生态空间管控区域。根据现场监测与环评预测，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。

综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。直线加速器机房、后装治疗机房的选址也能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内”“放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、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”的要求。

### 1.3 实践正当性评价

直线加速器、后装治疗机等放疗设备，是恶性肿瘤根治、姑息减症的核心治疗方式，约 70%恶性肿瘤患者需接受放射治疗。手术存在适用局限、化疗存在全身毒副作用，精准放疗可对局部肿瘤实现定向杀灭，保留正常器官组织，延长晚期患者生存期、缓解癌痛、提升生存质量，是肿瘤综合治疗体系中不可缺失的关键环节。DSA 介入诊疗项目是心脑血管急症、大出血急救、复杂血管病变诊疗的核心支撑，可在数分钟内完成出血点定位、血管栓塞操作，将急性心梗、主动脉夹层、产后大出血等急危重症的抢救成功率提升 60%以上。ERCP 项目依托 X 光机完成胆胰管造影，可通过人体自然腔道完成胆管取石、支架置入等操作，避免患者接受创伤更大的开腹手术，大幅缩短术后康复周期，针对高龄、基础疾病多的不耐受手术患者，是唯一安全有效的微创诊疗路径。

本项目所有电离辐射实践均服务于疾病诊断、治疗与健康筛查的合法医疗目的，不存在不必要、无收益的辐射照射；项目带来挽救生命、控制病情、减少异地就医、完善区域公共卫生服务、培育医疗人才等多重正向收益，同时通过辐射防护与管理等措施持续降低辐射风险。经综合权衡，项目整体收益远大于电离辐射造成的潜在健康危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

### 1.4 原有核技术利用项目

本项目由无锡锡铁医疗投资管理有限公司出资建设，项目建成后，计划移交给新成立的医疗机构使用，无锡锡铁医疗投资管理有限公司及新成立的医疗机构均无原有核技术利用项目。

**表 2 放射源**

| 序号 | 核素名称              | 总活度 (Bq) /<br>活度 (Bq) × 枚数 | 类别  | 活动种类 | 用途          | 使用场所                           | 贮存方式与地点    | 备注                        |
|----|-------------------|----------------------------|-----|------|-------------|--------------------------------|------------|---------------------------|
| 1  | <sup>192</sup> Ir | 3.7×10 <sup>11</sup> ×1 枚  | III | 使用   | 后装近距离<br>治疗 | 医疗综合楼地下室<br>地下二层放疗中心<br>后装治疗机房 | 安装在后装机屏蔽体内 | 定期更换，退役<br>废源由原生产<br>厂家回收 |
| /  | /                 | /                          | /   | /    | /           | /                              | /          | /                         |

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<br>操作量 (Bq) | 年最大用量<br>(Bq) | 用途 | 操作方式 | 使用场所 | 贮存方式与<br>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<br>(MeV)            | 额定电流 (mA) /<br>剂量率 (Gy/h)                                                                 | 用途   | 工作场所                                | 备注                                                        |
|----|-------|----|----|------|----------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1  | 直线加速器 | II | 1  | 型号未定 | 电子       | X 射线: 10MV<br>电子线: 22MeV | 距靶 1m 处最高 X 线剂量<br>率: 1320Gy/h (10MV)、<br>840Gy/h (6MV) ;<br>距靶 1m 处最高电子线剂<br>量率: 360Gy/h | 放射治疗 | 医疗综合楼地<br>下室地下二层<br>放疗中心直线<br>加速器机房 | 直线加速器自带<br>kVp 级 CBCT, 最<br>大管电压 150kV,<br>最大管电流<br>500mA |

(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  | 1  | 型号未定 | 125        | 1000       | 放射诊断、介入治疗 | 医疗综合楼四层手术部<br>DSA 复合手术室            | /  |
| 2  | 移动 CT       | III | 1  | 型号未定 | 140        | 800        | 放射诊断      | 医疗综合楼四层手术部<br>DSA 复合手术室和 CT 机<br>房 |    |
| 3  | ERCP 用 X 光机 | II  | 1  | 型号未定 | 125        | 1000       | 放射诊断、介入治疗 | 医疗综合楼四层内镜中心<br>ERCP 机房             | /  |
| 4  | 模拟 CT       | III | 1  | 型号未定 | 140        | 800        | 放射诊断      | 医疗综合楼地下室地下二<br>层放疗中心模拟 CT 机房       | /  |

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

| 序<br>号 | 名称 | 类<br>别 | 数<br>量 | 型<br>号 | 最大管电<br>压 (kV) | 最大靶电<br>流 (μA) | 中子强<br>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<br>名称          | 活度                                                         | 月排<br>放量 | 年排放<br>总量 | 排放口<br>浓度 | 暂存<br>情况            | 最终去向                                                                            |
|--------------------------------|----|-------------------|------------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 放疗中心<br><sup>192</sup> Ir 退役废源 | 固态 | <sup>192</sup> Ir | 使用约 180 天后退<br>役，退役时活度约为<br>$6.9 \times 10^{10} \text{Bq}$ | /        | 约 2 枚     | /         | 随设备存放               | 由原生产厂家回收处理                                                                      |
| 各机房内产生的<br>臭氧和氮氧化物             | 气态 | /                 | /                                                          | 微量       | 微量        | /         | 不暂存                 | 经机房排风系统排出室外，臭<br>氧在常温常压下稳定性较差，<br>常温常态常压的空气中臭氧<br>有效化学分解时间约为 50 分<br>钟，可自动分解为氧气 |
| 加速器废机头部<br>件                   | 固态 | /                 | /                                                          | /        | /         | /         | 加速器退役或更换<br>机头部件时产生 | 由有资质单位回收处理                                                                      |
| /                              | /  | /                 | /                                                          | /        | /         | /         | /                   | /                                                                               |

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

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 法规文件 | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），自 2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 13 日发布，2026 年 8 月 15 日起施行（届时，《中华人民共和国环境保护法》《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》废止）</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环境保护总局文件，环发〔2006〕145 号文</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日发布</p> <p>(12) 《关于发布射线装置分类的公告》，环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布，自 2017 年 12 月 5 日起施行</p> <p>(13) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办〔2013〕103 号，2014 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(14) 《关于发布&lt;放射性废物分类&gt;的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(15) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(16) 《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</p> |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>（17）《生态环境部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 日生成</p> <p>（18）《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，2020 年 1 月 1 日起施行</p> <p>（19）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修改版），江苏省人大常委会公告第 2 号，2018 年 3 月 28 日修改，2018 年 5 月 1 日起施行</p> <p>（20）《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 日起施行</p> <p>（21）《江苏省国家级生态保护红线规划》，江苏省人民政府（苏政发〔2018〕74 号），2018 年 6 月 9 日发布</p> <p>（22）《江苏省生态空间管控区域规划》，江苏省人民政府（苏政发〔2020〕1 号），2020 年 1 月 8 日发布</p> <p>（23）《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》江苏省人民政府（苏政发〔2020〕49 号），2020 年 6 月 21 日发布</p> <p>（24）《江苏省自然资源厅关于无锡市滨湖区生态空间管控区域优化调整方案的复函》（苏自然资函〔2022〕263 号），2022 年 2 月 17 日发布</p> <p>（25）《省政府关于江阴市、宜兴市、锡山区、惠山区、滨湖区、新吴区国土空间总体规划（2021—2035 年）的批复》（苏政复〔2025〕4 号），2025 年 2 月 24 日发布</p> <p>（26）《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 31 日发布</p> |
| 技术标准 | <p>（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）</p> <p>（2）《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>（3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）</p> <p>（4）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）</p> <p>（5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）</p> <p>（6）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）</p> <p>（7）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）</p> <p>（8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）</p> <p>（9）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》（GBZ/T 201.1—2007）</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|    |                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>(10)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011)</p> <p>(11)《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>(12)《粒子加速器辐射安全与防护规定》(GB 5172-2025)</p>   |
| 其他 | <p>报告附件：</p> <p>(1) 项目委托书（附件 1）</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书（附件 2）</p> <p>(3) 放射源使用承诺书（附件 3）</p> <p>(4) 废源退役方案承诺书（附件 4）</p> <p>(5) 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质（附件 5）</p> <p>(6) 无锡医疗健康产业园环境影响报告书批复（附件 6）</p> |

表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

本项目为使用 III 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置。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》（HJ10.1-2016）的要求，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。因此，本项目辐射评价范围确定为放疗中心直线加速器机房、后装治疗机房及模拟 CT 机房、手术部 DSA 复合手术室及 CT 机房、内镜中心 ERCP 机房实体屏蔽边界外 50m 以内区域。本项目评价范围见附图 2。

### 7.2 保护目标

根据附图 2，本项目 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，环境保护目标主要是项目辐射工作人员、产业园内的其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员、隐秀路上流动人员。本项目放疗中心直线加速器、后装机、模拟 CT 环境保护目标见表 7-1，手术部 DSA、CT 环境保护目标见表 7-2，内镜中心 ERCP 环境保护目标见表 7-3。

表 7-1 本项目放疗中心直线加速器、后装机、模拟 CT 环境保护目标分布

| 环境保护目标名称 |             | 场所                     | 方位                        | 距机房最近距离 | 规模           | 管理目标<br>(剂量约束值) |
|----------|-------------|------------------------|---------------------------|---------|--------------|-----------------|
| 辐射工作人员   |             | 加速器控制室、水冷机房、患者准备间      | 加速器机房南侧                   | 紧邻      | 不少于 12 名工作人员 | 5mSv/a          |
|          |             | 后装机控制室、患者准备间           | 后装治疗机房南侧                  | 紧邻      |              |                 |
|          |             | 模拟 CT 机房控制室            | 模拟 CT 机房南侧                | 紧邻      |              |                 |
| 评价范围内公众  | 产业园内的其他工作人员 | 放疗中心非辐射工作场所            | 四周                        | 紧邻      | 约 5 名工作人员    | 0.1mSv/a        |
|          |             | 地下二层车库、楼梯间、排风机房等辅房     | 四周                        | 紧邻      | 流动人员         |                 |
|          |             | 地下一层隔油间、车库、楼梯间、排风机房等辅房 | 加速器机房、后装治疗机房四周，模拟 CT 机房上方 | 紧邻      | 流动人员         |                 |
|          |             | 一层输液区、VIP 输液室          | 加速器机房正上方                  | 紧邻      | 约 5 名工作人员    |                 |
|          |             | 医疗综合楼一层至十层             | 上方                        | 紧邻      | 约 400 名工作人员  |                 |
|          |             | 产业园内道路                 | 上方东侧、西侧、北侧                | 紧邻      | 流动人员         |                 |

|  |              |      |       |       |      |  |
|--|--------------|------|-------|-------|------|--|
|  | 病患及陪同家属等流动人员 | 产业园内 | 四周、上方 | 紧邻    | 流动人员 |  |
|  | 隐秀路上流动人员     | 隐秀路  | 北侧    | 约 48m | 流动人员 |  |

表 7-2 本项目手术部 DSA、CT 环境保护目标分布

| 环境保护目标名称 |              | 场所                         | 方位       | 距机房最近距离          | 规模          | 管理目标<br>(剂量约束值) |
|----------|--------------|----------------------------|----------|------------------|-------------|-----------------|
| 辐射工作人员   |              | DSA 和 CT 控制室               | 西侧       | 紧邻               | 不少于 7 名工作人员 | 5mSv/a          |
|          |              | DSA 复合手术室内                 | 机房内      | 距 DSA 球管不小于 0.5m |             |                 |
| 评价范围内公众  | 产业园内的其他工作人员  | 污洗、器械预处理间、打包间、污梯及污梯间、污物通道等 | 东侧       | 紧邻               | 约 500 名工作人员 | 0.1mSv/a        |
|          |              | 外洁净区通道、住院手术室等              | 南侧       | 紧邻               |             |                 |
|          |              | 内洁净区通道、手术室等                | 西侧       | 紧邻               |             |                 |
|          |              | 外洁净区通道、住院手术室等              | 北侧       | 紧邻               |             |                 |
|          |              | 三层消毒供应中心去污区和清洗区等、地下二层至二层   | 下方       | 紧邻               |             |                 |
|          |              | 五层层流净化设备机房和后勤通道等、六层至十层     | 上方       | 紧邻               |             |                 |
|          | 病患及陪同家属等流动人员 | 产业园内道路                     | 西北侧      | 地面投影约 37m        | 流动人员        |                 |
|          |              | 产业园内                       | 四周、上方、下方 | 紧邻               | 流动人员        |                 |

表 7-3 本项目内镜中心 ERCP 环境保护目标分布

| 环境保护目标名称 |  | 场所       | 方位  | 距机房最近距离          | 规模          | 管理目标<br>(剂量约束值) |
|----------|--|----------|-----|------------------|-------------|-----------------|
| 辐射工作人员   |  | ERCP 控制室 | 东侧  | 紧邻               | 不少于 5 名工作人员 | 5mSv/a          |
|          |  | ERCP 机房内 | 机房内 | 距 X 光机球管不小于 0.5m |             |                 |

|         |              |                    |          |        |             |          |
|---------|--------------|--------------------|----------|--------|-------------|----------|
| 评价范围内公众 | 产业园内的其他工作人员  | 洗镜室、处置间、办公室等       | 东侧       | 紧邻     | 约 250 名工作人员 | 0.1mSv/a |
|         |              | 通道、汇流排机房、储藏间、备用机房等 | 南侧       | 紧邻     |             |          |
|         |              | 镜库、通道、洗镜室、处置间、病房等  | 西侧       | 紧邻     |             |          |
|         |              | 三层诊室和通道等、地下二层至二层   | 下方       | 紧邻     |             |          |
|         |              | 五层病房和通道等、六层至十层     | 上方       | 紧邻     |             |          |
|         | 病患及陪同家属等流动人员 | 产业园内道路             | 东侧、西侧、北侧 | 地面投影紧邻 | 流动人员        |          |
|         |              | 产业园内               | 四周、上方、下方 | 紧邻     | 流动人员        |          |

本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条（一）中的国家公园、世界文化和自然遗产地等环境敏感区，不涉及《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）中的生态保护目标；经对照《江苏省生态空间管控区域规划的通知》（苏政发〔2020〕1 号）、《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省自然资源厅关于无锡市滨湖区生态空间管控区域优化调整方案的复函》（苏自然资函〔2022〕263 号）、《省政府关于江阴市、宜兴市、锡山区、惠山区、滨湖区、新吴区国土空间总体规划（2021—2035 年）的批复》（苏政复〔2025〕4 号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线区和江苏省生态空间管控区范围，无生态敏感目标。

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 剂量限值

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

表 7-4 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

| 对象       | 剂量限值                                                                                                                                      |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 职业照射剂量限值 | <p>工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：</p> <p>①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv</p> <p>②任何一年中的有效剂量，50mSv</p> <p>③四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv</p> |
| 公众照射剂量限值 | <p>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：</p> <p>①年有效剂量，1mSv；</p>                                                                             |

|  |                                                     |
|--|-----------------------------------------------------|
|  | ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv； |
|--|-----------------------------------------------------|

### 7.3.2 剂量约束值

#### 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

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

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

综和考虑 GB 18871-2002、HJ 1198-2021 等相关标准中要求，遵循辐射防护最优化原则，结合本项目实际情况，本项目的剂量约束值见下表。

表 7-5 剂量约束值

| 适用范围     | 剂量约束值    |
|----------|----------|
| 职业照射有效剂量 | 5mSv/a   |
| 公众照射有效剂量 | 0.1mSv/a |

### 7.3.3 辐射剂量率参考控制水平

#### （1）直线加速器机房、后装治疗机房

##### ①《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）

#### 6.3 屏蔽要求

##### 6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

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

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ，见式（1）：

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

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

$H_e$ —周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（ $\mu\text{Sv/周}$ ），其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

$t$ —治疗周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

$U$ —治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

$T$ —人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录A。

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

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

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

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

### 6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

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

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

## ②《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)

### 6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

a) 治疗室墙和入口门外表面30cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1) 和2) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ :

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照附录A选取), 由以下周剂量参考控制水平( $\dot{H}_c$ )求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$ :

机房外辐射工作人员:  $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ;

机房外非辐射工作人员:  $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同, 分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ):

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

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

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

综上，根据本项目实际情况，在本项目直线加速器机房和后装治疗机房外设置关注点，并计算得出关注点的周围剂量当量率参考控制水平。

本项目直线加速器机房和后装治疗机房下方为土层、无人员居留，机房下方不设定关注点。加速器机房顶板上方隔 1m 厚的回填层和 10cm 厚地面层为室外道路、一层输液区和 VIP 输液室，后装治疗机房顶板上方隔 1m 厚的回填层和 10cm 厚地面层为室外道路，机房顶外关注点均选取为地面层外 30cm。根据 GBZ 121-2020、HJ 1198-2021 中剂量率参考控制水平估算方法，可估算得出本项目加速器机房、后装治疗机房四周墙体、防护门、屋顶外关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ，具体见表 7-6，关注点位置见图 11-1。

表 7-6-1 直线加速器机房外关注点周围剂量当量率参考控制水平

| 关注点                                             | 居留场所       | $\dot{H}_c$<br>( $\mu\text{Sv/周}$ ) | $t$<br>(h) | U   | T     | $\dot{H}_{c,d}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $\dot{H}_{c,max}$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | $\dot{H}_c$<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|-------------------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-----|-------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
| 东墙主屏蔽区外 30cm (a 点)                              | 后装治疗机房     | 100                                 | 20         | 1/4 | 1/2   | 40                                      | 10                                        | 10                                  |
| 西墙主屏蔽区外 30cm (b 点)                              | 地下车库       | 5                                   | 20         | 1/4 | 1/40  | 40                                      | 10                                        | 10                                  |
| 顶部主屏蔽区上方地面层外 30cm (l 点)                         | 室外道路       | 5                                   | 20         | 1/4 | 1/20  | 20                                      | 10                                        | 10                                  |
| 南墙侧屏蔽区外 30cm 处 (f 点)                            | 控制室        | 100                                 | 20         | 1   | 1     | 5                                       | 2.5                                       | 2.5                                 |
| 南侧迷路外墙外 30cm (k 点)                              | 水冷机房       | 100                                 | 20         | 1   | 1/20  | 100                                     | 10                                        | 10                                  |
| 北墙侧屏蔽区外 30cm 处 (e 点)                            | 地下车库       | 5                                   | 20         | 1   | 1/40  | 10                                      | 10                                        | 10                                  |
| 东墙次屏蔽区外 30cm (c <sub>1</sub> 点)                 | 加速器患者准备间   | 100                                 | 20         | 1   | 1/8   | 40                                      | 10                                        | 10                                  |
| 东墙次屏蔽区外 30cm (c <sub>2</sub> 点)                 | 后装治疗机房     | 100                                 | 20         | 1   | 1/2   | 10                                      | 10                                        | 10                                  |
| 西墙次屏蔽区外 30cm (d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub> 点) | 地下车库       | 5                                   | 20         | 1   | 1/40  | 10                                      | 10                                        | 10                                  |
| 顶部次屏蔽区上方地面层外 30cm (m <sub>1</sub> 点)            | 室外道路       | 5                                   | 20         | 1   | 1/20  | 5                                       | 10                                        | 5                                   |
| 顶部次屏蔽区上方地面层外 30cm (m <sub>2</sub> 点)            | 室外道路、输液区   | 5                                   | 20         | 1   | 保守取 1 | 0.25                                    | 2.5                                       | 0.25                                |
| 迷路入口防护门外 30cm (g 点)                             | 直线加速器患者准备间 | 100                                 | 20         | 1   | 1/8   | 40                                      | 10                                        | 10                                  |

注：上表内机房四周关注点均位于地下二层，机房地下一层东墙外北部为后装治疗机房、东墙外南部为隔油间、其余三侧墙体外均为地下车库，地下一层四周场所的居留因子均不大于地下二层，因此未在地下一层单独设定关注点，地下一层相应侧的周围剂量当量率参考控制水平保守同地下二层。

表 7-6-2 后装治疗机房外关注点周围剂量当量率参考控制水平

| 关注点                                               | 居留场所      | $H_c$<br>( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ) | $t$<br>(h) | U | T    | $\dot{H}_{c,d}$<br>( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) | $\dot{H}_{c,\max}$<br>( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) | $\dot{H}_c$<br>( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) |
|---------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|------------|---|------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 东墙外 30cm<br>(A 点)                                 | 地下车库      | 5                                    | 10         | 1 | 1/40 | 20                                             | 10                                                | 10                                         |
| 南墙外 30cm<br>(B 点)                                 | 后装治疗患者准备间 | 100                                  | 10         | 1 | 1/8  | 80                                             | 10                                                | 10                                         |
| 西墙外 30cm<br>(C 点)                                 | 直线加速器机房   | 100                                  | 10         | 1 | 1/2  | 20                                             | 10                                                | 10                                         |
| 北墙外 30cm<br>(D 点)                                 | 地下车库      | 5                                    | 10         | 1 | 1/40 | 20                                             | 10                                                | 10                                         |
| 南侧迷道外墙外 30cm 处 (K <sub>1</sub> 、K <sub>2</sub> 点) | 控制室       | 100                                  | 10         | 1 | 1    | 10                                             | 2.5                                               | 2.5                                        |
| 顶部上方地面层外 30cm<br>(E 点)                            | 室外道路      | 5                                    | 10         | 1 | 1/20 | 10                                             | 10                                                | 10                                         |
| 迷路入口防护门外 30cm<br>(G 点)                            | 后装治疗患者准备间 | 100                                  | 10         | 1 | 1/8  | 80                                             | 10                                                | 10                                         |

注：上表内机房四周关注点均位于地下二层，机房地下一层西墙外为直线加速器机房、南墙外为隔油间、东墙和北墙外均为地下车库，地下一层场所的居留因子均不大于地下二层，因此未在地下一层单独设定关注点，地下一层相应侧的周围剂量当量率参考控制水平保守同地下二层。

## (2) 模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房

### 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 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 2.5  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25 mSv。

根据以上要求，并结合本项目实际情况，本项目模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房辐射剂量率参考控制水平确定为：

机房四周墙体、顶板、防护门、观察窗外表面 30cm、底板下方（楼下）距楼下地面 170cm 及周围人员可居留处周围剂量当量率应不大于 2.5  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

### 7.3.4 辐射管理分区

#### (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

##### 6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区,以便于辐射防护管理和职业照射控制。

##### 6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区,以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散,并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

##### 6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区:这种区域未被定为控制区,在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

#### (2) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)

##### 5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下,控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所,如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室,直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。

### 7.3.5 其余相关标准

①《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)

②《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)

③《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)

④《粒子加速器辐射安全与防护规定》(GB 5172-2025)

### 7.3.6 参考资料

①《辐射防护导论》,方杰主编

②《辐射防护手册》(第一分册),李德平 潘自强 主编

③《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。

江苏省环境天然 $\gamma$ 辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

| 类别      | 原野        | 道路         | 室内         |
|---------|-----------|------------|------------|
| 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：（1）测量值已扣除宇宙射线响应值。

（2）现状评价时，以测值范围作为参考值。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 项目地理和场所位置

无锡医疗健康产业园新建核技术利用项目选址位于江苏无锡经济开发区北侧，本项目拟建址位于产业园医疗综合楼内，其中直线加速器机房、后装治疗机房、模拟 CT 机房位于地下二层放疗中心，DSA 复合手术室、CT 机房位于四层手术部，ERCP 机房位于四层内镜中心。项目拟建址地理位置示意图附图 1，产业园平面布置及周围环境示意图附图 2，产业园医疗综合楼地下室地下二层放疗中心平面布局及周围环境见附图 3-1，放疗中心上方（地下一层）平面布局见附图 3-2，放疗中心上方（一层）平面布局见附图 3-3，四层手术部平面布局及周围环境见附图 4-1，手术部下方（三层）平面布局见附图 4-2，手术部上方（五层）平面布局见附图 4-3，四层内镜中心平面布局及周围环境见附图 5-1，内镜中心下方（三层）平面布局见附图 5-2，内镜中心上方（五层）平面布局见附图 5-3。

2025 年 5 月 13 日现场踏勘时，本项目所在医疗综合楼主体结构已基本建成，直线加速器机房、后装治疗机房混凝土主体已随主体工程一体浇筑完成，模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房均未建。本项目拟建址及周围环境现状见图 8-1。



本项目所在医疗综合楼



直线加速器机房入口

直线加速器机房及辅房（-2F）



后装治疗机房入口

后装治疗机房及辅房（-2F）



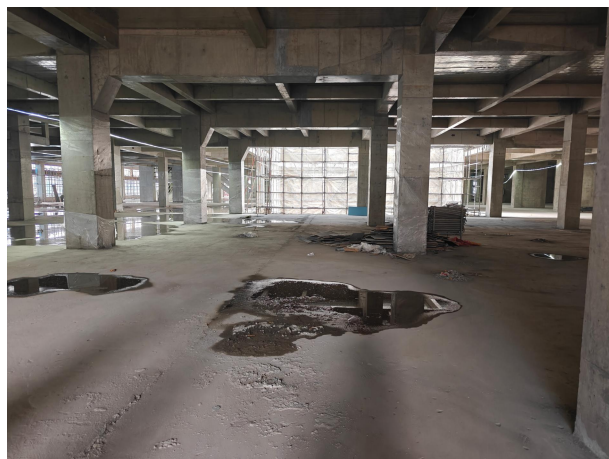
直线加速器机房

直线加速器机房及后装治疗机房（-1F）



后装治疗机房

模拟 CT 机房拟建址（-2F）



DSA 复合手术室、CT 机房拟建址（4F）



ERCP 机房拟建址（4F）



医疗综合楼东侧院内道路



医疗综合楼南侧院内道路



医疗综合楼西侧院内道路



医疗综合楼北侧院内道路

图 8-1 本项目拟建址及周围环境现状

### 8.1.2 环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为放射源产生的 $\gamma$ 射线以及射线装置产生的 X 射线等电离辐射污染。

本项目在进行现状调查时，主要调查项目拟建址及周围环境的 $\gamma$ 辐射剂量率。

#### 1、环境现状评价对象、检测因子、检测方法

环境现状评价对象：本项目拟建场址及周围辐射环境

检测因子： $\gamma$ 辐射剂量率

检测方法：按照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中的要求进行检测，仪器读数稳定后，以约 10s 间隔每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果，根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）5.5 中公式对数据进行处理。

#### 2、检测点位布设

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，重点调查本项目拟建址及周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率，具体点位见图 8-2~图 8-3。

### 3、检测单位、检测时间和检测仪器

检测单位：江苏辐环环境科技有限公司（CMA 证书编号：231012341512）

检测时间：2025 年 5 月 13 日                      天气状况：阴

检测仪器：

仪器名称：辐射巡测仪

仪器型号：FH40G+FHZ672E-10

仪器编号：030360+11395

能量响应范围：40keV~4.4MeV

量程范围：1nSv/h~100μSv/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2024-0125779

检定有效期：2024.12.17~2025.12.16

### 4、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 5；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

### 5、检测结果及评价

本项目拟建址及周围环境的γ辐射水平检测结果见表 8-1，检测点位见图 8-2~图 8-5，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射水平检测结果

| 序号 | 检测点位描述                  | 建筑物 | 检测结果<br>(nGy/h) | 标准差 | 备注   |
|----|-------------------------|-----|-----------------|-----|------|
| 1  | 直线加速器控制室拟建址南侧（-2F 拟建通道） | 楼房  | 67.7            | 1.9 | 本底检测 |
| 2  | 后装治疗机房辅房拟建址南侧（-2F 拟建通道） | 楼房  | 68.1            | 1.7 |      |
| 3  | 直线加速器机房拟建址南侧（-1F 拟建车库）  | 楼房  | 67.1            | 1.7 |      |
| 4  | 后装治疗机房拟建址南侧（-1F 拟建车库）   | 楼房  | 64.9            | 1.9 |      |

|    |                                 |    |      |     |
|----|---------------------------------|----|------|-----|
| 5  | 直线加速器机房拟建址西侧（-1F 拟建车库）          | 楼房 | 67.3 | 2.0 |
| 6  | 直线加速器机房拟建址正上方（1F 拟建输液区）         | 楼房 | 64.4 | 1.9 |
| 7  | 直线加速器机房拟建址正上方（拟建室外道路）           | 道路 | 53.9 | 1.4 |
| 8  | 后装治疗机房拟建址正上方（拟建室外道路）            | 道路 | 54.0 | 1.5 |
| 9  | 模拟 CT 机房拟建址（-2F）                | 楼房 | 64.7 | 1.6 |
| 10 | DSA 复合手术室拟建址（4F）                | 楼房 | 63.0 | 2.0 |
| 11 | CT 机房拟建址（4F）                    | 楼房 | 62.8 | 1.3 |
| 12 | DSA 和 CT 控制室拟建址（4F）             | 楼房 | 61.9 | 1.2 |
| 13 | DSA 复合手术室拟建址东侧（4F 拟建打包间）        | 楼房 | 65.1 | 1.7 |
| 14 | DSA 复合手术室拟建址南侧（4F 拟建 CT 停车间）    | 楼房 | 64.7 | 1.6 |
| 15 | DSA 复合手术室拟建址西侧（4F 拟建走道）         | 楼房 | 63.2 | 1.3 |
| 16 | DSA 复合手术室拟建址北侧（4F 拟建走道）         | 楼房 | 63.9 | 2.1 |
| 17 | DSA 复合手术室拟建址正上方（5F 拟建层流净化设备机房四） | 楼房 | 64.5 | 1.4 |
| 18 | DSA 复合手术室拟建址正下方（3F 拟建消毒供应中心去污区） | 楼房 | 57.1 | 1.5 |
| 19 | ERCP 机房拟建址（4F）                  | 楼房 | 64.9 | 1.8 |
| 20 | ERCP 机房拟建址东侧（4F 拟建 ERCP 控制室）    | 楼房 | 63.2 | 1.5 |
| 21 | ERCP 机房拟建址南侧（4F 拟建通道）           | 楼房 | 64.5 | 2.0 |
| 22 | ERCP 机房拟建址西侧（4F 拟建通道）           | 楼房 | 67.9 | 1.7 |
| 23 | ERCP 机房拟建址正上方（5F 拟建病房）          | 楼房 | 66.8 | 2.1 |
| 24 | ERCP 机房拟建址正下方（3F 拟建通道）          | 楼房 | 63.4 | 1.3 |

注：①上表数据已根据 HJ 1157-2021 中方法扣除监测仪器宇宙射线响应值（8.92nGy/h），并已考虑建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子；

②建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，道路取 1；

③本项目监测仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  作为检定参考辐射源，根据 HJ 1157-2021，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy；

④现场检测时，直线加速器机房、后装治疗机房混凝土主体已随主体工程一体浇筑完成，模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房均未建；直线加速器机房、后装治疗机房及南侧辅房拟建址内有较深积水，机房-2F 区域东侧、西侧及北侧、-1F 区域北侧均已设置围挡，因此未在以上区域布设检测点位。

根据表 8-1 可知，本项目拟建址及周围环境的室内  $\gamma$  辐射剂量率为（57.1~68.1）

nGy/h，室外道路  $\gamma$  辐射剂量率为（53.9~54.0）nGy/h，对照江苏省室内环境天然  $\gamma$  辐射水平调查结果（50.7~129.4）nGy/h，室外道路环境天然  $\gamma$  辐射水平调查结果（18.1~102.3）nGy/h，本项目拟建址及周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率均处于江苏省环境天然  $\gamma$  辐射水平范围内，属正常辐射水平。



图 8-2 本项目拟建址及周围环境  $\gamma$  辐射水平检测点位示意图（一）

---

图 8-3 本项目拟建址及周围环境  $\gamma$  辐射水平检测点位示意图（二）

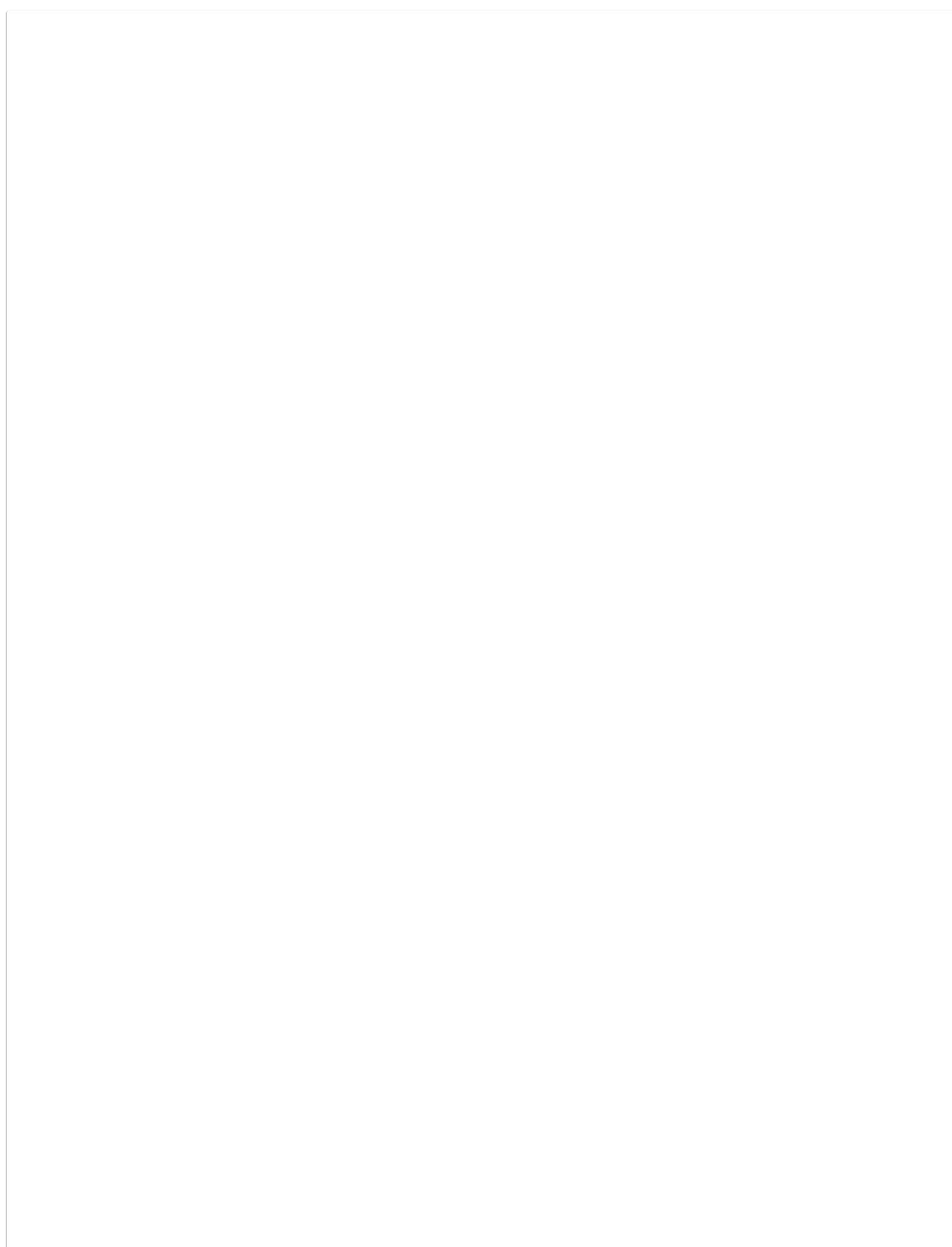


图 8-4 本项目拟建址及周围环境  $\gamma$  辐射水平检测点位示意图（三）

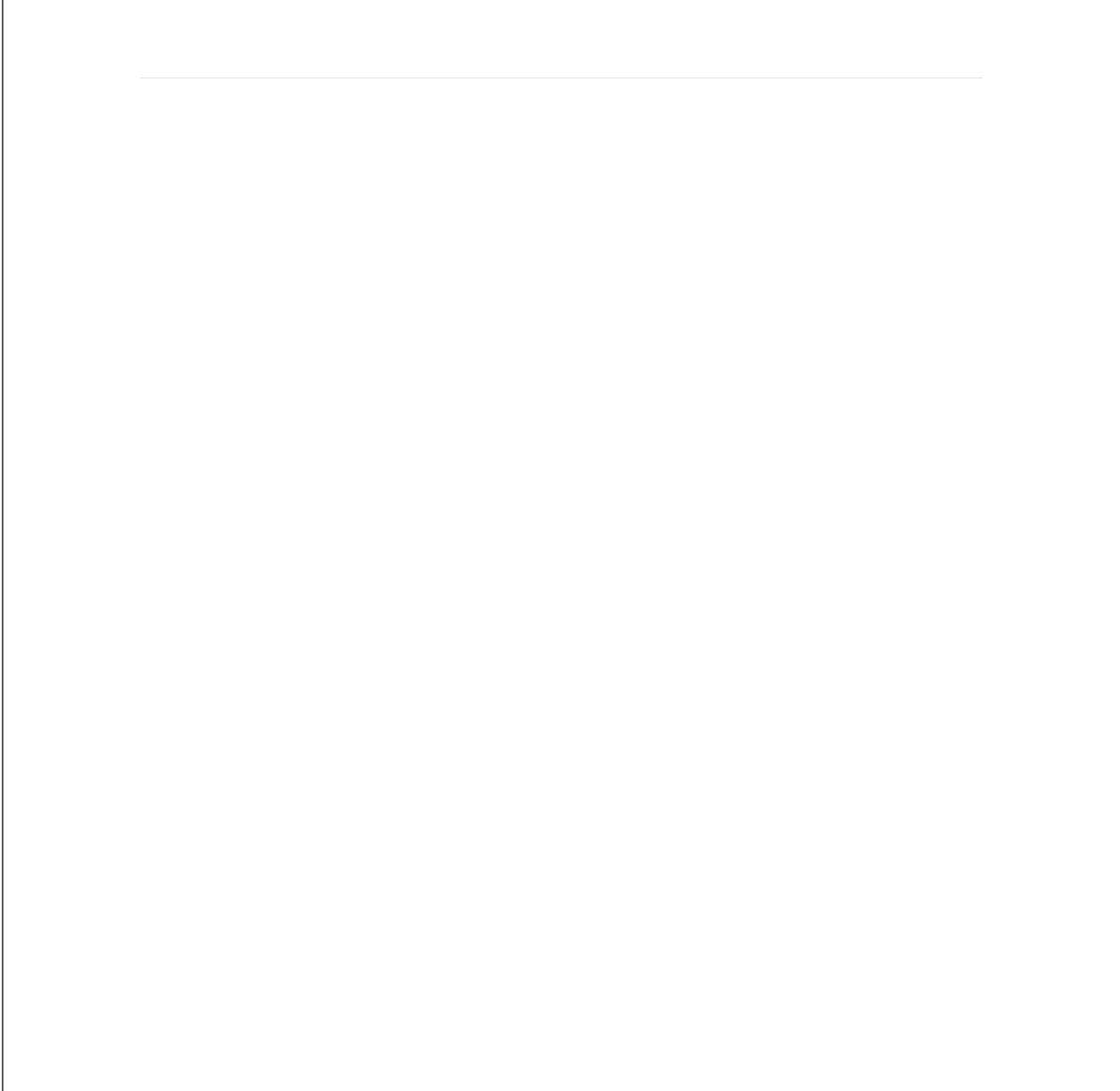


图 8-5 本项目拟建址及周围环境  $\gamma$  辐射水平检测点位示意图（四）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 放疗中心

9.1.1.1 设备组成及工作方式

1、直线加速器

(1) 设备组成

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。直线加速器主要由机架组件、照射头、加速管、微波功率源、微波传输系统、电子枪、束流系统、真空系统、恒温水冷却系统、电源及控制系统、治疗床等组成。

①加速管

加速管是医用电子直线加速器的核心部分，电子在加速管内通过微波电场加速。加速管主要有两种基本结构——盘荷波导加速管和边耦合加速管。

②微波功率源

微波功率源有两种，磁控管和速调管，行波医用电子直线加速器和低能医用电子直线加速器使用磁控管作为微波功率源，中高能驻波医用电子直线加速器使用速调管作为功率源。

③微波传输系统

微波传输系统主要包括隔离器、波导窗、波导、取样波导、输入输出耦合器、三端或四端环流器、终端吸收负载、频率自动稳频等组成。

④电子枪

电子枪为医用电子直线加速器提供被加速的电子，行波医用电子直线加速器的电子枪的阴极采用钨或钍钨制成，有直热式，间接式和轰击式三种加热方式，驻波医用电子直线加速器的电子枪由氧化物制成。

⑤束流系统

束流系统有偏转线圈、聚焦线圈等组成，可控制束流的方向，提高束流的品质。

⑥真空系统

真空系统为被加速的电子不因与空气中的分子相碰而损失掉提供保证，一般使用离子泵保持医用电子直线加速器的运行真空。

⑦恒温水冷却系统

恒温水冷却系统带走微波源等发热部件产生的热量，为保证整个系统恒温，恒温水冷却系统需要一定的水流压力和流量。

⑧机架组件、照射头、电源及控制系统、治疗床属于应用部分。

本项目拟购的直线加速器型号未定，根据建设单位提供资料，本项目拟配备自带 kVp 级 CBCT 的直线加速器，其兼备的锥形束 CT（CBCT）能在治疗过程中实时监测肿瘤位置，提高放疗的精准度，常见带 CBCT 的直线加速器外观见图 9-1，典型医用直线加速器示意图及内部结构图分别见图 9-2 和图 9-3。

直线加速器和 CBCT 不同时出束，CBCT 的 kV 级成像 X 射线和治疗用 MV 级高能 X 射线，在硬件层面设置独立的出束联锁回路，系统会强制判定两种模式互斥：启动 CBCT 扫描前，治疗 X 射线的出束回路会被物理切断；反之，治疗 X 射线出束期间，CBCT 的射线管高压回路会被强制锁定，从根源上避免直线加速器和 CBCT 同时出束。

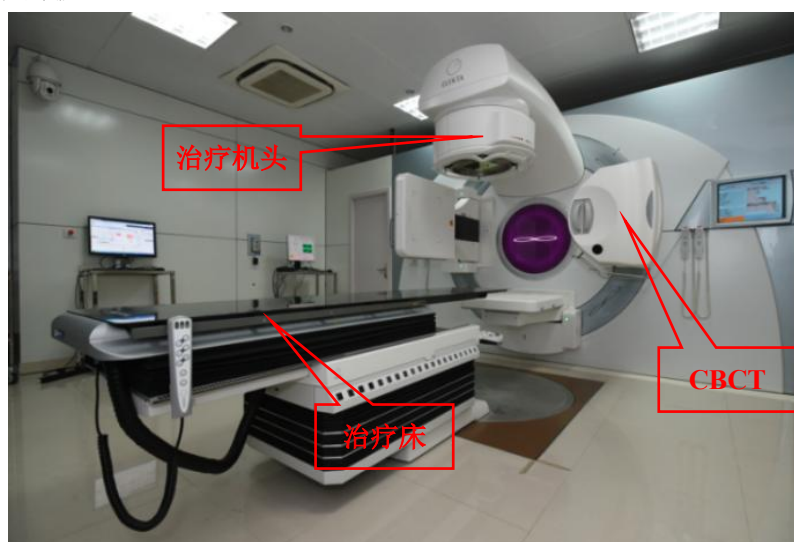


图9-1 常见直线加速器外观示意图

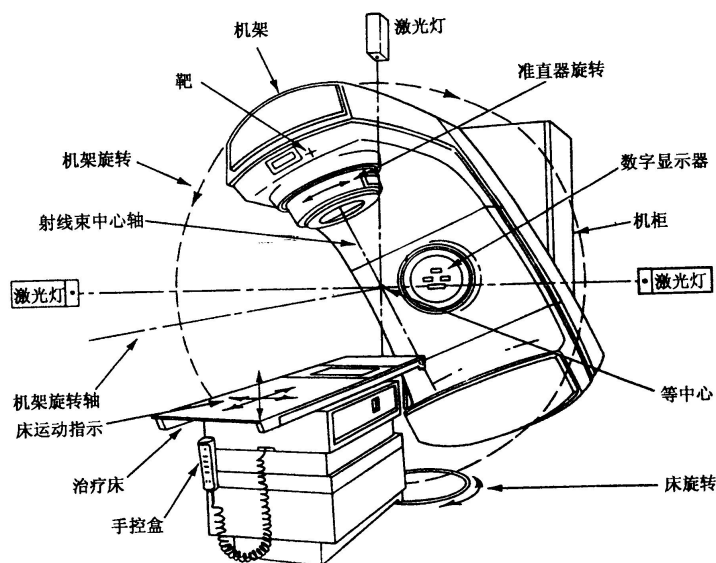


图 9-2 典型医用直线加速器示意图

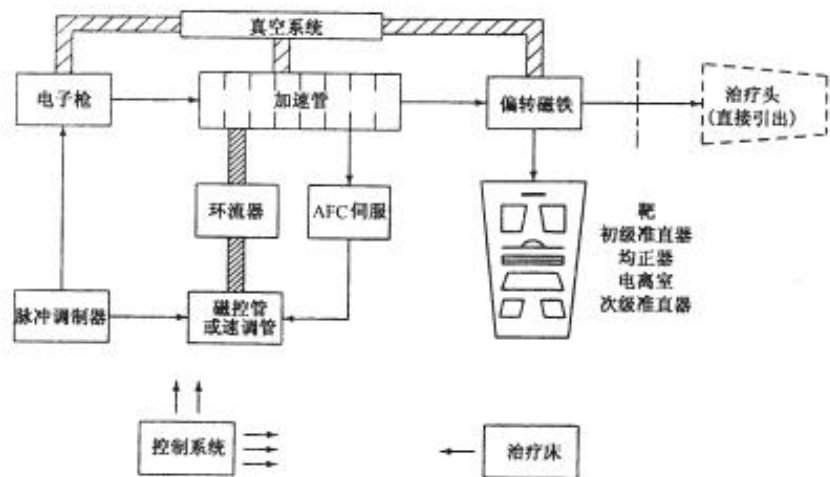


图 9-3 典型医用直线加速器结构图

本项目直线加速器属于 II 类射线装置，自带 CBCT 的最大管电压为 150kV、最大管电流为 500mA，加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目直线加速器技术参数一览表

| 项目                | 参数                                                      |
|-------------------|---------------------------------------------------------|
| 设备型号              | 未定                                                      |
| 加速器粒子             | 电子                                                      |
| 最大能量              | X 射线：10MV，电子线：22MeV                                     |
| 距靶 1m 处 X 射线最大剂量率 | X 射线最高剂量率为：1320Gy/h（10MV FFF 模式）<br>840Gy/h（6MV FFF 模式） |
| 距靶 1m 处电子线最大剂量率   | 360Gy/h                                                 |
| 泄漏 X 射线           | 在所有的方向上，距离电子加速路径 1 m 处的 X 线吸收剂量，<br>均不超过等中心处吸收剂量的 0.1%  |
| 最大照射野             | 40cm×40cm                                               |
| 最大源轴距             | SAD = 100cm                                             |
| 射线最大出射角           | 28°                                                     |
| 机架旋转              | 360°                                                    |
| 靶材料               | 钨合金                                                     |
| 等中心点离地高度          | 1250mm                                                  |

## （2）工作方式

本项目直线加速器工作场所拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与治疗机房分开设置，操作技师在控制室内通过控制系统操作直线加速器开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

## 2、后装机

### （1）设备组成

后装机即近距离后装治疗机，是使用放射性核素产生的射束治疗肿瘤的设备。它的功能是近距离放射治疗，后装治疗机的结构组成为：施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备和施源器、治疗床，部分一体化后装治疗主机配有定位用 X 射线 C 形臂。

本项目拟购的后装机型号未定，根据建设单位提供资料，拟购的后装机使用放射源  $^{192}\text{Ir}$  进行照射治疗，初始最大装源活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ （10Ci），属于 III 类放射源。常见后装机外观见图 9-4。



图 9-4 常见后装机外观示意图

### （2）工作方式

本项目后装机工作场所拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与治疗机房分开设置，操作技师在控制室内通过控制系统操作后装机开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

## 3、模拟 CT 机

### （1）设备组成

模拟 CT 机是在肿瘤放射治疗中制订放疗计划的关键设备之一，其主要作用是在进行真正的放射治疗前，需要采集患者肿瘤组织和正常解剖结构等信息，以确定肿瘤范围和正常危及器官的位置，为制订放射治疗计划做准备。

常规模拟定位机主要由主机、支臂、机柜、诊断床、操作台、X 射线高频高压发生装置、X 射线球管、影像增强系统、专用图像处理系统、多功能数字化工作站组成；模拟 CT 是以 CT 为基础的模拟定位系统，CT 模拟定位系统由 1 台 CT 扫描机、一套虚拟定位及计划系统和一套三维（或四维）移动激光射野模拟系统三部分组成。

本项目模拟 CT 机型号未定，根据建设单位提供资料，拟购置的模拟 CT 机的最大管

电压为 140kV，最大管电流为 800mA，属于 III 类射线装置。常见模拟 CT 机外观见图 9-5。



图 9-5 常见模拟 CT 机外观图

## (2) 工作方式

本项目模拟 CT 机工作场所拟配套相应的机房和控制室，控制室与模拟 CT 机房分开设置，操作技师在控制室内通过控制系统操作模拟 CT 机开展模拟定位，其采取的是隔室操作的工作方式。

### 9.1.1.2 工作原理、工艺流程及产污环节

#### 1、直线加速器

##### (1) 工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些，便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗二种。前者剂量较大，照射较彻底，适用于较早期及部分晚期患者，以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者，多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量，以达改善症状，减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

本项目拟配置的直线加速器最大能量为 10MV，其有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X 线治疗模式，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。

直线加速器自带的 CBCT 是一种特殊的 X 射线成像技术，常用于放疗中的影像引导。它通过围绕患者旋转并拍摄多个角度的 X 射线图像，然后通过计算机重建出三维图像。CBCT 的优势在于其快速成像和较低的辐射剂量，特别适用于放疗中的实时影像引导，帮助医生更准确地定位肿瘤和正常组织，从而提高治疗精度。

## **(2) 工艺流程及产污环节分析**

医用电子直线加速器进行肿瘤放射治疗的基本流程为：

①模拟定位：先通过放疗中心模拟 CT 对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和射野大小，拍片定位。

②候诊登记：对已做模拟检查的患者进行登记候诊。

③制定治疗计划：根据患者所患疾病性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间等治疗计划；

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

⑤实施治疗：根据已制定的诊疗计划，实施照射。

⑥治疗结束。

加速器工作人员进行肿瘤放射治疗时正常的开机治疗程序为：

①检查辐射安全设施的有效性，确保各项辐射安全措施正常运行。

②核对病人的姓名和治疗数据，病人按要求进入机房，工作人员按治疗单要求摆位，除病人外全部离开治疗室，关闭机房门。

③治疗位置的验证和修正：治疗开始前开启 CBCT 出束扫描获得即时的影像图像，用来和定位时的 CT 图像做配比，比较实际位置与计划位置的差异，如果差异较大，则通过直线加速器六维床进行位置修正。CBCT 开机出束时会产生 X 射线、少量臭氧和氮氧化物。

④确认无误后，输入治疗参数。

⑤开启直线加速器出束治疗，在治疗中通过监视系统和对讲系统，密切监视患者体位是否移动，如果发现患者体位移动或发出求助信息，则立即停止治疗并做相应处理，纠正后再行照射。开机治疗过程会产生 X 射线、电子线和少量的臭氧、氮氧化物。

⑤治疗结束关机，开门，病人离开机房。

医用直线加速器肿瘤放射治疗工艺流程及产污环节示意图 9-6。

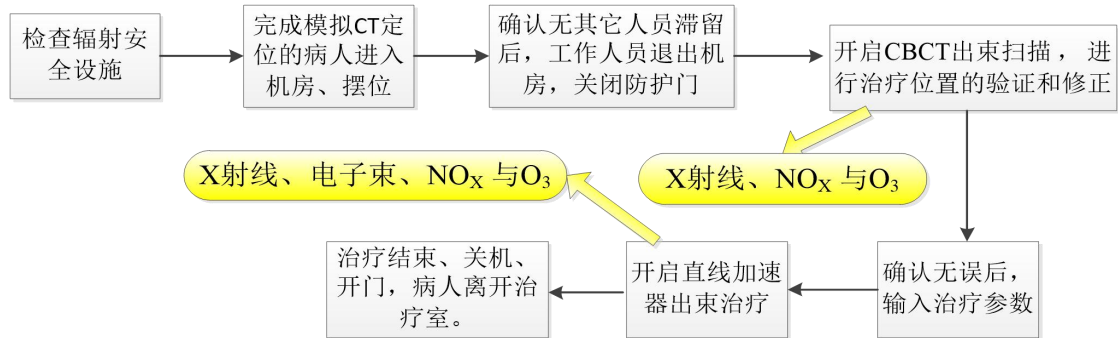


图 9-6 医用直线加速器肿瘤放射治疗工艺流程及产污环节示意图

## 2、后装机

### (1) 工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。

后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使 $\gamma$ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，广泛应用于治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤。

### (2) 工艺流程及产污环节分析

- ①模拟定位：使用放疗中心模拟 CT 对患者的病变部位进行拍片检查，详细定位；
- ②计算射线强度：根据患者所患疾病部位和大小确定照射剂量和照射的时间；
- ③实施照射：根据已制定的诊疗计划，实施照射，治疗期间会产生 $\gamma$ 射线以及少量的臭氧和氮氧化物；
- ④治疗结束。

后装机治疗工艺流程及产污环节见图 9-7。

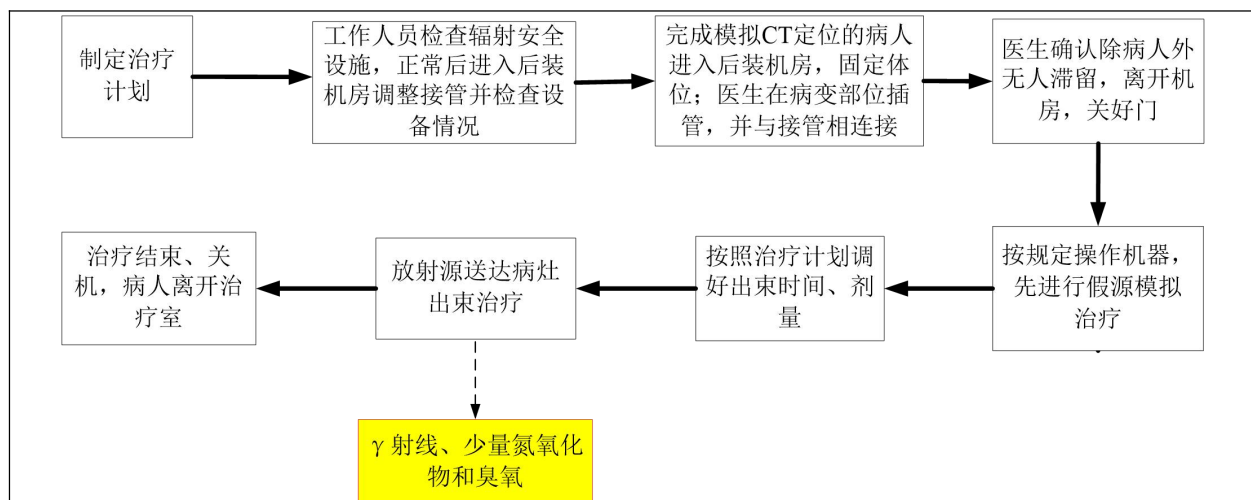


图 9-7 后装机治疗工艺流程及产污环节示意图

### 3、模拟 CT

#### (1) 工作原理

CT 的核心部件是 X 射线管, X 射线管是一个内真空的玻璃管, 其中一端是作为电子源的阴极, 另一端是嵌有靶材料的阳极。当两端加有高压时, 阴极的灯丝热致发射电子。由于阴极和阳极两端存在电位差, 电子向阳极运动, 形成静电式加速, 获取能量。具有一定动能的高速运动电子, 撞击靶材料, 产生大量 X 射线。

CT 是利用 X 射线束对人体某部一定厚度的层面进行扫描, 由探测器接收透过该层面的 X 射线, 转变为可见光后, 由光电转换变为电信号, 再经模拟/数字转换器转为数字, 输入计算机处理。图像形成的处理有如对选定层面分成若干个体积相同的长方体, 称之为体素。扫描所得信息经计算而获得每个体素的 X 射线衰减系数或吸收系数, 再排列成矩阵, 即数字矩阵, 数字矩阵可存贮于磁盘或光盘中。经数字/模拟转换器把数字矩阵中的每个数字转为由黑到白不等灰度的小方块, 即像素, 并按矩阵排列, 即构成 CT 图像。

CT 的工作程序是根据人体不同组织对 X 线的吸收与透过率的不同, 应用灵敏度极高的仪器对人体进行测量, 然后将测量所获取的数据输入电子计算机, 电子计算机对数据进行处理后, 就可摄下人体被检查部位的断面或立体的图像, 发现体内任何部位的细小病变。

模拟 CT 的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动, 都与医用加速器一样, 因此它能准确地模拟加速器的一切机械运动。并通过 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数, 以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数, 为治疗摆位提供了有力的依据, 确保放射治疗的正确实施。

#### (2) 工艺流程及产污环节分析

模拟定位的全过程包括体位确定、固定，建立原始坐标系，图像采集、传输、重建，靶区勾画和确定，射野选择和布置，射野等中心确定和并将原始坐标系原点移至等中心等一系列步骤，模拟定位的工艺流程及产污环节见图 9-8。

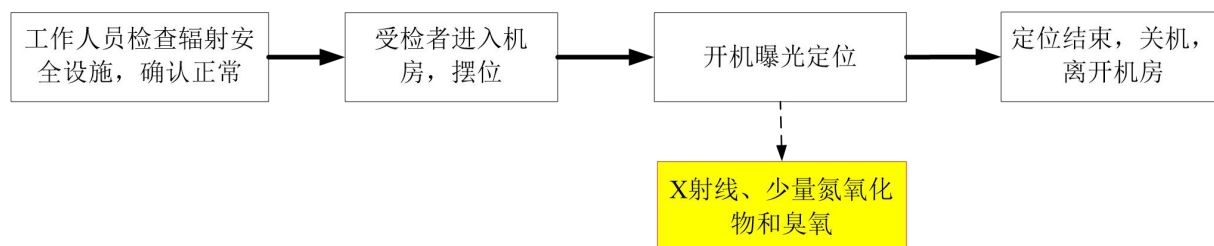


图 9-8 模拟定位工艺流程及产污环节示意图

## 9.1.2 手术部 DSA 和移动 CT、内镜中心 ERCP 用 X 光机

### 9.1.2.1 设备组成及工作方式

#### 1、设备组成

##### (1) 手术部 DSA 和移动 CT

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机。DSA 成像系统按功能和结构划分，主要由五部分构成：X 线发生装置、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和检查床、影像存储和传输系统。

##### ① X 线发生装置

X 线发生装置主要包括 X 线球管、高压发生器和 X 线遮光器。介入治疗需要连续发射 X 射线，要求有较高的球管热容量和散射率，因此 DSA 必须具有阳极热容量在 1MHU 以上、具有大小焦点的 X 线球管。此外，还需具有一个能产生高千伏、短脉冲和恒定输出的高压发生器、X 线遮光器用来限制 X 线照射视野，避免患者接受不必要的辐射。

##### ② 影像检测和显示系统

影像检测和显示系统用于将 X 线信息影像转换成可见影像。目前数字成像系统共有两种：影像增强器和平板探测器。影像增强器接收穿过人体的 X 线并转换为亮度增强数千倍的输出图像后，经摄像机转换为电子图像，再经 A/D 转换成数字图像；而平板探测器是直接接收穿过人体的 X 线信息后转换成数字图像。现代大型 DSA 设备普遍使用平板探测器，其转换环节少，减少了噪声，使 X 线光子信号的损失降到了最低限度，大大提高了光电转换效率。不但保证了优质的图像质量，而且降低了射线剂量。

##### ③ 影像处理和系统控制部分

DSA 影像被数字化后，则需进行各种算术逻辑运算，并对减影的图像进行各种后处理。计算机系统是 DSA 的关键部件，具有快速处理能力，主要对数字影像进行对数变换处理、时间滤波处理和对对比度增强处理。系统控制部分具有多种接口，用于协调 X 线机、

机架、计算机处理器和外设联动等。

#### ④机架系统和检查床

机架系统有悬吊式和落地式两种，各有利弊，可根据工作特点和机房情况选择。检查床具有手术床和透视诊断床两种功能，多采用高强度、低衰减系统的碳素纤维床面，减少对X线的吸收。

#### ⑤影像存储和传输系统

影像存储和传输系统采用在线存储和近线存储两种存储方式，充分利用网络技术实现影像资料的共享，方便随时调阅，更加高效的交流和管理DSA影像信息。

DSA在工作时，能够实现曝光采集及透视功能。目前主流的DSA多采用脉冲透视功能，能够实现短时间、低电压、大电流连续脉冲式动态采集。同时还能自动根据成像区衰减状态调整kV、mA等参数，使X射线管保持最佳负荷状态，在安全辐射剂量范围内获取最佳图像质量。

移动CT通过病床与扫描机架的相对移动实现对病人的扫描。移动CT的使用原理与传统的螺旋CT大致相同，主要由扫描机架、检查床、控制台三部分构成。各个部分安装有万向轮，按照实际情况可通过推拉移动进行分开。移动CT机架内安装了所有成像所需的重要部件，如X线球管、发射器、探测器等，并且内置驱动系统。移动CT可以在离开监护环境下对患者进行及时检查，避免了转运患者过程中的风险。

本项目手术部拟新建一间DSA复合手术室、一间CT机房、一间CT停车间及配套，在DSA复合手术室内配备1台DSA，并配套1台移动CT，开展放射诊断和介入治疗。DSA固定在手术室内使用，复合手术室、CT机房、CT停车间之间设置有地面轨道，CT日常停放在CT停车间，根据放射诊疗需要，可通过轨道移动至CT机房内开展普通放射诊断，也可移动至DSA复合手术室内使用，完成对患者病变位置的检查，为医生提供全方位的辅助。复合手术室不但可以减少患者在术中移动的风险，更可以对手术的治疗情况进行实时评估，从而指导手术实施，提高手术成功率。手术时，DSA与CT不同时曝光。

本项目拟配备的DSA和移动CT型号未定，根据建设单位提供资料，拟配备的DSA为单X射线球管，且为下球管，最大管电压为125kV、最大管电流为1000mA，属于II类射线装置；拟配备的移动CT最大管电压为140kV、最大管电流为800mA，属于III类射线装置。常见DSA外观见图9-9，常见移动CT外观见图9-10，常见DSA复合CT手术室见图9-11。

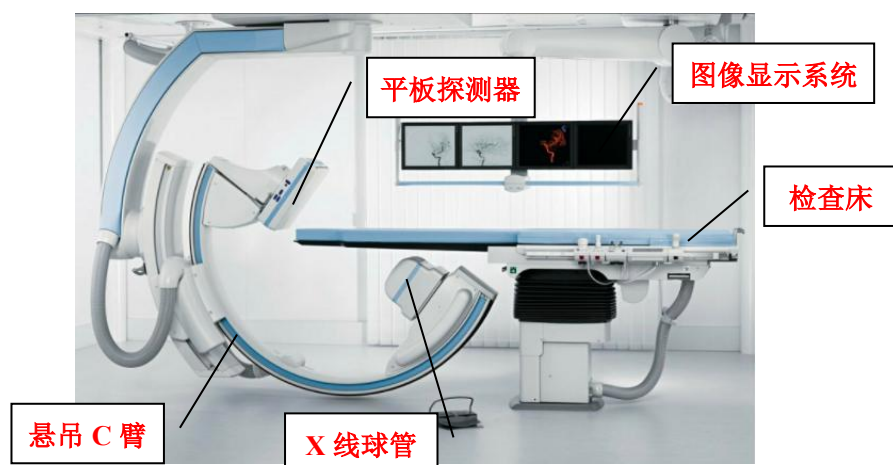


图9-9 常见DSA外观示意图



图9-10 常见移动CT外观示意图

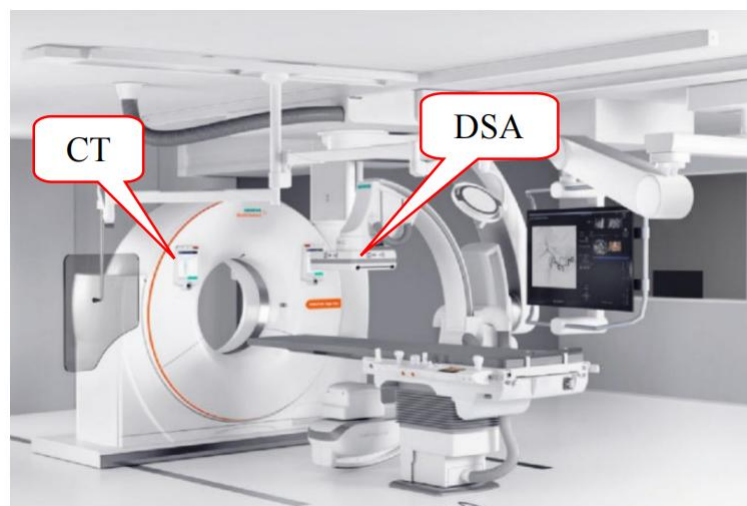


图9-11 常见DSA复合CT手术室示意图

## **(2) ERCP用X光机**

ERCP 是经内镜逆行胰胆管造影的英文首写字母（Endoscopic Retrograde Cholangio-Pancreatography, ERCP），是指将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后进行 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。在 ERCP 的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切开术（EST）、内镜下鼻胆汁引流术（ENBD）、内镜下胆汁内引流术（ERBD）等介入治疗。开展 ERCP 需要配备诸如电子十二指肠镜、ERCP 用 X 光机、造影导管及其附件、（非）离子造影剂、生命体征监护设备以及患者与操作医生的防护设备等，ERCP 用 X 射线机一般为大型数字减影血管造影机或移动式 C 形臂 X 射线机，其设备组成及功能与 DSA 基本相同。

本项目拟配备的 ERCP 用 X 光机型号未定，根据建设单位提供资料，本项目拟配备的 ERCP 用 X 光机为单 X 射线球管，且为下球管，最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置。

### **2、工作方式**

本项目 DSA 和 ERCP 均拟配套相应的机房和控制室，控制室与机房分开设置，在进行曝光时可分为减影和透视两种情况：

①减影检查：减影是操作人员采取隔室操作的方式（即操作人员在控制室内对患者进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况，并通过对讲系统与患者交流，曝光并通过电子计算机处理后得到最终的减影图像，医生根据减影图像对患者的病情进行诊断；

②介入治疗：透视是患者需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用脉冲透视，此时介入医生位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接的介入手术操作。

本项目移动 CT 用于放射诊断，拟配套相应的机房和控制室，控制室与机房分开设置，操作人员在控制室内通过控制系统操作移动 CT 开机曝光，其采取的是隔室操作的工作方式。

### **9.1.2.2 工作原理、工艺流程及产污环节**

#### **1、手术部DSA和移动CT**

##### **(1) 工作原理**

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的成像基本原理为：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影X射线荧光图像，经电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，最终获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过DSA

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。

本项目拟配备平板探测器型DSA，其成像原理为：①曝光前对非晶硒两面的偏置电极板预先施加1~5000V正向电压形成偏执电场，像素矩阵处于预置初始状态；②X线曝光时在偏执电场作用下形成电流→垂直运动→电荷采集电极→给储存电容充电；③读取 TFT 储存电容内的电荷→放大→A/D转换成数字信号→计算机运算→形成数字图像；④消除残存电荷，其系统结构示意图见图9-12。

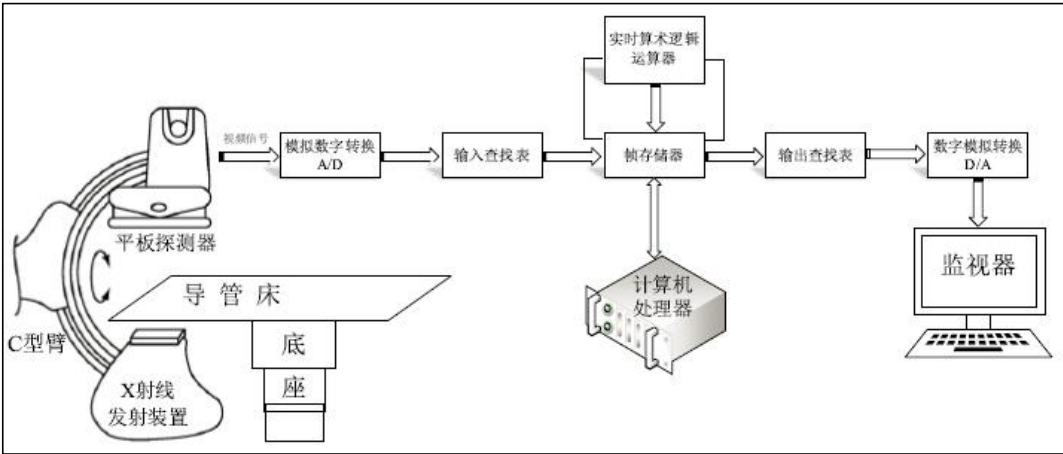


图 9-12 平板探测器型 DSA 系统结构图

移动CT工作原理与模拟CT类似。

**(2) 工艺流程及产污环节**

**DSA**

本项目 DSA 单独使用时，工艺流程及产污环节见图 9-13，具体如下：

- ①工作人员检查辐射安全设施，确认正常后开展工作。医生穿戴铅衣等个人防护用品，做好准备工作后进入机房，按工作程序完成所有准备工作，包括给患者摆位；
- ②为患者病变部位拍摄普通片，并在脉冲透视下插入导管至目标部位，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；
- ③然后通过导管加压输送造影剂，并拍摄造影片，拍片过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；
- ④医护人员根据减影图像进行诊断，无需介入治疗的患者离开机房，需要介入治疗的患者进行介入手术；
- ⑤医护人员在 DSA 引导下为患者进行介入手术，手术结束后，患者离开机房，此过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物。

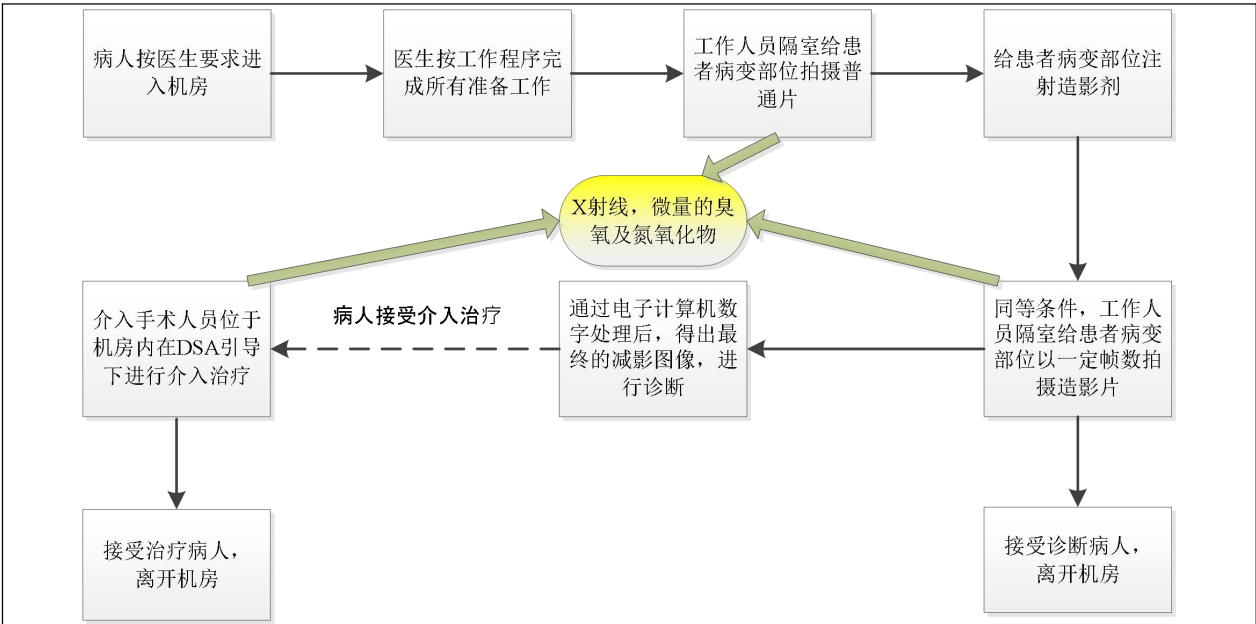


图 9-13 本项目 DSA 工艺流程及产污环节示意图

移动CT

本项目移动 CT 经轨道移动至 CT 机房内单独使用时，工艺流程及产污环节见图 9-14。

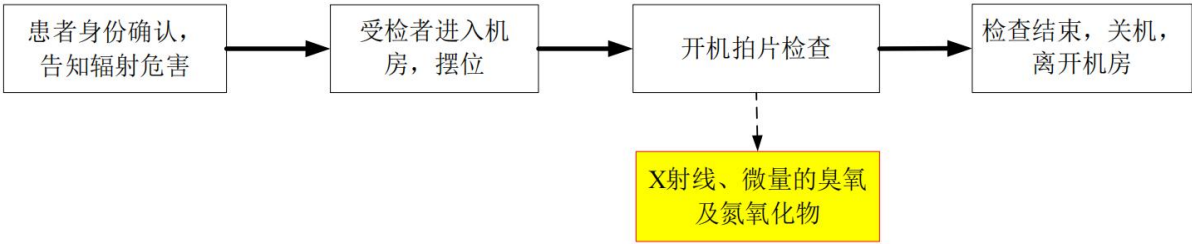


图9-14 本项目移动CT工艺流程及产污环节示意图

DSA+移动CT

本项目 DSA 复合 CT 使用时，其工艺流程及产污环节见图 9-15，具体如下：

- ①医生穿戴铅衣等个人防护用品，做好准备工作后进入机房，按工作程序完成所有准备工作；
- ②为患者病变部位拍摄普通片，并在脉冲透视下插入导管至目标部位，拍片过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；
- ③然后通过导管加压输送造影剂，并拍摄造影片，拍片过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；
- ④医护人员根据减影图像进行诊断，需要介入治疗的患者在 DSA 复合手术室内进行介入手术，介入手术时会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；
- ⑤在介入手术前、中、后都可能需要 CT 拍片检查，需要 CT 拍片检查时，由控制室

技师通过开门按钮打开 CT 停车间与 DSA 复合手术室之间的电动防护门，CT 沿着滑轨滑至 DSA 手术床旁；

⑥关闭两室之间电动防护门，所有医护人员退出 DSA 复合手术室，按照 CT 的操作规程进行隔室拍片，CT 拍片过程会产生 X 射线和微量的臭氧、氮氧化物；

⑦CT 诊断完成后，打开两室之间电动防护门，CT 沿滑轨滑回 CT 停车间，并关闭两室之间电动防护门，还需要继续进行手术的，介入手术医生进入 DSA 复合手术室继续进行介入手术；

⑧手术结束后，患者离开机房。

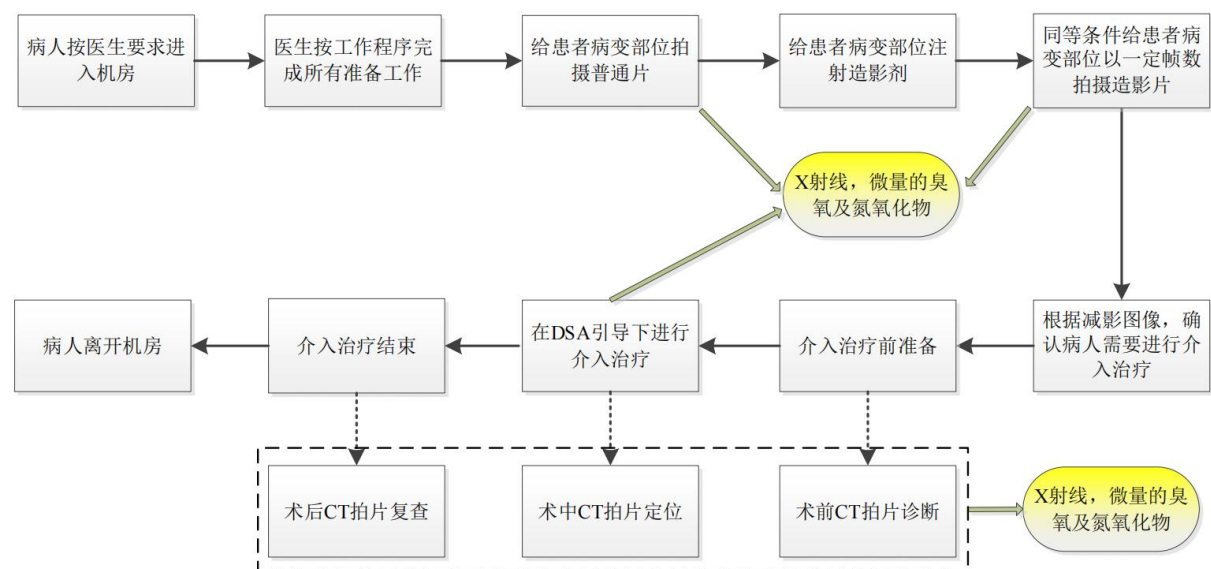


图 9-15 本项目 DSA 复合 CT 工艺流程及产污环节示意图

## 2、ERCP用X光机

### (1) 工作原理

ERCP 用 X 光机的核心部件为 X 射线发生器，成像基本原理是：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的胆管或胰管造影 X 射线荧光图像，经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯胆管或胰管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 ERCP 处理的图像，使胆管或胰管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管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。

## (2) 工艺流程及产污环节

本项目 ERCP 工艺流程及产污环节与 DSA 一致，具体见图 9-13。

### 9.1.3 劳动定员和工作负荷

#### 9.1.3.1 劳动定员

本项目拟新招聘辐射工作人员，放疗中心直线加速器、后装机、模拟 CT 拟配备至少 12 名辐射工作人员，包括 6 名技师、2 名医师、2 名物理师、2 名护士，人员均不兼职其他辐射工作。直线加速器或后装机治疗、模拟 CT 定位期间，均由 2 名人员共同协助操作。

手术部 DSA 和移动 CT 拟配备至少 7 名辐射工作人员，包括 3 名技师、1 名护士、2 名医师，3 名技师共同负责移动 CT 和 DSA 的操作，单台 DSA 介入手术由 2 名医师在机房内共同开展；内镜中心 ERCP 拟配备至少 5 名辐射工作人员，包括 2 名技师、1 名护士、2 名医师，单台 ERCP 介入手术由 2 名医师在机房内共同开展。技师和护士在控制室内工作，不进入机房，拍片时，医师在控制室内，不进入机房，透视时，医师在机房内开展介入手术。

#### 9.1.3.2 工作负荷

本项目工作人员均实行白班制，每周工作 5 天，每年工作 50 周，除本职工作外，人员均不兼职其他辐射工作。根据建设单位提供资料，直线加速器预计工作时间见表 9-2，后装机预计工作时间见表 9-3，ERCP、DSA、CT 预计工作时间见表 9-4，ERCP、DSA、CT 实际运行工况见表 9-5。

表 9-2 直线加速器预计工作时间一览表

| 设备名称  | 数量  | 日最大门诊量 | 平均每次治疗照射时间 | 周最大出束时间 | 年最大出束时间 | 备注            |
|-------|-----|--------|------------|---------|---------|---------------|
| 直线加速器 | 1 台 | 60 人次  | 4min       | 20h     | 1000h   | 包含常规出束和调强出束时间 |

注：直线加速器单次常规治疗约 2min，调强治疗约 3~4min，CBCT 出束时间约 20s~60s，本项目平均每次治疗照射时间保守取 4min（包含 CBCT 出束时间）。

表 9-3 后装机预计工作时间一览表

| 设备名称 | 数量  | 日最大门诊量 | 平均每次治疗照射时间 | 周治疗照射时间 | 年治疗照射时间 |
|------|-----|--------|------------|---------|---------|
| 后装机  | 1 台 | 20 人次  | 6min       | 10h     | 500h    |

表 9-4 ERCP、DSA、CT 预计工作时间一览表

| 设备名称          | 年最大门诊/手术量 | 单台手术平均曝光时间 |    | 年最大出束时间 |    | 每组介入手术医生年最大手术台数 | 每组介入手术医生年透视最大照射时间 |
|---------------|-----------|------------|----|---------|----|-----------------|-------------------|
|               |           | 拍片         | 透视 | 拍片      | 透视 |                 |                   |
| 放疗中心<br>模拟 CT | 6000 台    | 1min       | /  | 100h    | /  | /               | /                 |

|                          |        |      |       |     |      |       |      |
|--------------------------|--------|------|-------|-----|------|-------|------|
| 手术部 DSA                  | 300 台  | 1min | 20min | 5h  | 100h | 300 台 | 100h |
| 手术部移动 CT<br>(DSA 复合手术室内) | 300 台  | 1min | /     | 5h  | /    | /     | /    |
| 手术部移动 CT<br>(CT 机房内)     | 1200 台 | 1min | /     | 20h | /    | /     | /    |
| 内镜中心 ERCP 用 X 光机         | 300 台  | 1min | 10min | 5h  | 50h  | 300 台 | 50h  |

表 9-5 本项目 ERCP、DSA、CT 实际运行工况一览表

| 设备名称                       | 实际运行时最大管电压 (kV) |       | 实际运行时最大管电流 (mA) |      |
|----------------------------|-----------------|-------|-----------------|------|
|                            | 拍片              | 透视    | 拍片              | 透视   |
| 手术部 DSA                    | 60~80           | 60~80 | 100~500         | 5~20 |
| 内镜中心 ERCP 用 X 光机           | 60~80           | 60~80 | 100~500         | 1~5  |
| 放疗中心<br>模拟 CT、手术部<br>移动 CT | 40~120          | /     | 50~300          | /    |

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 放射性污染

#### 9.2.1.1 直线加速器

##### (1) X 射线

本项目拟配备的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到靶上，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。

本项目加速器距靶 1m 处最高 X 线剂量率为 1320Gy/h (10MV FFF 模式)，由于 X 射线的贯穿能力极强，未完全屏蔽的情况下会对工作人员、公众及周围环境造成辐射影响。

直线加速器自带 kVp 级 CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 500mA，射线能量远低于治疗用 X 射线，对机房外的辐射影响也远低于治疗用 X 射线。

##### (2) 电子束

当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，最大能量为 22MeV，距靶 1m 处的最高电子线剂量率为  $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子线对机房外辐射影响小于 X 射线治疗。

(3) 中子及感生放射性

本项目拟配备的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，根据《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），机房外可不考虑中子的辐射影响。

加速器机房内空气活化产生的放射性核素大部分半衰期都小于 1 分钟，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在的时间较短，且本项目加速器 X 射线能量不超过 10MV，机房内活化产生的放射性气体较少，可不考虑感生放射性气体；加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是  $^{15}\text{O}$  和  $^{13}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 10min，很短的时间其活度就可衰减到可忽略的水平，且本项目加速器 X 射线能量不超过 10MV，冷却水被活化产生的放射性核素活度较低，可不考虑感生放射性废水。

加速器电子线最大能量为 22MeV，与机头钨部件作用产生大于 10MeV 的光子，超过钨光核反应能量阈值，会导致光核反应的发生，靶物质经长期照射后，会积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的废机头部件应作为感生放射性固废进行处置。

综上，本项目直线加速器开机期间，机房外主要考虑治疗用 X 射线的辐射影响。

9.2.1.2 后装机

(1) 辐射

本项目后装机使用的  $^{192}\text{Ir}$  放射源衰变时产生一定能量的  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线。后装机采用不锈钢结构制造，治疗室采用混凝土浇筑，而  $\beta$  射线在混凝土和钢中的射程仅有几厘米，故评价时不考虑  $\beta$  射线的影响。而  $^{192}\text{Ir}$  放射源产生的  $\gamma$  射线具有很强的贯穿能力，在未完全屏蔽情况下，可能会穿透屏蔽材料对治疗室外环境构成辐射污染。

本项目后装机最大装源活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，出源治疗时所致 1m 处周围剂量当量率最大约为  $4.1 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 。 $^{192}\text{Ir}$  放射性核素特性见表 9-6。

表 9-6 本项目  $^{192}\text{Ir}$  放射性核素特性一览表

| 核素种类              | 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 (%) | 周围剂量当量率常数 ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ) |
|-------------------|-----|----------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| $^{192}\text{Ir}$ | 74d | $\beta^-$ (95.13)<br>$\epsilon$ (4.87) | 538.3 (41.43)<br>675.1 (48.0)              | 316.5 (82.75)<br>468.1 (47.81)      | 0.111                                                                     |

|  |  |  |             |                                                                                                                          |  |
|--|--|--|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  | 258.7 (5.6) | 308.5 (29.68)<br>296.0 (28.72)<br>604.4 (8.2)<br>612.4621 (5.34)<br>588.5810 (4.517)<br>XK <sub>a1</sub> : 66.832 (4.57) |  |
|--|--|--|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## (2) 退役废源

后装治疗机在正常运行过程中不产生放射性固体废弃物，但随着核素的自然衰变，<sup>192</sup>Ir 放射源的活度不断降低，当 <sup>192</sup>Ir 放射源辐射水平不能满足治疗肿瘤需要时，就必需更换 <sup>192</sup>Ir 放射源，从而产生报废或退役的 <sup>192</sup>Ir 废源。<sup>192</sup>Ir 的半衰期为 74 天，一般半年更换 1 次。

### 9.2.1.3 DSA、ERCP 用 X 光机、模拟 CT、移动 CT

根据 DSA、ERCP、CT 的工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。

由于 DSA、ERCP、CT 的 X 射线球管和探测器分别安装在被扫描组织的两侧，方向相对，球管出束口恒定朝向探测器照射，出束主射线在探测器成像范围（照射野范围）内，在对 X 射线探测时，均要求探测器具有对电离辐射的高阻断能力，要求所有入射到发光材料上的 X 射线尽可能多地被吸收，当 X 射线穿过探测器而没被吸收，就不会产生激发，从而影响成像效果，探测器对 X 射线球管主射线的吸收，使得机房的屏蔽估算无需再考虑主射线，这与《辐射防护手册》（第三分册）（P77）“3.3.3.2 医院放射科的建筑物与辐射防护”章节中“由于透视 X 线机的初级 X 线完全被荧光屏或影像增强器所捕集，只要对次级 X 线进行屏蔽。”的建议是一致的，与 NCRP147 号报告“4.1.6 Primary Barriers”的建议也是一致的，因此本项目 DSA 复合手术室和 CT 机房、ERCP 机房、模拟 CT 机房各侧屏蔽体主要考虑泄漏辐射和散射辐射的影响。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

## (1) 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，本项目 DSA、ERCP、CT 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率均取 1.0mGy/h。

## （2）散射线

本项目 DSA、ERCP、CT 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 射线散射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。DSA、ERCP、CT 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留有一定的裕量。根据建设单位提供资料，DSA、ERCP 正常运行时，使用的最大管电压为 80kV，CT 正常运行时，使用的最大管电压为 120kV。

本项目 DSA、ERCP、CT 的厂家、型号均未定，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 5.1.5 c）“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 2.5 mmAl”，其过滤材料均保守按 2.5mmAl 进行计算，本项目 DSA、ERCP 常用最大管电压为 80kV、CT 常用最大管电压为 120kV，根据《辐射防护导论》（方杰著）附图 3，由内插法可得，本项目 DSA、ERCP（管电压 80kV、过滤材料 2.5mmAl 的条件下）离靶 1 米处的发射率约为  $5\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ，CT（管电压 120kV、过滤材料 2.5mmAl 的条件下）离靶 1 米处的发射率约为  $10\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。具体源强汇总见表 9-7。

表 9-7 DSA、ERCP 用 X 光机、模拟 CT、移动 CT 污染源强汇总表

| 设备名称        | 常用最大管电压<br>(kV) | 离靶 1 米处的发射率<br>( $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | 泄漏辐射剂量率<br>( $\text{mGy/h}$ ) |
|-------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| DSA         | 80              | 5                                                                                   | 1.0                           |
| ERCP 用 X 光机 | 80              | 5                                                                                   | 1.0                           |
| 模拟 CT       | 120             | 10                                                                                  | 1.0                           |
| 移动 CT       | 120             | 10                                                                                  | 1.0                           |

## 9.2.2 非放射性污染源分析

### 9.2.2.1 放疗中心直线加速器、后装机、模拟 CT

#### （1）废气

项目运行期产生的废气主要为加速器运行时产生的 X 射线和电子线、后装机运行时  $^{192}\text{Ir}$  放射源发射出的  $\gamma$  射线、模拟 CT 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

#### （2）固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为加速器运行过程中产生的定位体模、一次性床单等医疗废物，后装治疗过程中产生的纱布、棉签、一次性床单等医疗废物，以及生活垃

圾。

(3) 废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

**9.2.2.2 手术部 DSA 和移动 CT、内镜中心 ERCP 用 X 光机**

(1) 废气

项目运行期产生的废气主要为射线装置运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

(2) 固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物和生活垃圾。

(3) 废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 放疗中心直线加速器、后装机、模拟 CT

10.1.1.1 工作场所布局与分区

1、工作场所布局

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、水冷机房等辅房，治疗机房与控制室、水冷机房等辅房分开设置，控制室位于机房南侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门，有用线束不向迷路和控制室照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；机房东墙、西墙、屋顶的防护屏蔽均能够满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽能够满足漏射线及散射线的屏蔽要求；治疗机房净面积约为 81.7m<sup>2</sup>（不含迷路），能确保加速器的临床应用需要。

本项目后装机工作场所设有治疗机房以及控制室、患者准备间等辅房，治疗机房与控制室、患者准备间等辅房分开设置，控制室位于机房南侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门；治疗机房净面积约为 33.6m<sup>2</sup>（不含迷路），能确保后装机的临床应用需要。

本项目直线加速器和后装机工作场所的布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗设备控制室应与治疗机房分开设置”、“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要”、“其他治疗机房均应设置迷路”等规定以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中要求，布局合理。

本项目模拟 CT 工作场所设有专用定位机房和控制室，控制室位于机房外，有用线束不直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求，布局合理。模拟 CT 机房内最小有效使用面积约为 30.25m<sup>2</sup>、最小单边长度为 5.11m，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房最小单边长度应不小于 4.5m、最小有效使用面积应不小于 30m<sup>2</sup>的要求。

2、工作场所分区

本项目拟对放疗中心直线加速器工作场所、后装治疗工作场所、模拟 CT 工作场所进行分区管理，在控制区入口处拟设置电离辐射警告标志，出束期间除病人外禁止任何人员进入，在监督区入口处设置表明监督区的标牌，出束期间禁止无关人员进入。本项目放疗中心辐射工作场所的两区划分见表 10-1 和图 10-1。

图 10-1 本项目放疗中心辐射工作场所控制区与监督区划分示意图

表 10-1 本项目放疗中心辐射工作场所的控制区和监督区划分一览表

| 场所名称       | 控制区      | 监督区                   |
|------------|----------|-----------------------|
| 直线加速器工作场所  | 直线加速器机房  | 机房南侧加速器控制室、水冷机房、患者准备间 |
| 后装治疗工作场所   | 后装治疗机房   | 机房南侧后装机控制室、患者准备间      |
| 模拟 CT 工作场所 | 模拟 CT 机房 | 机房南侧模拟 CT 控制室         |

放疗中心辐射工作场所的两区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

## 2、辐射防护设计

本项目直线加速器机房屏蔽防护设计参数见表 10-2，后装治疗机房屏蔽防护设计参数见表 10-3，模拟 CT 机房屏蔽防护设计参数见表 10-4，直线加速器机房、后装治疗机房平面及剖面布置示意图见附图 6，模拟 CT 机房平面布置见图 10-1。

表 10-2 本项目直线加速器机房屏蔽防护设计参数一览表

| 分类      |     |      | 设计厚度                | 宽度                   |
|---------|-----|------|---------------------|----------------------|
| 直线加速器机房 | 东墙  | 主屏蔽  | 3000mm 混凝土          | 3.95m，等中心点每侧各 1.975m |
|         |     | 次屏蔽  | 1800mm 混凝土          | /                    |
|         | 北墙  |      | 1800mm 砼            |                      |
|         | 西墙  | 主屏蔽  | 3000mm 混凝土          | 3.95m，等中心点每侧各 1.975m |
|         |     | 次屏蔽  | 1800mm 混凝土          | /                    |
|         | 南墙  | 迷路内墙 | 1500mm 混凝土          | /                    |
|         |     | 迷路外墙 | 1800mm 混凝土          | /                    |
|         | 顶部  | 主屏蔽  | 2400mm 混凝土          | 6m，等中心点每侧各 3m        |
|         |     | 次屏蔽  | 1800mm 混凝土          | /                    |
|         | 防护门 |      | 20mmPb+ 160mm 含硼聚乙烯 |                      |

注：混凝土的密度不低于  $2.35\text{g/cm}^3$ ，铅的密度为  $11.34\text{g/cm}^3$ ；顶部内凸部分主屏蔽宽度不能满足要求，因此顶部主屏蔽保守不考虑内凸部分。

表 10-3 本项目后装治疗机房屏蔽防护情况一览表

| 分类     |     |      | 设计厚度                                |
|--------|-----|------|-------------------------------------|
| 后装治疗机房 | 东墙  |      | 700mm 混凝土                           |
|        | 北墙  |      | 700mm 混凝土                           |
|        | 南墙  | 迷路内墙 | 700mm 混凝土                           |
|        |     | 迷路外墙 | 防护门东侧为 700mm 混凝土，西侧为 8mmPb 门套       |
|        | 西墙  |      | 1800mm 混凝土、3000mm 混凝土（与直线加速器机房东墙共用） |
|        | 顶部  |      | 700mm 混凝土                           |
|        | 防护门 |      | 8mmPb                               |

注：混凝土的密度不低于  $2.35\text{g/cm}^3$ ，铅的密度为  $11.34\text{g/cm}^3$ 。

表 10-4 本项目模拟 CT 机房屏蔽防护设计参数一览表

| 分类       |            | 设计厚度                       |
|----------|------------|----------------------------|
| 模拟 CT 机房 | 四周墙体       | 240mm 混凝土实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥砂浆 |
|          | 顶部         | 200mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥砂浆    |
|          | 防护门（共 2 扇） | 4mmPb                      |
|          | 观察窗        | 4mmPb 铅玻璃                  |

注：①混凝土实心砖密度不小于  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ ；砼密度不小于  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；硫酸钡水泥砂浆密度为  $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ；  
②模拟 CT 机房下方为土层。

为防止射线泄漏，本项目机房防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁或门套之间的缝隙设计小于 1cm，搭接尺寸不小于缝隙的 10 倍。直线加速器机房和后装治疗机房的控制电缆通过电缆沟连接至控制室，电缆沟埋地近似“U”型穿墙，埋地深度 40cm，消防泄压口、送风管道、排风管道均采用“Z”型从防护门上方的墙体或迷道东墙穿墙，穿墙管道设计见图 11-2 和图 11-3。

### 3、辐射安全和防护措施

为保障本项目直线加速器、后装机、模拟 CT 机的安全运行，避免在出束或出源期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目拟根据国家相关标准要求设计相应的辐射安全装置和保护措施。

#### （1）直线加速器工作场所

##### ①钥匙开关

操作台设有钥匙开关，决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制，钥匙由专人保管。

##### ②电离辐射警告标志和工作状态指示灯

加速器机房入口醒目处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速器联锁，加速器开机出束时指示灯亮。

##### ③门机联锁装置

加速器机房防护门拟设置门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启机房内的加速器，在机房内加速器出束状态下意外打开防护门，立即停止出束，关上门不能自动开始出束，同时防护门拟设置红外线光幕防夹装置，具有防挤压功能。

##### ④紧急停机按钮

加速器的治疗床、机房内不同方向的墙面合适位置及迷道内、防护门内侧、控制室的操作台上均拟设置急停开关，并在醒目处设置标签，标明使用方法，在人员误入机房或遭遇紧急情况时，按下任一处紧急停机按钮加速器能立即停止出束，防止误照射，紧

急停机按钮按下后需要手动复位。

### ⑤监控及对讲系统

加速器机房（包括迷道）内、加速器机房入口处拟安装视频监控探头，监控显示器位于控制室内，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、治疗床和迷路区域、机房入口处情况；控制室与机房之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

### ⑥紧急开门按钮

加速器机房的防护门为电动门，机房迷道内靠近防护门人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸。

### ⑦固定式辐射剂量监测系统

加速器机房迷道内口处拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，建设单位应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

### ⑧其他

直线加速器机房安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过操作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建设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。

综上，本项目直线加速器机房拟设置的辐射安全和防护设施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。

本项目直线加速器辐射安全联锁逻辑图见图 10-2，拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-3。

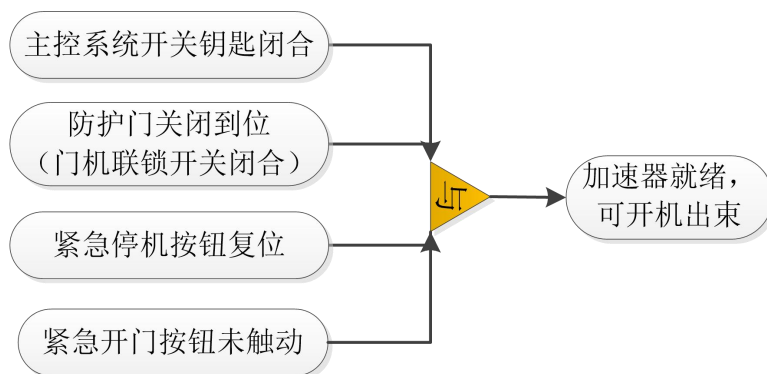


图10-2 本项目直线加速器系统辐射安全联锁逻辑关系图

图10-3 本项目直线加速器、后装治疗机房拟采取的辐射安全措施布置示意图

## **(2) 后装机工作场所**

### **①电离辐射警告标志和工作状态指示灯**

后装治疗机房入口处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与后装机联锁，后装机开机出源时指示灯亮。

### **②门-源联锁装置**

后装治疗机房防护门拟设置门-源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置，设备自身还设有断电自动回源措施。同时机房防护门拟设置红外线光幕防夹装置，具有防挤压功能。

### ③紧急停机按钮

后装治疗机房内不同方向的墙面合适位置及迷道内、防护门内侧、控制室的操作台上均拟设置急停开关，并在醒目处设置标签，标明使用方法，在人员误入机房或遭遇紧急情况时，按下任一处紧急停机按钮，放射源能自动返回到后装治疗设备的安全位置，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

### ④监控及对讲系统

后装治疗机房（包括迷道）内、机房入口处拟安装视频监控探头，监控显示器位于控制室内，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、治疗床和迷路区域、机房入口处情况；控制室与机房之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

### ⑤紧急开门按钮

后装治疗机房的防护门为电动门，机房迷道内靠近防护门人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸。

### ⑥固定式辐射剂量监测系统

后装治疗机房迷道内口处拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，建设单位应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

### ⑦配备防护设备

后装治疗机房内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。

### ⑧其他

后装治疗机房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建设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。

除此之外，本项目拟购置的后装机自带辐射安全措施以及在治疗时拟采取的防护措施主要有：

a、后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置，能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。

b、后装机房自带 UPS，可实现断电时各项安全联锁。实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，按下控制台、治疗室墙壁或后装治疗机上的任一处紧急停机按

钮，放射源能自动返回工作贮源器，并显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时发出声光报警信号。当自动回源（例如按紧急停机按钮）装置功能失效时，有手动回源（后装机采用一个手摇柄）措施进行应急处理。

c、放射工作人员进入机房应携带个人剂量报警设备。

d、实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状态，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

综上，本项目后装治疗机房拟设置的辐射安全和防护设施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。

本项目后装机辐射安全联锁逻辑图见图 10-4，拟采取的辐射安全措施布置示意图见图 10-3。

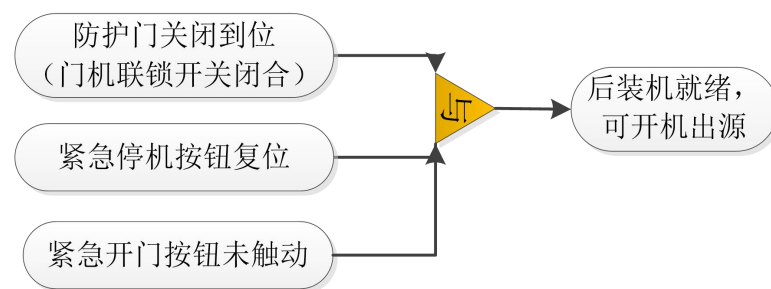


图10-4 本项目后装机辐射安全联锁逻辑关系图

### （3）模拟 CT 工作场所

#### ①工作状态指示灯

模拟 CT 机房患者通道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”的警示语句，工作状态指示灯拟与机房防护门设置门灯联锁装置。

#### ②防夹和闭门装置

机房的平开门拟设置自动闭门装置，电动推拉门拟设置防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

#### ③电离辐射警告标志

机房各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志，患者通道防护门旁醒目处拟设置放射防护注意事项告知栏。

#### ④观察窗与对讲装置

机房拟设置观察窗和对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

### ⑤紧急停机按钮

模拟CT控制台上拟设置紧急停机按钮，以便在CT扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。

### ⑥个人防护用品

机房内拟配备个人防护用品，包括 1 件 0.5mmPb 铅橡胶性腺防护围裙、1 件 0.5mmPb 铅橡胶颈套。

综上，本项目模拟 CT 工作场所设置的辐射安全和防护设施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。

## 10.1.2 手术部 DSA 和移动 CT、内镜中心 ERCP 用 X 光机

### 1、工作场所布局与分区

#### （1）工作场所布局

本项目手术部 DSA 和移动 CT 工作场所、内镜中心 ERCP 工作场所均设有单独的机房和控制室，控制室位于机房外，有用线束不直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求，布局合理。

各机房内最小使用面积、最小单边长度见表 10-5，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求”等标准的相关要求。

表10-5 手术部DSA和移动CT机房、内镜中心ERCP机房使用面积、单边长度一览表

| 机房名称      | 拟用设备        | 机房内最小有效使用面积 m <sup>2</sup> |      | 机房内最小单边长度 m |      | 评价   |
|-----------|-------------|----------------------------|------|-------------|------|------|
|           |             | 本项目                        | 标准要求 | 本项目         | 标准要求 |      |
| DSA 复合手术室 | DSA、移动 CT   | 约 60.1                     | 30   | 5.25        | 4.5  | 符合要求 |
| CT 机房     | 移动 CT       | 约 42                       | 30   | 6.2         | 4.5  | 符合要求 |
| ERCP 机房   | ERCP 用 X 光机 | 约 35                       | 20   | 4.79        | 3.5  | 符合要求 |

#### （2）工作场所分区

本项目拟对手术部、内镜中心辐射工作场所进行分区管理，在控制区入口处拟设置电离辐射警告标志，DSA 和 ERCP 工作期间禁止除介入手术人员和患者外的其他人员进入控制区，CT 工作期间禁止除患者外的其他人员进入控制区；在监督区入口处设置表明监督区的标牌，出束期间禁止无关人员进入。本项目手术部辐射工作场所的两区划分见表 10-6 和图 10-5，内镜中心辐射工作场所的两区划分见表 10-6 和图 10-6。

表 10-6 本项目手术部和内镜中心辐射工作场所的控制区和监督区划分一览表

| 场所名称      | 控制区             | 监督区        |
|-----------|-----------------|------------|
| 手术部辐射工作场所 | DSA 复合手术室、CT 机房 | 控制室、CT 停机间 |
| ERCP 工作场所 | ERCP 机房         | 控制室        |

本项目的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》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

图 10-5 本项目手术部辐射工作场所控制区与监督区划分示意图

图 10-6 本项目 ERCP 工作场所控制区与监督区划分示意图

## 2、辐射防护设计

本项目 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房的屏蔽防护设计参数见表 10-7。

表 10-7 本项目 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房的屏蔽防护设计参数一览表

| 机房名称      | 四周墙壁                               | 顶部                              | 底板                              | 防护门          | 观察窗          |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| DSA 复合手术室 | 钢结构框架<br>+4mm 铅板                   | 200mm 混凝土<br>+4mm 铅板            | 200mm 混凝土<br>+4mmPb 硫酸钡<br>水泥砂浆 | 4mmPb（共 4 扇） | 4mmPb<br>铅玻璃 |
| CT 机房     | 钢结构框架<br>+4mm 铅板                   | 200mm 混凝土<br>+4mm 铅板            | 200mm 混凝土<br>+4mmPb 硫酸钡<br>水泥砂浆 | 4mmPb（共 4 扇） | 4mmPb<br>铅玻璃 |
| ERCP 机房   | 240mm 混凝土实<br>心砖+4mmPb 硫酸<br>钡水泥砂浆 | 200mm 混凝土<br>+4mmPb 硫酸<br>钡水泥砂浆 | 200mm 混凝土<br>+4mmPb 硫酸钡<br>水泥砂浆 | 4mmPb（共 3 扇） | 4mmPb<br>铅玻璃 |

注：混凝土实心砖密度不小于  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ ；砼密度不小于  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；硫酸钡水泥砂浆密度为  $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。

为避免辐射泄漏过大，机房防护门与墙体各侧搭接均不少于 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙均小于 1cm，铅板安装时铅板密拼，门、窗与墙搭接处采用相同厚度的铅板包裹，铅板用螺丝等固定时，固定处采用相同厚度的铅板包裹进行屏蔽补偿。

## 3、辐射安全和防护措施

为保障 DSA、CT、ERCP 安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生

误照射事故，本项目 DSA、CT、ERCP 工作场所拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

#### （1）工作状态指示灯

DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房患者通道防护门上方，DSA 复合手术室、CT 机房与 CT 停车间连通的防护门上方均拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与机房防护门拟设置门灯联锁装置。

#### （2）防夹和闭门装置

DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房的平开门均拟设置自动闭门装置，电动推拉门均拟设置防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

#### （3）电离辐射警告标志

DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志，提醒无关人员勿靠近机房或在附近逗留；患者通道防护门旁醒目处均拟设置放射防护注意事项告知栏。

#### （4）观察窗、监控与对讲装置

DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房均拟设置观察窗和对讲装置，DSA 复合手术室、CT 机房内拟设置监控探头，监控显示器位于控制室内，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

#### （5）紧急停机按钮

移动CT控制台上拟设置紧急停机按钮，以便在CT扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。

#### （6）个人防护用品

本项目 DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房均拟配备个人防护用品和辅助防护设施，经与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中要求对照，均能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-8。

表 10-8 个人防护用品和辅助防护设施与 GBZ 130-2020 中要求对照情况一览表

| 放射检查类型         |             | 介入手术工作人员 |            | 受检者                                |        |
|----------------|-------------|----------|------------|------------------------------------|--------|
|                |             | 个人防护用品   | 辅助防护设施     | 个人防护用品                             | 辅助防护设施 |
| GBZ130-2020 要求 | CT 体层扫描（隔室） | —        | —          | 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 | —      |
|                | 介入放射        | 铅橡胶围裙、铅橡 | 铅悬挂防护屏/铅防护 | 铅橡胶性腺防护围                           | —      |

|             |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                              |                              |   |
|-------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|
|             | 学操作                 | 胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套<br>选配：铅橡胶帽子                                                                                                                                                                                                                                                                            | 吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏<br>选配：移动铅防护屏风 | 裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套<br>选配：铅橡胶帽子   |   |
|             |                     | <p>6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。</p> <p>6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2 mmPb。</p> <p>6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5 mmPb。</p> |                              |                              |   |
| 本项目复合手术室    | CT 体层扫描（隔室）、介入放射学操作 | 至少 2 套不低于 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和 2 副不低于 0.025mmPb 介入防护手套                                                                                                                                                                                                                                           | 1 套 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘    | 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套 | — |
| 本项目 CT 机房   | CT 体层扫描（隔室）         | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | —                            | 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套 | — |
| 本项目 ERCP 机房 | 介入放射学操作             | 至少 2 套不低于 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和 2 副不低于 0.025mmPb 介入防护手套                                                                                                                                                                                                                                           | 1 套 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘    | 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套 | — |
|             | 对比结论                | 满足基本种类配备要求                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                              |                              | — |

#### （6）其他辐射安全措施

由于 DSA、ERCP 介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，X 射线球管工作时产生的散射线对机房内介入手术人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，建设单位还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

◆引入的辐射设备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；

◆临床介入手术时，采用床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下吊帘、床侧吊帘等屏蔽防护措施，能够有效降低介入手术人员的吸收剂量；

◆一般说来，降低患者的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入手术人员的培训，包括辐射防护的培训，参与介入手术的工作人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入手术人员的剂量；

◆操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入手术人员在操作时应尽量远离检查床。

综上所述，本项目 DSA、CT、ERCP 工作场所采用以上辐射安全和防护措施后，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

## 10.2 三废的治理

### 10.2.1 放疗中心直线加速器、后装机、模拟 CT

#### 1、退役废源处理措施

本项目退役的后装  $^{192}\text{Ir}$  放射源暂存在后装机内，随设备一起暂存在后装机房内，后装机房能够满足退役源的屏蔽要求，退役源暂存期间，后装机房防护门上锁，并落实各项辐射安全措施，可确保退役源的暂存安全，在放射源闲置或者废弃后 3 个月内，废源将由原生产厂家回收处置，并按要求落实交接运输与记录留存责任。

单位已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，退役的后装  $^{192}\text{Ir}$  放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。

#### 2、感生放射性固废处理措施

本项目直线加速器退役或更换机头部件时产生的退役废机头部件将作为感生放射性固废，委托有资质单位回收处理。

#### 3、废水治理措施

项目运行期间产生的生活污水依托无锡医疗健康产业园的污水处理系统进行处置。

#### 4、废气治理措施

本项目直线加速器机房、后装治疗机房内拟设置机械通风系统（通风布置见图 10-7），包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。直线加速器机房送风口位于机房西部和中部吊顶处，室内排风口位于机房东部地面上方距地板高度为 200mm 处，送风口和排风口呈对角线布置；后装治疗机房送风口位于机房西部吊顶处，室内排风口位于机房东部地面上方距地板高度为 200mm 处，送风口和排风口呈对角线布置。本项目直线加速器机房和后装治疗机房内排风口由排风管道引至排风井，并由排风井引至医疗综合楼楼顶排放（最终排放口位置见图 10-8），满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关要求。

本项目直线加速器机房排风系统的设计排风量为  $10250\text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房内容积（包含迷道及结构空腔容积）约为  $642\text{m}^3$ ，机房通风换气次数为约 16 次/h；后装治疗机房排

风系统的设计排风量为 4150m<sup>3</sup>/h，后装机房内容积（包含迷道及结构空腔容积）约为 392m<sup>3</sup>，机房通风换气次数为约 10.6 次/h。能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统引至医疗综合楼楼顶排出，楼顶主要为设备机房，正常情况下，无人员居留，废气很快被空气对流、扩散等作用稀释，臭氧常温下可自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目模拟 CT 机房内拟设置动力排风装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求，机房内产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下可自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

#### **4、固体废弃物治理措施**

项目运行期间产生的医疗废物委托有资质单位进行清运处理；生活垃圾将依托无锡医疗健康产业园的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

### **10.2.2 手术部 DSA 和移动 CT、内镜中心 ERCP 用 X 光机**

#### **1、废气治理措施**

项目运行期产生的废气主要为射线装置运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。本项目 DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房内拟安装净化通风系统，产生的臭氧和氮氧化物可通过净化通风系统排出机房外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

#### **2、固体废物治理措施**

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾。医疗废物委托有资质单位进行清运处理；生活垃圾将依托无锡医疗健康产业园的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

#### **3、废水治理措施**

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水，生活污水依托无锡医疗健康产业园的污水处理系统进行处置。

采取上述措施后本项目的废物处置方式能够满足当前环保管理的要求。

图 10-7 本项目直线加速器、后装治疗机房通风系统布置示意图

图 10-8 本项目直线加速器、后装治疗机房通风系统屋顶排放口位置示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目直线加速器和后装机房为混凝土结构，土建施工依托于产业园医疗综合楼主体工程的建设，目前医疗综合楼主体结构已基本建成，直线加速器机房、后装治疗机房混凝土主体已随主体工程一体浇筑完成，模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房均未建。本项目在建设阶段会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及应采取的污染防治措施如下：

（1）大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，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：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.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；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输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。在施工时将严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

（3）固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并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；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处理，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

（4）废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。本项目拟在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在无锡医疗健康产业园内，对周围环境影响较小。

本项目辐射设备的安装调试均由有资质单位按照法律法规要求开展，设备安装调试期间的辐射安全由安装调试单位负责。

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 放疗中心

#### 11.2.1.1 直线加速器辐射环境影响预测与分析

##### 一、关注点选取

本项目加速器机房内拟配备 1 台直线加速器，X 射线能量为 6MV、10MV，10MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 1320Gy/h，6MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 840Gy/h；直线加速器自带 kVp 级 CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 500mA。直线加速器和 CBCT 不同时出束，直线加速器的能量远大于 CBCT 的能量，直线加速器的辐射影响远大于 CBCT，机房屏蔽若能满足直线加速器的使用要求，也能满足 CBCT 的使用要求，故本项目选取直线加速器对机房屏蔽进行分析评价。考虑到射线能量和各能量下的最大剂量率，本报告选取 10MV 运行工况下（最大工况）的辐射影响进行估算。

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/T201.2-2011）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点，从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器以最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。本项目加速器机房下方为土层、无人员居留，不设定关注点；机房地下一层四周场所的居留因子均不大于地下二层，加速器对于地下一层的辐射影响小于地下二层，因此机房四周关注点设置于地下二层，不在地下一层单独设定关注点。本项目直线加速器机房外关注点设定见图 11-1。

平面关注点设定

加速器机房南北向剖面关注点

后装治疗机房南北向剖面关注点

图 11-1 本项目直线加速器机房、后装治疗机房外关注点设定示意图

## 二、有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，计算公式如下：

$$Y_p = 2 \{ (a + SAD) \cdot \tan \theta + 0.3 \} \quad (\text{式 11-1})$$

式中， $Y_p$ —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

$\theta$ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

$a$ —等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

根据图 11-1，将各参数代入公式（11-1），可得出本项目直线加速器机房的主屏蔽区理论计算宽度，核算结果见表 11-1。

表 11-1 直线加速器机房主屏蔽区宽度设计核算结果

| 参数           | 东墙主屏蔽 | 西墙主屏蔽 | 屋顶主屏蔽 |      |
|--------------|-------|-------|-------|------|
|              |       |       | 外凸部分  | 内凸部分 |
| $a$ (m)      | 5.15  | 5.15  | 8.85  | 6.45 |
| SAD (m)      | 1     | 1     | 1     | 1    |
| $\theta$ (°) | 14    | 14    | 14    | 14   |

|                       |                   |                   |                   |                     |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 主屏蔽区计算宽度 $Y_p$<br>(m) | 3.67<br>(1.835×2) | 3.67<br>(1.835×2) | 5.51<br>(2.755×2) | 4.315<br>(2.1575×2) |
| 主屏蔽区设计宽度 (m)          | 3.95<br>(1.975×2) | 3.95<br>(1.975×2) | 6<br>(3×2)        | 3.95<br>(1.975×2)   |
| 评价                    | 满足                | 满足                | 满足                | 不满足                 |

注:  $a_{\text{东墙}}=a_{\text{西墙}}=3.95+1.2=5.15\text{m}$ ,  $a_{\text{顶外凸}}=5.25+1.2+1.8+0.6=8.85\text{m}$ ,  $a_{\text{顶内凸}}=5.25+1.2=6.45\text{m}$ 。

根据表 11-1 可知, 本项目直线加速器机房东墙、西墙、屋顶外凸部分主屏蔽宽度均能满足要求, 屋顶内凸部分主屏蔽宽度不能满足要求, 因此, 本项目加速器机房顶部主屏蔽保守不考虑内凸部分。

### 三、机房屏蔽效果预测

#### 1、主屏蔽墙屏蔽效果预测 (a 点、b 点和 l 点)

射线路径 (射线类型):  $o_2 \rightarrow a$  (主射线),  $o_1 \rightarrow b$  (主射线),  $o_3 \rightarrow l$  (主射线)。

使用 GBZ/T201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算, 在给定的屏蔽物质厚度  $X$  (cm) 时, 首先按照公式 (11-2) 计算有效厚度  $X_e$  (cm), 然后按照公式 (11-3) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ , 最后按照公式 (11-4) 计算屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 11-2})$$

式中:

$X$ —设计屏蔽厚度, cm;

$\theta$ —斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11-3})$$

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,  $TVL_1 = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-4})$$

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,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ , 本项目加速器 10MV 时为  $1.32 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

$R$ —靶点至参考点的距离, m, 本项目参考点为四周屏蔽体外 30cm, 顶部上方地面层外 30cm;

$f$ —对有用线束为 1, 对泄漏辐射为 0.001。

将各参数代入模式计算, 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ), 辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-2。

表 11-2 加速器机房主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

| 参数                                                     | 东墙主屏蔽<br>(a 点)  | 西墙主屏蔽<br>(b 点)  | 屋顶主屏蔽<br>(1 点) |
|--------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| X (cm)                                                 | 300 砵           | 300 砵           | 240 砵          |
| $\theta$ ( $^{\circ}$ )                                | 0               | 0               | 0              |
| $X_e$ (cm)                                             | 300 砵           | 300 砵           | 310 砵          |
| TVL (cm)                                               | 37              | 37              | 37             |
| TVL <sub>1</sub> (cm)                                  | 41              | 41              | 41             |
| B                                                      | 1.00E-08        | 1.00E-08        | 4.18E-07       |
| R (m)                                                  | 8.25            | 8.25            | 10.65          |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) | 1.32E+09        | 1.32E+09        | 1.32E+09       |
| f                                                      | 1               | 1               | 1              |
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )                  | <b>1.94E-01</b> | <b>1.94E-01</b> | <b>4.87</b>    |
| $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )<br>(剂量率参考控制水平) | 10              | 10              | 10             |
| 评价结果                                                   | 满足              | 满足              | 满足             |

注：①机房顶部主屏蔽保守不考虑内凸部分，保守不考虑顶外回填层和地面层的屏蔽；

② $R_{(东)}=R_{(西)}=7.25+1=8.25\text{m}$ ；

③ $R_{(顶)}=9.65+1\text{m}$ （SAD 距离）+1m（回填层和地面层）+0.3m（参考点距离）=10.65m。

## 2、侧屏蔽墙屏蔽效果预测（e 点、f 点）

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

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。TVL<sub>1</sub> 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL<sub>1</sub>=35cm，TVL=31cm。e 点、f 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-3。

表 11-3 加速器机房侧屏蔽墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

| 参数                                                     | 南墙侧屏蔽 (f 点) | 北墙侧屏蔽 (e 点) |
|--------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| X (cm)                                                 | 150 砵+180 砵 | 180 砵       |
| $\theta$ ( $^{\circ}$ )                                | 0           | 0           |
| $X_e$ (cm)                                             | 330 砵       | 180 砵       |
| TVL (cm)                                               | 31          | 31          |
| TVL <sub>1</sub> (cm)                                  | 35          | 35          |
| B                                                      | 3.05E-11    | 2.10E-06    |
| R (m)                                                  | 10.925      | 6.325       |
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) | 1.32E+09    | 1.32E+09    |
| f                                                      | 0.001       | 0.001       |

|                                                 |          |          |
|-------------------------------------------------|----------|----------|
| $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )                  | 3.37E-07 | 6.93E-02 |
| $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )<br>(剂量率参考控制水平) | 2.5      | 10       |
| 评价结果                                            | 满足       | 满足       |

注：R 值直接从图 11-1 中读出。

### 3、与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测（c<sub>1</sub> 点、c<sub>2</sub> 点和 d<sub>1</sub> 点、d<sub>2</sub> 点和 m<sub>1</sub> 点、m<sub>2</sub> 点）

#### ①射线路径（射线类型）

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射，射线照射路径如下：

散射射线路径：

东墙：o<sub>2</sub>→o→c<sub>1</sub>（c<sub>2</sub>），西墙：o<sub>1</sub>→o→d<sub>1</sub>（d<sub>2</sub>），屋顶：o<sub>3</sub>→o→m<sub>1</sub>（m<sub>2</sub>）

泄漏射线路径：

东墙：o→c<sub>1</sub>（c<sub>2</sub>），西墙：o→d<sub>1</sub>（d<sub>2</sub>），屋顶：o→m<sub>1</sub>（m<sub>2</sub>）

计算时，c<sub>1</sub>、c<sub>2</sub>、d<sub>1</sub>、d<sub>2</sub>、m<sub>1</sub>、m<sub>2</sub> 点处的斜射角与散射角θ均按 30°来估算，c<sub>1</sub> 和 c<sub>2</sub>、d<sub>1</sub> 和 d<sub>2</sub>、m<sub>1</sub> 和 m<sub>2</sub> 的各项参数数值上是相等的，因此，该部分仅需预测 c<sub>1</sub>、d<sub>1</sub>、m<sub>1</sub> 点即可代表与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的屏蔽效果。

#### ②泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%（即 f=0.001），辐射防护预测模式与主射线估算相同。

#### ③散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11-5})$$

式中：及 B 意义同前；

$\alpha_{ph}$ —为患者 400cm<sup>2</sup> 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm<sup>2</sup> 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2；

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm<sup>2</sup>，取（40×40）cm<sup>2</sup>；

R<sub>s</sub>—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的计算参数和计算结果见表 11-4。

表 11-4 加速器机房与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

| 参数                                 |                                     | 东墙次屏蔽<br>(c <sub>1</sub> 或 c <sub>2</sub> 点) | 西墙次屏蔽<br>(d <sub>1</sub> 或 d <sub>2</sub> 点) | 屋顶次屏蔽<br>(m <sub>1</sub> 或 m <sub>2</sub> 点) |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 泄漏辐射                               | $\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h) | 1.32E+09                                     | 1.32E+09                                     | 1.32E+09                                     |
|                                    | X (cm)                              | 180 砵                                        | 180 砵                                        | 180 砵                                        |
|                                    | θ (°)                               | 30                                           | 30                                           | 30                                           |
|                                    | X <sub>c</sub> (cm)                 | 207.8 砵                                      | 207.8 砵                                      | 207.8 砵                                      |
|                                    | TVL (cm)                            | 31                                           | 31                                           | 31                                           |
|                                    | TVL <sub>1</sub> (cm)               | 35                                           | 35                                           | 35                                           |
|                                    | B <sub>L</sub>                      | 2.67E-07                                     | 2.67E-07                                     | 2.67E-07                                     |
|                                    | R (m)                               | 8.37                                         | 8.37                                         | 11.14                                        |
|                                    | $\dot{H}$ (μSv/h)                   | <b>5.02E-03</b>                              | <b>5.02E-03</b>                              | <b>2.84E-03</b>                              |
| 散射辐射                               | TVL (cm)                            | 28                                           | 28                                           | 28                                           |
|                                    | TVL <sub>1</sub> (cm)               | 28                                           | 28                                           | 28                                           |
|                                    | B <sub>s</sub>                      | 3.79E-08                                     | 3.79E-08                                     | 3.79E-08                                     |
|                                    | α <sub>ph</sub>                     | 3.18E-03                                     | 3.18E-03                                     | 3.18E-03                                     |
|                                    | R <sub>s</sub> (m)                  | 8.37                                         | 8.37                                         | 11.14                                        |
|                                    | F (cm <sup>2</sup> )                | 1600                                         | 1600                                         | 1600                                         |
|                                    | $\dot{H}$ (μSv/h)                   | <b>9.08E-03</b>                              | <b>9.08E-03</b>                              | <b>5.13E-03</b>                              |
| 泄漏辐射和散射辐射的<br>复合作用(μSv/h)          |                                     | <b>1.41E-02</b>                              | <b>1.41E-02</b>                              | <b>7.96E-03</b>                              |
| $\dot{H}_c$ (μSv/h)<br>(剂量率参考控制水平) |                                     | 10                                           | 10                                           | 5/0.25 (m <sub>1</sub> /m <sub>2</sub> )     |
| 评价                                 |                                     | 满足                                           | 满足                                           | 满足                                           |

注：①对于机房屋顶次屏蔽外关注点，保守不考虑机房内隔板屏蔽，保守不考虑顶外回填层和地面层的屏蔽；

② $R_{\text{东墙}} = R_{s\text{东墙}} = R_{\text{西墙}} = R_{s\text{西墙}} = 7.25\text{m}/\cos 30^\circ = 8.37\text{m}$ ；

③ $R_{\text{屋顶}} = R_{s\text{屋顶}} = 9.65\text{m}/\cos 30^\circ = 11.14\text{m}$ 。

#### 4、迷路外墙屏蔽效果预测 (k 点)

射线路径 (射线类型)：o<sub>2</sub>→k (泄漏射线)。

加速器主射线不向迷道照射，加速器机房内加速器机头位于 o<sub>2</sub> 点时，迷路外墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径 (射线类型)：o<sub>2</sub>→k (漏射线)。

根据图 11-1，o<sub>2</sub> 至 k 的泄漏辐射斜射角较小，估算时保守取泄漏辐射斜射角为 0°。迷路外墙辐射防护预测模式与侧屏蔽估算相同，预测结果见表 11-5。

表 11-5 加速器机房迷路外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

| 参 数                                 |                 | 迷路外墙 (k 点)      |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| X (cm)                              |                 | 180 砵           |
| $\theta$ (°)                        |                 | 0               |
| X <sub>e</sub> (cm)                 |                 | 180 砵           |
| TVL <sub>1</sub> (cm)               |                 | 35              |
| TVL (cm)                            |                 | 31              |
| B                                   |                 | 2.10E-06        |
| R (m)                               |                 | 10.925          |
| f                                   |                 | 0.001           |
| $\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h) |                 | 1.32E+09        |
| 相应屏蔽体外关注点剂量率<br>$\dot{H}$ (μSv/h)   | $\dot{H}$ 估算值   | <b>2.32E-02</b> |
|                                     | $\dot{H}_c$ 控制值 | 10              |
|                                     | 评价结果            | 满足              |

### 5、迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

到达迷道入口的 X 射线成份比较复杂, 但影响较大的射线主要由两部分组成, 一部分是加速器的泄漏辐射穿透迷路内墙到达迷路入口处的 X 射线, 另一部分是人体受有用线束照射时, 散射至 i 点的辐射并经西墙二次散射至 j 点, 后经迷道墙三次散射至 g 点的散射辐射。

#### ①泄漏辐射

射线路径 (射线类型):  $\alpha_1 \rightarrow g$  (泄漏射线)

g 点泄漏辐射剂量核算方法同侧屏蔽。g 点泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-6。

表 11-6 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

| 参 数                   | g 点      |
|-----------------------|----------|
| X (cm)                | 150 砵    |
| X <sub>e</sub> (cm)   | 155.7    |
| TVL <sub>1</sub> (cm) | 35       |
| TVL (cm)              | 31       |
| B                     | 1.28E-05 |
| R (m)                 | 11.338   |
| f                     | 0.001    |

|                                                                  |      |                 |
|------------------------------------------------------------------|------|-----------------|
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )           |      | 1.32E+09        |
| 入口门外关注点泄漏<br>辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$<br>( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) | 估算值  | <b>1.31E-01</b> |
|                                                                  | 控制值  | 2.5 (10/4)      |
|                                                                  | 评价结果 | 满足              |

注：Xe、R 值直接从图 11-1 中读出。

②散射辐射

射线路径：o<sub>1</sub>→o→i→j→g

迷路入口处的散射辐射剂量率按照公式（11-6）计算，具体计算参数和计算结果见表 11-7。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \dot{H}_0 \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_2}{R_3^2}$$
 (式 11-6)

式中， $\dot{H}_0$ 、F 意义同前文；

$\alpha_{ph}$ —患者 400cm<sup>2</sup> 面积上的散射因子，计算时取 45°入射散射角的值；

$\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ —砗墙入射的患者散射辐射的散射因子，取 i 处的入射角为 45°、散射角为 0°，取 j 处的入射角为 0°、散射角保守为 45°，取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>—散射点处的散射面积，m<sup>2</sup>；

R<sub>1</sub>—等中心点到 i 之间的距离，m；

R<sub>2</sub>—i 到 j 之间的距离，m；

R<sub>3</sub>—j 到 g 之间的距离，m。

表 11-7 迷路入口处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

| 参 数                                                    | g 点          |
|--------------------------------------------------------|--------------|
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ) | 1.32E+09     |
| $\alpha_{ph}$                                          | 1.35E-03     |
| $\alpha_2$                                             | 2.20E-02     |
| $\alpha_3$                                             | 1.50E-02     |
| F (cm <sup>2</sup> )                                   | 1600         |
| R <sub>1</sub> (m)                                     | 9.077        |
| R <sub>2</sub> (m)                                     | 10.3         |
| R <sub>3</sub> (m)                                     | 3.626        |
| A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )                       | 49.93        |
| A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )                       | 60.47        |
| 辐射剂量率估算值 $\dot{H}_g$ ( $\mu\text{Sv} / \text{h}$ )     | <b>61.80</b> |

注：R 值直接从图 11-1 中读出；A<sub>1</sub>=(4.531+1.954)×7.7=49.93m<sup>2</sup>，A<sub>2</sub>=(4.25+3.603)×7.7=60.47m<sup>2</sup>。

### ③加速器机房入口门外总辐射剂量率

加速器机房入口门外的总辐射剂量率按公式（11-7）计算，迷路入口处的散射辐射能量约为0.2MeV，铅中的TVL值约为0.5cm，入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表11-8。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11-7})$$

式中， $\dot{H}_g$ 、 $\dot{H}_{og}$  意义同前文；

X—防护门铅屏蔽厚度，cm；

TVL—辐射在铅中的什值层，cm，取0.5cm。

表 11-8 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

| 参 数                           | g 点             |
|-------------------------------|-----------------|
| $\dot{H}_g$ (μSv/h)           | 61.80           |
| X (cm)                        | 2 铅             |
| TVL (cm)                      | 0.5             |
| $\dot{H}_{og}$ (μSv/h)        | 1.31E-01        |
| 防护门外总辐射剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)  | <b>1.37E-01</b> |
| 剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ (μSv/h) | 10              |
| 评价结果                          | 满足              |

## 6、汇总

本项目加速器机房屏蔽墙、屋顶及防护门外剂量率计算结果汇总见表11-9。

表 11-9 本项目加速器机房屏蔽墙、顶、防护门外理论计算结果汇总一览表

| 位置                                             | 剂量率估算值<br>(μSv/h) | 剂量率参考控<br>制水平 (μSv/h) | 评价结果 |
|------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|------|
| 东墙主屏蔽区外 30cm (a 点)                             | <b>1.94E-01</b>   | 10                    | 满足   |
| 西墙主屏蔽区外 30cm (b 点)                             | <b>1.94E-01</b>   | 10                    | 满足   |
| 顶部主屏蔽区上方地面层外 30cm (1 点)                        | <b>4.87</b>       | 10                    | 满足   |
| 南墙侧屏蔽外30cm处 (f点)                               | <b>3.37E-07</b>   | 2.5                   | 满足   |
| 南侧迷路外墙外 30cm (k 点)                             | <b>2.32E-02</b>   | 10                    | 满足   |
| 北墙侧屏蔽外 30cm 处 (e 点)                            | <b>6.93E-02</b>   | 10                    | 满足   |
| 东墙次屏蔽区外30cm (c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub> 点) | <b>1.41E-02</b>   | 10                    | 满足   |
| 西墙次屏蔽区外30cm (d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub> 点) | <b>1.41E-02</b>   | 10                    | 满足   |
| 顶部次屏蔽区上方地面层外 30cm(m <sub>1</sub> 点)            | <b>7.96E-03</b>   | 5                     | 满足   |
| 顶部次屏蔽区上方地面层外 30cm(m <sub>2</sub> 点)            | <b>7.96E-03</b>   | 0.25                  | 满足   |
| 迷路入口防护门外 30cm (g 点)                            | <b>1.37E-01</b>   | 10                    | 满足   |

根据表 11-9 可知，当直线加速器以最大功率（加速器 X 线能量为 10MV）运行时，加速器机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为（**3.37E-07~4.87**） $\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目周围剂量当量率参考控制水平要求。

#### 四、机房电缆沟、通风管道、消防泄压口屏蔽防护评价

本项目直线加速器机房的控制电缆通过电缆沟连接至控制室，电缆沟埋地近似“U”型穿墙，埋地深度 40cm，消防泄压口、送风管道、排风管道均采用“Z”型从防护门上方的墙体或迷道东墙穿墙，穿墙管道均避开主射线方向，有用线束散射示意图 11-2。根据图 11-2，有用线束至少会经过 3 次散射才能到达电缆沟外，至少会经过 4 次散射才能到达消防泄压口、送风管道、排风管道外，根据《辐射防护手册》（第一分册）第 434 页“一个能使射线至少要经过三次散射才能到达门口的迷道，将能保证迷道口工作人员的安全，而迷道门用普通门即可”，可推断电缆沟、通风管道、消防泄压口外的辐射剂量率能够满足标准要求。

平面示意图

图 11-2 本项目直线加速器机房电缆沟、通风管道、消防泄压口散射示意图

#### 11.2.1.2 $^{192}\text{Ir}$ 后装机辐射环境影响预测与分析

##### 一、关注点选取

本项目后装机最大装源活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，治疗时  $^{192}\text{Ir}$  放射源将被传至事先置入人体腔道内的施源器中进行放射治疗。本项目主要考虑  $^{192}\text{Ir}$  放射源发射的 $\gamma$ 射线（即初级辐射）对四周屏蔽体和室顶的直接照射及其散射辐射对机房入口处的照射。

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）的要求，在本项目后装机房墙体、屋顶、防护门外设定关注点，其中墙体、防护门外关注点取相应屏蔽体外表面 30cm，考虑到顶板上方隔 1m 厚的回填层和 10cm 厚

的地面层为室外道路，机房屋顶外关注点取顶部上方地面层外 30cm。本项目后装机房下方为土层、无人员居留，不设定关注点；机房地下一层四周场所的居留因子均不大于地下二层，后装机对于地下一层的辐射影响小于地下二层，因此机房四周关注点设置于地下二层，不在地下一层单独设定关注点。从保守角度出发，在后装机房设计的尺寸厚度基础上，以最大装源活度时，并针对关注点最不利的情况进行预测计算，机房周围关注点设定见图 11-1（红线内为治疗源可能活动的范围，对于不同关注点分别以最近距离进行保守预测）。

## 二、估算结果

### 1、初级辐射屏蔽厚度与剂量估算

采用 GBZ/T 201.3-2014 中的公式计算后装治疗机房初级辐射屏蔽。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-8})$$

式中， $\dot{H}_0$ ：活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_r \quad (\text{式 11-9})$$

A：放射源活度，MBq；

$K_r$ ：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， $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，见 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，本项目  $^{192}\text{Ir}$  为  $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

f：对有用线束为 1；

R：辐射源至关注点的距离，m；

B：屏蔽物质的屏蔽透射因子。在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式（11-10）计算有效厚度  $X_e$ （cm），再按照公式（11-11）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B；

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad (\text{式 11-10})$$

式中，X：设计屏蔽厚度，cm；

$\theta$ ：斜射角。

$$B = 10^{-\left(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1\right) / \text{TVL}} \quad (\text{式 11-11})$$

式中， $\text{TVL}_1$ （mm）和 TVL（mm）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  $\text{TVL}_1$  时， $\text{TVL}_1 = \text{TVL}$ 。可查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.1。本项目中，对应  $^{192}\text{Ir}$ ，混凝土  $\text{TVL}_1 = \text{TVL} = 152\text{mm}$ ；铅  $\text{TVL}_1 = \text{TVL} = 16\text{mm}$ 。

本项目后装治疗机房四周屏蔽体和屋顶参考点位辐射水平估算结果见表 11-10。

表 11-10 后装治疗机房四周屏蔽体和屋顶参考点位辐射水平估算结果

|                                  | 东墙<br>(A 点)     | 南墙<br>(B 点)     | 迷道外墙             |                  | 西墙<br>(C 点)     | 北墙<br>(D 点)     | 顶部<br>(E 点)                       | 防护门<br>(G 点)      |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------|
|                                  |                 |                 | K <sub>1</sub> 点 | K <sub>2</sub> 点 |                 |                 |                                   |                   |
| 设计厚度<br>(mm)                     | 700 砵           | 1400 砵          | 700 砵            |                  | 1800 砵          | 700 砵           | 700 砵<br>+1000 回<br>填层+100<br>地面层 | 700 砵<br>+8mmPb   |
| X <sub>e</sub> (mm)              | 700 砵           | 1400 砵          | 730 砵            | 824 砵            | 1800 砵          | 700 砵           | 1402 砵                            | 700 砵<br>+8mmPb   |
| A (MBq)                          | 370000          | 370000          | 370000           |                  | 370000          | 370000          | 370000                            | 370000            |
| K <sub>γ</sub> (μSv/<br>(h·MBq)) | 0.111           | 0.111           | 0.111            |                  | 0.111           | 0.111           | 0.111                             | 0.111             |
| f                                | 1               | 1               | 1                |                  | 1               | 1               | 1                                 | 1                 |
| R (m)                            | 3.75            | 5.05            | 7.358            | 5.946            | 4.1             | 3               | 9.9                               | 5.1               |
| TVL/TVL <sub>1</sub><br>(mm)     | 152             | 152             | 152              |                  | 152             | 152             | 152                               | 152 (砵)<br>16 (铅) |
| B                                | 2.48E-05        | 6.16E-10        | 1.58E-05         | 3.79E-06         | 1.44E-12        | 2.48E-05        | 5.97E-10                          | 2.48E-05          |
| $\dot{H}$ (μSv/h)                | <b>7.25E-02</b> | <b>9.92E-07</b> | <b>1.20E-02</b>  | <b>4.41E-03</b>  | <b>3.51E-09</b> | <b>1.13E-01</b> | <b>2.50E-07</b>                   | <b>3.92E-02</b>   |
| $\dot{H}_c$<br>(参考控制<br>水平μSv/h) | 10              | 10              | 2.5              |                  | 10              | 10              | 10                                | 10                |
| 评价                               | 满足              | 满足              | 满足               |                  | 满足              | 满足              | 满足                                | 满足                |

注：①X<sub>e</sub>、R 值直接从图 11-1 中读出；

②保守不考虑机房内上方隔板屏蔽；

③机房顶外为 1m 的回填层和 10cm 的地面层，回填层和地面层密度不低于 1.5g/cm<sup>3</sup>，理论估算时，考虑回填层和地面层的等效屏蔽，根据密度换算，1000mm 回填层+100mm 地面层相当于约 702mm 砵；

④O<sub>3</sub>-G 的斜射角较小，保守不考虑迷道内墙和防护门的有效厚度，直接取屏蔽厚度进行计算。

## 2、机房入口散射剂量估算

治疗源在 O<sub>2</sub> 点 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）通过迷路散射至治疗室入口 G 产生的散射辐射剂量率  $\dot{H}$ ，采用 GBZ/T 201.3-2014 中公式 11-12 计算。

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式 11-12})$$

式中，A—放射源的活度，370000MBq；

K<sub>γ</sub>—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，μSv/(h·MBq)，见 GBZ/T201.3-2014 的表 C.1，本项目 <sup>192</sup>Ir 为 0.111μSv/(h·MBq)；

$S_w$ —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积，本项目为  $0.338\text{m} \times 8.8\text{m} = 2.97\text{m}^2$ ；

$\alpha_w$ —散射体散射因子， $3.50 \times 10^{-2}$ （查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.4，保守取 0.25MeV 的  $45^\circ$  入射辐射和  $15^\circ$  反散射的散射因子）；

$R_1$  为辐射源至散射体的距离， $O_2-I=4.269\text{m}$ ；

$R_2$  为散射体至计算点的距离， $I-G=6.88\text{m}$ ；

将以上参数代入公式（11-12），可计算得治疗源在  $O_2$  点  $4\pi$  发射的  $\gamma$  射线（即初级辐射）通过迷路散射至机房入口 G 产生的散射辐射剂量率  $\dot{H}$  为  $4.95\mu\text{Sv/h}$ 。

机房入口屏蔽前的散射辐射剂量率为  $4.95\mu\text{Sv/h}$ ，机房入口处拟设置  $8\text{mmPb}$  的防护门，根据（GBZ/T201.3-2014）中附录 F 可知，在 G 处的散射辐射能量约为  $0.2\text{MeV}$ ，铅的  $\text{TVL}_1=\text{TVL}$  为  $5\text{mm}$ ，可计算得到  $B=2.51\text{E-}02$ ，则经过机房入口防护门的屏蔽，门外散射辐射剂量率将降低至  $1.24\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，叠加透射辐射剂量率  $3.92\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，机房入口处总辐射剂量率为  $1.63\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，小于剂量率参考控制水平（ $10\mu\text{Sv/h}$ ）。

综上所述，本项目在后装机出源治疗时，后装治疗机房墙体、顶、防护门外各关注点处剂量率为（ $3.51\text{E-}09 \sim 1.63\text{E-}01$ ） $\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目后装治疗机房外剂量率参考控制水平要求。

### 三、机房电缆沟、通风管道、消防泄压口屏蔽防护评价

本项目后装机房的控制电缆通过电缆沟连接至控制室，电缆沟埋地近似“U”型穿墙，埋地深度  $20\text{cm}$ ，消防泄压口、送风管道、排风管道均采用“Z”型从防护门上方的墙体或迷道外墙穿墙，有用线束散射示意图 11-3。

平面示意图

图 11-3 本项目后装机房电缆沟、通风管道、消防泄压口散射示意图

根据图 11-3，有用线束至少会经过 3 次散射才能到达新风管道外，根据《辐射防护手册》（第一分册）第 434 页“一个能使射线至少要经过三次散射才能到达门口的迷道，将能保证迷道口工作人员的安全，而迷道门用普通门即可”，可推断新风管道外的辐射剂量率能够满足标准要求。根据图 11-3，有用线束经过 2 次散射可到达电缆沟、排风管道、消防泄压口外，多次散射可由《辐射防护导论》第六章 P185（公式 6.6）变形得出：

$$\dot{H}_{L,h} = \frac{\dot{H}_0 \cdot (\alpha_1 \cdot A_1) \cdot (\alpha_2 \cdot A_2)}{(d_i \cdot d_{r1} \cdot d_{r2})^2} \quad (\text{式 11-13})$$

式中， $\dot{H}_{L,h}$ —反射点处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —辐射源处辐射剂量率，取放射源 1m 处的剂量率  $4.107 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ；

$\alpha_1, \alpha_2$ —反射物的反射系数， $^{192}\text{Ir}$  的  $\gamma$  射线平均能量约为 0.38MeV，查《辐射防护导论》图 6.4，反射系数均保守取 0.38MeV 下的最大值 0.03；

$A_1, A_2$ —射线束在反射物上的投照面积， $\text{m}^2$ ；

$d_i$ —辐射源同反射点之间的距离，m；

$d_{r1}, d_{r2}$ —反射点与反射点（参考点）之间的距离，m。

将相关参数带入公式（11-13），可得出本项目后装治疗机房电缆沟、排风管道、消防泄压口外30cm处辐射剂量率，具体计算结果见表11-11。

表11-11 本项目后装治疗机房电缆沟、排风管道、消防泄压口外辐射影响计算结果

| 参 数                                  | 电缆沟外 30cm           | 排风管道外 30cm          | 消防泄压口外 30cm         |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )     | $4.107 \times 10^4$ | $4.107 \times 10^4$ | $4.107 \times 10^4$ |
| $\alpha_1$                           | 0.03                | 0.03                | 0.03                |
| $\alpha_2$                           | 0.03                | 0.03                | 0.03                |
| $A_1$ ( $\text{m}^2$ )               | 0.04                | 0.2                 | 25.55               |
| $A_2$ ( $\text{m}^2$ )               | 0.04                | 0.2                 | 0.28                |
| $d_i$ (m)                            | 4.786               | 4.786               | 3.837               |
| $d_{r1}$ (m)                         | 0.519               | 0.892               | 3.584               |
| $d_{r2}$ (m)                         | 1.028               | 0.716               | 2.318               |
| $\dot{H}_{L,h}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | <b>9.07E-03</b>     | <b>1.58E-01</b>     | <b>2.60E-01</b>     |

注：①对于电缆沟和排风管道， $A_1$ 、 $A_2$ 均保守取管道的截面积；对于消防泄压口， $A_1$ 取 $25.55\text{m}^2$ （ $2.903 \times 8.8$ ）， $A_2$ 保守取管道的截面积；

②距离均保守取平面距离，不考虑高差。

根据表 11-11 可知，后装治疗机房电缆沟、排风管道、消防泄压口外 30cm 处辐射剂量率分别为  $9.07\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ 、 $1.58\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ 、 $2.60\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足本项目后装治疗机房外剂量率参考控制水平要求。后装机房排风管道出口位于地下一层、距离地面 3.08m，消防泄压口位于地下二层、距离地面 2.8m，经距离衰减后，到达地面上方 1.7m 处的辐射剂量率将更小，对周围环境辐射影响较小。

#### 四、首次装源、换源辐射环境影响分析

新购置的后装机是与放射源分开的，首次购买的放射源放置在 30mm 铅当量的储源罐中由放射源生产厂家委托有资质单位运至后装治疗机房内，并由后装机生产厂家安排专业工程师进行倒源和调试，本项目辐射工作人员仅在机房外负责辅助协调工作。

放射源  $^{192}\text{Ir}$  的半衰期为 74 天，一般每年需要更换 2 次  $^{192}\text{Ir}$  放射源。后装机换源过程大约需要 30min，根据上文估算，后装机在出源治疗和贮源状态时治疗机房外各关注点处辐射剂量率最大为  $2.60\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，则换源过程所致机房外人员年受照剂量最大为  $1.30 \times 10^{-4}\text{mSv}$ （居留因子保守取 1），对机房周围环境辐射影响很小，该过程所致本项目后装机辐射工作人员和周围公众的年有效剂量可忽略不计。

##### 11.2.1.3 模拟 CT 机辐射环境影响预测与分析

本项目放疗中心模拟 CT 最大管电压为 140kV，根据表 10-4 并对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录表 C，采用内插法，可计算得出本项目模拟 CT 机房屏蔽体等效屏蔽铅当量见表 11-12。

表 11-12 本项目模拟 CT 机房等效铅当量一览表

| 分类          |      | 设计厚度                       | 等效铅当量<br>(mm) | 标准要求铅<br>当量 (mm) | 评价结果 |
|-------------|------|----------------------------|---------------|------------------|------|
| 模拟 CT<br>机房 | 四周墙体 | 240mm 混凝土实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥砂浆 | 约 6.3         | 2.5              | 满足要求 |
|             | 顶部   | 200mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥砂浆    | 约 6.3         | 2.5              | 满足要求 |
|             | 防护门  | 4mmPb                      | 4             | 2.5              | 满足要求 |
|             | 观察窗  | 4mmPb 铅玻璃                  | 4             | 2.5              | 满足要求 |

注：混凝土实心砖密度不小于  $2.0\text{g/cm}^3$ ，混凝土密度不小于  $2.35\text{g/cm}^3$ ，根据密度换算，240mm 混凝土实心砖相当于约 204mm 混凝土；根据 GBZ130-2020 附录表 C 中表 C.5 和 C.6 并采用内插法，对于 140kV 管电压，200mm、204mm 混凝土相当于约 2.3mmPb。

根据表 11-12，本项目模拟 CT 机房四周墙体、顶部、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 4mm 铅当量，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“CT 机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.5mm 铅当量”的要求。

根据 9.2.1.3 章节污染源项分析可知，CT 开机过程中主要考虑泄漏和散射辐射影响。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留有一定的裕量，本项目模拟 CT 机房日常使用中管电压范围为 40kV~120kV、管电流为 50mA~300mA，本项目在计算漏射线和散射线辐射影响时，工况保守取 120kV、300mA 进行计算，机房外关注点设定见图 11-4。

图 11-4 本项目模拟 CT 机房外关注点设定示意图

### (1) 泄漏辐射预测

泄漏辐射空气比释动能率  $\dot{H}_L$  采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{R^2} \quad (\text{式 11-14})$$

式中： $H_i$ —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；

R—靶点至关注点的距离；

B—屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式（11-15）。

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-15})$$

式中： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ——铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据 GBZ 130-2020 表 C.2，管电压为 120kV（CT）下铅的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  数值分别为 2.246、5.73、0.547；

X——铅厚度。

将有关参数代入公式（11-14）和公式（11-15），模拟 CT 机房四周屏蔽体、顶部外关注点处的泄漏辐射空气比释动能率计算结果见表 11-13。

表 11-13 模拟 CT 机房外关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称     | 关注点位置                | $H_i$<br>(mGy/h) | 等效铅当量<br>(mmPb) | R<br>(m) | B        | $\dot{H}_L$<br>(μGy/h) |
|----------|----------------------|------------------|-----------------|----------|----------|------------------------|
| 模拟 CT 机房 | 东墙外 30cm<br>(A 点)    | 1                | 6.3             | 4.641    | 7.06E-08 | <b>3.28E-06</b>        |
|          | 南墙外 30cm<br>(B 点)    | 1                | 6.3             | 3.741    | 7.06E-08 | <b>5.05E-06</b>        |
|          | 西墙外 30cm<br>(C 点)    | 1                | 6.3             | 2.358    | 7.06E-08 | <b>1.27E-05</b>        |
|          | 北墙外 30cm<br>(D 点)    | 1                | 6.3             | 3.059    | 7.06E-08 | <b>7.55E-06</b>        |
|          | 顶外 30cm<br>(E 点)     | 1                | 6.3             | 3.9      | 7.06E-08 | <b>4.64E-06</b>        |
|          | 患者防护门外 30cm<br>(F 点) | 1                | 4               | 4.429    | 1.25E-05 | <b>6.36E-04</b>        |
|          | 医护防护门外 30cm<br>(G 点) | 1                | 4               | 3.82     | 1.25E-05 | <b>8.55E-04</b>        |
|          | 观察窗外 30cm<br>(H 点)   | 1                | 4               | 3.816    | 1.25E-05 | <b>8.57E-04</b>        |

注：①机房四周屏蔽体外关注点 R 取值根据图 11-4 得出；

②机房所在地下二层层高为 4.1m，球管距地面约 0.5m，则楼上关注点 R 取 3.9m；

③保守不考虑斜射的等效屏蔽。

### (2) 散射辐射预测

由《辐射防护手册》（第一分册）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比释动能率  $H_s$  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）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad (\text{式 11-16})$$

式中： $H_0$ —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；根据表 9-7，本项目取  $10 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

$a$ —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1，对于本项目设备正常工作使用电压最大为 120kV 时的  $a$  查取值为 0.0014；

$S$ ——主束在患者体上的散射面积，本项目取  $100 \text{cm}^2$ ；

$d_0$ ——源至受照点的距离，本项目保守取 0.3m；

$d_s$ ——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，按公式（11-15）计算。此处的散射线指本项目最大常用管电压（120kV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，本项目保守取散射线能量与漏射线能量相同，根据 GBZ 130-2020 表 C.2，管电压为 120kV（CT）下铅的  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  数值分别为 2.246、5.73、0.547，将其代入公式（11-16）计算散射辐射屏蔽透射因子  $B_s$ 。

将有关参数代入公式（11-15）和公式（11-16），模拟 CT 机房四周屏蔽体、顶部外关注点处的散射辐射空气比释动能率计算结果见表 11-14。

表 11-14 模拟 CT 机房外关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称     | 关注点位置                | $H_0$<br>( $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | $I$<br>(mA) | $a$    | $S$<br>( $\text{cm}^2$ ) | $B_s$    | $d_0$<br>(m) | $d_s$<br>(m) | $H_s$<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|--------------------------|----------|--------------|--------------|-------------------------------|
| 模拟 CT 机房 | 东墙外 30cm<br>(A 点)    | 10                                                                                    | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 4.641        | <b>2.29E-04</b>               |
|          | 南墙外 30cm<br>(B 点)    | 10                                                                                    | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 3.741        | <b>3.53E-04</b>               |
|          | 西墙外<br>30cm<br>(C 点) | 10                                                                                    | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 2.358        | <b>8.89E-04</b>               |
|          | 北墙外 30cm<br>(D 点)    | 10                                                                                    | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 3.059        | <b>5.28E-04</b>               |
|          | 顶外 30cm<br>(E 点)     | 10                                                                                    | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 3.9          | <b>3.25E-04</b>               |
|          | 患者防护门外 30cm<br>(F 点) | 10                                                                                    | 300         | 0.0014 | 100                      | 1.25E-05 | 0.3          | 4.429        | <b>4.45E-02</b>               |

|  |                   |    |     |        |     |          |     |       |                 |
|--|-------------------|----|-----|--------|-----|----------|-----|-------|-----------------|
|  | 医护防护门外 30cm (G 点) | 10 | 300 | 0.0014 | 100 | 1.25E-05 | 0.3 | 3.82  | <b>5.99E-02</b> |
|  | 观察窗外 30cm (H 点)   | 10 | 300 | 0.0014 | 100 | 1.25E-05 | 0.3 | 3.816 | <b>6.00E-02</b> |

注：保守不考虑源至受照点的距离， $ds$  取值保守同表 11-13 中  $R$  值。

### (3) 叠加辐射预测

根据表 11-13 和表 11-14，模拟 CT 机房四周屏蔽体、顶部外关注点处的叠加辐射剂量率计算结果见表 11-15。

表 11-15 模拟 CT 机房外关注点处叠加辐射剂量率计算结果

| 场所名称     | 关注点位置             | 泄漏辐射 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 散射辐射 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 叠加辐射 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 叠加辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|----------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 模拟 CT 机房 | 东墙外 30cm (A 点)    | 3.28E-06                  | 2.29E-04                  | 2.32E-04                  | <b>3.83E-04</b>              | 2.5                            |
|          | 南墙外 30cm (B 点)    | 5.05E-06                  | 3.53E-04                  | 3.58E-04                  | <b>5.91E-04</b>              | 2.5                            |
|          | 西墙外 30cm (C 点)    | 1.27E-05                  | 8.89E-04                  | 9.02E-04                  | <b>1.49E-03</b>              | 2.5                            |
|          | 北墙外 30cm (D 点)    | 7.55E-06                  | 5.28E-04                  | 5.36E-04                  | <b>8.84E-04</b>              | 2.5                            |
|          | 顶外 30cm (E 点)     | 4.64E-06                  | 3.25E-04                  | 3.30E-04                  | <b>5.44E-04</b>              | 2.5                            |
|          | 患者防护门外 30cm (F 点) | 6.36E-04                  | 4.45E-02                  | 4.51E-02                  | <b>7.45E-02</b>              | 2.5                            |
|          | 医护防护门外 30cm (G 点) | 8.55E-04                  | 5.99E-02                  | 6.08E-02                  | <b>1.00E-01</b>              | 2.5                            |
|          | 观察窗外 30cm (H 点)   | 8.57E-04                  | 6.00E-02                  | 6.09E-02                  | <b>1.00E-01</b>              | 2.5                            |

注：有效剂量与空气比释动能转换系数， $\text{Sv/Gy}$ ，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》(WS/T830-2024) 表 G.1，本项目保守取 100kV 管电压时有效剂量与空气比释动能转换系数  $1.65\text{Sv/Gy}$ 。

根据表 11-15 可知，本项目模拟 CT 机房外辐射剂量率最大为  $1.00\text{E-01}\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的要求。

#### 11.2.1.4 放疗中心叠加辐射影响评价

本项目放疗中心直线加速器机房和后装治疗机房东西向相邻布置，模拟 CT 机房位于加速器机房南侧 10.9m、后装治疗机房南侧 18.15m，经距离衰减后，模拟 CT 机房对加速器机房和后装治疗机房的叠加影响可忽略，加速器机房和后装治疗机房对模拟 CT 机房的叠加影响亦可忽略。根据机房布局，放疗中心主要考虑加速器机房东侧南部次屏蔽区和后装治疗机房南侧、加速器机房和后装治疗机房北侧及顶外的叠加影响，保守取相应侧屏蔽体外最大估算值进行叠加，具体估算结果见表 11-16。

表 11-16 放疗中心叠加影响估算

| 位置                                     |           | 剂量率估算值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 叠加值<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 剂量率参考控制水平( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 评价结果 |
|----------------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|
| 直线加速器机房东墙次屏蔽区外 30cm (c <sub>2</sub> 点) | 后装治疗患者准备间 | 1.41E-02                       | <b>1.77E-01</b>             | 10                            | 满足   |
| 后装治疗机房防护门外 30cm (G 点)                  |           | 1.63E-01                       |                             |                               |      |
| 直线加速器机房北墙侧屏蔽外 30cm (e 点)               | 车库        | 6.93E-02                       | <b>1.82E-01</b>             | 10                            | 满足   |
| 后装治疗机房北墙外 30cm (D 点)                   |           | 1.13E-01                       |                             |                               |      |
| 直线加速器机房顶部主屏蔽区上方地面层外 30cm (I 点)         | 室外道路      | 4.87                           | <b>4.87</b>                 | 10                            | 满足   |
| 后装治疗机房顶部上方地面层外 30cm (E 点)              |           | 2.50E-07                       |                             |                               |      |

根据表 11-16 估算结果可知,放疗中心辐射剂量率叠加影响最大为 4.87 $\mu\text{Sv/h}$ ,能够满足本项目直线加速器机房和后装治疗机房外剂量率参考控制水平要求。

#### 11.2.1.5 保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出:

$$D_{\text{Eff}}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad (\text{式 11-17})$$

上式中:  $D_{\text{Eff}}$ —参考点人员有效剂量 (Sv);

$K_a$ —参考点的周围剂量当量率 ( $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ );

$t$ —参考点处受照时间 (h);

$T$ —居留因子;

$U$ —使用因子,以点源考虑, $U$ 取 1。

#### (1) 放疗中心辐射工作人员剂量评价

将相关参数代入公式 (11-17), 本项目放疗中心辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-17。

表 11-17 本项目放疗中心辐射工作人员年有效剂量估算

| 保护目标        | 工作场所        | 参考点剂量率 <sup>①</sup><br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) | 年工作时间<br>(h) | 居留因子 | 使用因子 | 年有效剂量<br>(mSv) | 叠加年有效剂量 (mSv)   |
|-------------|-------------|---------------------------------------------|--------------|------|------|----------------|-----------------|
| 直线加速器辐射工作人员 | 直线加速器控制室内   | 3.37E-07<br>(加速器机房南墙, f 点)                  | 1000         | 1    | 1    | 3.37E-07       | <b>1.83E-02</b> |
|             | 直线加速器水冷机房内  | 2.32E-02<br>(加速器机房南侧迷路外墙, k 点)              | 1000         | 1/20 | 1    | 1.16E-03       |                 |
|             | 直线加速器患者准备间内 | 1.37E-01<br>(加速器机房防护                        | 1000         | 1/8  | 1    | 1.71E-02       |                 |

|               |                    |                                                            |                                          |     |     |          |          |
|---------------|--------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|-----|----------|----------|
|               |                    | 门, g 点)                                                    |                                          |     |     |          |          |
|               | 直线加速器机房内           | 3.51E-09<br>(后装治疗机房西墙, C 点)                                | 500                                      | 1/2 | 1   | 8.78E-10 |          |
| 后装机辐射工作人员     | 后装机控制室内            | 1.20E-02<br>(后装治疗机房迷道外墙, K <sub>1</sub> /K <sub>2</sub> 点) | 500                                      | 1   | 1   | 6.00E-03 | 4.59E-01 |
|               | 后装治疗患者准备间          | 1.41E-02<br>(加速器机房东墙次屏蔽区, c <sub>2</sub> 点)                | 1000                                     | 1/8 | 1   | 1.76E-03 |          |
|               |                    | 1.63E-01<br>(后装治疗机房防护门, G 点)                               | 500                                      | 1/8 | 1   | 1.02E-02 |          |
|               | 后装治疗机房内            | 1.94E-01<br>(加速器机房东墙主屏蔽, a 点)                              | 1000                                     | 1/2 | 1/4 | 2.43E-02 |          |
|               | 机房内摆位 <sup>②</sup> | 5                                                          | 83.3<br>(年门诊量最大 5000 人次, 每位患者摆位时间约 1min) | 1   | 1   | 4.17E-01 |          |
| 模拟 CT 机辐射工作人员 | 模拟 CT 控制室内         | 1.00E-01<br>(观察窗, H 点)                                     | 100                                      | 1   | 1   | 1.00E-02 | 1.00E-02 |

注: ①辐射剂量率保守取相应场所参考点的最大估算值;

②后装治疗工作人员摆位时一般距后装机机头至少 1m, 参考《后装 $\gamma$ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017) 中的要求, 贮源器表面 100cm 泄漏辐射所致周围剂量当量率应不大于 5 $\mu$ Sv/h, 本报告保守选取 5 $\mu$ Sv/h 近似估算泄漏辐射对摆位人员造成的年有效剂量。

根据表 11-17 可知, 本项目放疗中心辐射工作人员年有效剂量最大约为 4.59E-01mSv, 能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量限值和本项目剂量约束值要求: 职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

## (2) 放疗中心周围公众剂量评价

将相关参数代入公式 (11-17), 本项目放疗中心周围公众年受照剂量计算结果见表 11-18。

表 11-18 本项目放疗中心周围公众年有效剂量估算

| 关注对象    |           | 参考点位置<br>(参考点)                                       | 参考点辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h) | 年受照时间 (h) | 居留因子 | 使用因子 | 年有效剂量 (mSv) |
|---------|-----------|------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------|------|-------------|
| 直线加速器机房 | 西侧地下车库处公众 | 加速器机房西墙主屏蔽区外 30cm (b 点)                              | 1.94E-01               | 1000      | 1/40 | 1/4  | 1.21E-03    |
|         |           | 加速器机房西墙次屏蔽区外 30cm (d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub> 点) | 1.41E-02               | 1000      | 1/40 | 1    | 3.53E-04    |
|         | 北侧地下车库    | 加速器机房北墙侧屏                                            | 6.93E-02               | 1000      | 1/40 | 1    | 1.73E-03    |

|          |             |                                                           |          |      |      |     |                 |
|----------|-------------|-----------------------------------------------------------|----------|------|------|-----|-----------------|
|          | 库处公众        | 蔽外 30cm (e 点)                                             |          |      |      |     |                 |
|          | 楼上室外道路处公众   | 加速器机房顶部主屏蔽区上方地面层外 30cm (I 点)                              | 4.87     | 1000 | 1/20 | 1/4 | <b>6.09E-02</b> |
|          |             | 加速器机房顶部次屏蔽区上方地面层外 30cm (m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub> 点) | 7.96E-03 | 1000 | 1/20 | 1   | <b>3.98E-04</b> |
|          | 楼上输液区处公众    | 加速器机房顶部次屏蔽区上方地面层外 30cm (m <sub>2</sub> 点)                 | 7.96E-03 | 1000 | 1    | 1   | <b>7.96E-03</b> |
| 后装治疗机房   | 东侧地下车库处公众   | 后装治疗机房东墙外 30cm (A 点)                                      | 7.25E-02 | 500  | 1/40 | 1   | <b>9.06E-04</b> |
|          | 北侧地下车库处公众   | 后装治疗机房北墙外 30cm (D 点)                                      | 1.13E-01 | 500  | 1/40 | 1   | <b>1.41E-03</b> |
|          | 楼上室外道路处公众   | 后装治疗机房顶部上方地面层外 30cm (E 点)                                 | 2.50E-07 | 500  | 1/20 | 1   | <b>6.25E-09</b> |
| 模拟 CT 机房 | 东侧走道处公众     | 模拟 CT 机房东墙外 30cm (A 点)                                    | 3.83E-04 | 100  | 1/5  | 1   | <b>7.66E-06</b> |
|          | 西侧走道处公众     | 模拟 CT 机房西墙外 30cm (C 点)                                    | 1.49E-03 | 100  | 1/5  | 1   | <b>2.98E-05</b> |
|          | 北侧模具库处公众    | 模拟 CT 机房北墙外 30cm (D 点)                                    | 8.84E-04 | 100  | 1/20 | 1   | <b>4.42E-06</b> |
|          | 楼上地下一层车库处公众 | 模拟 CT 机房顶外 30cm (E 点)                                     | 5.44E-04 | 100  | 1/40 | 1   | <b>1.36E-06</b> |
| 最大叠加影响   | 北侧地下车库处公众   | 加速器机房北墙侧屏蔽外 30cm (e 点)                                    | 6.93E-02 | 1000 | 1/40 | 1   | <b>3.15E-03</b> |
|          |             | 后装治疗机房北墙外 30cm (D 点)                                      | 1.13E-01 | 500  | 1/40 | 1   |                 |
|          | 楼上室外道路处公众   | 加速器机房顶部主屏蔽区上方地面层外 30cm (I 点)                              | 4.87     | 1000 | 1/20 | 1/4 | <b>6.09E-02</b> |
|          |             | 后装治疗机房顶部上方地面层外 30cm (E 点)                                 | 2.50E-07 | 500  | 1/20 | 1   |                 |

注：居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中附录 A。

根据表 11-18 可知，本项目放疗中心所致周围公众年有效剂量最大约为 6.09E-02mSv，直线加速器和后装治疗机房所在地下一层场所的居留因子均不大于地下二层，放疗中心所致地下一层公众年有效剂量将不大于 3.15E-03mSv，本项目 50m 评价范围内其他公众距本项目放疗中心相对较远，经距离的进一步衰减和其他建筑墙体的进一步屏蔽后，基本湮灭在环境本底辐射中，年有效剂量将更小，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值和本项目剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

## 11.2.2 手术部 DSA 和移动 CT、内镜中心 ERCP 用 X 光机

### 11.2.2.1 机房屏蔽符合性分析

#### (1) 评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 规定，C 型臂 X 射线设备机房有用线束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均不小于 2.0mm 铅当量，CT 机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.5mm 铅当量。

#### (2) 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目拟配备的 DSA、移动 CT 和 ERCP 用 X 光机型号未定，保守按最大管电压的极端条件核算相应机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度，机房各侧屏蔽体均保守按有用线束投射方向核算铅当量。

本项目 DSA、ERCP 用 X 光机最大管电压为 125kV，移动 CT 最大管电压为 140kV，根据表 10-7 并对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录表 C，采用内插法，可计算得出本项目 DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房屏蔽体等效屏蔽铅当量，具体见表 11-19。

表 11-19 本项目 DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房等效铅当量一览表

| 分类                          |      | 设计厚度                        | 等效铅当量<br>(mm) | 标准要求铅<br>当量 (mm) | 评价结果 |
|-----------------------------|------|-----------------------------|---------------|------------------|------|
| DSA 复合<br>手术室<br>(DSA)      | 四周墙体 | 钢结构框架+4mm 铅板                | 4             | 2.0              | 满足要求 |
|                             | 顶部   | 200mm 混凝土+4mm 铅板            | 约 6.6         |                  |      |
|                             | 底板   | 200mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡<br>水泥砂浆 | 约 6.6         |                  |      |
|                             | 防护门  | 4mmPb                       | 4             |                  |      |
|                             | 观察窗  | 4mmPb 铅玻璃                   | 4             |                  |      |
| DSA 复合<br>手术室<br>(移动<br>CT) | 四周墙体 | 钢结构框架+4mm 铅板                | 4             | 2.5              | 满足要求 |
|                             | 顶部   | 200mm 混凝土+4mm 铅板            | 约 6.3         |                  |      |
|                             | 底板   | 200mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡<br>水泥砂浆 | 约 6.3         |                  |      |
|                             | 防护门  | 4mmPb                       | 4             |                  |      |
|                             | 观察窗  | 4mmPb 铅玻璃                   | 4             |                  |      |
| CT 机房<br>(移动<br>CT)         | 四周墙体 | 钢结构框架+4mm 铅板                | 4             | 2.5              | 满足要求 |
|                             | 顶部   | 200mm 混凝土+4mm 铅板            | 约 6.3         |                  |      |
|                             | 底板   | 200mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡<br>水泥砂浆 | 约 6.3         |                  |      |
|                             | 防护门  | 4mmPb                       | 4             |                  |      |

|                      |      |                            |       |     |      |
|----------------------|------|----------------------------|-------|-----|------|
|                      | 观察窗  | 4mmPb 铅玻璃                  | 4     |     |      |
| ERCP 机房（ERCP 用 X 光机） | 四周墙体 | 240mm 混凝土实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥砂浆 | 约 6.7 | 2.0 | 满足要求 |
|                      | 顶部   | 200mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥砂浆    | 约 6.6 |     |      |
|                      | 底板   | 200mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥砂浆    | 约 6.6 |     |      |
|                      | 防护门  | 4mmPb                      | 4     |     |      |
|                      | 观察窗  | 4mmPb 铅玻璃                  | 4     |     |      |

注：混凝土实心砖密度不小于  $2.0\text{g/cm}^3$ ，混凝土密度不小于  $2.35\text{g/cm}^3$ ，根据密度换算，240mm 混凝土实心砖相当于约 204mm 混凝土；根据 GBZ130-2020 附录表 C 中表 C.5 至表 C.7 并采用内插法，对于 140kV 管电压，200mm、204mm 混凝土相当于约 2.3mmPb；对于 125kV（有用线束）管电压，200mm 混凝土相当于约 2.6mmPb，204mm 混凝土相当于约 2.7mmPb。

根据表 11-19，本项目 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房四周墙体、顶部、底板、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 4mm 铅当量，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“C 型臂 X 射线设备机房有用线束方向、非有用线束方向屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.0mm 铅当量”“CT 机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.5mm 铅当量”的要求。

#### 11.2.2.2 运行阶段辐射影响分析

根据污染源项描述章节，本项目 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房各侧屏蔽体主要考虑泄漏辐射和散射辐射的影响。本项目保守按设备以最大管电压运行进行理论估算。

根据 9.2.1.3 章节污染源项分析可知，DSA、移动 CT、ERCP 用 X 光机开机过程中主要考虑泄漏和散射辐射影响。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留有一定的裕量，ERCP、DSA、移动 CT 实际运行工况见表 9-5，本项目在计算漏射线和散射线辐射影响时，工况取实际运行最大工况进行计算，具体见表 11-20，源强参数见表 9-7，各机房外关注点设定见图 11-5。为简化估算，根据公式（11-14）至（11-16），各机房理论估算时，对于屏蔽铅当量相同的屏蔽体，保守选取距源点最近的关注点进行估算（该关注点处辐射剂量率最大）。

表 11-20 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房理论估算工况

| 设备名称        | 理论估算管电压（kV） |    | 理论估算管电流（mA） |    |
|-------------|-------------|----|-------------|----|
|             | 拍片          | 透视 | 拍片          | 透视 |
| DSA         | 80          | 80 | 500         | 20 |
| ERCP 用 X 光机 | 80          | 80 | 500         | 5  |
| 移动 CT       | 120         | /  | 300         | /  |

DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房理论估算模式同放疗中心模拟 CT 机房。理论估算时，保守取散射线能量同漏射线能量。根据 GBZ 130-2020 表 C.2，铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数见表 11-21，其中对于 80kV 时相应的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 数值，根据 70kV~100kV 区间的 X 射线在铅中衰减的拟合参数 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 值，分别绘制 $\alpha$ -管电压拟合曲线、 $\beta$ -管电压拟合曲线、 $\gamma$ -管电压拟合曲线，由拟合曲线查取。

表 11-21 铅对管电压 100kV 的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

| 设备名称            | 管电压 (kV) | 铅        |         |          |
|-----------------|----------|----------|---------|----------|
|                 |          | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ |
| DSA、ERCP 用 X 光机 | 80       | 3.722    | 21.356  | 0.699    |
| 移动 CT           | 120 (CT) | 2.246    | 5.730   | 0.5470   |

### ERCP机房

图 11-5 本项目 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房外关注点设定示意图

#### (1) 泄漏辐射预测

将有关参数代入公式 (11-14) 和公式 (11-15)，可估算得出各机房四周屏蔽体、顶部外、底板下方关注点处的泄漏辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-22。

表 11-22-1 DSA 复合手术室（使用移动 CT）泄漏辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称                   | 关注点位置                           | $H_i$<br>(mGy/h) | 等效铅当量<br>(mmPb) | R<br>(m) | B        | $\dot{H}_L$<br>( $\mu$ Gy/h) |
|------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|------------------------------|
| DSA 复合手术室<br>(使用移动 CT) | 北墙表面外 30cm<br>(点位 A)            | 1                | 4               | 3.397    | 1.25E-05 | <b>1.08E-03</b>              |
|                        | 顶部外 30cm<br>(点位 B)              | 1                | 约 6.3           | 5.4      | 7.06E-08 | <b>2.42E-06</b>              |
|                        | 底板下方 (楼下) 距楼下<br>地面 1.7m (点位 C) | 1                | 约 6.3           | 3.4      | 7.06E-08 | <b>6.11E-06</b>              |

注：①根据图 11-5，对于屏蔽铅当量相同的四周屏蔽体，CT 源点离北墙外关注点最近，R 取值为 3.397m；

②机房所在四层层高为 5.4m，下方三层层高为 4.8m，球管距地面约 0.3m，则顶部外 30cm 处关注点 R 取 5.4m，底板下方 (楼下) 距楼下地面 1.7m 处关注点 R 取 3.4m。

表 11-22-2 DSA 复合手术室（使用 DSA）泄漏辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称      | 关注点位置                | $H_i$<br>(mGy/h) | 等效铅当量<br>(mmPb) | R<br>(m) | B        | $\dot{H}_L$<br>( $\mu$ Gy/h) |
|-----------|----------------------|------------------|-----------------|----------|----------|------------------------------|
| DSA 复合手术室 | 北墙表面外 30cm<br>(点位 D) | 1                | 4               | 3.118    | 2.23E-08 | <b>2.30E-06</b>              |

|          |                               |   |       |     |          |                 |
|----------|-------------------------------|---|-------|-----|----------|-----------------|
| (使用 DSA) | 顶部外 30cm<br>(点位 E)            | 1 | 约 6.6 | 5.4 | 1.40E-12 | <b>4.80E-11</b> |
|          | 底板下方(楼下)距楼下<br>地面 1.7m (点位 F) | 1 | 约 6.6 | 3.4 | 1.40E-12 | <b>1.21E-10</b> |

注:①根据图 11-5,对于屏蔽铅当量相同的四周屏蔽体,DSA 源点离北墙外关注点最近,R 取值为 3.118m;

②机房所在四层层高为 5.4m,下方三层层高为 4.8m,球管距地面约 0.3m,则顶部外 30cm 处关注点 R 取 5.4m,底板下方(楼下)距楼下地面 1.7m 处关注点 R 取 3.4m。

表 11-22-3 CT 机房泄漏辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称               | 关注点位置                         | $H_i$<br>(mGy/h) | 等效铅当量<br>(mmPb) | R<br>(m) | B        | $\dot{H}_L$<br>( $\mu$ Gy/h) |
|--------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|------------------------------|
| CT 机房<br>(使用移动 CT) | 北墙表面外 30cm<br>(点位 G)          | 1                | 4               | 3.593    | 1.25E-05 | <b>9.67E-04</b>              |
|                    | 顶部外 30cm<br>(点位 H)            | 1                | 约 6.3           | 5.4      | 7.06E-08 | <b>2.42E-06</b>              |
|                    | 底板下方(楼下)距楼下<br>地面 1.7m (点位 I) | 1                | 约 6.3           | 3.4      | 7.06E-08 | <b>6.11E-06</b>              |

注:①根据图 11-5,对于屏蔽铅当量相同的四周屏蔽体,CT 源点离北墙外关注点最近,R 取值为 3.593m;

②顶外、底板下方关注点的 R 取值同表 11-22-1。

表 11-22-4 ERCP 机房泄漏辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称                    | 关注点位置                         | $H_i$<br>(mGy/h) | 等效铅当量<br>(mmPb) | R<br>(m) | B        | $\dot{H}_L$<br>( $\mu$ Gy/h) |
|-------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|------------------------------|
| ERCP 机房(使用 ERCP 用 X 光机) | 北墙表面外 30cm<br>(点位 a)          | 1                | 约 6.7           | 2.61     | 9.65E-13 | <b>1.42E-10</b>              |
|                         | 观察窗表面外 30cm<br>(点位 b)         | 1                | 4               | 3.241    | 2.23E-08 | <b>2.13E-06</b>              |
|                         | 顶部外 30cm<br>(点位 c)            | 1                | 约 6.6           | 5.4      | 1.40E-12 | <b>4.80E-11</b>              |
|                         | 底板下方(楼下)距楼下<br>地面 1.7m (点位 d) | 1                | 约 6.6           | 3.4      | 1.40E-12 | <b>1.21E-10</b>              |

注:①根据图 11-5,对于屏蔽铅当量相同的四周墙体,X 光机源点离北墙外关注点最近,R 取值为 2.61m;

对于屏蔽铅当量相同的观察窗和防护门,X 光机源点离观察窗外关注点最近,R 取值为 3.241m;

②顶外、底板下方关注点的 R 取值同表 11-22-1。

## (2) 散射辐射预测

将有关参数代入公式(11-15)和公式(11-16),可估算得出各机房四周屏蔽体、顶部外、底板下方关注点处的散射辐射空气比释动能率,计算结果见表 11-23。

理论估算时,保守不考虑源至受照点的距离,ds 取值保守同泄漏辐射 R 值。对于移动 CT,正常使用时开机工况同模拟 CT,a、S、d<sub>0</sub> 参数取值同模拟 CT(表 11-14)。对于 DSA 和 ERCP 用 X 光机,正常工作使用电压最大为 80kV,查《辐射防护手册(第一分册)》表 10.1,a 查取值为 0.0008(根据《辐射防护手册(第一分册)》表 10.1 中管电压为 70kV、100kV、125kV 对应散射角为 90°的 a 值绘制拟合曲线,从曲线查取 80kV 对应的 a 值,底

部散射角为  $180^\circ$ ，底部对应  $a$  的值保守取  $90^\circ$  方向的值）； $d_0$  保守取常见设备的最小值 0.38m；考虑手术需要的最大照射面积， $S$  取  $100\text{cm}^2$ 。

表 11-23-1 DSA 复合手术室（使用移动 CT）散射辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称               | 关注点位置                    | $H_0$<br>( $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | $I$<br>(mA) | $a$    | $S$<br>( $\text{cm}^2$ ) | $B_s$    | $d_0$<br>(m) | $d_s$<br>(m) | $H_s$<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|--------------------------|----------|--------------|--------------|-------------------------------|
| DSA 复合手术室（使用移动 CT） | 北墙表面外 30cm<br>(点位 A)     | 10                                                                              | 300         | 0.0014 | 100                      | 1.25E-05 | 0.3          | 3.397        | <b>7.57E-02</b>               |
|                    | 顶部外 30cm<br>(点位 B)       | 10                                                                              | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 5.4          | <b>1.70E-04</b>               |
|                    | 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m（点位 C） | 10                                                                              | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 3.4          | <b>4.28E-04</b>               |

注： $a$ 、 $S$ 、 $d_0$  参数取值同表 11-14；保守不考虑源至受照点的距离， $d_s$  取值保守同泄漏辐射  $R$  值。

表 11-23-2 DSA 复合手术室（使用 DSA）散射辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称              | 关注点位置                        | 操作模式 | $H_0$<br>( $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | $I$<br>(mA) | $a$    | $S$<br>( $\text{cm}^2$ ) | $B_s$    | $d_0$<br>(m) | $d_s$<br>(m) | $H_s$<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|-------------------|------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|--------------------------|----------|--------------|--------------|-------------------------------|
| DSA 复合手术室（使用 DSA） | 北墙表面外 30cm<br>(点位 A)         | 透视   | 5                                                                               | 20          | 0.0008 | 100                      | 2.23E-08 | 0.38         | 3.118        | <b>1.91E-05</b>               |
|                   |                              | 拍片   | 5                                                                               | 500         |        |                          |          |              |              | <b>4.77E-04</b>               |
|                   | 顶部外 30cm<br>(点位 B)           | 透视   | 5                                                                               | 20          | 0.0008 | 100                      | 1.40E-12 | 0.38         | 5.4          | <b>3.99E-10</b>               |
|                   |                              | 拍片   | 5                                                                               | 500         |        |                          |          |              |              | <b>9.98E-09</b>               |
|                   | 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m<br>(点位 C) | 透视   | 5                                                                               | 20          | 0.0008 | 100                      | 1.40E-12 | 0.38         | 3.4          | <b>1.01E-09</b>               |
|                   |                              | 拍片   | 5                                                                               | 500         |        |                          |          |              |              | <b>2.52E-08</b>               |

表 11-23-3 CT 机房散射辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称           | 关注点位置                    | $H_0$<br>( $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | $I$<br>(mA) | $a$    | $S$<br>( $\text{cm}^2$ ) | $B_s$    | $d_0$<br>(m) | $d_s$<br>(m) | $H_s$<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|----------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|--------------------------|----------|--------------|--------------|-------------------------------|
| CT 机房（使用移动 CT） | 北墙表面外 30cm<br>(点位 G)     | 10                                                                              | 300         | 0.0014 | 100                      | 1.25E-05 | 0.3          | 3.593        | <b>6.77E-02</b>               |
|                | 顶部外 30cm<br>(点位 H)       | 10                                                                              | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 5.4          | <b>1.70E-04</b>               |
|                | 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m（点位 I） | 10                                                                              | 300         | 0.0014 | 100                      | 7.06E-08 | 0.3          | 3.4          | <b>4.28E-04</b>               |

表 11-23-4 ERCP 机房散射辐射空气比释动能率计算结果

| 场所名称 | 关注点位置 | 操作模式 | $H_0$<br>( $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | $I$<br>(mA) | $a$ | $S$<br>( $\text{cm}^2$ ) | $B_s$ | $d_0$<br>(m) | $d_s$<br>(m) | $H_s$<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|------|-------|------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|--------------------------|-------|--------------|--------------|-------------------------------|
|------|-------|------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|--------------------------|-------|--------------|--------------|-------------------------------|

|                         |                          |    |   |     |        |     |          |      |       |          |
|-------------------------|--------------------------|----|---|-----|--------|-----|----------|------|-------|----------|
| ERCP 机房（使用 ERCP 用 X 光机） | 北墙表面外 30cm（点位 a）         | 透视 | 5 | 5   | 0.0008 | 100 | 9.65E-13 | 0.38 | 2.61  | 2.97E-10 |
|                         |                          | 拍片 | 5 | 500 |        |     |          |      |       | 2.97E-08 |
|                         | 观察窗表面外 30cm（点位 b）        | 透视 | 5 | 5   | 0.0008 | 100 | 2.23E-08 | 0.38 | 3.241 | 3.35E-07 |
|                         |                          | 拍片 | 5 | 500 |        |     |          |      |       | 1.13E-05 |
|                         | 顶部外 30cm（点位 c）           | 透视 | 5 | 5   | 0.0008 | 100 | 1.40E-12 | 0.38 | 5.4   | 9.98E-11 |
|                         |                          | 拍片 | 5 | 500 |        |     |          |      |       | 9.98E-09 |
|                         | 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m（点位 d） | 透视 | 5 | 5   | 0.0008 | 100 | 1.40E-12 | 0.38 | 3.4   | 2.52E-10 |
|                         |                          | 拍片 | 5 | 500 |        |     |          |      |       | 2.52E-08 |

### （3）泄漏辐射和散射辐射的叠加剂量

根据表 11-22 和 11-23 估算结果可得出，DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房屏蔽体外关注点处的泄漏辐射和散射辐射的叠加剂量率，计算结果见表 11-24。

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/T830-2024）表 G.1，本项目移动 CT 保守取 100kV 管电压时有效剂量与空气比释动能转换系数 1.65Sv/Gy，DSA 和 ERCP 用 X 光机保守取 80kV 管电压时有效剂量与空气比释动能转换系数 1.72Sv/Gy。

表 11-24-1 DSA 复合手术室（使用移动 CT）叠加剂量率计算结果

| 场所名称               | 关注点位置                    | 泄漏辐射估算结果（μGy/h） | 散射辐射估算结果（μGy/h） | 叠加辐射估算结果（μSv/h） |
|--------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DSA 复合手术室（使用移动 CT） | 北墙表面外 30cm（点位 A）         | 1.08E-03        | 7.57E-02        | 1.27E-01        |
|                    | 顶部外 30cm（点位 B）           | 2.42E-06        | 1.70E-04        | 2.84E-04        |
|                    | 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m（点位 C） | 6.11E-06        | 4.28E-04        | 7.16E-04        |

表 11-24-2 DSA 复合手术室（使用 DSA）叠加剂量率计算结果

| 场所名称              | 关注点位置                    | 操作模式 | 泄漏辐射估算结果（μGy/h） | 散射辐射估算结果（μGy/h） | 叠加辐射估算结果（μSv/h） |
|-------------------|--------------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DSA 复合手术室（使用 DSA） | 北墙表面外 30cm（点位 D）         | 透视   | 2.30E-06        | 1.91E-05        | 3.68E-05        |
|                   |                          | 拍片   |                 | 4.77E-04        | 8.24E-04        |
|                   | 顶部外 30cm（点位 E）           | 透视   | 4.80E-11        | 3.99E-10        | 7.69E-10        |
|                   |                          | 拍片   |                 | 9.98E-09        | 1.72E-08        |
|                   | 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m（点位 F） | 透视   | 1.21E-10        | 1.01E-09        | 1.95E-09        |
|                   |                          | 拍片   |                 | 2.52E-08        | 4.36E-08        |

表 11-24-3 CT 机房叠加剂量率计算结果

| 场所名称            | 关注点位置                             | 泄漏辐射估算结果<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 散射辐射估算结果<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 叠加辐射估算结果<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| CT 机房 (使用移动 CT) | 北墙表面外<br>30cm (点位 G)              | 9.67E-04                         | 6.77E-02                         | <b>1.13E-01</b>                  |
|                 | 顶部外 30cm<br>(点位 H)                | 2.42E-06                         | 1.70E-04                         | <b>2.84E-04</b>                  |
|                 | 底板下方 (楼下)<br>距楼下地面 1.7m<br>(点位 I) | 6.11E-06                         | 4.28E-04                         | <b>7.16E-04</b>                  |

表 11-24-4 ERCP 机房叠加剂量率计算结果

| 场所名称                        | 关注点位置                             | 操作模式 | 泄漏辐射估算结果<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 散射辐射估算结果<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) | 叠加辐射估算结果<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|-----------------------------|-----------------------------------|------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| ERCP 机房<br>(使用 ERCP 用 X 光机) | 北墙表面外<br>30cm (点位 a)              | 透视   | 1.42E-10                         | 2.97E-10                         | <b>7.55E-10</b>                  |
|                             |                                   | 拍片   |                                  | 2.97E-08                         | <b>5.13E-08</b>                  |
|                             | 观察窗表面外<br>30cm (点位 b)             | 透视   | 2.13E-06                         | 3.35E-07                         | <b>4.24E-06</b>                  |
|                             |                                   | 拍片   |                                  | 1.13E-05                         | <b>2.31E-05</b>                  |
|                             | 顶部外 30cm<br>(点位 c)                | 透视   | 4.80E-11                         | 9.98E-11                         | <b>2.54E-10</b>                  |
|                             |                                   | 拍片   |                                  | 9.98E-09                         | <b>1.72E-08</b>                  |
|                             | 底板下方 (楼下)<br>距楼下地面 1.7m<br>(点位 d) | 透视   | 1.21E-10                         | 2.52E-10                         | <b>6.42E-10</b>                  |
|                             |                                   | 拍片   |                                  | 2.52E-08                         | <b>4.36E-08</b>                  |

#### (4) 小结

根据表 11-24 估算结果可知, 本项目 DSA 复合手术室在使用移动 CT 时, 室外辐射剂量率最大为 **1.27E-01 $\mu\text{Sv/h}$** ; CT 机房在使用移动 CT 时, 室外辐射剂量率最大为 **1.13E-01 $\mu\text{Sv/h}$** ; DSA 复合手术室在使用 DSA 时, 透视模式下, 室外辐射剂量率最大为 **3.68E-05 $\mu\text{Sv/h}$** , 拍片模式下, 室外辐射剂量率最大为 **8.24E-04 $\mu\text{Sv/h}$** ; ERCP 机房在使用 ERCP 用 X 光机时, 透视模式下, 室外辐射剂量率最大为 **4.24E-06 $\mu\text{Sv/h}$** , 拍片模式下, 室外辐射剂量率最大为 **2.31E-05 $\mu\text{Sv/h}$** , 均能满足本项目辐射剂量率管理限值要求, 即机房屏蔽体外表面 30cm 处及周围人员可居留处的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

##### 11.2.2.3 手术部叠加辐射影响评价

本项目手术部 DSA 复合手术室和 CT 机房南北向间隔 CT 停车间设置, DSA 复合手术室内使用 DSA 或移动 CT, CT 机房内使用移动 CT, 当复合手术室内 DSA 和 CT 机房内移动 CT 同时运行时, 可能会对两间机房中间、西侧、东侧及顶外造成叠加影响, 根据表 11-24 估算结果, 保守取两间机房外最大估算值进行叠加, 可估算得出最大叠加剂量率小于 1.14E-01 $\mu\text{Sv/h}$ , 也能满足本项目辐射剂量率管理限值要求。

#### 11.2.2.4 保护目标剂量评价

##### 1、辐射工作人员年有效剂量评价

###### (1) 控制室内辐射工作人员年受照剂量

根据表 11-24 理论估算结果和公式 (11-17)，可估算得出 DSA、移动 CT 及 ERCP 用 X 光机控制室内辐射工作人员的年有效剂量，具体见表 11-25。

表 11-25 控制室内辐射工作人员的年有效剂量估算一览表

| 居留场所                   | 操作模式         |              | t (h) | 居留因子 | 辐射剂量率<br>(μSv/h) | 年有效剂量<br>(mSv/a) |          |
|------------------------|--------------|--------------|-------|------|------------------|------------------|----------|
| DSA 及移动 CT 控制室(技师和护士)  | DSA(复合手术室)   | 透视           | 100   | 1    | 3.68E-05         | 3.68E-06         | 2.90E-03 |
|                        |              | 拍片           | 5     | 1    | 8.24E-04         | 4.12E-06         |          |
|                        | 移动 CT(复合手术室) | 拍片           | 5     | 1    | 1.27E-01         | 6.35E-04         |          |
|                        |              | 移动 CT(CT 机房) | 拍片    | 20   | 1                | 1.13E-01         |          |
| DSA 及移动 CT 控制室（介入手术医生） | DSA(复合手术室)   | 拍片           | 5     | 1    | 8.24E-04         | 4.12E-06         | 6.39E-04 |
|                        | 移动 CT(复合手术室) | 拍片           | 5     | 1    | 1.27E-01         | 6.35E-04         |          |
| ERCP 控制室（技师和护士）        | 透视           |              | 50    | 1    | 4.24E-06         | 2.12E-07         | 3.28E-07 |
|                        | 拍片           |              | 5     | 1    | 2.31E-05         | 1.16E-07         |          |
| ERCP 控制室（介入手术医生）       | 拍片           |              | 5     | 1    | 2.31E-05         | 1.16E-07         |          |

注：①复合手术室、CT 机房四周墙体、观察窗和防护门屏蔽参数相同，控制室内剂量率保守取相应机房四周屏蔽体外最大估算值；ERCP 机房四周墙体屏蔽参数相同，观察窗和防护门屏蔽参数相同，控制室内剂量率保守取四周屏蔽体外最大估算值。

②使用因子取 1。

###### (2) DSA 复合手术室、ERCP 机房内介入工作人员年有效剂量评价

本项目 DSA、ERCP 介入手术时，第一术者位置距球管约 0.5m、第二术者位置距球管约 1m，主要受到泄漏辐射和散射辐射的叠加影响，工况取实际运行最大工况进行计算，具体见表 11-20，源强参数见表 9-7。手术位医护人员使用 0.5mmPb 的床侧防护帘等辅助防护用品，并穿戴 0.5mmPb 的铅衣等个人防护用品。将相关参数代入公式 (11-14) 至 (11-16)，本项目介入手术位处的泄漏辐射空气比释动能率和散射辐射空气比释动能率计算结果分别见表 11-26 和表 11-27。

表 11-26 本项目 DSA、ERCP 介入手术位处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

| 关注点位置            |     | 等效铅当量<br>(mmPb) | $H_i$<br>(mGy/h) | R<br>(m) | B        | $\dot{H}_L$ 估算结果 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|------------------|-----|-----------------|------------------|----------|----------|---------------------------------------|
| DSA/ERCP<br>第一术者 | 铅衣内 | 1               | 1                | 0.5      | 1.73E-03 | <b>6.93</b>                           |
|                  | 铅衣外 | 0.5             | 1                | 0.5      | 1.48E-02 | <b>59.2</b>                           |

|                  |  |     |     |   |     |          |      |  |
|------------------|--|-----|-----|---|-----|----------|------|--|
| DSA/ERCP<br>第二术者 |  | 铅衣内 | 1   | 1 | 1.0 | 1.73E-03 | 1.73 |  |
|                  |  | 铅衣外 | 0.5 | 1 | 1.0 | 1.48E-02 | 14.8 |  |

注：对于 80kV 泄漏辐射， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 参数取值分别为 3.722、21.356、0.699。

表 11-27 本项目 DSA、ERCP 介入手术位处散射辐射空气比释动能率计算结果

| 关注点位置        |     | 操作模式 | $H_0$<br>( $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | I<br>(mA) | Bs       | $d_0$<br>(m) | ds<br>(m) | Hs<br>( $\mu\text{Gy/h}$ ) |
|--------------|-----|------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|--------------|-----------|----------------------------|
| DSA<br>第一术者  | 铅衣内 | 透视   | 5                                                                             | 20        | 2.83E-04 | 0.38         | 0.5       | 9.42                       |
|              | 铅衣外 | 透视   |                                                                               | 20        | 5.34E-03 | 0.38         | 0.5       | 178                        |
| DSA<br>第二术者  | 铅衣内 | 透视   |                                                                               | 20        | 2.83E-04 | 0.38         | 1.0       | 2.35                       |
|              | 铅衣外 | 透视   |                                                                               | 20        | 5.34E-03 | 0.38         | 1.0       | 44.4                       |
| ERCP<br>第一术者 | 铅衣内 | 透视   | 5                                                                             | 5         | 2.83E-04 | 0.3          | 0.5       | 2.35                       |
|              | 铅衣外 | 透视   |                                                                               | 5         | 5.34E-03 | 0.3          | 0.5       | 44.4                       |
| ERCP<br>第二术者 | 铅衣内 | 透视   |                                                                               | 5         | 2.83E-04 | 0.3          | 1.0       | 0.59                       |
|              | 铅衣外 | 透视   |                                                                               | 5         | 5.34E-03 | 0.3          | 1.0       | 11.1                       |

注：①a、s 参数同表 11-23-2 和表 11-23-4；  
②为较准确估算介入人员所受剂量，对散射线能量和参数进行细化取值；对于 80kV 有用线束的散射辐射，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 E0 之比为  $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08*(1-\cos90^\circ)/0.511]=0.865$ ，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为  $80\text{kV}\times0.865=69.2\text{kV}$ ，近似取为 70kV，再从 GBZ 130-2020 表 C.2 中查取对应于 70kV 的  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  数值，分别取值为 5.369、23.49、0.5881。

根据表 11-26 和表 11-27 计算结果，可得出本项目 DSA、ERCP 介入手术位处的叠加剂量率，计算结果见表 11-28。

表 11-28 本项目 DSA、ERCP 介入手术位处叠加剂量率计算结果

| 关注点位置        |     | 操作模式 | X 射线空气比释动能率 ( $\mu\text{Gy/h}$ ) |      |      | 辐射剂量率<br>( $\mu\text{Sv/h}$ ) |
|--------------|-----|------|----------------------------------|------|------|-------------------------------|
|              |     |      | 漏射线                              | 散射线  | 合计   |                               |
| DSA<br>第一术者  | 铅衣内 | 透视   | 6.93                             | 9.42 | 16.4 | 28.1                          |
|              | 铅衣外 | 透视   | 59.2                             | 178  | 237  | 408                           |
| DSA<br>第二术者  | 铅衣内 | 透视   | 1.73                             | 2.35 | 4.08 | 7.02                          |
|              | 铅衣外 | 透视   | 14.8                             | 44.4 | 59.2 | 102                           |
| ERCP<br>第一术者 | 铅衣内 | 透视   | 6.93                             | 2.35 | 9.28 | 16.0                          |
|              | 铅衣外 | 透视   | 59.2                             | 44.4 | 104  | 178                           |
| ERCP<br>第二术者 | 铅衣内 | 透视   | 1.73                             | 0.59 | 2.32 | 3.99                          |
|              | 铅衣外 | 透视   | 14.8                             | 11.1 | 25.9 | 44.5                          |

注：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/T830-2024）

表 G.1，对于本项目DSA、ERCP运行时最大常用管电压80kV，K值保守取1.72Sv/Gy。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的要求，每名介入手术医生需佩戴2枚个人剂量计，1枚佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口处，1枚佩戴在铅围裙内躯干上。本项目DSA、ERCP介入手术医生年受照剂量可根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中公式进行估算，估算方法如下：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (\text{式 11-18})$$

式中：

E—有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

$\alpha$ —系数，有甲状腺屏蔽，取 0.79；

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

$\beta$ —系数，有甲状腺屏蔽，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 $H_P(10)$ ，单位为 mSv。

根据表 9-4，本项目每名 DSA 介入手术医生年手术台数不超过 300 台，年手术透视时间不超过 100h，每名 ERCP 介入手术医生年手术台数不超过 300 台，年手术透视时间不超过 50h，将相关参数代入公式（11-18），可计算得出本项目 DSA、ERCP 介入手术医生在机房内开展介入手术时年受照剂量，计算结果见表 11-29。

表 11-29 本项目 DSA、ERCP 介入手术医生在机房内开展介入手术时年受照剂量估算结果

| 工作人员        | 位置   | $\alpha$ | $\beta$ | 辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ） |           | 年照射时间（h） | 年受照剂量（mSv）  |
|-------------|------|----------|---------|---------------------------|-----------|----------|-------------|
|             |      |          |         | 部位                        | 散射线和漏射线合计 |          |             |
| DSA 介入手术医生  | 第一术者 | 0.79     | 0.051   | 铅衣内                       | 28.1      | 100      | <b>4.30</b> |
|             | 铅衣外  |          |         | 408                       |           |          |             |
|             | 第二术者 |          |         | 铅衣内                       | 7.02      |          | <b>1.07</b> |
|             |      |          |         | 铅衣外                       | 102       |          |             |
| ERCP 介入手术医生 | 第一术者 | 0.79     | 0.051   | 铅衣内                       | 16.0      | 50       | <b>1.09</b> |
|             | 铅衣外  |          |         | 178                       |           |          |             |
|             | 第二术者 |          |         | 铅衣内                       | 3.99      |          | <b>0.27</b> |
|             |      |          |         | 铅衣外                       | 44.5      |          |             |

根据表 11-29，介入手术过程所致本项目 DSA 介入手术医生年受照剂量最大约为 4.30mSv，所致 ERCP 介入手术医生年受照剂量最大约为 1.09mSv。

此外，本项目 DSA 和移动 CT 在复合手术室内拍片、ERCP 拍片时，介入手术医生在控制室内还将受到辐射影响。根据表 11-25 估算结果可知，拍片过程对机房外的辐射影响

很小，拍片工作所致介入手术医生的年受照剂量相较于介入手术过程可忽略不计。

综上，根据理论估算结果可知，本项目 DSA 介入工作人员年有效剂量最大约为 **4.30mSv**，ERCP 介入工作人员年受照剂量最大约为 **1.09mSv**，控制室内工作人员年有效剂量最大为 **2.90E-03mSv**，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

在实际手术时，因不同的手术，其曝光或透视的管电压管电流不同，投照方位根据需要而变化，且投照出束时间不同，难以准确估算介入手术工作人员受到的准确照射剂量，主要依靠其佩戴的个人剂量计进行跟踪性监测。因此，建设单位应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过剂量约束值。

## 2、周围公众年有效剂量评价

将相关参数带入公式（11-17），可估算出本项目 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房周围公众的年有效剂量，具体见表 11-30。

DSA 复合手术室、CT 机房四周墙体、观察窗和防护门屏蔽参数相同，ERCP 机房四周墙体屏蔽参数相同、观察窗和防护门屏蔽参数相同，理论估算时，各机房四周屏蔽体外剂量率保守取四周屏蔽体外最大估算值；使用因子取 1。

表 11-30-1 DSA 复合手术室周围公众的年有效剂量估算一览表

| 关注点位置          | 居留场所                    | 操作模式  |    | t (h) | 居留因子 | 辐射剂量率<br>(μSv/h) | 年有效剂量<br>(mSv/a) |          |
|----------------|-------------------------|-------|----|-------|------|------------------|------------------|----------|
| 东墙外 30cm       | 污洗、器械预处理间，打包间，专属手术室器械污梯 | DSA   | 透视 | 100   | 1/16 | 3.68E-05         | 2.30E-07         | 4.02E-05 |
|                |                         |       | 拍片 | 5     |      | 8.24E-04         | 2.58E-07         |          |
|                |                         | 移动 CT | 拍片 | 5     |      | 1.27E-01         | 3.97E-05         |          |
| 北墙/北侧防护门外 30cm | 走道                      | DSA   | 透视 | 100   | 1/16 | 3.68E-05         | 2.30E-07         | 4.02E-05 |
|                |                         |       | 拍片 | 5     |      | 8.24E-04         | 2.58E-07         |          |
|                |                         | 移动 CT | 拍片 | 5     |      | 1.27E-01         | 3.97E-05         |          |
| 西墙/西侧防护门外 30cm | 走道                      | DSA   | 透视 | 100   | 1/16 | 3.68E-05         | 2.30E-07         | 4.02E-05 |
|                |                         |       | 拍片 | 5     |      | 8.24E-04         | 2.58E-07         |          |
|                |                         | 移动 CT | 拍片 | 5     |      | 1.27E-01         | 3.97E-05         |          |
| 顶部外 30cm       | 层流净化设备                  | DSA   | 透视 | 100   | 1/16 | 7.69E-10         | 4.81E-12         | 8.88E-08 |

|                    |                            |       |    |     |   |          |          |          |
|--------------------|----------------------------|-------|----|-----|---|----------|----------|----------|
|                    | 机房和后勤通道                    |       | 拍片 | 5   |   | 1.72E-08 | 5.38E-12 |          |
|                    |                            | 移动 CT | 拍片 | 5   |   | 2.84E-04 | 8.88E-08 |          |
| 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m | 消毒供应中心去污区和清洗区、走道、新风机房和预留房间 | DSA   | 透视 | 100 | 1 | 1.95E-09 | 1.95E-10 | 3.58E-06 |
|                    |                            |       | 拍片 | 5   |   | 4.36E-08 | 2.18E-10 |          |
|                    |                            | 移动 CT | 拍片 | 5   |   | 7.16E-04 | 3.58E-06 |          |

注：DSA 复合手术室南侧为 CT 停车间，手术室工作时，停车间内无人员停留。

表 11-30-2 CT 机房周围公众的年有效剂量估算一览表

| 关注点位置              | 居留场所          | 操作模式  |    | t (h) | 居留因子 | 辐射剂量率 (μSv/h) | 年有效剂量 (mSv/a) |
|--------------------|---------------|-------|----|-------|------|---------------|---------------|
| 东墙外 30cm           | 电梯厅及电梯        | 移动 CT | 拍片 | 20    | 1/16 | 1.13E-01      | 1.41E-04      |
| 南墙/南侧防护门外 30cm     | 外洁净区通道        | 移动 CT | 拍片 | 20    | 1/16 | 1.13E-01      | 1.41E-04      |
| 西墙/西侧防护门外 30cm     | 走道            | 移动 CT | 拍片 | 20    | 1/16 | 1.13E-01      | 1.41E-04      |
| 顶部外 30cm           | 层流净化设备机房      | 移动 CT | 拍片 | 20    | 1/16 | 2.84E-04      | 3.55E-07      |
| 底板下方（楼下）距楼下地面 1.7m | 消毒供应中心去污区和清洗区 | 移动 CT | 拍片 | 20    | 1    | 7.16E-04      | 1.43E-05      |

注：CT 机房北侧为 CT 停车间，CT 机房工作时，停车间内无人员停留。

表 11-30-3 ERCP 机房周围公众的年有效剂量估算一览表

| 关注点位置       | 居留场所  | 操作模式 | t (h) | 居留因子 | 辐射剂量率 (μSv/h) | 年有效剂量 (mSv/a) |          |
|-------------|-------|------|-------|------|---------------|---------------|----------|
| 东墙外 30cm    | 洗镜室   | 透视   | 50    | 1    | 7.55E-10      | 3.78E-11      | 2.94E-10 |
|             |       | 拍片   | 5     |      | 5.13E-08      | 2.57E-10      |          |
| 南墙外 30cm    | 通道    | 透视   | 50    | 1/16 | 7.55E-10      | 2.36E-12      | 1.84E-11 |
|             |       | 拍片   | 5     |      | 5.13E-08      | 1.60E-11      |          |
| 南侧防护门外 30cm | 通道    | 透视   | 50    | 1/16 | 4.24E-06      | 1.33E-08      | 2.05E-08 |
|             |       | 拍片   | 5     |      | 2.31E-05      | 7.22E-09      |          |
| 西墙外 30cm    | 镜库、通道 | 透视   | 50    | 1/16 | 7.55E-10      | 2.36E-12      | 1.84E-11 |
|             |       | 拍片   | 5     |      | 5.13E-08      | 1.60E-11      |          |
| 西侧防护门外 30cm | 通道    | 透视   | 50    | 1/16 | 4.24E-06      | 1.33E-08      | 2.05E-08 |
|             |       | 拍片   | 5     |      | 2.31E-05      | 7.22E-09      |          |

|                        |       |    |    |   |          |          |          |
|------------------------|-------|----|----|---|----------|----------|----------|
| 顶部外 30cm               | 病房、通道 | 透视 | 50 | 1 | 2.54E-10 | 1.27E-11 | 9.87E-11 |
|                        |       | 拍片 | 5  |   | 1.72E-08 | 8.60E-11 |          |
| 底板下方（楼下）距<br>楼下地面 1.7m | 诊室、通道 | 透视 | 50 | 1 | 6.42E-10 | 3.21E-11 | 2.50E-10 |
|                        |       | 拍片 | 5  |   | 4.36E-08 | 2.18E-10 |          |

注：ERCP 机房北侧临空，人员无法停留。

根据估算可知，本项目 DSA 复合手术室、CT 机房、ERCP 机房周围公众年有效剂量最大为  $1.41\text{E-}04\text{mSv}$ ，本项目 50m 评价范围内其他公众距机房相对较远，经距离的进一步衰减和其他建筑墙体的进一步屏蔽后，基本湮灭在环境本底辐射中，年有效剂量将更小，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值和本项目剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过  $0.1\text{mSv}$ 。

### 11.2.3 三废治理措施评价

#### 11.2.3.1 放疗中心直线加速器、后装机、模拟 CT

##### 1、退役废源处理措施

建设单位已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，退役的后装  $^{192}\text{Ir}$  放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求，对周围环境影响较小。

##### 2、感生放射性固废处理措施

本项目直线加速器退役或更换机头部件时产生的退役废机头部件将作为感生放射性固废，委托有资质单位回收处理，对周围环境影响较小。

##### 3、废水治理措施

项目运行期间产生的生活污水依托无锡医疗健康产业园的污水处理系统进行处置，对周围环境影响较小。

##### 4、废气治理措施

本项目直线加速器机房、后装治疗机房内拟设置机械通风系统，包括新风和排风装置，采用全排全送的通风方式。直线加速器机房排风系统的设计排风量为  $10250\text{m}^3/\text{h}$ ，加速器机房内容积（包含迷道及结构空腔容积）约为  $642\text{m}^3$ ，机房通风换气次数为约 16 次/h；后装治疗机房排风系统的设计排风量为  $4150\text{m}^3/\text{h}$ ，后装治疗机房内容积（包含迷道及结构空腔容积）约为  $392\text{m}^3$ ，机房通风换气次数为约 10.6 次/h。能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下可自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目模拟 CT 机房内拟设置动力排风装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求，机房内产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下可自动分解为氧气，对周围环境影响较小。

### **5、固体废物治理措施**

项目运行期间产生的医疗废物委托有资质单位进行清运处理；生活垃圾将依托无锡医疗健康产业园的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，对周围环境影响较小。

#### **11.2.3.2 手术部 DSA 和移动 CT、内镜中心 ERCP 用 X 光机**

##### **1、废气治理措施**

项目运行期产生的废气主要为射线装置运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。本项目 DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房内拟安装净化通风系统，产生的臭氧和氮氧化物可通过净化通风系统排出机房外，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

##### **2、固体废物治理措施**

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾。医疗废物委托有资质单位进行清运处理；生活垃圾将依托无锡医疗健康产业园的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，对环境影响很小。

##### **3、废水治理措施**

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水，生活污水依托无锡医疗健康产业园的污水处理系统进行处置，对环境影响很小。

### **11.3 事故影响分析**

#### **11.2.1 放疗中心**

##### **1、本项目放疗中心可能产生的主要辐射事故**

###### **（1）直线加速器**

- ①门机联锁装置发生故障，人员误入正在运行的加速器机房导致误照射；
- ②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束治疗，致使人员受到不必要的照射；
- ③门机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗，给工作人员和周围公众造成不必要的照射；
- ④操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；
- ⑤加速器设备调试或维修过程中责任者脱岗或操作失误导致的人员误照射事故。

###### **（2）后装机**

- ①门-源联锁装置失灵，出源工作状态下，人员误入机房从而造成不必要的照射，或防护门未完全关闭情况下出源，致使 $\gamma$ 射线泄漏至机房外造成周围人员受到不必要的照射；

- ②其它医护人员还未全部撤离机房，即进行出源治疗，人员受到不必要的照射；
- ③后装机换源过程和治疗过程中出现放射源卡源事故，导致放射源裸露在设备外；
- ④由于管理不当，导致放射源丢失、被盗；
- ⑤操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；
- ⑥后装设备调试或维修过程中责任者脱岗或操作失误导致的人员误照射事故；
- ⑦火灾等突发性事故造成放射源源体破裂，对环境产生重大污染。

### （3）模拟 CT 机

- ①工作状态指示灯等发生故障，人员误入正在运行的机房导致误照射；
- ②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束扫描，致使人员受到不必要的照射；
- ③在防护门未关闭的情况下出束扫描，给工作人员和周围公众造成不必要的照射。

## 2、主要事故预防措施

（1）定期对直线加速器机房、后装治疗机房、模拟 CT 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。一旦发现辐射安全措施存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认辐射安全措施恢复正常后，设备方能重新投入使用。

（2）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后，才能开机出束。

（3）定期对直线加速器、后装机、模拟CT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。

（4）后装治疗机房采取防火、防水、防盗等安全保卫措施，确保放射源的安全。

## 3、应急处理措施

### （1）直线加速器

- ①如发生误照射，应立即切断电源或按下急停按钮，确保射线装置停止工作；
- 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。

### （2）后装机

①一旦发现联锁系统存在故障，应立即停止治疗工作，组织人员对联锁系统进行检修，只有在确认联锁系统恢复正常工作后，设备才能重新投入使用；

②如发生误照射，应立即按下急停按钮，使放射源返回后装机的贮源位置；

③若发生放射源卡源、脱源事故，工作人员应立即按下紧急停机按钮，使其自动回源；当自动回源装置功能失效时，工作人员应立刻语音通知患者离开机房，若患者行动不便，两名工作人员应穿戴铅衣、铅帽、铅眼镜，佩戴个人剂量计迅速进入机房，一名人员迅速将患者转移出机房，另一名工作人员采用手摇柄手动将放射源旋回工作贮源器，若手动方

式无法回源，则立刻离开机房并关闭防护门、封锁现场，联系厂家或专业人员处理事故，待故障排除后才能重新投入使用；

④当发生放射源丢失、被盗时，应第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射源；

⑤对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

### （3）模拟 CT 机

①如发生误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作；

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。

## 11.2.2 手术部 DSA、移动 CT 和内镜中心 ERCP 用 X 光机

### 1、本项目可能产生的主要辐射事故

（1）DSA、移动 CT、ERCP 用 X 光机正常工作时，人员误留、误入机房，导致发生误照射；

（2）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

（3）工作状态指示灯发生故障的状况下，人员误入射线装置正在运行的机房，导致发生误照射。

### 2、主要事故预防措施

（1）定期对各射线装置机房的安全和防护措施的安全防护效果进行检查、检测，严格执行门灯联锁、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。一旦发现门灯联锁或工作状态指示灯存在故障，应立即停止工作，组织技术人员对其进行检查维修，只有在确认门灯联锁、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）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。

（3）定期对各射线装置机房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。

### 3、应急处理措施

（1）如发生误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作。

（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。

建设单位应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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。同时，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报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 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、放射性同位素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。

本项目使用单位拟设置专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责，专职管理机构的主要职责包括：

- （1）贯彻执行国家辐射安全与环境保护各项法规相关文件精神；
- （2）负责本单位辐射安全与环境保护管理；
- （3）组织制定辐射安全与环境保护管理办法，做好管理工作；
- （4）组织人员参加辐射事故应急演练；
- （5）安排辐射防护负责人和从事辐射工作的辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习和考核；
- （6）检查辐射安全设施，开展辐射安全环保监测，对院内核技术利用项目辐射安全与防护情况进行年度评估；
- （7）监督辐射工作人员的职业健康检查，个人剂量监测；并做好相应资料的档案管理工作；
- （8）定期向生态环境和主管部门报告安全工作，接受生态环境监督、监测部门的检查指导。

本项目辐射防护负责人和辐射工作人员，上岗前均拟通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习本项目相关知识，通过该培训平台报名并参加本项目相关专业考核，考核合格后上岗，其中辐射防护负责人考核类别为“辐射安全管理”，直线加速器 and 后装机辐射工作人员考核类别为“放射治疗”，DSA和ERCp辐射工作人员考核

类别为“医用X射线诊断与介入放射学”，仅从事模拟CT、移动CT辐射工作的辐射工作人员可由使用单位按要求自行考核，满足辐射安全管理要求。培训证书到期前辐射工作人员还应及时参加再学习，通过该培训平台报名并重新参加本项目相关专业考核，或按要求自行考核，考核合格后方能继续上岗。实际工作过程中，使用单位应不断加强对辐射工作人员有关专业技能和辐射安全与防护知识的再学习或教育，进一步提高工作过程中的辐射安全意识。环评建议使用单位配备部分有相关工作经验的辐射工作人员以老带新，防止出现辐射事故。

## 12.2 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》中的有关要求，本项目使用单位应针对本项目制定相关的辐射安全管理制度，主要应包括《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，本报告对各项制度的要点提出以下建议：

**辐射防护和安全保卫制度：**根据本项目的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：①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；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；③做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

**操作规程：**制定直线加速器、后装机、模拟CT机、DSA、移动CT和ERCP用X光机的操作规程，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：①确保开展辐射工作时所有辐射安全措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

**岗位职责：**制定岗位职责，明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

**设备检修维护制度：**制定设备检修维护制度，明确设备和辐射安全装置等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

**放射性同位素、射线装置使用登记制度：**针对本项目具体情况制定使用登记制度，

规范射线装置及放射源台帐和使用登记记录，对购入的射线装置及放射源的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、帐物相符。

**人员培训计划：**制定人员培训计划，明确本项目辐射工作人员的培训内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

**个人剂量监测方案和职业健康管理：**明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

**辐射环境监测方案：**制定辐射环境监测方案，明确本项目日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

**事故应急方案：**针对本项目可能产生的辐射事故制定辐射事故应急方案，明确典型事故工况，明确相应的事故应急措施及处理程序等，明确应急处置设备、个人防护能力和演练计划，并明确预案中应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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。同时，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报告。

**监测异常报告制度：**明确按照相关标准要求定期对工作场所及周围环境进行自行监测，并委托有资质的机构定期进行监测；当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，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部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，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。

本项目辐射工作人员应在单位辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的辐射安全措施进行检查。单位在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

## 12.3 辐射监测

### 1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，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，包括个人剂量报警、固定式和便携式辐射监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

本项目使用单位应配备 1 台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所及周围人员活动区域的定期自行检测；应为直线加速器机房、后装治疗机房各配备 2 台个人剂量报警仪和 1 台固定式辐射剂量监测系统，为模拟 CT 机房、CT 机房各配备 1 台个人剂量报警仪，为 DSA 复合手术室、ERCP 机房各配备 2 台个人剂量报警仪，用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警；本项目辐射工作人员均应按要求配备个人剂量计，用于辐射工作过程中累积剂量的监测，其中介入手术医生需在机房内开展介入手术，均应配备 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴于铅围裙外锁骨对应的领口，1 枚佩戴于铅围裙内躯干上，其余辐射工作人员均在机房外工作，均应配备 1 枚个人剂量计。

以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

### 2、监测方案

根据辐射管理要求，本项目使用单位应制定如下监测方案：

（1）项目竣工后 3 个月内委托有资质的单位对项目周围环境辐射水平进行验收监测；

（2）请有资质单位定期（不少于 1 次/年）对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测；

（3）辐射工作人员佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（4）所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。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；

（5）利用自配备的辐射监测仪器对辐射工作场所定期（不少于 1 次/季度）进行自主监测，并记录档案。

本项目直线加速器和后装机工作场所监测方案见表 12-1，模拟 CT 机、DSA、移动 CT 和 ERCP 用 X 光机工作场所监测方案见表 12-2。

表 12-1 本项目直线加速器和后装机辐射监测计划

| 监测项目   | 监测类型     | 监测因子              | 监测单位和监测频次              | 监测点位                                                                                   | 控制要求                                                             |
|--------|----------|-------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 工作场所监测 | 竣工环保验收监测 | X- $\gamma$ 辐射剂量率 | 请有资质单位监测，建设项目竣工后3个月内   | ①机房四周墙体、顶外30cm 人员可达处；<br>②各防护门外30cm，测门表面和四周门缝；<br>③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置；<br>④管线孔洞处。 | 辐射剂量率限值满足 GBZ 121-2020、HJ 1198-2021 以及本项目辐射环境剂量率控制水平要求（具体见表 7-6） |
|        | 年度监测     | X- $\gamma$ 辐射剂量率 | 请有资质单位监测，不少于1次/年       |                                                                                        |                                                                  |
|        | 日常监测     | X- $\gamma$ 辐射剂量率 | 自主监测，不少于1次/季度          |                                                                                        |                                                                  |
| 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 | /                                                                                      | 年有效剂量不超过5mSv                                                     |

表 12-2 本项目模拟 CT 机、DSA、移动 CT 和 ERCP 用 X 光机辐射监测计划

| 监测项目   | 监测类型     | 监测因子              | 监测单位和监测频次              | 监测点位                                                                                                           | 控制要求                      |
|--------|----------|-------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 工作场所监测 | 竣工环保验收监测 | X- $\gamma$ 辐射剂量率 | 请有资质单位监测，建设项目竣工后3个月内   | ①机房四周墙体、顶外30cm、底板下方（楼下）距楼下地面1.7m 人员可达处；<br>②各防护门、观察窗外30cm，测门、窗表面和四周缝隙；<br>③控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置；<br>④管线孔洞处。 | 机房外辐射剂量率不大于2.5 $\mu$ Sv/h |
|        | 年度监测     | X- $\gamma$ 辐射剂量率 | 请有资质单位监测，不少于1次/年       |                                                                                                                |                           |
|        | 日常监测     | X- $\gamma$ 辐射剂量率 | 自主监测，不少于1次/季度          |                                                                                                                |                           |
| 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 | /                                                                                                              | 年有效剂量不超过5mSv              |

根据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修订版），当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，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；当发现个人剂量监测结果异常的，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。

## 12.4 辐射事故应急

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事件的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，本项目使用单位应根据项目可能产生的辐射事故制定事故应急预案，应急预案内容应包括：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）辐射事故分级与应急响应措施；
- （3）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；
- （4）应急演习计划；
- （5）辐射事故调查、报告和处理程序。

同时使用单位应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，还应经常监测辐射工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

当发生辐射事故时，单位应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，按要求在 1 小时内向当地生态环境部门和公安部门报告，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报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

落实以上措施后，本项目的辐射事故应急措施能够满足辐射安全的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为满足患者的就医需求，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，无锡医疗健康产业园内拟配备 1 台直线加速器和 1 台  $^{192}\text{Ir}$  后装机，开展放射治疗，拟配备 1 台模拟 CT 机，开展放疗前的定位，拟配备 1 台 DSA 和 1 台 ERCP 用 X 光机，开展放射诊断和介入治疗，拟配备 1 台移动 CT，开展放射诊断。本项目后装机拟使用 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  放射源，属于 III 类放射源，直线加速器、DSA、ERCP 用 X 光机为 II 类射线装置，模拟 CT 机、移动 CT 为 III 类射线装置。

2、产业政策相符性评价

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中“限制类”“淘汰类”项目，本项目的建设符合国家产业政策。

3、实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，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，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

4、选址、布局合理性评价

本项目建成后，各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点；各场所所处位置相对独立，各设备均设有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开；直线加速器机房、后装治疗机房集中建设，设置在地下二层的北端，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，避开了人员流动性大的商业活动区域，根据理论估算，项目对周围环境的辐射影响均能够满足本项目管理目标要求，项目周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目直线加速器工作场所设有治疗机房以及控制室、水冷机房等辅房，治疗机房与控制室、水冷机房等辅房分开设置，控制室位于机房南侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门，有用线束不向迷路和控制室照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；机房东墙、西墙、屋顶的防护屏蔽均能够满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽能够满足漏射线及散射线的屏蔽要求；治疗机房净面积能确保加速器的临床应用需要。后装机工作场所设有治疗机房以及控制室、患者准备间等辅房，治疗机房与控制室、患

者准备间等辅房分开设置，控制室位于机房南侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门；治疗机房净面积能确保后装机的临床应用需要，符合《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）中要求，布局合理。

模拟 CT、DSA 和移动 CT、ERCP 工作场所设有专用机房和控制室，控制室位于机房外，有用线束不直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求，布局合理。

### **5、辐射防护措施评价**

本项目机房均采用实体屏蔽方式，根据理论预测及分析，本项目后装治疗机房、直线加速器机房、模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房的屏蔽防护设计满足辐射防护要求，各辐射工作场所的辐射剂量率满足相应剂量率管理限值要求。

### **6、辐射安全措施评价**

本项目直线加速器工作场所拟采取的辐射安全和防护措施主要有：钥匙开关、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、个人防护用品、人工复位安全联锁等。

后装机工作场所拟采取的辐射安全和防护措施主要有：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门-源联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、配备防护设备、个人防护用品、人工复位安全联锁等。

模拟 CT 工作场所拟采取的辐射安全和防护措施主要有：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、观察窗与对讲装置、紧急停机按钮、个人防护用品。

ERCP 工作场所拟采取的辐射安全和防护措施主要有：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、观察窗与对讲装置、个人防护用品。

DSA 工作场所拟采取的辐射安全和防护措施主要有：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、观察窗、监控与对讲装置、个人防护用品。

移动 CT 工作场所拟采取的辐射安全和防护措施主要有：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、观察窗、监控与对讲装置、紧急停机按钮、个人防护用品。

落实以上辐射安全和防护措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

### **7、辐射防护监测仪器评价**

使用单位应配备 1 台辐射巡测仪，为直线加速器机房、后装治疗机房各配备 2 台个人剂量报警仪和 1 台固定式辐射剂量监测系统，为模拟 CT 机房、CT 机房配备 1 台个人剂量报警仪，为 DSA 复合手术室、ERCP 机房各配备 2 台个人剂量报警仪。落实后，能够

满足辐射监测仪器配备要求。

## **8、保护目标剂量评价**

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年受照剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv）。

## **9、放射性废物处理措施评价**

后装治疗退役的  $^{192}\text{Ir}$  放射源暂存在后装机内，最终由原生产厂家回收回收处置；直线加速器退役或更换机头部件时产生的退役废机头部件将作为感生放射性固废，委托有资质单位回收处理。满足相关环保要求。

## **10、通风措施评价**

本项目直线加速器机房和后装治疗机房内拟设置机械通风系统，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中送排风口设置要求以及治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。各机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下可自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

本项目模拟 CT 机房拟设置动力排风装置，DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房内拟安装净化通风系统，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求，各机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

## **11、辐射安全管理评价**

使用单位拟设置专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责。辐射防护负责人和本项目辐射工作人员均应参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并通过考核，辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，定期进行职业健康体检，单位建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。单位应根据法律法规要求和本项目具体情况制定辐射安全管理规章制度，使其具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。

## **可行性结论：**

综上所述，无锡锡铁医疗投资管理有限公司无锡医疗健康产业园新建核技术利用项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该单位将具备与其所从事的辐射

活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

### 13.2 建议与承诺

（1）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，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。

（2）项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

（3）建设项目竣工后，单位应按照国务院生态环境行政主管部门规定的程序 and 标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

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

## 附表

“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  | 单位成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。                                                                                                                                                          | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理或者至少有 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的要求。                                    | /            |
| 辐射安全和防护措施 | <b>屏蔽措施：</b><br>直线加速器机房、后装治疗机房、模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房均采用实体屏蔽防护措施，各机房具体屏蔽参数见表 10。                                                                                                                           | 各辐射工作场所表面外辐射剂量率满足本项目辐射剂量管理限值要求，辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv。 | 460          |
|           | <b>直线加速器工作场所辐射安全措施：</b> 钥匙开关、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、个人防护用品、人工复位安全联锁等。<br><b>后装机工作场所辐射安全措施：</b> 电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门-源联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、配备防护设备、个人防护用品、人工复位安全联锁等。 | 满足《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）中的相关要求。                                                                            | 10           |
|           | <b>模拟 CT 工作场所辐射安全措施：</b> 电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、观察窗与对讲装置、紧急停机按钮、个人防护用品。<br><b>ERCP 用 X 光机工作场所辐射安全措施：</b> 电离辐射警告标志和工作状态指示                                                                                            | 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。                                                                                                            | 5            |

|           |                                                                                                                                                                                                |                                                                      |   |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---|
|           | <p>灯、防夹和闭门装置、观察窗与对讲装置、个人防护用品。</p> <p><b>DSA 工作场所辐射安全措施：</b>电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、观察窗、监控与对讲装置、个人防护用品。</p> <p><b>移动 CT 工作场所辐射安全措施：</b>电离辐射警告标志和工作状态指示灯、防夹和闭门装置、观察窗、监控与对讲装置、紧急停机按钮、个人防护用品。</p> |                                                                      |   |
| 人员配备      | 辐射防护负责人和辐射工作人员参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。                                                                                                                                                          | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的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的管理要求。  | / |
|           | 本项目辐射工作人员配备个人剂量计，每 3 个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。                                                                                                                                                   | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。                       | / |
|           | 本项目辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立职业健康监护档案。                                                                                                                                                  | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。                       | / |
| 监测仪器和防护用品 | 配备 1 台辐射巡测仪。                                                                                                                                                                                   | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中防护用品的配置要求。 | 5 |
|           | 直线加速器机房、后装治疗机房各配备 2 台个人剂量报警仪和 1 台固定式辐射剂量监测系统，模拟 CT 机房、CT 机房各配备 1 台个人剂量报警仪，DSA 复合手术室、ERCP 机房各配备 2 台个人剂量报警仪。                                                                                     |                                                                      |   |
|           | 模拟 CT 机房、DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房配备足够的防护铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品。                                                                                                                                  |                                                                      |   |
| 辐射安全管理制度  | 针对本项目具体情况制定一系列健全的辐射安全管理制度，在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。                                                                                                               | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。        | / |

|          |                                                                                              |                                                                                             |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 退役废源处理措施 | 后装治疗退役的 $^{192}\text{Ir}$ 放射源暂存在后装机内，最终由原生产厂家回收回收处置。                                         | 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。                                                       | /  |
| 通风措施     | 直线加速器机房和后装治疗机房内设置机械通风系统，全排全送，设计排风次数为不低于 4 次/h，送风口位于吊顶处，室内排风口位于距地面上方地板 200mm 处，送风口和排风口呈对角线布置。 | 满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中送排风口设置要求以及治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。 | 20 |
|          | 模拟 CT 机房设置动力排风装置，DSA 复合手术室、CT 机房和 ERCP 机房设置净化通风系统。                                           | 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求。                                         |    |

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行。