2026-TKFSHP-016

核技术利用建设项目

常熟海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目生态环境影响报告表

常熟海吉亚医院有限公司

2026 年 10 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">常熟海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">常熟海吉亚医院有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">常熟高新技术产业开发区东南大道 1 号 804 室</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">常熟市东南街道羿家路 11 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">常熟市行政审批局</td><td>批准文号</td><td colspan="3">常行审投备〔2023〕1213 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>6600</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>272</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>4.12%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建☐改建☐扩建☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="8">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="5">☐I类☐II类☐III类☐IV类☐V类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑I类（医疗使用）☐II类☐III类☐IV类☐V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐乙☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐II类☐III类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">☐II类☐III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II类☑III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位情况、项目建设规模、目的和任务的由来

1、建设单位基本情况

常熟海吉亚医院有限公司（以下简称“建设单位”）成立于 2021 年 6 月 29 日，旨在填补常熟高新区高端综合医疗服务短板，改善区域肿瘤专科医疗资源紧缺现状。2023 年，建设单位投资实施常熟海吉亚医院建设项目（以下简称“医院”），项目建成后将成为一所重点发展肿瘤专科的三级综合性医疗机构。项目选址位于常熟市东

南街道羿家路 11 号，地块四至为：湖山路以东、春霁路以北、福盛路以西、羿家路以南。项目规划用地面积约 59593m^2，总建筑面积约 16.5 万 m^2，包含门诊楼（“1#综合楼”）、住院楼、后勤楼、康复楼等建筑，其中地下建筑面积 4.9 万 m^2；项目规划床位 450 张，拟开设内科、肿瘤科、医学影像科、病理科等 20 个临床诊疗科目。

建设单位委托编制的《常熟海吉亚医院有限公司常熟海吉亚医院建设项目环境影响报告表》已于 2023 年 6 月 9 日取得苏州市生态环境局批复，批复文号：苏环建〔2023〕81 第 0232 号（详见附件 7）。该批复中建设内容中所列 1 幢门诊楼即为本项目所在的 1#综合楼。

2、项目建设规模

常熟海吉亚医院建设项目已取得环评批复　　。批复建设内容中，1#综合楼（门诊楼）负 1 楼预留 4 座放疗机房、2 楼预留 1 座 DSA 机房，机房土建及屏蔽防护与主体工程同步建设；放射诊疗设备（射线装置）须另行履行核技术利用环评审批手续。

根据建设单位规划，医院放射诊疗项目分别布置于：1#综合楼负 1 楼放疗科（放射治疗）、2 楼手术部（DSA）、1 楼及 2 楼放射科（普通放射诊断）。本次评价范围内拟配置的放射诊疗设备具体如下：

（1）放射治疗项目：

1）于 1#综合楼负 1 楼放疗科南部预留的 2 座医用直线加速器机房（东侧 1#机房和西侧 2#机房）内分别配置 1 台医用直线加速器（东侧 1#医用直线加速器和西侧 2#医用直线加速器），其中 2 座医用直线加速器机房及配套房间呈东西方向对称布局，拟配置的 2 台医用直线加速器型号和参数均相同，型号为 Halcyon，参数为：X 射线能量为 6MV（FFF），无电子束档；内含 CBCT 系统，用于放疗图像引导定位，最大管电压为 140kV，最大管电流为 80mA，用于开展肿瘤的放射治疗。

2）于 1#综合楼负 1 楼放疗科北部预留的 2 座陀螺刀机房（东侧 1#机房和西侧 2#机房）内分别配置 1 台 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统（以下简称“陀螺刀”），其中 2 座陀螺刀机房及配套房间呈东西方向对称布局，每台陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属I类聚集放射源，总活度为 3.145×10^{14}Bq，单枚放射源活度为 1.4295×10^{13}Bq；每台陀螺刀配套 1 套 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统，最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA，用于开展肿瘤的放射治疗。

放疗科 4 座机房及配套用房土建工程均已建成，报告中所指以上 4 座机房均指预

留机房。

（2）DSA 项目：

于 1#综合楼 2 楼手术部 OR1 手术室内预留 1 座 DSA 机房，配备 1 台 DSA（型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。本项目 DSA 机房已经建成，报告中所指本项目 DSA 机房均指该座预留机房。

（3）放射科放射诊断项目（III类射线装置）：

于 1# 综合楼 1 楼放射科新建 1 座放射治疗模拟定位 CT 机房、1 座 DR 机房、1 座数字胃肠机机房、1 座乳腺机房，在机房内分别配置 1 台放射治疗模拟定位 CT 机、1 台 DR 机、1 台数字胃肠机和 1 台乳腺机用于放射诊断。

于 1#综合楼 2 楼门诊二区新建 1 座口腔全景 CT 机房和 1 座牙片机房，分别配置 1 台口腔全景 CT 机和 1 台牙片机用于放射诊断，另外于 1#综合楼 2 楼手术部 OR8 手术室（C 形臂机房）内配置 1 台移动式 C 臂机用于手术期间放射诊断。本次拟配置的 III类射线装置具体如下。

该建设单位新建放射诊疗项目情况见表 1-1：

表1-1 新建放射诊疗项目情况一览表

放射源							
序号	放射源名称	数量	活度（Bq）	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况
1	^{60}Co	22	3.145×10^{14}	I类（聚集源）	1#综合楼负1楼放疗科东侧1#陀螺刀机房内	使用	本次环评
2	^{60}Co	22	3.145×10^{14}	I类（聚集源）	1#综合楼负1楼放疗科西侧2#陀螺刀机房内	使用	本次环评

射线装置								
序号	射线装置名称型号	数量	技术参数	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	1#医用直线加速器（型号：Halcyon）	1	X线能量：6MV：最大剂量率800cGy/min；无电子线；配套CBCT：最大管电压140kV，最大管电流80mA	II类	1#综合楼负1楼放疗科东侧1#医用直线加速器机房内	使用	本次环评	配套CBCT与直线加速器同机共轴一体化集成
2	2#医用直线加速器（型号：Halcyon）	1	X线能量：6MV：最大剂量率800cGy/min；无电子线；配套CBCT：最大管电压	II类	1#综合楼负1楼放疗科西侧2#医用直	使用		配套CBCT与直线加速器同机共

			140kV，最大管电流80mA		线加速器机房内			轴一体化集成
3	DSA（型号待定）	1	最大管电压125kV最大管电流1000mA	II类	1#综合楼2楼手术部OR1机房（DSA机房）	使用		/
4	1#陀螺刀配套CBCT	1	1套GMX-CBCT-A，最大管电压120kV，最大管电流1000mA	III类	1#综合楼负1楼放疗科东侧1#陀螺刀机房内	使用		集成CBCT定位系统
5	2#陀螺刀配套CBCT	1	1套GMX-CBCT-A，最大管电压120kV，最大管电流1000mA	III类	1#综合楼负1楼放疗科西侧2#陀螺刀机房内	使用		集成CBCT定位系统

放射科III类射线装置

序号	射线装置名称	台数	场所位置	射线装置参数	活动种类	环评情况	备注
1	CT 机	1	1#综合楼 1 楼放射科 CT 机房	管电压≤140kV，管电流≤1000mA	使用	本次环评	放射治疗模拟定位 CT
2	DR 机	1	1#综合楼 1 楼放射科 DR 机房	管电压≤150kV，管电流≤1000mA	使用		/
3	数字胃肠机	1	1#综合楼 1 楼放射科数字胃肠机房	管电压≤150kV，管电流≤1000mA	使用		/
4	乳腺机	1	1#综合楼 1 楼放射科乳腺机房	管电压≤49kV，管电流≤300mA	使用		/
5	口腔全景 CT	1	1#综合楼 2 楼门诊二区口腔全景 CT 机房	管电压≤100kV，管电流≤14mA	使用		/
6	牙片机	1	1#综合楼 2 楼门诊二区牙片机房	管电压≤70kV，管电流≤7mA	使用		/
7	移动式 C 臂机	1	1#综合楼 2 楼手术部 OR8 手术室（C 形臂机房）	管电压≤120kV，管电流≤1000mA	使用		/

3、辐射工作人员配置、工作制度及运行工况

根据建设单位提供资料，建设单位拟为本项目放疗科、DSA 机房以及放射科共配置 39 名辐射工作人员（含辐射安全管理人员 1 名），均为建设单位新招聘人员。

建设单位拟为放疗科 1#陀螺刀、2#陀螺刀、1#直线加速器、2#直线加速器分别

设置作业组，各组岗位相对独立，原则上不跨机房轮岗作业；每组拟配置2名放射肿瘤医师、2名放疗技师、1名医学物理师，另为放疗科统一配置4名护士，放疗科4台设备合计配置24名辐射工作人员。每组装置开展放射治疗期间，由2名技师操作，放射治疗操作期间配置两名技师（不含护士）协同操作，严格落实一人操作、一人复核制度；项目实行长白班制。放疗科护士工作地点设于机房外护士站，不进入治疗机房、不开展患者摆位操作。按照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）7.2要求，患者摆位工作由技师完成，护士不参与摆位，治疗摆位实施技师轮换作业模式。

每台放疗设备单日最大接诊量按50人次计，单次治疗平均出束时长3min，全年工作250d，经核算，单台设备全年最大治疗出束时长不超过625h；直线加速器、陀螺刀放疗过程采用CBCT开展图像引导定位，CBCT单次平均照射时长2min，全年工作250d，经核算，单台设备CBCT全年最大出束时长不超过416.67h。放疗科护士实行轮岗值守，每班安排2名护士在岗。

建设单位拟为本项目1台DSA配置4名辐射工作人员，含介入医师2名、技师1名、护士1名；DSA年开展综合介入手术不超过200台，设备全年透视时长不超过66.7h、摄影时长不超过2.78h。

建设单位拟为放射科III类射线装置配置10名辐射工作人员，其中放射影像医师4名、技师6名。

4、目的和任务的由来

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国生态环境法典》和《建设项目环境保护管理条例》等规定，常熟海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目需进行环境影响评价。受常熟海吉亚医院有限公司的委托，南京泰坤环境检测有限公司承担了本项目的环境影响评价工作（委托书见附件1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第16号，2021年版），本项目为新建放射诊疗项目，含有“172核技术利用建设项目”中的“医疗使用I类放射源的、使用II类射线装置的”项目，应编制生态环境影响报告表，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》中“建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定”的规定，综上，本项目应编制生态环境影响报告表。

南京泰坤环境检测有限公司通过现场踏勘和监测、资料调研及项目工程分析等

工作，编制了该项目的生态环境影响报告表。

二、项目场址选址及周边保护目标

1、项目场址选址

常熟海吉亚医院位于常熟市东南街道羿家路 11 号，湖山路以东、春雾路以北、福盛路以西、羿家路以南。建设单位根据规划分三期建设医院，目前一期工程 1#综合楼、2#后勤楼、3#康复楼以及配套工程供氧房、医废暂存和污水泵房已经建成，其中 1#综合楼位于医院西北部。1#综合楼东侧为已建 2#后勤楼和规划的地面停车场（目前为多排临时建筑）、1#综合楼东南侧为已建 3#康复楼，1#综合楼南侧为医院内道路和绿地、1#综合楼西侧为地面停车场，1#综合楼北侧为医院北广场。

本项目放疗科 4 座预留机房建址位于医院 1#综合楼负 1 楼、预留 1 座 DSA 机房位于 1#综合楼 2 楼，本项目地理位置图见附图 1，常熟海吉亚医院平面布置和周围环境图见附图 2。

本项目 2 座医用直线加速器机房位于医院 1#综合楼负 1 楼放疗科南部，呈东西方向对称布局，机房周边场所情况如下：

1#医用直线加速器机房靠东布置，该台加速器机房东侧为 1#医用直线加速器控制室和设备间，南侧为土层，西侧为 2#医用直线加速器机房，北侧为放疗科通道，上方为 1#综合楼楼梯间和康复大厅、通道、加压送风机房、药房和药库，下方为土层（无地下室）；

2#医用直线加速器机房靠西布置，该台加速器机房东侧为 1#医用直线加速器机房，南侧为土层，西侧为控制室和设备间，北侧为放疗科通道，上方为 1#综合楼住院大厅和护士站，下方为土层（无地下室）。

本项目 2 座陀螺刀机房位于医院 1#综合楼负 1 楼放疗科北部，呈东西方向对称布局，机房周边场所情况如下：

1#陀螺刀机房靠东布置，机房东侧为 1#陀螺刀控制室和备用房间、地下车库（负 1 楼停车场），南侧为放疗科室内通道，西侧为 2#陀螺刀机房，北侧为地下车库（负 1 楼停车场），上方为 1#综合楼 1 楼药房、药库、诊室、消防回车场，下方为土层（无地下室）。

2#陀螺刀机房靠西布置，机房东侧为 1#陀螺刀机房，南侧为放疗科室内通道，西侧为 2#陀螺刀控制室、配电间、设备间、弱电机房，北侧为地下车库（负 1 楼停车场），上方为 1#综合楼 1 楼住院大厅、通道、诊室，下方为土层（无地下室）。

本项目 1 座 DSA 预留机房建于 1#综合楼 2 楼手术部 OR1 手术室，机房东侧为 DSA 设备间、控制室，南侧为污物走廊，西侧为 OR2 手术室，北侧为洁净走廊，上方为 1#综合楼 3 楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室，下方为 1#综合楼 1 楼住院大厅。

本项目负 1 楼、1 楼、2 楼、3 楼平面布置及周围环境图见附图 3、附图 4、附图 5 和附图 6。

表 1-2 本项目周围情况一览表

所属科室	机房名称	机房位置	机房东侧	机房南侧	机房西侧	机房北侧	机房上方	机房下方
放疗科	1#医用直线加速器机房	1#综合楼负 1 楼放疗科南部靠东	1#医用直线加速器控制室和设备间	土层	2#医用直线加速器机房	放疗科通道	1#综合楼楼梯间和康复大厅、通道、加压送风机房、药房和药库	土层（无地下室）
	2#医用直线加速器机房	1#综合楼负 1 楼放疗科南部靠西	1#医用直线加速器机房	土层	2#控制室和设备间	放疗科通道	1#综合楼住院大厅和护士站	土层（无地下室）
	1#陀螺刀机房	1#综合楼负 1 楼放疗科北部靠东	1#陀螺刀控制室和备用房间、地下车库（负 1 楼停车场）	放疗科通道	2#陀螺刀机房	地下车库（负 1 楼停车场）	1#综合楼 1 楼药房、药库、诊室，消防回车场	土层（无地下室）
	2#陀螺刀机房	1#综合楼负 1 楼放疗科北部靠西	1#陀螺刀机房	放疗科室内通道	2#陀螺刀控制室、配电间、设备间、弱电机房	地下车库（负 1 楼停车场）	1#综合楼 1 楼住院大厅、通道、诊室	土层（无地下室）
手术部	DSA 机房（建于 OR1 手术室内）	1#综合楼 2 楼手术部 OR1 手术室	本项目 DSA 设备间、控制室	污物走廊	OR2 手术室	洁净走廊	1#综合楼 3 楼接诊台、阳性接诊室、男更衣室	1#综合楼 1 楼住院大厅

对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）、《常熟市生态空间管控区域调整方案》及《江苏省自然资源厅关于常熟市生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自

然资函〔2024〕314号），本项目评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元。本项目不涉及《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、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区”等环境敏感区。

经江苏省生态环境厅“江苏省生态环境分区管控综合服务系统”查询（查询报告见附件10），本项目位于“常熟高新技术产业开发区”重点管控单元，本项目不涉及生态保护红线；产生的电离辐射经过有效屏蔽后可满足标准要求，机房内臭氧排放满足换气次数规定，建设单位拟建立较为完善的辐射安全与防护管理制度体系和辐射事故应急预案等，符合重点管控单元“空间布局、污染物排放、环境风险防控及资源开发效率”的各项管控要求，与江苏省生态环境分区管控及生态空间保护要求相符。

2、项目周边保护目标

本项目各方向50m范围内均为医院内部1#综合楼，院内道路等，无学校、宿舍、居民区等环境敏感目标（详见附图2），本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、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HJ19-2022中3.4定义的“受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等”生态保护目标，本项目运行后的环境保护目标主要是从事本项目的职业人员、其他医务人员、院内病患及周围公众等

三、实践正当性分析

本项目的投入使用能更好地满足患者的就诊需求，并可提高当地医疗水平，具有良好的社会效益和经济效益，在做好辐射防护措施和管理的基础上，其所带来的效益远大于可能对环境造成的影响，因此，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”原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

本项目为建设单位首次申请核技术利用项目，建设单位无已取得辐射安全许可证的核技术利用项目，无在用射线装置、放射性同位素，不存在原有核技术利用项目许可变更、重新报批、退役等相关情形。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/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	^{60}Co	$3.145\times10^{14}/1.4295\times10^{13}\times22$ 枚	I类	使用	放射治疗	1#综合楼负 1 楼放疗科东侧 1#陀螺刀机房内	存放于 1#陀螺刀设备内	由 22 枚独立单枚放射源组成，各源相互独立、各自具备独立包壳与源编码，在陀螺刀设备内聚集放置，使用年限约 6~8 年，半衰期为 5.27 年
2	^{60}Co	$3.145\times10^{14}/1.4295\times10^{13}\times22$ 枚	I类	使用	放射治疗	1#综合楼负 1 楼放疗科西侧 2#陀螺刀机房内	存放于 2#陀螺刀设备内	由 22 枚独立单枚放射源组成，各源相互独立、各自具备独立包壳与源编码，在陀螺刀设备内聚集放置，使用年限约 6~8 年，半衰期为 5.27 年

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

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	加速粒子	能量	额定电流/剂量率	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1 台	Halcyon	电子	6MV	X 线最大辐射剂量率 800cGy/min；无电子线	放射治疗	1#综合楼负 1 楼放疗科东侧 1#医用直线加速器机房内	配套 1 台 CBCT 用于放射治疗图像引导，最大管电压 140kV，最大管电流 80mA，CBCT 与直线加速器整机集成
2	医用直线加速器	II类	1 台	Halcyon	电子	6MV	X 线最大辐射剂量率 800cGy/min；无电子线	放射治疗	1#综合楼负 1 楼放疗科西侧 2#医用直线加速器机房内	配套 1 台 CBCT 用于放射治疗图像引导，最大管电压 140kV，最大管电流 80mA，CBCT 与直线加速器整机集成

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1 台	待定	125	1000	医疗诊断，介入治疗	1#综合楼 2 楼手术部 OR1 手术室	/
2	CBCT	III类	1 台	GMX-CBCT-A	120	1000	放射治疗图像引导定位	1#综合楼负 1 楼放疗科东侧 1#陀螺刀机房内	陀螺刀设备配套，与 1#陀螺刀同机房使用
3	CBCT	III类	1 台	GMX-CBCT-A	120	1000	放射治疗图像引导定位	1#综合楼负 1 楼放疗科西侧 2#陀螺刀机房内	陀螺刀设备配套，与 2#陀螺刀同机房使用

4	CT 机	III类	1 台	待定	140	1000	模拟定位	1#综合楼 1 楼放射科 CT 机房	/
5	DR 机	III类	1 台	待定	150	1000	放射诊断	1#综合楼 1 楼放射科 DR 机房	/
6	数字胃肠机	III类	1 台	待定	150	1000	放射诊断	1#综合楼 1 楼放射科数字胃肠机房	/
7	乳腺机	III类	1 台	待定	49	300	放射诊断	1#综合楼 1 楼放射科乳腺机房	/
8	口腔全景 CT 机	III类	1 台	待定	100	14	放射诊断	1#综合楼 2 楼门诊二区口腔全景 CT 机房	/
9	牙片机	III类	1 台	待定	70	7	放射诊断	1#综合楼 2 楼门诊二区牙片机房	/
10	移动式 C 臂机	III类	1 台	待定	120	1000	放射诊断	1#综合楼 2 楼手术部 OR8 手术室（C 形臂机房）	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
1#陀螺刀退役废源	固体	^{60}Co	使用约 6~8 年后退役，退役时总活度约为 1.429×10^{14}Bq（6 年后）~1.098×10^{14}Bq（8 年后），共 22 枚。	/	/	/	暂存在 1#陀螺刀机房的 1#陀螺刀设备内	退役废源由生产厂家回收处理
2#陀螺刀退役废源	固体	^{60}Co	使用约 6~8 年后退役，退役时总活度约为 1.429×10^{14}Bq（6 年后）~1.098×10^{14}Bq（8 年后），共 22 枚。	/	/	/	暂存在 2#陀螺刀机房的 2#陀螺刀设备内	退役废源由生产厂家回收处理
工作人员和患者产生的生活垃圾、办公垃圾	固态	/	/	/	/	/	分类收集至垃圾桶	由环卫部门定期清运
放疗过程中产生的废体模、一次性床单，介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等	固态	/	/	少量	少量	/	医疗废物暂存间	统一交由有资质医疗废物处置单位处置
检查用一次性垫单、消毒棉签、手套等	固体	/	/	/	/	/	医疗废物暂存间	统一交由有资质医疗废物处置单位处置
废造影剂	液体	/	/	少量	少量	/	医疗废物暂存间	委托有资质单位处理
工作人员和患者产生	液体	/	/	/	/	/	/	排入医院污水处理站

的生活污水、造影检查产生的含造影剂废水								处理
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧常温下约50min可自行分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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^3；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^3）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	1.《中华人民共和国生态环境法典》，2026年3月12日由十四届全国人大四次会议通过，2026年8月15日施行； 2.《中华人民共和国原子能法》，2025年9月12日由十四届全国人大常委会第十七次会议表决通过，自2026年1月15日起正式施行； 3.《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2005年12月1日起施行；2019年修订，国务院令709号，2019年3月2日施行； 4.《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行； 5.《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年国家环保总局令第31号公布，2008、2017、2019、2021年四次修正）； 6.《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； 7.《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部（现生态环境部）令第18号，2011年5月1日起施行； 8.《江苏省辐射污染防治条例》（2026年第二次修正），2026年8月15日起施行； 9.《关于发布放射源分类办法的公告》(原国家环境保护总局公告2005年第62号)，2005年12月23日起施行； 10.《放射性物品道路运输管理规定》（2016年修正本），交通运输部令2016年第71号公布，2016年9月2日起施行； 11.《关于发布〈射线装置分类办法〉的公告》，生态环境部、国家卫生健康委，2026年第44号公告，2026年10月14日公布并施行； 12.《关于发布<放射性废物分类>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 13.《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行； 14.《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日发布；

	15.《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行； 16.《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年11月1日起施行； 17.《关于进一步做好建设项目环境影响评价报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布； 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》，生态环境部第57号公告，2019年12月23日发布，2020年1月1日起施行； 19.《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部2021年第9号公告，2021年3月15日起实施。 20.《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日； 21.《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日； 22.《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日； 23.《江苏省自然资源厅关于常熟市生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2024〕314号） 24.《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； 25.《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2025〕1号，2025年9月21日起施行。
技术标准	1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 2.《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）； 3.《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016)； 4.《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）； 5.《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； 6.《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）；

	7.《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 8.《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 9.《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； 10.《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 11.《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 12.《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）； 13.《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子医用直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； 14.《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/T201.3-2014）； 15.《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ 114-2006）； 16.《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）。
其他	**附图：** 附图 1 常熟海吉亚医院有限公司新建放射诊疗项目地理位置图 附图 2 常熟海吉亚医院总平面及周围环境图 附图 3 常熟海吉亚医院 1#综合楼负 1 楼（局部）平面布置及周围环境图 附图 4 常熟海吉亚医院 1#综合楼 1 楼平面布置及周围环境图 附图 5 常熟海吉亚医院 1#综合楼 2 楼平面布置及周围环境图 附图 6 常熟海吉亚医院 1#综合楼 3 楼平面布置及周围环境图 **附件：** 附件 1 委托书 附件 2 放射源和射线装置使用情况承诺书 附件 3 屏蔽设计情况承诺书 附件 4 关于本项目医用直线加速器机房和陀螺刀在机房内布局和定位的说明 附件 5 工作负荷承诺书 附件 6 本项目废 ^{60}Co 放射源返回原厂承诺书 附件 7 常熟海吉亚医院建设项目环评批复（苏环建〔2023〕81 第 0232 号） 附件 8 本项目陀螺刀环评相关参数 附件 9 本项目医用直线加速器环评相关参数 附件 10 本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书 附件 11 本次环评项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质 附件 12 常熟海吉亚医院建设项目备案证

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次新建放射诊疗项目工作场所包含本项目 2 座医用直线加速器机房（1#、2#机房）、2 座陀螺刀机房（1#、2#机房）和 DSA 机房）实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围见附图 2。

保护目标

本项目各方向 50m 范围内为医院内部 1#综合楼，院内道路等，无学校、居民区等环境敏感目标（详见附图 2）；本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、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 HJ19-2022 中 3.4 定义的“受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等”生态保护目标。运行后的环境保护目标主要是从事本项目的职业人员、其他医务人员、院内病患及周围公众等。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

项目	序号	保护目标名称	方位，最近距离	性质	规模	剂量约束值（mSv/a）
放疗科 1#、2#医用直线加速器，1#、2#陀螺刀	1	1#医用直线加速器控制室、设备间工作人员	1#医用直线加速器机房东，紧邻	职业人员	5 人	5
	2	2#医用直线加速器控制室、设备间工作人员	2#医用直线加速器机房西，紧邻	职业人员	5 人	
	3	1#陀螺刀控制室工作人员	1#陀螺刀机房东，紧邻	职业人员	5 人	
	4	2#陀螺刀控制室工作人员	2#陀螺刀机房西，紧邻	职业人员	5 人	
	5	备用房间、护士站（放疗科）	1#陀螺刀机房东，紧邻	职业人员	4 人	
	6	诊室	1#医用直线加速器机房东，3m（陀螺刀机房南侧，6m）	公众	约 15 人	0.1
	7	1#综合楼负 1 楼人防办公室、人防寝室、人防管理用房、物资储存库房等工作人员	东（以 1#医用直线加速器机房计算），7.2m	公众	约 25 人	

	8	1#综合楼负 1 楼通道、楼梯间、电梯间、电梯厅等流动人员	东（以 1#医用直线加速器机房计算）、11m	公众	流动人员	
	9	1#综合楼地下室负 1 楼消防泵房、消防水池等消防供水场所，地下室柴油发电机房、备用设备间等供电场所，地下室风机房等场所其他工作人员	西（以 2#医用直线加速器机房计算），3m	公众	约 10 人	
	10	1#综合楼地下车库（负 1 楼停车场）流动人员	北（以陀螺刀机房北侧墙体计算），紧邻	公众	流动人员	
	11	1#综合楼 1 楼康复大厅、加压送风机房、药房和药库	1#医用直线加速器机房上方，紧邻	公众	约 16 人	
	12	1#综合楼 1 楼楼梯间、1 楼通道	1#医用直线加速器机房上方，紧邻	公众	流动人员	
	13	1#综合楼 1 楼住院大厅	2#医用直线加速器机房上方，紧邻	公众	流动人员	
	14	1#综合楼 1 楼住院大厅护士站	2#医用直线加速器机房上方，紧邻	护士	约 8 人	
	15	1#综合楼 1 楼药房、药库、诊室，消防回车场	1#陀螺刀机房上方，紧邻	公众	约 20 人	
	16	1#综合楼 1 楼诊室	2#陀螺刀机房上方，紧邻	公众	15	
	17	1#综合楼 1 楼住院大厅、1 楼通道	2#陀螺刀机房上方，紧邻	公众	流动人员	
	18	1#综合楼其他诊疗场所其他工作人员、患者和来院其他人员	放疗科上方，2m	公众	约 600 人	
DSA	1	1#综合楼 2 楼 DSA 机房内	/	职业人员*	3 人	5
	2	1#综合楼 2 楼 DSA 控制室、设备间	东，紧邻	职业人员	4 人	
	3	1#综合楼 2 楼手术部室内通道流动人员	东，8m	公众	流动人员	0.1
	4	1#综合楼 2 楼手术部预麻苏醒、库房、麻醉药品房、护士站、主任办公室、净化机房、设备用房等场所其他工作人员	东，10m	公众	约 15 人	
	5	1#综合楼 2 楼手术部污物走廊流动人员	南，紧邻	公众	流动人员	
	6	1#综合楼 2 楼手术部 OR2-OR9 机房（手术室）及控制室、设备间等其他工作人员	西，紧邻	公众	约 50 人	

	7	1#综合楼 2 楼手术部室内通道	北，紧邻	公众	流动人员	
	8	1#综合楼 2 楼门诊二（牙科诊室、口腔 CT 诊室、控制室、牙片室、牙科诊室、男更衣、女更衣、库房、餐厅、缓冲、女值班、男值班、办公走廊、无菌器械、无菌物品等房间）其他工作人员	北，4m	公众	约 40 人	
	9	1#综合楼 2 楼西北部检验科（办公室、配血、储血室等血液检查场所，生化、临检、免疫大厅等生化检查场所，多间备用库房、试剂库等房间）其他工作人员	北，30m	公众	约 80 人	
	10	1#综合楼 2 楼东北部门诊三（诊室、护士站、医生准备间、门诊手术室内、母婴室等房间）其他工作人员	北，30m	公众	约 60 人	
	11	1#综合楼 3 楼接诊台、阳性接诊室、男更衣室、综合楼其他诊疗场所其他工作人员	上方，紧邻	公众	约 5 人	
	12	1#综合楼患者和其他流动人员	上方，2m	公众	流动人员	
	13	1#综合楼 1 楼住院大厅流动人员	下方，紧邻	公众	流动人员	

说明：*DSA 辐射工作人员 4 人，其中有 3 人同时涉及同室操作和隔室操作，1 名技师只进行隔室操作。

评价标准

1、剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目职业人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv
公众照射剂量限值	实践使公众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： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

2、剂量约束值

本项目职业人员年有效剂量约束值取 5mSv，为 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的职业照射年剂量限值（20mSv）的 1/4；公众年有效剂量约束值取 0.1mSv，为公众剂量限值（1mSv）的 1/10。

3、辐射剂量率控制水平

（1）《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-3 的规定

表 7-3 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积（m²）	机房内最小单边长度（m）
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
透视专用机、碎石定位机、口腔 CBCT 卧位扫描	15	3.0
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔 CBCT 坐位 / 站位扫描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5

6.2.2 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求见下表 7-4 。

表 7-4 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度

机房类型	有用线束方向铅当量（mmPb）	非有用线束方向铅当量（mmPb）
标称 125 kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
标称 125 kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
口腔 CBCT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2.0	1.0
透视机房、骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、碎石机房、模拟定位机房、乳腺摄影机房、乳腺 CBCT 机房	1.0	1.0
CT 机房（不含头颅移动 CT）、CT 模拟定位机房	2.5（不区分有用 / 非有用线束）	2.5

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

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 2.5μSv/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 2.5μSv/h；

DSA 机房四周屏蔽体外 30cm 处、屋顶上方楼层距地面 100cm、楼下距下层地面 170cm 处的周围剂量当量率均不超过 2.5μSv/h。

（2）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

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 2 楼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$\dot{H}_{c,\ d}$(μSv/h):

机房外职业人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非职业人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

$$\dot{H}_{c,\ d}\leq\dot{H}_c/(t\times U\times T) \quad \text{公式 7-1}$$

式中：

$\dot{H}_{c,\ d}$—导出剂量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时(μSv/h）；

$\dot{H}_c$—周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周(μSv/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：≤100μSv/周；放射治疗机房外非控制区的人员≤5μSv/周。

t—设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U—治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T—人员在关注点位置的居留因子。

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

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

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

b）穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射。以年剂量 250μSv 加以控制。

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

牌）。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），通过计算、比较确定职业人员及公众关注点的剂量率参考控制水平。计算比较结果见表 7-5，点位图见图 11-2、图 11-3、图 11-8 和图 11-9。

表 7-5 机房外关注点的周围剂量当量率参考控制水平核算值

机房名称	参考点	居留因子 T	使用因子 U*	周剂量参考控制水平（μSv/周）	周工作时间 t（h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）		
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	$\dot{H}_c$
1#直线加速器机房	东墙外 f_1 点（1#直线加速器控制室）	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5
	东墙外 k_1 点（设备间）	1/4	1	100	12.5	32	10	10
	北墙外 a_1 点（通道）	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	北墙外 c_{1-1} 点（通道）	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	北墙外 c_{1-2} 点（通道）	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	西墙外 e_1 点（2#直线加速器机房）	1/2	1	5	12.5	0.8	10	0.8
	屋顶上方 1 楼 l_1 点（楼梯间）	1/40	1	5	12.5	16	10	10
	屋顶上方 1 楼 m_{1-1} 点（加压送风机房）	1/16	1	5	12.5	6.4	10	6.4
	屋顶上方 1 楼 m_{1-2} 点（康复大厅）	1/4	1	5	12.5	1.6	10	1.6
	防护门外 g_1 点	1/8	1	5	12.5	3.2	10	3.2
2#直线加速器机房	西墙外 f_2 点（2#直线加速器控制室）	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5
	西墙外 k_2 点（设备间）	1/4	1	100	12.5	32	10	10
	北墙外 a_2 点（通道）	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	北墙外 c_{2-1} 点（通道）	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	北墙外 c_{2-2} 点（通道）	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	东墙外 e_2 点（1#直线加速器机房）	1/2	1	5	12.5	0.8	10	0.8

	屋顶上方 1 楼 l_2 点（住院大厅）	1/4	1	5	12.5	1.6	10	1.6
	屋顶上方 1 楼 m_{2-1} 点（护士站）	1	1	5	12.5	0.4	2.5	0.4
	屋顶上方 1 楼 m_{2-2} 点（住院大厅）	1/4	1	5	12.5	1.6	10	1.6
	防护门外 g_2 点	1/8	1	5	12.5	3.2	10	3.2
1#陀螺刀机房	东墙南段外 c_1 点(1#陀螺刀控制室)	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5
	东墙北段外 a_1 点（负 1 楼停车场）	1/40	1	5	12.5	16	10	10
	东墙中段外 b_1 点(备用房间)	1/4	1	100	12.5	32	10	10
	南墙东段外 d_1 点(通道)	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	南墙西段外 e_1 点(通道)	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	西墙外 f_1 点(2#陀螺刀机房)	1/2	1	5	12.5	0.8	10	0.8
	北墙外 h_1 点（负 1 楼停车场）	1/40	1	5	12.5	16	10	10
	防护门外 g_1 点（通道）	1/8	1	5	12.5	3.2	10	3.2
	顶棚上方 l_1 点(消防回车场)	1/40	1	5	12.5	16	10	10
	顶棚西部上方 m_1 点(诊室)	1	1	5	12.5	0.4	2.5	0.4
2#陀螺刀机房	西墙南段外 c_2 点(2#陀螺刀控制室)	1	1	100	12.5	8	2.5	2.5
	东墙外 f_2 点(1#陀螺刀机房)	1/2	1	5	12.5	0.8	10	0.8
	南墙东段外 e_2 点(通道)	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	南墙西段外 d_2 点(通道)	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	西墙北段外 a_2 点（负 1 楼停车场）	1/40	1	5	12.5	16	10	10
	西墙中段外 b_2 点(弱电机房)	1/4	1	5	12.5	1.6	10	1.6
	北墙外 h_2 点（负 1 楼停车场）	1/40	1	5	12.5	16	10	10
	防护门外 g_2 点	1/8	1	5	12.5	3.2	10	3.2

	顶棚上方 l_2 点(通道)	1/5	1	5	12.5	2	10	2
	顶棚西部上方 m_2 点(诊室)	1	1	5	12.5	0.4	2.5	0.4
	顶棚西部上方 n_2 点(诊室)	1	1	5	12.5	0.4	2.5	0.4

使用因子取值说明：*本项目 1#、2#医用直线加速器设备自带铅自屏蔽结构，屏蔽体外辐射剂量无需区分有用主束方向，本次评价采取保守核算原则，两台直线加速器机房外各关注点剂量率均按照设备泄漏剂量率进行核算，使用因子统一取 1；本项目 2 台陀螺刀机房剂量核算，采用陀螺刀厂家提供的模拟极限治疗工况参数（滚筒以 270°为法线出束），选取距射线焦点 1m 处的最高辐射剂量率作为项目最大出束源强。该源强数值已综合包含有用线束透射、设备泄漏射线及患者散射线的全部辐射贡献，因此本次评价不再单独区分主束、泄漏、散射辐射分量及辐射方向，所有屏蔽体外关注点剂量率核算均采取保守取值，使用因子统一取 1。

（3）其他评价标准

①《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；

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/T201.2-2011）；

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/T201.3-2014）；

④《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；

⑤《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）。

4、辐射环境质量现状检测评价参考值

《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

表 7-6 江苏省环境天然γ辐射剂量率（单位：nGy/h）

	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,取测值范围为其评价参考范围，即原野天然γ辐射水平参考范围取（33.1-72.6）nGy/h，道路天然γ辐射水平参考范围取（18.1-102.3）nGy/h，室内天然γ辐射水平参考范围取（50.7-129.4）nGy/h。

5、参考材料

（1）《辐射防护导论》（方杰主编）

（2）《辐射防护手册》（李德平、潘自强主编）

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

常熟海吉亚医院位于常熟市高新区湖山路以东、春霁路以北、福盛路以西、羿家路以南。本项目建址位于医院 1#综合楼内，1#综合楼东侧为已建 2#后勤楼和规划的地面停车场（目前为多排临时建筑），南侧为医院内道路和绿地，西侧为地面停车场，北侧为医院广场。本项目地理位置图见附图 1，常熟海吉亚医院平面布置和周围环境图见附图 2。

本次新建放射诊疗项目主要包括：

（1）放射治疗项目：

1）于 1#综合楼负 1 楼放疗科南部预留的 2 座医用直线加速器机房（东侧 1#机房和西侧 2#机房）内分别配置 1 台医用直线加速器（东侧 1#医用直线加速器和西侧 2#医用直线加速器），用于开展肿瘤的放射治疗。

2）于 1#综合楼负 1 楼放疗科北部预留的 2 座陀螺刀机房（东侧 1#机房和西侧 2#机房）内分别配置 1 台陀螺刀（GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统），用于开展肿瘤的放射治疗。

（2）DSA 项目：

于 1#综合楼 2 楼手术部 OR1 手术室内预留 1 座 DSA 机房，配备 1 台 DSA，用于开展医疗诊断和介入治疗。

（3）放射科放射诊断项目（III类射线装置）：

于 1# 综合楼 1 楼放射科新建 1 座放射治疗模拟定位 CT 机房、1 座 DR 机房、1 座数字胃肠机机房、1 座乳腺机房，在机房内分别配置 1 台放射治疗模拟定位 CT 机、1 台 DR 机、1 台数字胃肠机和 1 台乳腺机用于放射诊断。

于 1#综合楼 2 楼门诊二区新建 1 座口腔全景 CT 机房和 1 座牙片机房，分别配置 1 台口腔全景 CT 机和 1 台牙片机用于放射诊断，另外于 1#综合楼 2 楼手术部 OR8 手术室（C 形臂机房）内配置 1 台移动式 C 臂机用于手术期间放射诊断。

本项目以上各机房所在楼层及上、下楼层（负 1 楼、1 楼、2 楼、3 楼）平面布置和周围环境图见附图 3、附图 4、附图 5 和附图 6。

本次新建放射诊疗项目各侧屏蔽体周围 50m 评价范围均位于医院内部，无学校、居民区等环境敏感目标（详见附图 2）；本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、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 HJ 19-2022 中 3.4 定义的“受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等” 生态保护目标。运行后的环境保护目标主要是从事本项目的职业人员、其他医务人员、院内病患及周围公众等。本项

- ~ -

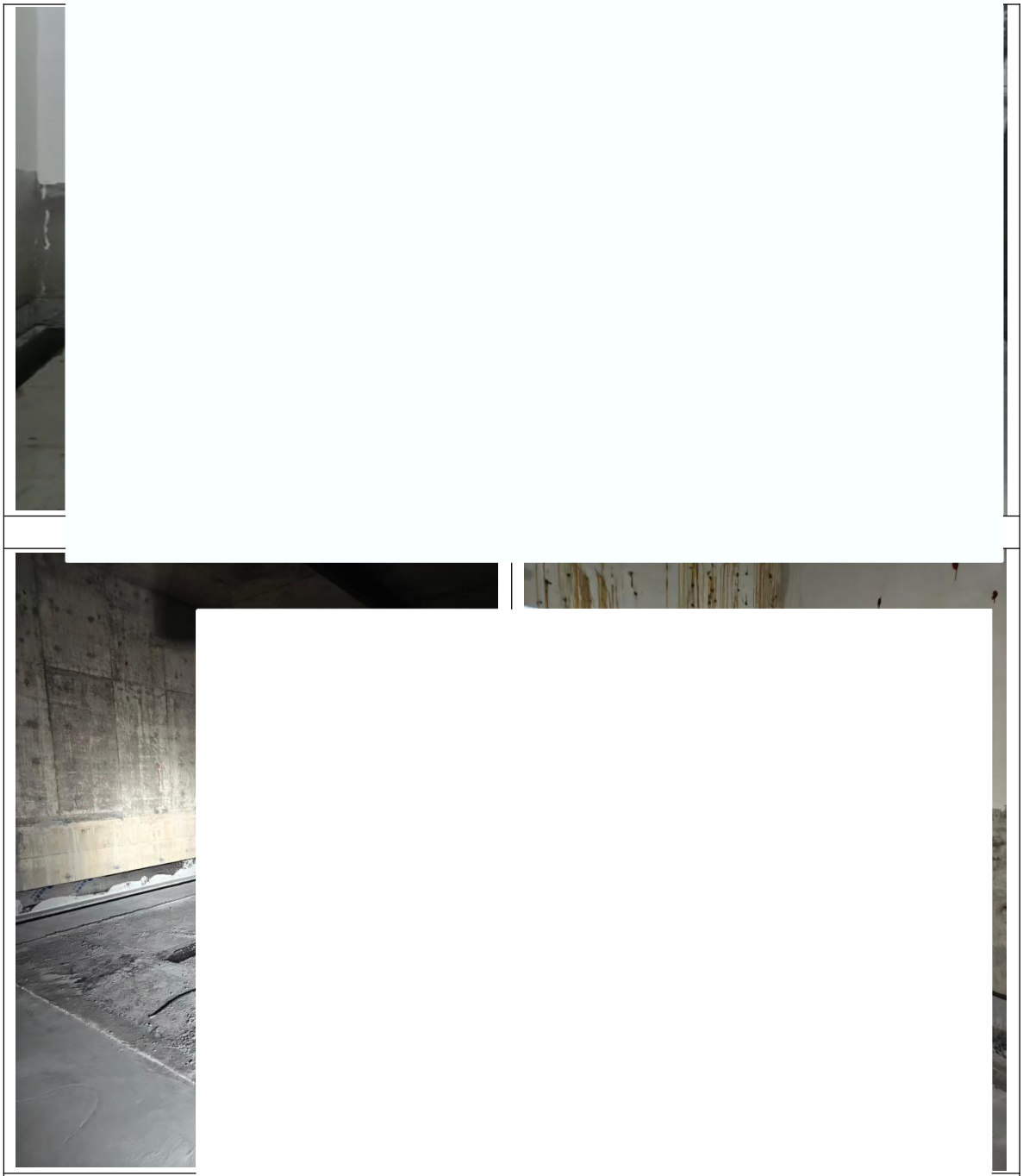


图 8-3

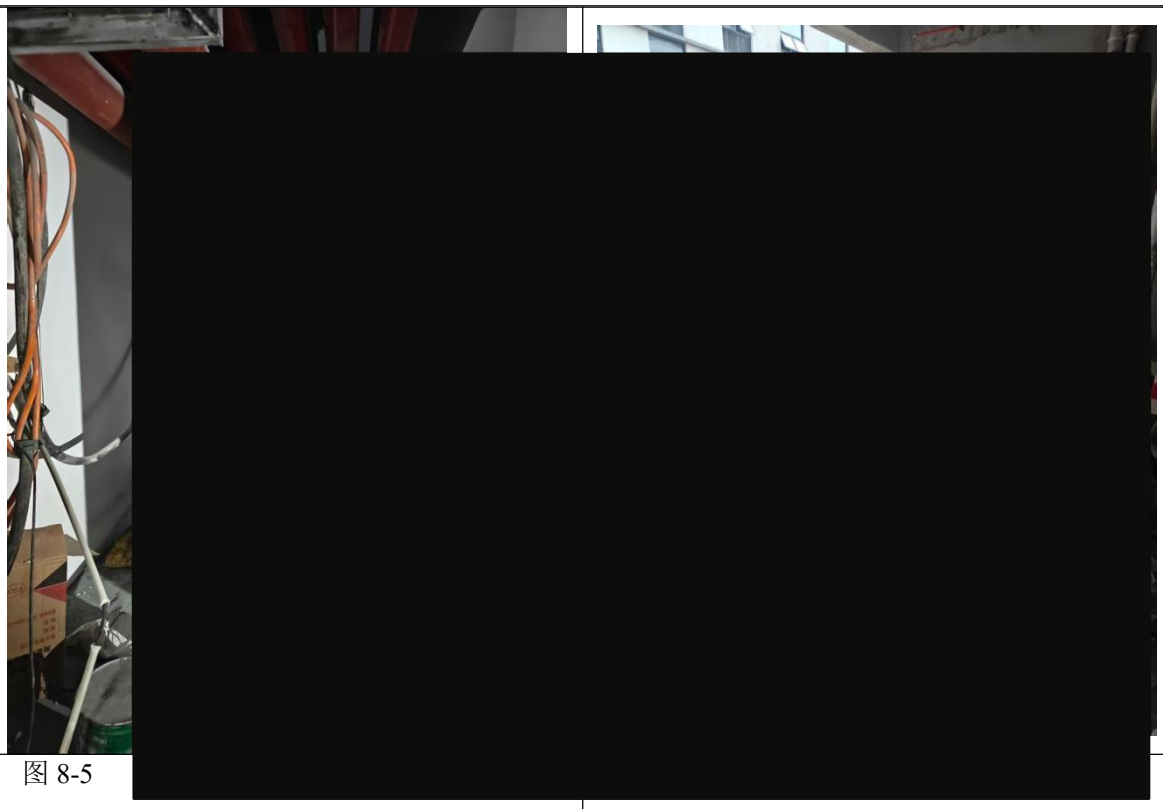


图 8-5

图 8-7

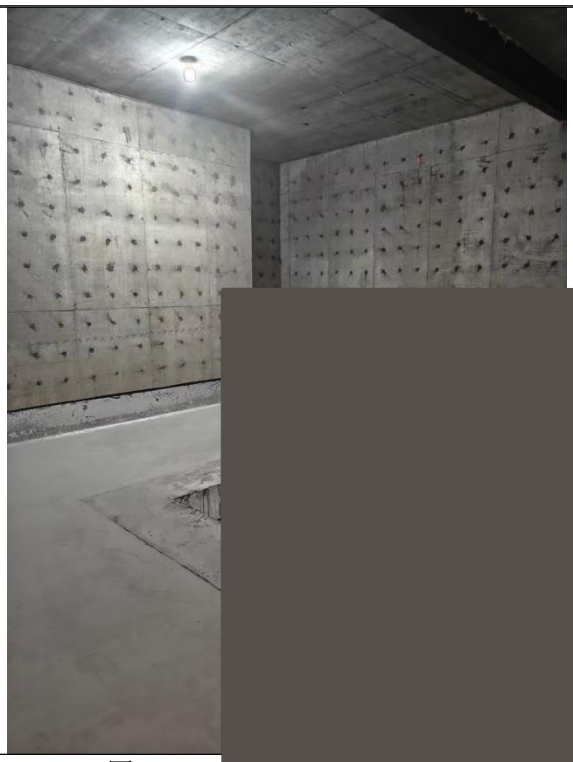


图 8-9 2#

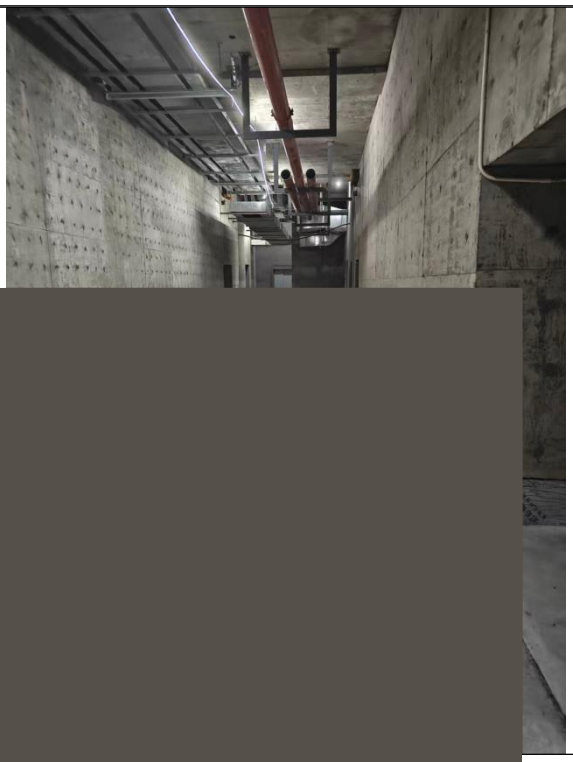


图 8-11 直线加速器机房上方康复大厅、通道

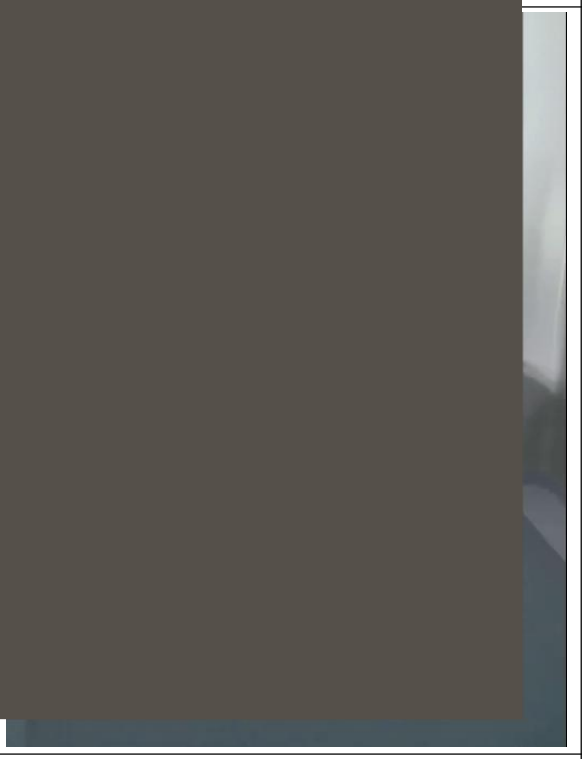


图 8-12 DSA 机房东侧控制室

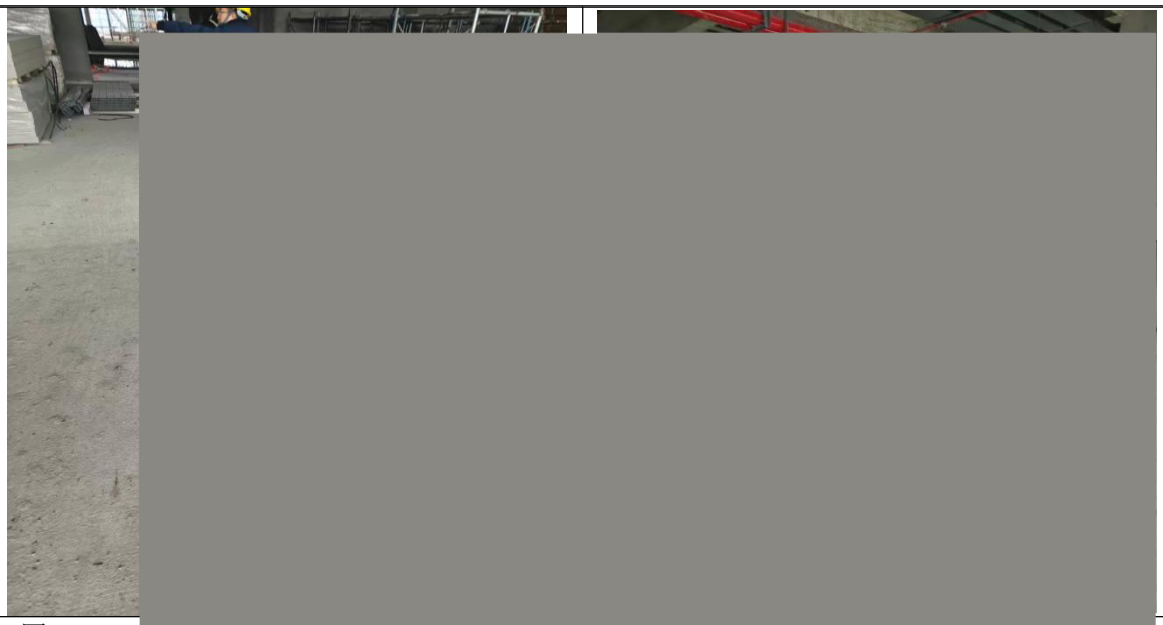


图 8-13 D

图 8-15 DSA 机房内部

二、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目建址周围辐射环境

监测因子：γ辐射空气吸收剂量率。

监测点位：在本项目建址周围进行布点。

三、监测方案、质量保证措施及监测结果

1、监测方案

监测单位：南京泰坤环境检测有限公司

检测仪器：见下表 8-1。

表 8-1 本项目使用检测仪器一览表

监测仪器	辐射测量仪	辐射测量仪
型号	MR-3512	FH40G-L10+FHZ 672E-10
设备编号	NJTK/YQ104	NJTK/YQ041
能量响应范围	20keV~7MeV	40keV～4.4MeV
测量范围	10nSv/h~100mSv/h	1nSv/h～100μSv/h
检定有效期	2025.12.16~2026.12.15	2026.03.26~2027.03.25
检定证书编号	2025H21-20-6269746001	Y2026-0030832
检定单位	华东国家计量测试中心上海市计量测试技术研究院	江苏省计量科学研究院

监测时间（报告编号）：2026 年 01 月 30 日（宁泰坤（环）检字第 20260075 号）、2026 年 09 月 05 日（宁泰坤（环）检字第 20260169 号）。

监测环境：2026 年 01 月 30 日：阴，温度：（2.8~4.6）℃，相对湿度：（68~71）%；2026 年 09 月 05 日：晴，温度：（24.2~26.3）℃，相对湿度：（45.2~51.2）%。

监测布点：根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

监测方法：根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在环境现场调查时，于本项目建址周围进行辐射现状的测量，本项目 1#直线加速器机房、1#陀螺刀机房及 DSA 机房建址周围 X-γ辐射剂量率监测结果见表 8-2、本项目 2#直线加速器机房、2#陀螺刀机房建址周围 X-γ辐射剂量率监测结果表 8-3，监测点位图见图 8-16、图 8-17、图 8-18。

数据记录及处理：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）5.5 中公式（1）对数据进行处理。其中，测量仪器无检验源，检验源效率因子取 1；测量仪器校准参考源为 ^{137}Cs，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy；各监测点所在建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子按楼房 0.8 进行取值。

2、质量保证措施

本项目监测按照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的要求，实施全过程质量控制。监测单位（南京泰坤环境检测有限公司）具有相应检测资质（见附件 11），监测人员均经过培训和能力确认，所有监测仪器均经过计量部门检

定，并在有效期内，监测仪器使用前经过核查，监测报告实行三级审核。

3、**监测结果**

本项目 2026 年 01 月 30 日环境现状监测结果见表 8-2，2026 年 09 月 05 日环境现状监测结果见表 8-3，检测点位见图 8-16、图 8-17、图 8-18。监测报告见附件 11。

表 8-2 本项目 1#直线加速器机房、1#陀螺刀机房及 DSA 机房建址周围 X-γ辐射剂量率

编号	检测点位	检测结果（nGy/h）	
		报告值	标准差
1			0.9
2			1.2
3			1.2
4			0.9
5			0.7
6			0.7
7			1.1
8			1.2
9			0.8
10			1.1
11			1.3
12			1.5
13			1.6
14			1.6
15			1.6
16			1.1
17			3

注：测量结果已依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）扣除宇宙射线响应值；仪器宇宙射线响应值为 12.9nGy/h。数据来源检测报告，报告编号：宁泰坤（环）检字第 20260075 号。

表 8-3 本项目 2#直线加速器机房、2#陀螺刀机房建址周围 X-γ辐射剂量率

编号	检测点位	检测结果(nGy/h)	
		测量值	标准差
1			
2			
3			
4			
5			
6	2#		
7			
8			

9	2#陀螺刀机房楼上通道（楼房，室内）	61.4	0.3
10	2#直线加速器机房楼上住院大厅（楼房，室内）	68.1	1.1

注：1、测量结果已依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）扣除宇宙射线响应值（8.69nGy/h）；数据来源检测报告，报告编号：宁泰坤（环）检字第 20260169 号。

4、

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

由表 8-2、表 8-3 监测结果可知，本项目室内检测点位γ辐射空气吸收剂量率为（55.2～119）nGy/h，均位于江苏省室内环境天然γ辐射水平评价参考范围内（50.7-129.4）nGy/h；测量结果均已扣除宇宙射线响应值，属江苏省天然γ辐射正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、医用直线加速器

（一）工程设备

医用直线加速器至少要包括，一个加速场所（加速管），一个大功率微波源和波导系统，控制系统，射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。医用直线加速器系统结构示意图见图 9-1。

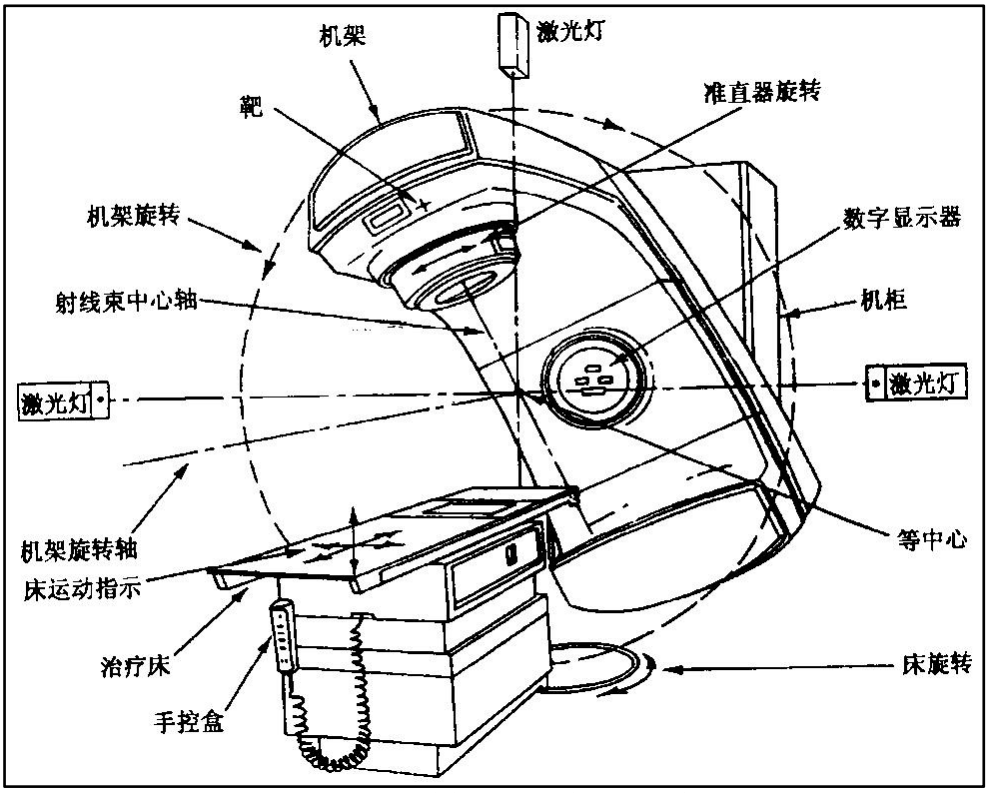


图 9-1 医用直线加速器基本结构示意图

本项目医用直线加速器均采用瓦里安 Halcyon 电子直线加速器，该型号加速器主要由 CBCT 系统、加速器系统、旋转机架、患者治疗床、激光定位系统、操作台工作站等设备组成。本项目医用直线加速器为单光子自屏蔽式加速器，采用环形封闭机

架设计，主束自屏蔽体随机架转动可覆盖全部射野。

本项目每台电子直线加速器均包含 1 台锥形束计算机断层扫描系统（CBCT，最大管电压 140kV，最大管电流 80mA），与加速器治疗机同轴同床使用，用于图像引导定位。锥形束计算机断层扫描系统包括 CBCT 影像平板、球管、高压发生器以及图像处理软件。CBCT 系统 X 射线机与加速器治疗机同轴，影像平板位于射线机对面，便于在加速器治疗过程中提供病灶的三维图像。

根据建设单位提供的资料，本项目 Halcyon 型医用直线加速器外观见图 9-2。

医用直线加速器主要技术参数见表 9-1。

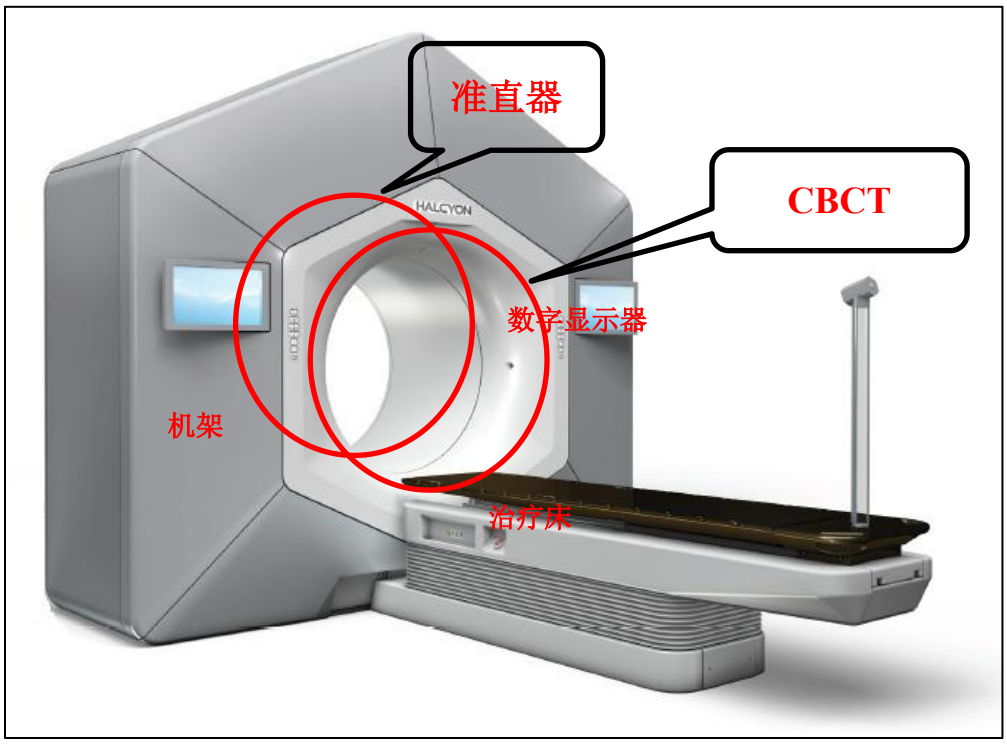


图 9-2 本项目 Halcyon 型医用直线加速器外观图

表 9-1 本项目医用直线加速器技术参数一览表

设备型号	瓦里安 Halcyon
使用场所	放疗科 1#、2#医用直线加速器机房
加速粒子	电子
电子能量	无电子线
X 射线能量	6MV FFF
最大方形照射野	28cm×28cm
最大输出剂量率	X 线 800cGy/min
主机等中心点到靶的距离 SAD	100cm
等中心点离地高度	1100mm
射束最大出射角	15.9°
X 射线泄漏率	≤0.05%

靶材料	钨合金
治疗头转动范围	-185^0～185^0
自屏蔽材料及厚度	172mm 厚 3%锑铅合金+10mm 厚钢套箱（双面 20mm）、宽度 670mm，距离等中心点 626mm，屏蔽材料随靶头转动，始终保持对主束射线的屏蔽，主束透射因子为0.1%
CBCT 影像引导	CBCT 最大管电压 140kV、最大管电流 80mA

注：表中“电子能量”一栏是指治疗用电子束能量，非指加速器靶前加速电子能量。

本次评价拟使用的 2 台医用电子直线加速器发射的 X 射线能量最高能量达到 6MV，根据关于发布〈射线装置分类办法〉的公告》，本次评价项目使用的 2 台医用直线加速器均属于医用II类射线装置。

（二）工作原理、工作流程及产污环节

1、工作原理

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，它是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生轫致辐射发射 X 射线，用作 X 线治疗。本项目医用直线加速器原理图见图 9-3。

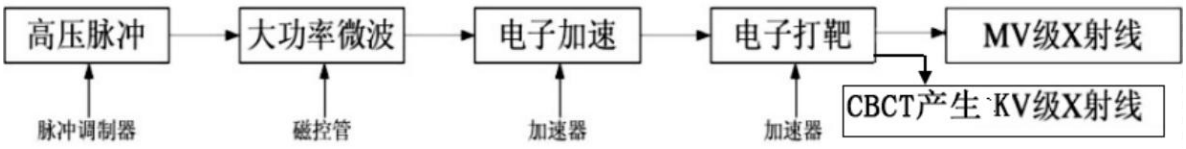


图 9-3 本项目医用直线加速器原理图

医用直线加速器为X射线治疗模式：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。本设备无电子束治疗模式。

拟配备的瓦里安 Halcyon 型医用电子直线加速器带 CT 影像引导，CBCT 最大管电压 140kV，最大管电流 80mA，可开展的技术包括 3D-CRT、IMRT、RapidArc（VMAT）、IGRT 等。在影像验证系统方面，依靠 CBCT 独立球管发射的 kV 级 X 射线进行 CBCT 扫描。CBCT 获取数据的投照原理和传统扇形扫描 CT 是不同的，X 线球管以较低的射线量围绕患者做环形 DR（数字式投照），获得的图像数据在计算机

中重建后进而获得三维图像。治疗过程中，图像引导系统可以随时监测患者靶区的位置偏移，超出许可范围时给出警告并可中止治疗。

2、工作流程及产污环节

本项目医用直线加速器放射治疗工作一般流程及产污环节见图 9-4。

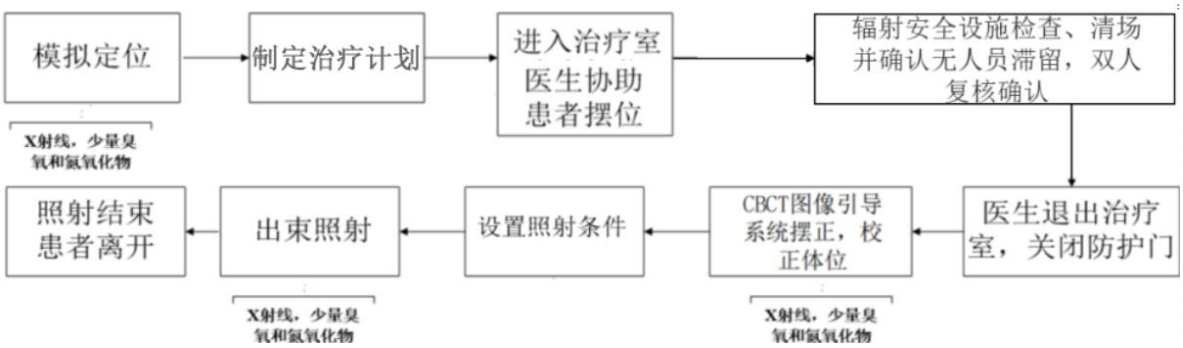


图 9-4 本项目医用直线加速器放疗工作流程及产污环节图

直线加速器进行肿瘤放射治疗的基本流程和产污环节如下：

（1）模拟定位

放疗前，医生利用模拟定位 CT 对患者病变部位开展扫描检查，确定照射方向、角度及射野大小，完成摄影定位。该过程模拟定位 CT 产生 X 射线，存在辐射影响；X 射线电离机房内空气，产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目放疗科所用 CT 定位机位于 1#综合楼 1 楼西北部放射科模拟定位 CT 机房，建设地点见附图 4。

（2）制定治疗计划

模拟定位完成后，在计划室完成治疗计划制订，确定患者照射剂量、照射时间等参数，该环节不在加速器机房内开展。

（3）患者进入加速器治疗室、摆位

患者进入加速器治疗室，工作人员协助患者完成体位固定与摆位，做好体表标记，调整机架角度及射野。该环节无射线及感生放射性废气。

（4）辐射安全设施检查、清场及双人复核

工作人员开展辐射安全设施检查，对治疗室进行清场，确认机房内无人员滞留，完成双人复核确认。该环节无射线及废气产生。

（5）工作人员撤离，关闭防护门

操作人员全部退出治疗室，关闭防护门，门机联锁生效。该环节无射线及废气产

生。

（6）CBCT 图像引导校正体位

在控制室内隔室启动 CBCT 开展扫描，采集影像完成配准，校正患者治疗体位，扫描完成后 CBCT 射线停止。该过程产生 kV 级 X 射线，存在辐射影响；X 射线电离机房空气，产生少量臭氧和氮氧化物。

若配准偏差超出允许阈值，则终止流程，开门进入机房重新摆位，再次完成清场、关门后再开展后续工序。

（7）设置治疗照射条件

控制室录入经确认的治疗计划参数，设置加速器治疗照射条件。该环节无射线及废气产生。

（8）加速器出束照射

启动加速器，输出 MV 级高能 X 射线实施肿瘤放射治疗。该过程产生高能 X 射线，存在辐射影响；X 射线电离机房内空气，产生少量臭氧和氮氧化物。CBCT 系统在此阶段处于关闭状态，与治疗 X 射线不同时出束。

在医用直线加速器放疗过程中 X 射线出束顺序，二者不同的 X 射线管，出束时间错开不同时出束，先 CBCT 的 kV 级 X 射线出束用于图像引导定位，后直线加速器 MV 级 X 射线出束治疗。

（9）治疗结束，患者离开

治疗完成，停止加速器出束，解除患者体位固定，患者离开治疗室。该环节无射线及废气产生。

本项目每台医用直线加速器拟配置 5 名职业人员，每次出束作业保证至少 2 人在岗，一人操作、一人复核。

二、陀螺刀

（一）工程设备

本项目拟在 2 座陀螺刀机房内分别使用 1 台 GMX-I 型陀螺刀（单台陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属I类聚集源，活度为 $3.145\times10^{14}Bq$（8500Ci））用于开展肿瘤的放射治疗，该台 GMX-I 型陀螺刀由上海伽玛星科技发展有限公司生产，每台陀螺刀配套 1 套 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA），陀螺刀通过利用 ^{60}Co 在衰变过程中发射γ射线对生物肌体的破坏作

用来实现对病变细胞的杀伤功能，进而达到损毁病灶的治疗目的的一种新型立体定向放射外科治疗设备。

陀螺刀主要由以下部分组成：主机机械系统、立体定位系统、电气控制系统、治疗计划系统等。

1、主机机械系统

由治疗头、源开关和准直系统、旋转盘、滚筒、源包壳、三维运动床组成，治疗头内安装聚焦式钴源滚筒及旋转盘组成一陀螺转向机构。主要机械系统结构见图 9-5（不含外壳），具体如下。

（1）治疗头

治疗头由源包壳、壳体、贫铀合金屏蔽材料、屏蔽棒和源开关组成。治疗头外观和结构见图 9-6。

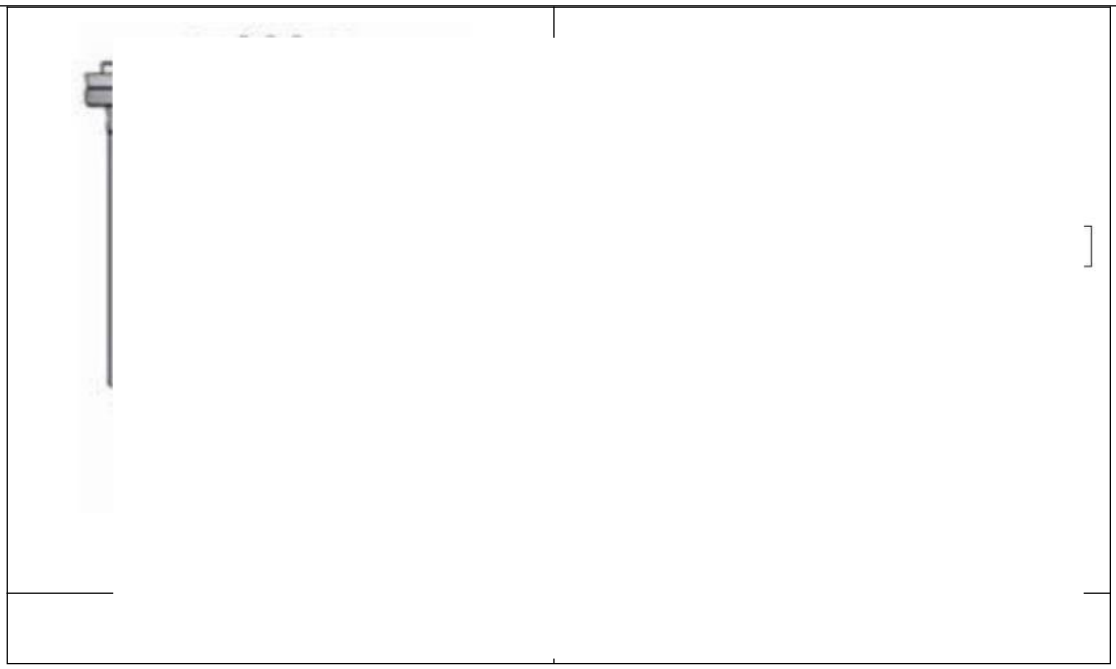


图 9-6 治疗头外观和结构图

壳体由屏蔽材料 ^{238}U 及钢制成，^{238}U 合金外壳包容在里面，保证了屏蔽的强度及安全性能。壳体一端有偏离中心用于安装源开关的内腔，内腔下方有用于定位开关的轴承孔，位于壳体中心的是装源通道。源包壳固定于屏蔽棒上，装源时，先通过机械手将包壳与屏蔽棒固定，然后再将屏蔽棒与治疗头壳体固定。

（2）源开关和准直器

源开关由屏蔽材料 ^{238}U 制成，是一圆柱体，整个被安装于治疗头体内腔。一端通过一个交叉碌子轴承和壳体固定，并通过轴承固定端安装的齿轮由伺服电机驱动，源开关和准直器结构图见图 9-7。

与装源通道和开关孔的距离相等，通孔安装有不同孔径的准直器。这样伺服电机按间隔角度带动开关时，源出束孔与准直器孔对准。治疗时根据需要，源开关转动不同的角度来选择不同的准直器孔径，取得不同的焦点剂量和剂量场分布。

（3）旋转盘

旋转盘整个结构呈圆盘形，带动整个治疗头（射源装置）做旋转运动时，治疗头的运动轨迹为陀螺状，陀螺旋转式 ^{60}Co 放射治疗系统也由此得名。旋转盘体是通过一大型轴承装于滚筒。底部安装一大齿圈，由安装于滚筒上的电机通过直齿带动齿圈旋转，旋转的速度一般设定为 30 转/分钟。

由于治疗头安装后与旋转盘的旋转中心成 25°的夹角，旋转盘转动时使放射源对靶心进行一次圆锥回旋聚焦，使射线途经人体正常组织时只受到瞬时、几乎无伤害的照射。旋转盘结构图见图 9-8。

（

滚 通过箱形结构焊接成型，通过安装在底座平台上的四个滚轮支撑。滚筒是由变频电机通过齿轮减速机经齿轮传动带动滚筒端面的齿圈进行旋转的，滚筒的两端面分别由两个径向与轴向压轮控制其转动。滚筒做旋转时，带动放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度，和回转角度达到第三次聚焦的作用。滚筒的转速出厂设定为 1.0 转/分钟。滚筒结构图见图 9-9。

（5

本每台陀螺刀有一枚组合放射源，活度 3.145×10^{14}Bq（8500Ci），钴粒尺寸约Φ1×1mm，以 22 组按聚焦式方式放置在双层不锈钢圆柱形包壳内，单枚放射源（1.4295×10^{13}Bq（386.3636Ci））用氩弧焊封装，包壳下端有收缩锥面，有助于源的装入，源包壳结构图见图 9-10。放射源是在放射源工厂制备好，并被装入治疗头内，治疗头由特制的密封金属屏蔽容器封装后运输。

屏

（

由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床作 X、Y、Z 三个方向运动。采用精密的机械传动方法，可以使床沿三个方向做出精确的位移，将并在位置送到聚焦中心。三维运动床结构图见图 9-11。

、

GMX-I 型陀螺旋转式 ^{60}Co 放射外科治疗系统采用在立体定位床上的立体定位框架，用负压袋将患者固定，用立体定位框架和患者相对位置固定的方式确定三维立体坐标，可以将 CT 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，这套定位装置就称为立体定位系统。立体定位系统包括：立体定位床、复位尺、负压袋（用于体部治疗）、头部定位框、固定头钉等（用于头部治疗），头部定位还可以选择面膜定位、牙托定位等定位方式。

3、电气控制系统

电气控制系统包括控制台、电气控制柜、驱动装置、电源以及连接电缆等组成。

控制台包括按钮开关、指示灯、计算机控制系统、对讲系统以及一台放在控制台上的彩色监视器。电气控制柜内包括有可编程控制器、驱动装置、变压器组、空气开关接触器、接线排以及交直流电压变换装置等等。电源系统提供 380V 交流接入电气控制柜，电气控制柜提供 220V 交流及 24V 直流输出。

电源系统提供后备 UPS 不间断电源，可保证在运行过程中外界供电中断的情况下，保证源开关关闭和三维床退出的操作供电。

驱动装置包括三维治疗床定位驱动伺服电机、大滚筒驱动变频电机、源开关旋转变频电机、源开关控制步进电机以及高精度旋转编码器。

两个彩色摄像机分别放置于设备长轴线两端的墙上，镜头正对着治疗设备。

4、治疗计划系统

本系统通过硬件和治疗计划系统（TPS）两大部分有机协调运作，达到治疗目的。

治疗计划系统是一个软件系统，它首先将患者接受 CT 检查后的结果在计算机上做

三维重建，结合三维运动床的定位作用，建立起病灶及周围组织的三维模型，然后由医生据此确定放射治疗的位置、放射剂量、入射角度、回转角度、照射时间等一系列治疗参数。这一软件系统同时提供若干专家软件包。最后此治疗计划系统将医生制定的数据自动整理后传输到硬件部分的控制系统，控制系统指挥主机自动执行治疗方案。

5、放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（简称 CBCT）

GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA）与本项目 GMX-I 型陀螺刀配套使用，用于患者放射治疗的图像引导（治疗前用 CBCT 扫描获取实时图像，与模拟定位（计划 CT）图像配准，核对并校正患者摆位位置）。由高压发生器、X 射线管组件、动态平板探测器、系统工作站、限束器、滤线器盒、显示器、供电柜、操作控制盒、同步盒及 CBCT 工作站系统软件组成。

本项目 GMX-I 型陀螺刀外观见图 9-12。本项目拟配备的陀螺刀主要技术参数见表 9-2。

- -

表 9-2 本项目 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统技术参数情况一览表

项目名称	技术参数
设备名称	陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统

使用场所	1#综合楼负 1 楼放疗科 1#、2#陀螺刀机房
数量	
型号	
厂家	
放射源名称	
放射源初装活度	
放射源数量	
辐射类型和能量	
半衰期	
源轴距（SAD）	
焦点剂量率	
准直器种类及聚焦野尺寸	
放射源自转角度	
治疗头自转速率	
治疗头公转速率	
治疗头环绕人体旋转角度	
三维运动床运动距离	
外形尺寸	410
等中心点距地面的距离	
防泄漏屏蔽体	
自屏蔽体	
CBCT	具有 GM

说明：表 9-2 为放射源数量和活度，不包含放射源厂家品牌编号等。

（二）工作原理、工作流程及产污环节

1、工作原理

本项目陀螺刀主机工作时，放射源被屏蔽在一安全的屏蔽体（治疗头）内，治疗头前方设置一机械源开关，当源开关被旋转至打开时，γ射线经过准直孔照射到靶点所在位置，同时，治疗头及筒体形成十字交叉方向旋转，γ射线绕靶点作陀螺回转式聚

焦，对病灶进行聚焦照射治疗。本项目每台陀螺刀内放射源由22枚^{60}Co放射源按聚焦式排列，形成第一次聚焦。

放射源置于一屏蔽体内装于旋转盘上，旋转盘由于其旋转中心的稳定性使得放射源在随旋转盘旋转时，恰似陀螺机构，对靶心进行第二次回旋聚焦。

陀螺机构在自转的同时又随滚筒做公转，使放射源在自转的同时又沿着人体不断变换入射角度和回转角度，达到第三次聚焦的作用。

三次聚焦的结果是放射路径在人体表皮上不断变化而焦点处的辐射剂量不断积累而达到放射治疗时医生所要求的剂量；相应的体表处所接受的辐射剂量是分散的，均匀的，从而使正常组织受到的辐射剂量达到最小。

本项目配备的陀螺刀具备CBCT影像引导设备，使用锥形束X射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器CT最显著的区别是使用二维数字平板探测器，在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT由影像板和球管等硬件及控制软件组成，球管产生kV级X射线，X射线穿过物体和人体投影到影像板成像。

治疗计划选择CBCT图像验证时，病人在开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证，控制系统使CBCT高压发生器产生高压，球管产生X射线，控制系统将使用CBCT功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导。在使用陀螺刀放疗过程中，先使用CBCT的kV级X射线出束用于图像引导定位，后启动^{60}Co放射源出束治疗。

CBCT的优势在于重复模拟定位时的体位，保证与计划设计时靶区、靶区与危及器官和射野空间位置关系一致性，使肿瘤组织得到精准照射，提高治愈率，减少放疗副作用。图像引导放射治疗通过CBCT图像引导配准，可以实现病人凸显的在线或离线配准，保证病人每次治疗体位的重复性和一致性。

2、工作流程及产污环节

治疗前准备→CT扫描定位（产污：X射线、臭氧、氮氧化物）→制定治疗计划→摆位→辐射安全设施检查、清场并确认无人员滞留，双人复核确认→工作人员退出治疗室，关闭防护门→CBCT图像引导系统摆正，校正体位（产污：X射线、臭氧、氮氧化物）→调取CBCT验证图像、设置治疗条件→进行治疗操作（产污：γ射线、臭氧、氮氧化物）→治疗结束→解除摆位、关闭系统。

本项目陀螺刀治疗工作流程及产污环节图见图9-13。

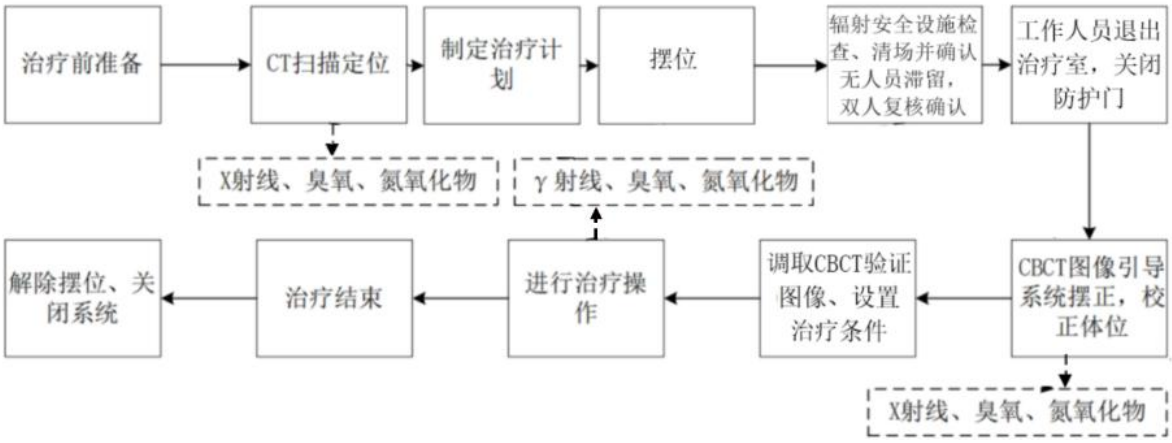


图 9-13 本项目陀螺刀治疗工作流程及产污环节图

使用陀螺刀进行肿瘤放射治疗的基本流程和产污环节如下：

（1）治疗前准备：治疗前期相关准备工作，无射线及废气产生；

（2）CT 扫描定位：对患者进行 CT 扫描定位，模拟定位 CT 产污：X 射线、臭氧、氮氧化物；

本项目放疗科治疗患者的 CT 定位机位于 1#综合楼 1 楼西北部放射科模拟定位 CT 机房，建设地点见附图 4。

（3）制定治疗计划：根据定位影像制定肿瘤放射治疗计划，无射线及废气产生；

（4）摆位：患者进入治疗室，工作人员完成患者摆位及体位固定，此时工作人员受到机房内放射源产生的杂散γ射线辐射影响（放射源位于贮存状态），以及机房内臭氧和氮氧化物废气；

（5）辐射安全设施检查、清场并确认无人员滞留，双人复核确认：核查防护设施、清理治疗室，双人复核确认；

（6）工作人员退出治疗室，关闭防护门；

（7）CBCT 图像引导系统摆正，校正体位：隔室开展 CBCT 扫描配准校正体位，产污：X 射线、臭氧、氮氧化物；

（8）调取 CBCT 验证图像、设置治疗条件：读取 CBCT 图像，设置治疗参数；

（9）进行治疗操作：启动陀螺刀实施γ射线放射治疗，产污：γ射线、臭氧、氮氧化物；

（10）治疗结束：放射治疗完成；

（11）解除摆位、关闭系统：解除患者体位固定，关闭设备系统。

本项目每台陀螺刀拟配置 5 名职业人员，每次出束作业保证至少 2 人在岗，一人

操作、一人复核。

三、DSA

（一）工程设备

本项目拟使用 1 台 DSA 用于开展介入治疗和诊断，拟配置 DSA 型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA。

数字减影血管造影（DSA）因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 设备主要包括 C 型臂机架系统、导管床、显示器吊架及显示系统、X 射线高压发生器装置、X 射线球管、数字平板探测器、图像采集处理系统、后处理工作站、防护屏及防护铅帘等。

DSA 一般由 C 型的机架、产生 X 射线的球管，采集图像的影像增强器和 CCD 摄像机，以及图像处理的工作站组成。工作原理是当进行透视时，面板设置通过透视功能板产生控制信号，通过总线给 X 线控制板三个信号后使其产生两对相位相反的矩形脉冲驱动信号经过光耦隔离，放大驱动 IGBT，电池组通过 IGBT 产生高频脉冲到高压发生器给 X 线管产生 X 线。根据建设单位提供的资料，本项目 DSA 用于综合介入手术中透视和摄影工作。

常见 DSA 外观见下图 9-14，本项目 DSA 主要设备技术参数见下表 9-3，本项目 DSA 配套设备见下表 9-4。

图 9-14 常见 DSA 外观图

表 9-3 本项目 DSA 主要设备技术参数

指标	技术参数
型号	待定
使用场所	医院 1#综合楼 2 楼 OR1 手术室内（DSA 机房）
设备供应商	待定
额定管电压、管电流	125kV、1000mA
X 射线球管滤过条件	按照固有滤过 2.5mmAl*
焦皮距	≥45cm

说明：*因目前 DSA 型号未定，根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝，本项目 DSA 的 X 射线球管拟按照常用的 DSA 固有滤过材料为 2.5mmAl。

表 9-4 本项目 DSA 配套设备一览表

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

（二）工作原理、工作流程及产污环节

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，分别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。DSA 系统结构图见图 9-15。DSA 是引导介入放射治疗的重要医学影像设备，通过置入体内的各种导管（约 1.5—2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导

管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

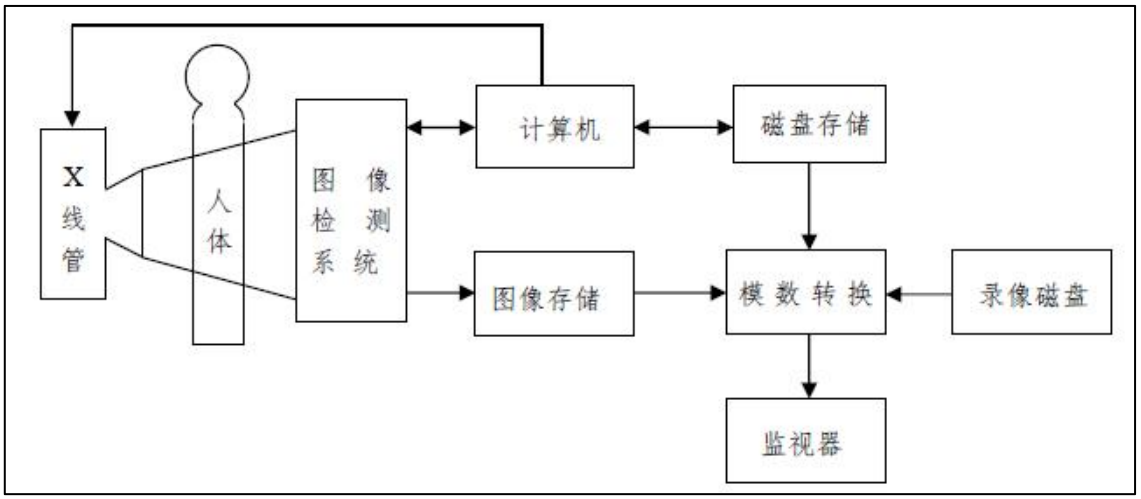


图 9-15 DSA 系统结构图

2、工作流程及产污环节

患者在接受 DSA 诊断和放射性介入治疗时，先仰卧进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，送入引导钢丝及扩张血管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

本项目 DSA 在使用时分为两种情况：

第一种情况：血管减影检查。操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对受检者进行摄影，设备曝光产生 X 射线），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内受检者情况，并通过对讲系统与受检者交流。

第二种情况：引导介入治疗。患者开展介入手术治疗时，为清晰掌握病灶及器械位置，设备会进行摄影，并采用连续脉冲透视；摄影阶段，操作医师撤离机房，在控制室内隔室开展操作；连续脉冲透视阶段，操作医师位于铅帘后方，穿戴铅服、铅眼镜，在机房内对患者实施介入手术操作。

本项目采用先进的数字显影技术，电脑成像，不使用显（定）影液，不产生废显影液、废定影液和废胶片。注入的造影剂不含放射性。设备运行过程中产生的污染物主要为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物以及手术过程中产生的医疗废物。本项目 DSA 工作流程及产污环节见图 9-16。

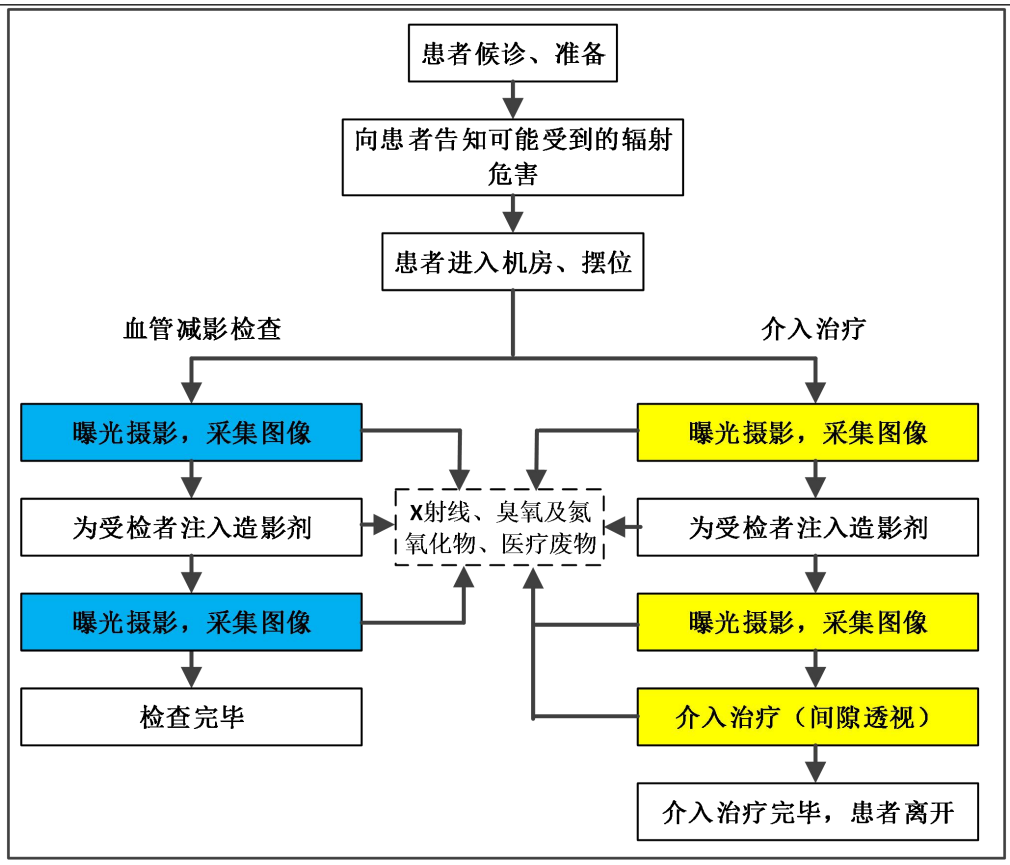


图 9-16 本项目 DSA 工艺流程及产污环节图

四、工作负荷及人员配置

根据建设单位提供资料，建设单位拟为本项目放疗科、DSA 机房以及放射科共配置 39 名辐射工作人员（含辐射安全管理人员 1 名），均为建设单位新招聘人员。

建设单位拟为放疗科 1#、2#陀螺刀，1#、2#直线加速器分别设置作业组，各组岗位相对独立，原则上不跨机房轮岗作业；每组拟配置 2 名放射肿瘤医师、2 名放疗技师、1 名医学物理师，另为放疗科统一配置 4 名护士，放疗科 4 台设备合计配置 24 名辐射工作人员。每组装置开展放射治疗期间，由 2 名技师操作，放射治疗操作期间配置两名技师（不含护士）协同操作，严格落实一人操作、一人复核制度；项目实行长白班制。放疗科护士工作地点设于机房外护士站，不进入治疗机房、不开展患者摆位操作。每台放疗设备单日最大接诊量按 50 人次计，单次治疗平均出束时长 3min，全年工作 250d，经核算，单台设备全年最大治疗出束时长不超过 625h；直线加速器、陀螺刀放疗过程采用 CBCT 开展图像引导定位，CBCT 单次平均照射时长 2min，全年工作 250d，经核算，单台设备 CBCT 全年最大出束时长不超过 416.67h。放疗科护士实行轮岗值守，每班安排 2 名护士在岗。

建设单位拟为放射科 III 类射线装置配置 10 名辐射工作人员，其中放射影像医师 4 名、技师 6 名。

建设单位拟为本项目 DSA 配备 4 名职业人员，包含介入医师 2 人、技师 1 人、护士 1 人，以上职业人员均为新招聘人员。DSA 年开展综合介入手术不超过 200 台，设备全年透视时长不超过 66.7 小时、摄影时长不超过 2.78 小时。

DSA 诊疗过程中，医师、护士在手术部内近台操作，2 名医生均位于手术床旁，站位顺序依次为第一术者、第二术者，其中第一术者距球管约 0.5m 处，负责为患者进行介入手术；第二术者距球管约 1m 处，负责辅助第一术者进行手术；护士负责术中护理操作和配合，位于术者位之后。职业人员年工作 250 天。

根据建设单位提供的资料预估本项目 DSA 的工作负荷具体见表 9-5。

表 9-5 本项目 DSA 工作负荷

<table>
<tr><td colspan="6">透视</td></tr>
<tr><td>手术类别</td><td colspan="2">年开展工作量</td><td colspan="2">每台手术透视曝光时间</td><td>年透视曝光时间</td></tr>
<tr><td>综合介入</td><td colspan="2">200 台</td><td colspan="2">约 20min</td><td>约 66.7h</td></tr>
<tr><td colspan="6">摄影</td></tr>
<tr><td>手术类别</td><td>年开展工作量</td><td>单次曝光时间</td><td>单台手术采集次数</td><td>单台手术最大采集时间</td><td>年曝光时间</td></tr>
<tr><td>综合介入</td><td>200 台</td><td>≤1s</td><td>16~50 次</td><td>约 50s</td><td>约 2.78h</td></tr>
<tr><td colspan="5">总计</td><td>约 69.48h</td></tr>
</table>

污染源项描述

一、辐射污染源

（一）医用直线加速器项目

1、X 射线外照射

本项目医用直线加速器以 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，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

根据建设单位和本台医用直线加速器厂家提供的资料，本项目拟配备的 2 台医用直线加速器型号、参数等均相同，具体为：X 射线能量为 6MV，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 800cGy/min，本项目医用直线加速器射束阻挡器（铅屏蔽体）（在距离

等中心 1 米的测量点传输<0.1%，沿射束轴方向），头部漏射<0.05%，环评计算时保守取机头泄漏辐射比为 0.1%。

由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

2、电子束

本项目医用加速器治疗不采用电子束治疗模式。

3、中子

本项目拟配备的 2 台医用直线加速器的 X 射线能量均为 6MV。依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）规定(4.3.2.5），当加速器 X 射线≤10MV 时，中子及其影响可忽略。

4、感生放射性

根据《辐射防护手册》（第三分册）图 4.27（P125），当直线加速器入射电子能量超过 8MeV 时，它发射的强电离辐射照射在机房内的各种设备、器械以及墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性，本项目医用直线加速器入射电子能量低于 8MeV，不再考虑感生放射性影响。

因此，本项目医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

5、CBCT 产生的 X 射线

本项目医用直线加速器配套的 CBCT 最大管电压 140kV，最大管电流 80mA，CBCT 出束将产生 kV 级 X 射线。

（二）陀螺刀

1、^{60}Co 放射源特性及辐射源项

本项目拟配备的单台陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，活度为 3.145×10^{14}Bq，焦点处γ射线剂量率≥3.0Gy/min，放射源与焦点的距离为 535mm。核素 ^{60}Co 是一种人工生产的放射性核素，主要由 ^{59}Co 在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。^{60}Co 核素衰变过程中发射出 0.315MeV 的β射线和能量分别为 1.173MeV 和 1.332MeV 的两种γ射线，平均能量为 1.25MeV。

^{60}Co 放射源特性见表 9-6。

表 9-6　^{60}Co 放射性核素特性

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要α、β辐射能量（keV）与绝对强度（%）	主要γ、X 射线能量（MeV）与绝对强度（%）	空气比释动能率常数（$\mu Sv \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$）
^{60}Co	5.27a	β-	/	β^-：0.315（99.74%） γ：1.173（99.87%） γ：1.332（99.98%）	0.308

注：空气比释动能率常数取自《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/T201.3-2014）。

2、β外照射影响

根据《辐射防护手册（第三分册）》，β射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度计算公式见公式 9-1，计算结果见表 9-7。

$$d=\frac{1}{2\rho}E_{\rho max}$$ 公式 9-1

式中：$E_{\rho max}$—β射线的能量，MeV；

ρ—物质的密度，g/cm^3；

d—与最大射程对应的防护厚度，cm。

由上表可知，β粒子最大能量为 0.315MeV，根据公式 9-1 计算结果如下。

表 9-7 本项目陀螺刀机房屏蔽体与本项目 ^{60}Co 产生的β粒子最大射程对应的防护厚度

屏蔽材料	材料密度（g/cm^3）	对应的防护厚度（cm）	本项目机房最小厚度（cm）	备注
铅	11.3	0.014	1.2	1.2 远大于 0.014
混凝土	2.35	0.067	80	80 远大于 0.067

由上表可知，β粒子最大能量为 0.315MeV，但其穿透力极弱，最大射程在铅和混凝土中对应的防护厚度分别为 0.014cm 和 0.067cm，远小于机房设计屏蔽体厚度，因此本项目陀螺刀 ^{60}Co 产生的β射线对外部环境或人员不构成外照射风险。本项目辐射环境影响分析主要考虑γ射线的防护以及环境影响。

3、出束状态下γ辐射污染源强

根据 GMX-I 型陀螺刀的工作原理，22 枚放射源置于治疗头内，通过准直器聚焦到等中心点照射，治疗头可环绕人体±270 °旋转照射。治疗头和自屏蔽体具有一定的屏蔽效果。治疗室的防护主要考虑主束透射（用线束穿透自屏蔽体后的辐射）、设备泄漏辐射、主束线照射人体后散射线。

依据《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/T201.3-2014）第 7 条γ刀治疗机房的屏蔽计算原则与注意事项，c）体部γ刀

治疗机房主要应考虑装置治疗状态下放射源组装体部件与准直器的泄漏辐射的一次散射辐射及有用线束的一次散射辐射，依据陀螺刀厂家提供的散射辐射剂量场进行相应的屏蔽厚度与剂量计算，本项目优先采用陀螺刀厂家提供的治疗状态下辐射剂量场进行相应的剂量计算。

根据厂家和建设单位提供的资料（见附件 8），本项目在模拟治疗状态下（滚筒以 270°为法线出束时）距焦点 1m 处的最高剂量率为 17340μGy/h，此剂量率数值包含有用线束透射、泄漏射线和患者散射线剂量率，环评以陀螺刀厂家提供模拟治疗状态下距焦点 1m 处的用剂量率最大值作为治疗出束状态下最大源强进行计算屏蔽体外剂量率，此剂量率数值包含有用线束透射、泄漏射线和患者散射线剂量率，评价不再单独计算有用线束透射、泄漏射线和患者散射线剂量率。

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）4.8.3 条款和《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/T201.3-2014）5.2.2.1 条款，本项目陀螺刀厂家提供的空气比释动能率与周围剂量当量率转换系数为 1，即距等中心 1m 处的 X-γ周围剂量当量率最大值为 17340μGy/h。

4、CBCT 运行产生 X 射线

本项目配合陀螺刀使用的 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（CBCT）最大管电压 120kV、最大管电流 1000mA，在图像引导过程中 CBCT 出束时会产生 kV 级 X 射线。

5、非治疗状态下污染源强

本项目陀螺刀未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的γ射线会穿透屏蔽体，对进入陀螺刀机房的人员及室外公众等产生照射。陀螺刀在非治疗状态下，主机外表面和屏蔽门处剂量率相对较低。根据 GBZ/T201.3-2014 附录 B.3，贮源状态下距源 1m 处的空气比释动能率不大于 20μSv/h。

6、放射性固体废物：

^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的辐射环境影响。

（三）DSA

1、辐射污染源

DSA 在工作状态下会发出X射线，拟配置的 DSA 最大管电压≤125kV、最大管电流≤1000mA。DSA 运行时，X 射线球管出束产生的 X 射线对周围公众及职业人员产生辐射影响。X射线在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束（主束）、漏射线和散射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

（1）有用线束

本项目手术部拟配置的 1 台 DSA 有用线束朝向平板探测器。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常与设备最大管电压和管电流之间留有一定的裕量。根据建设单位提供的资料，当 DSA 运行管电压为额定电压的极端情况时，透视模式下的电流不大于 20mA，摄影模式下的电流不大于 500mA；DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60～80）kV/（5～20）mA；摄影模式的工况为（60～80）kV/（100～500）mA。

因目前 DSA 型号未定，根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝，本项目 DSA 的 X 射线球管拟按照常用的 DSA 固有滤过材料为 2.5mmAl，根据建设单位提供的资料，本项目 DSA 运行时常用最大管电压为 80k，查《辐射防护导论》（方杰）附图 3，DSA 在 80kV、2.5mmAl 滤过材料运行时离靶 1 米处的发射率约为 5mGy·m^2/（mA·min），即 300000μGy/(mA·h)。

（2）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^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 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》（GB9706.103-2020）中

12.4的相应要求，本项目DSA离焦点1m处的泄漏辐射空气比释动能率为1.0mGy/h。

（3）散射线

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

（四）放射科III类射线装置

本项目拟于1#综合楼1楼放射科新建1座放射治疗模拟定位CT机房、1座DR机房、1座数字胃肠机机房、1座乳腺机房，在机房内分别配置1台放射治疗模拟定位CT机、1台DR机、1台数字胃肠机和1台乳腺机用于放射诊断。

拟于1#综合楼2楼门诊二区新建1座口腔全景CT机房和1座牙片机房，分别配置1台口腔全景CT机和1台牙片机用于放射诊断，另外于1#综合楼2楼手术部OR8手术室（C形臂机房）内配置1台移动式C臂机用于手术期间放射诊断。

以上射线装置均在运营期产生X射线，正常情况下职业人员和途经监督区的一般公众可能受到透过屏蔽材料的漏射X射线和散射X线照射。

二、非辐射污染源

（一）废气

医用直线加速器、陀螺刀、DSA在工作状态时，会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

本项目放射科III类射线装置出束期间会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物。

（二）废水

本项目医用直线加速器、陀螺刀运行过程中不产生废水，本项目DSA通过显示器成像，不洗片，无洗片废水。产生的非放射性废水主要是工作人员和患者产生的生活污水，造影检查产生的含造影剂废水。

（三）固体废物

包含工作人员和患者产生的生活垃圾和办公垃圾，放疗科医用直线加速器、陀螺刀运行中产生的废体模、一次性床单，手术部DSA手术过程中产生的废造影剂、医用器具和药棉、纱布、手套等，检查用一次性垫单、消毒棉签、手套等。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局

（一）放疗科医用直线加速器

1、选址和布局

本项目 2 座医用直线加速器机房位于 1#综合楼负 1 楼放疗科南部，其中 1#医用直线加速器机房靠东布置，该台加速器机房东侧为 1#医用直线加速器控制室和设备间，南侧为土层，西侧为 2#医用直线加速器机房，北侧为放疗科通道，上方为 1#综合楼楼梯间和康复大厅、通道、加压送风机房、药房和药库，下方为土层（无地下室）；2#医用直线加速器机房靠西布置，该台加速器机房东侧为 1#医用直线加速器机房，南侧为土层，西侧为控制室和设备间，北侧为放疗科通道，上方为 1#综合楼住院大厅和护士站，下方为土层（无地下室）。放疗科 2 座医用直线加速器工作区域内无居民、写字楼和商住两用建筑物，无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，亦无人员流动性大的商业活动区域，该直线加速器工作场所选址合理。医用直线加速器工作场所由机房、控制室、设备间等组成，机房与控制室、设备间等区域分开单独布置，其中机房内一侧设有迷道。加速器控制室均位于机房迷道外墙外已避开有用线束照射范围，有用线束不直接朝控制室和其他居留因子较大的用室照射。该放射治疗场所布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定、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）中关于放射治疗场所选址和布局的规定，布局合理。

本项目加速器工作场所平面布置见图 10-1。

2、工作场所分区

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将屏蔽产生射线的 2 座医用直线加速器机房（含治疗室和迷道）作为辐射防护控制区，开机时除患者外禁止任何人员进入，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；拟将与医用直线加速器机房相邻的控制室、设备间作为辐射防护监督区，拟在监督区的所有入口处设立标明监督区的标牌，限制无关人员进入，定期进行辐射剂量率检测，并经常对职业照射条件进行监督和评价。本项目医用直线加速器机房辐射防护分区的划分符合《放射治疗

辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《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要求。北侧防护门为进出机房门，医护人员和患者通过该防护门进出，污物通过该防护门运出，经通道转运至医疗废物暂存间。

3、患者和医护人员路径（见图 10-1）

患者路径：患者经模拟定位 CT 机定位后到达加速器机房北侧的防护门外，防护门打开后，沿迷道进入机房内的治疗床上，由工作人员对其进行摆位，治疗结束后原路返回至出口处，观察一段时间后离开。

医护人员路径：放疗医护人员经过北侧防护门沿迷道进入机房，对患者进行摆位，原路返回至出口处，再沿迷道出机房进入控制室实施放射治疗计划。当需要对设备进行维护时，工作人员会经控制室进入机房南侧的设备间，医患路径见图 10-1。

本项目医用直线加速器机房平面布置及分区图见图 10-1。

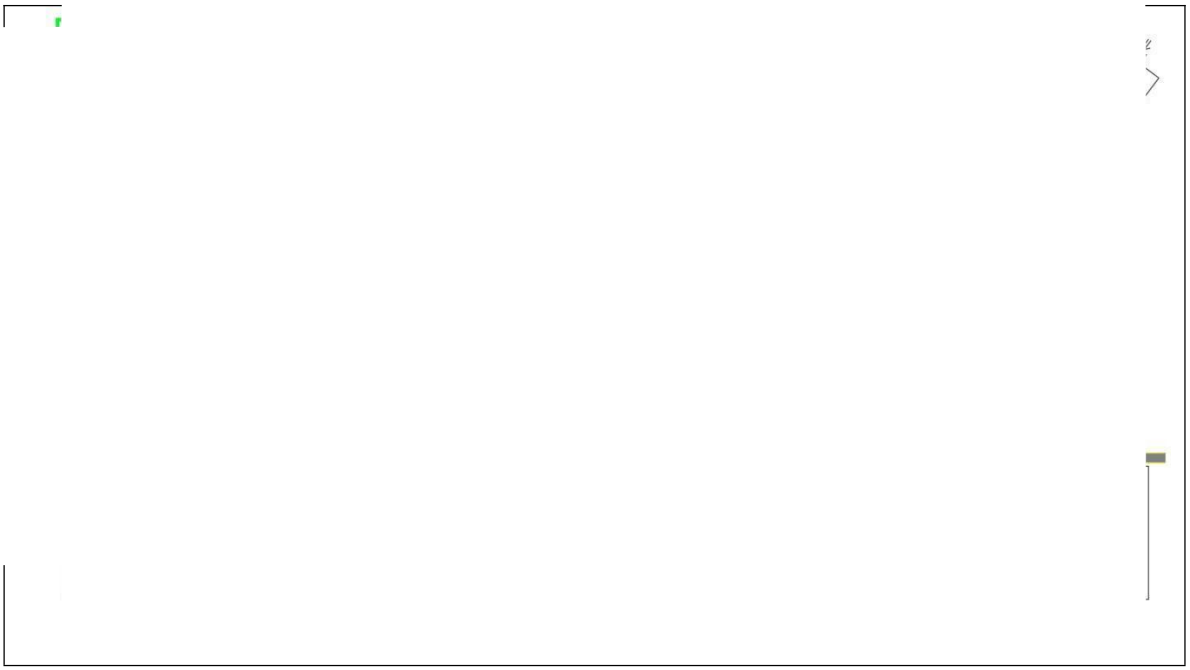


图 10-1 本项目医用直线加速器机房工作场所平面布置、分区及人流、物流路径图

（二）放疗科陀螺刀

1、选址和布局

本项目 2 座陀螺刀机房位于 1#综合楼负 1 楼放疗科北部，与南侧 2 座直线加速器机房以一个 4.5m 宽通道相隔，1#陀螺刀机房靠东布置，机房东侧为 1#陀螺刀控

制室和备用房间、地下车库（负1楼停车场），南侧为放疗科室内通道，西侧为2#陀螺刀机房，北侧为地下车库（负1楼停车场），上方为1#综合楼1楼药房、药库、诊室、消防回车场，下方为土层（无地下室）。2#陀螺刀机房靠西布置，机房东侧为1#陀螺刀机房，南侧为放疗科室内通道，西侧为2#陀螺刀控制室、配电间、设备间、弱电机房，北侧为地下车库（负1楼停车场），上方为1#综合楼1楼住院大厅、通道、诊室，下方为土层（无地下室）。

该放射治疗场所布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定、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）中关于放射治疗场所选址和布局的规定，布局合理。

本项目陀螺刀工作场所平面布置见图10-2。

2、工作场所分区

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将陀螺刀机房（含治疗室和迷道）作为辐射防护控制区，开机时除患者外禁止任何人员进入，并在机房入口处设置电离辐射警告标志；拟将2间陀螺刀控制室、放疗中心备用房间作为辐射防护监督区，拟在监督区的所有入口处设立标明监督区的标牌，限制无关人员进入，定期进行辐射剂量率检测，并经常对职业照射条件进行监督和评价。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。南侧防护门为进出机房门，医护人员和患者通过该防护门进出，污物通过该防护门运出，经通道转运至医疗废物暂存间。

3、患者和医护人员路径

患者路径：患者经模拟定位CT机定位后到达放疗科陀螺刀机房的防护门外，防护门打开后，沿迷道进入机房内的治疗床上，接受工作人员对其进行摆位，治疗结束后原路返回至出口处，观察一段时间后离开。

医护人员路径：放疗医护人员由迷道入口沿迷道进入机房，对患者进行摆位，原路返回至出口处，再进入对应的控制室实施放射治疗计划，医患路径见图10-2。

本项目陀螺刀机房平面布置及分区图见图10-2。

（三）手术部 DSA

1、选址和布局

本项目拟配置 1 台 DSA 设备，单管头，球管位于下方，照射方向多角度，布置于 1#综合楼 2 楼手术部 OR1 手术室内，设置独立专用机房，机房整体选址科学、布局规范，充分兼顾邻室、上下楼层人员的辐射防护安全。该 DSA 机房东侧配套设置独立设备间与专用控制室，南侧为污物走廊，西侧毗邻 OR2 手术室，北侧为洁净走廊；机房上方为 1#综合楼 3 楼接诊台、阳性接诊室及男更衣室，下方为 1#综合楼 1 楼住院大厅，周边功能分区清晰，人员活动场景可控。

本项目 DSA 诊疗区域由 DSA 机房、独立控制室、设备间及南北配套走廊组成，实现操作区与照射室物理分隔，规避操作人员长期处于射线照射区域的风险。机房有效使用面积约 54.18m^2，最小单边长度为 6.3m，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 DSA 类 X 射线设备机房最小有效使用面积不低于 20m^2、最小单边长度不低于 3.5m 的规范要求，机房空间布局可满足设备安装、诊疗操作及辐射防护的各项需求。

机房辐射防护布局设计合理，有用线束朝向平板探测器，尽量避免有用线束直接照射防护门、窗、管线口以及工作人员操作位。同时机房配套完善防护设施，设置观察窗（视频监控）及双向对讲装置，可实时监护机房内诊疗情况、实现医患双向沟通，保障诊疗作业安全。

机房共设置 2 樘专用防护门，分区实现人流、物流分离：医护人员、患者经由洁净走廊通过患者专用防护门进出机房，诊疗污物通过独立污物防护门、专用通道转运至医疗废物暂存间，有效规避交叉污染与辐射安全风险。综上，本项目 DSA 机房选址合理、布局合规、防护完善，符合现行辐射防护规范要求。

本项目 DSA 工作场所平面布置见图 10-3。

10-3 DSA 、 、

2、工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，将本项目 DSA 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。

本项目 DSA 区域划分情况如下：

本项目拟将 DSA 机房作为控制区，拟在各防护门显著处设置电离辐射警告标志及中文警示说明，采用门锁等方式防止非职业人员误入，造成误照射；将机房东侧

的控制室、设备间作为监督区，拟在监督区的所有入口处设立标明监督区的标牌，限制无关人员进入，定期进行辐射剂量率检测，并经常对职业照射条件进行监督和评价。

本项目 DSA 工作场所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的要求。

本项目 DSA 工作场所分区见图 10-3。

（四）放射科III类射线装置

本项目放射科III类射线装置周围环境情况见下表 10-1。

表 10-1 本项目放射科III类射线装置周围环境情况一览表

序号	机房名称	位置	东面	南面	西面	北面	上层	下层
1	CT 机房	1#综合楼 1 楼放射科	设备间	控制走廊	预留 CT 机房	过道	采光天井	地下车库
2	DR 机房		过道	控制走廊	设备间	过道	生化、临检、免疫大厅	
3	数字胃肠机房		预留数字胃肠机房	过道	乳腺机房	控制走廊	接种室、无菌室、采光天井，	
4	乳腺机房		数字胃肠机房	过道	过道	控制走廊	微生物常规检测区	
5	口腔全景 CT 机房	1#综合楼 2 楼门诊二区	临空	控制室	过道	牙科诊室	露天平台	诊室
6	牙片机房		临空	诊室	过道	控制室		
7	C 形臂机房（OR8 手术室）	1#综合楼 2 楼手术部	OR7 手术室	洁净走廊	OR9 手术室	污物走廊	阴性透析大厅	制水间、缓冲间、洁具间、办公室

由上表可知，本项目放射科III类射线装置已设置独立机房，机房设置已充分考虑邻室、楼上楼下场所人员防护安全；配套独立控制室，实行隔室操作，设置观察窗（视频监控）及对讲装置；有用线束（主射方向）已尽量避开控制室、人员长期停留的房间，减少主束直接朝向人员居留区域。本项目放射科III类射线装置布局合理。

1、区域划分

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，将本项目放射科III类射线装置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。本项目放射科III类射线装置区域划分情况如下：

1）控制区

本项目控制区是指各机房内部，以屏蔽体为边界。在该区内的出入口应设立醒目的电离辐射警告标志，通过警示灯、警示标志以及门灯联锁等放射防护与安全措施，运用行政管理程序和实体屏障限制进入控制区，保障该区的辐射安全。

2）监督区

本项目监督区是指各机房屏蔽体外的相邻区域，主要包括各机房四周、控制室和机房防护门外过道及各机房设备间工作区。对该区域不采取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、机房使用面积和最小单边长度校核

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定：“除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合 GBZ130-2020 中表 2 的规定”。本项目各机房的有效使用面积和单边长度与 GBZ130-2020 标准对照情况见表 10-2。

表 10-2 本项目其他各III类射线装置机房的最小有效使用面积和最小单边长度与 GBZ130-2020 标准符合情况一览表

序号	机房名称	设备类型	机房情况		标准要求		符合情况
			机房内有效使用面积（m^2）	机房大小（长×宽）（m）	最小有效使用面积（m^2）	最小单边长度（m）	
1	CT 机房	CT 机	42.8	7.63×5.61	30	4.5	符合
2	DR 机房	单管头 X 射线设备	32.4	5.78×5.61	20	3.5	符合
3	数字胃肠机房	单管头 X 射线设备	32.2	5.87×5.49	20	3.5	符合
4	乳腺机房	乳腺机	32.1	5.87×5.46	10	2.5	符合
5	口腔全景 CT 机房	口腔 CBCT（口腔全景 CT）	13.1	4.86×2.70	5	2.0	符合

6	牙片机房	口内牙片机	13.9	4.86×2.86	3	1.5	符合
7	C 形臂机房 OR8 手术室）	单管头 X 射线设备	30.7	5.81×5.29	20	3.5	符合

由上表可以看出本项目放射科III类射线装置各机房的有效使用面积和最小单边长度均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

三、辐射防护屏蔽设计

本项目为新建核技术利用项目，本项目 2 座直线加速器机房、2 座陀螺刀机房和 DSA 机房均为主体工程同步建设的预留机房，放射科其他III类射线装置机房为拟建机房，无原有房间改造、利旧改造内容。

加速器机房、陀螺刀机房顶板屏蔽混凝土浇筑于机房本层顶板结构；DSA 机房以及放射科其余 III 类射线装置机房地面和顶板屏蔽防护层同样设置于对应机房本层地面和顶板，并非设置在下 1 层顶板和上 1 层建筑地坪。不会出现下 1 层屋顶、上 1 层地面装饰装修造成机房下方、上方辐射屏蔽层的破坏。

（一）放疗科医用直线加速器

根据建设单位提供的资料和本项目设计图纸，本项目放疗科 2 座医用直线加速器机房采用砼浇筑结构，各机房内治疗室迷道内墙至侧屏蔽墙之间东西长 7m、外凸外表面之间南北长 7m、净面积（内凸外表面取直后）为 49m^2（不含迷道），每座机房内总使用面积约 81m^2，机房内高 3.7m，每座机房内容积约 300m^3，设置直迷道，迷道长 11.1m，宽 2.0m，迷道口设有防护门，防护门洞口 1.6m。

本项目放疗科 2 座医用直线加速器机房的防护门均为铅防护门，机房防护门除要考虑足够的防护厚度外，应考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目防护门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度拟大于 10 cm，1#、2#直线加速器机房通风管道均设计从机房防护门上方 S 型竖向斜穿墙，电缆管线穿墙孔设计为U型，均避开主射线方向，射线至少经过 3 次散射才能到达治疗室外，2 座医用直线加速器机房具体屏蔽参数见表 10-3、表 10-4，屏蔽情况图见图 10-4、图 10-5。

表 10-3 本项目 1#医用直线加速器机房屏蔽设计

机房名称	项目		现有屏蔽情况
1#医用直线	东墙	迷道内墙	120cm 砼

加速器机房		迷道外墙	150cm 砼
	南墙	主屏蔽区	290cm 砼，宽度为 400cm（内凸）
		次屏蔽区	170cm 砼
	西墙	侧屏蔽墙（与 2#医用直线加速器机房共用）	150cm 砼
	北墙	主屏蔽区	290cm 砼，宽度为 400cm（内凸）
		次屏蔽区	170cm 砼
	顶棚	主屏蔽区	290cm 砼，宽度为 460cm（外凸）
		次屏蔽区	170cm 现浇砼+120cm 回填材料
	迷道		长 11.1m ，宽 2.0m
	防护门		10mmPb
加速器自带屏蔽体（有用线束方向）			长度：754mm（3%锑铅合金）+20mm 钢 宽度：660mm（3%锑铅合金）+10mm 钢 厚度：172mm（3%锑铅合金）+20mm 钢
机房内净容积 300m³；防护门与墙重叠搭接，间隙小于 1cm，重叠宽度大于 10 cm			

注：1、砼密度≥2.35t/m³，铅密度为 11.3t/m³，本报告保守不考虑顶棚副墙（外凸两侧至地面高处）回填材料的屏蔽效果。

2、1#医用直线加速器机房南侧、下方为土层，人员不可达。

表 10-4 本项目 2#医用直线加速器机房屏蔽设计

机房名称	项目		现有屏蔽情况
2#医用直线加速器机房	东墙	侧屏蔽墙（与1#医用直线加速器机房共用）	150cm砼
	南墙	主屏蔽区	290cm砼，宽度为400cm（内凸）
		次屏蔽区	170cm砼
	西墙	迷道内墙	120cm砼
		迷道外墙	150cm砼
	北墙	主屏蔽区	290cm砼，宽度为400cm（内凸）
		次屏蔽区	170cm砼
	顶棚	主屏蔽区	290cm砼，宽度为460cm（外凸）
		次屏蔽区	170cm现浇砼+120cm回填材料
	迷道		长11.1m，宽2.0m
	防护门		10mmPb
机房内净容积300m³；防护门与墙重叠搭接，间隙小于1cm，重叠宽度大于10cm			

注：1、砼密度≥2.35t/m³，铅密度为 11.3t/m³，本报告保守不考虑顶棚副墙（外凸两侧至地面高处）回填材料的屏蔽效果。

2、2#医用直线加速器机房南侧、下方为土层，人员不可达。

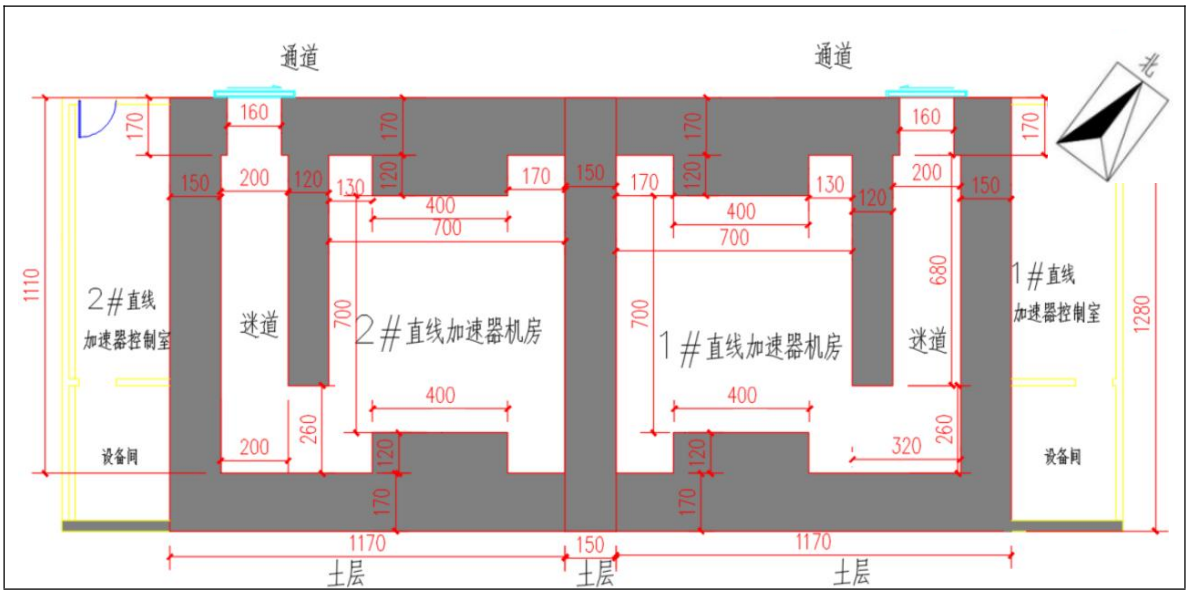


图 10-4 本项目医用直线加速器屏蔽设计图（平面图）(尺寸单位：cm)

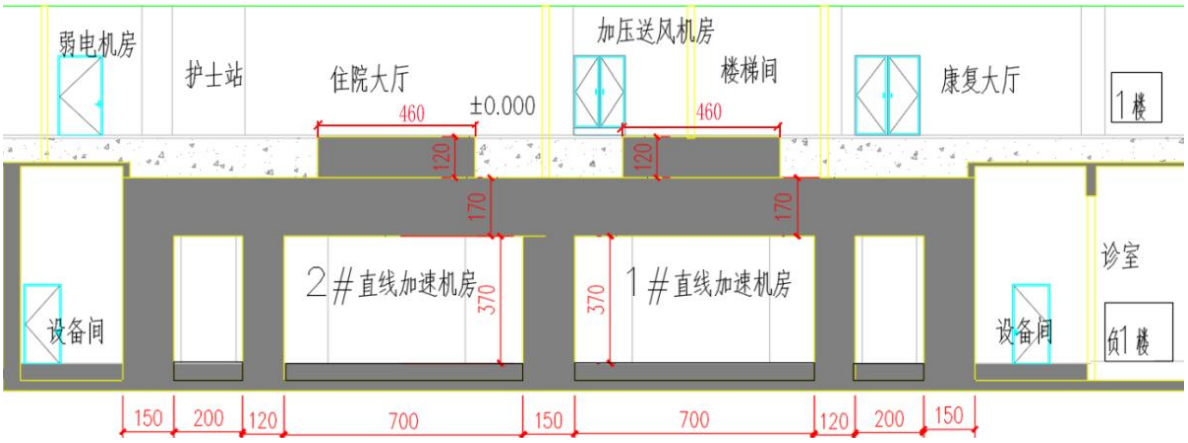


图 10-5 本项目医用直线加速器机房屏蔽设计图（剖面图）(尺寸单位：cm)

（二）放疗科陀螺刀

本项目陀螺刀防泄漏屏蔽体为等效于 150mm 厚的 ^{238}U；自屏蔽体为 190mm 厚度的铅材料。根据设备陀螺刀厂家提供的资料，防泄漏屏蔽层具体为：在侧面方向上，有两种串行屏蔽：材料的屏蔽厚度为 112mm，碳钢材料的厚度为 17mm；在源上方向，有两种串行屏蔽：材料的屏蔽厚度为 120mm，碳钢材料屏蔽厚度为 30mm；源下方向，^{238}U 材料的屏蔽厚度为 150mm。陀螺刀放射源的自屏蔽结构见附件 8。

根据建设单位提供的资料和设计图纸，本项目放疗科 2 座陀螺刀机房采用砼浇

筑结构，机房内南北长 11.2m、东西宽 7.1m，净面积 77.3m^2（含迷道），机房高 4.35m，机房内容积 336.2m^3，设置直迷道，迷道宽 2.5m，迷道口设有铅防护门，机房防护门除要考虑足够的防护厚度外，应考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目防护门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度拟大于 10 cm。本项目 2 座陀螺刀机房具体屏蔽参数见表 10-5、表 10-6，屏蔽情况见图 10-6、图 10-7。

表 10-5 本项目 1#陀螺刀机房防护屏蔽设计一览表

机房名称	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）
放疗科 1#陀螺刀机房	东墙		800mm 砼
	南墙	迷道外墙	800mm 砼
		迷道内墙	（400~700）mm 砼
	西墙（与 2#陀螺刀机房共用墙体）		900mm 砼
	北墙		800mm 砼
	屋顶		800mm 砼+土层
	防护门		12mm 铅
	机房内容积 336.2m^3；防护门与墙重叠搭接，间隙小于 1cm，重叠宽度大于 10 cm		

注：1、砼密度≥2.35t/m^3，铅密度为 11.3t/m^3，本报告保守不考虑顶棚回填材料的屏蔽效果。
2、1#陀螺刀机房下方为土层，人员不可达。

表 10-6 本项目 2#陀螺刀机房防护屏蔽设计一览表

机房名称	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）
2#陀螺刀机房	东墙（与1#陀螺刀机房共用墙体）		900mm砼
	南墙	迷道外墙	800mm砼
		迷道内墙	（400~700）mm砼
	西墙		800mm砼
	北墙		800mm砼
	屋顶		800mm砼+土层
	防护门		12mm铅
	机房内容积336.2m^3； 防护门与墙重叠搭接，间隙小于1cm，重叠宽度大于10cm		

注：1、砼密度≥2.35t/m^3，铅密度为 11.3t/m^3，本报告保守不考虑顶棚回填材料的屏蔽效果。
2、2#陀螺刀机房下方为土层，人员不可达。

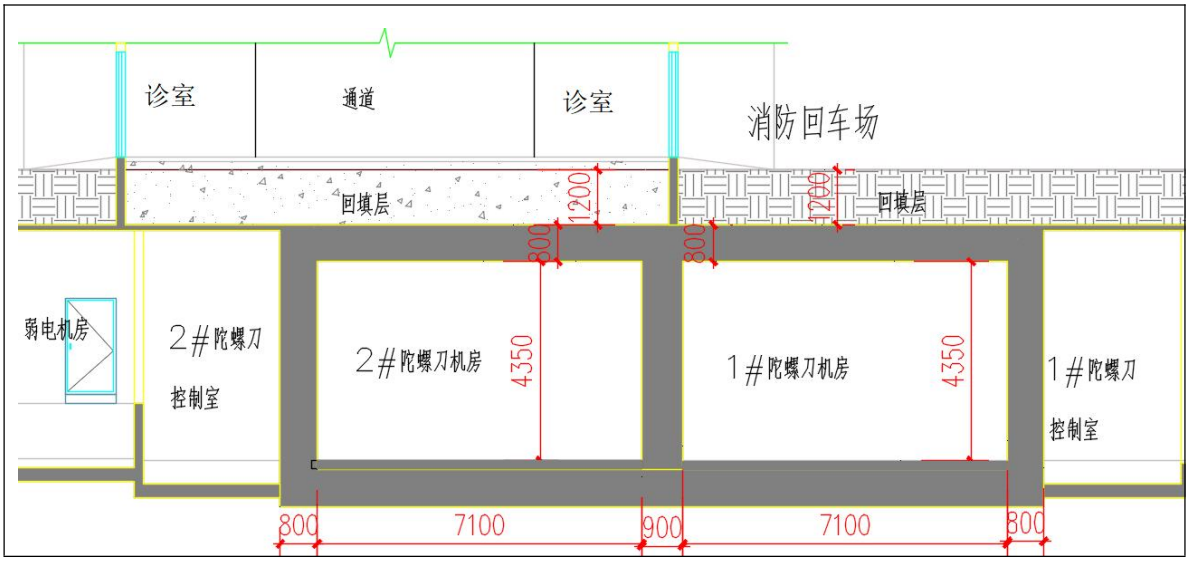


图 10-6 本项目陀螺机房屏蔽设计图（剖面图）(尺寸单位：mm)

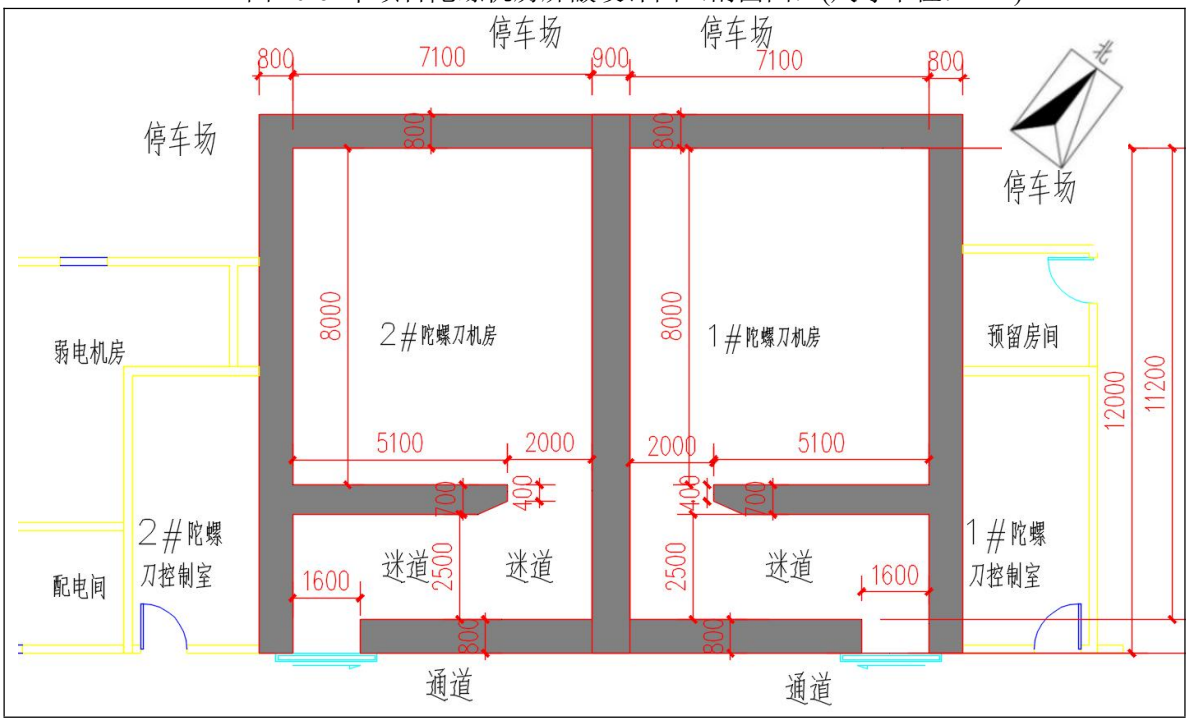


图 10-7 本项目陀螺机房屏蔽设计图（平面图）(尺寸单位：mm)

（三）DSA

本项目 1 座 DSA 机房东西长 8.6m、南北长 6.3m，有效使用面积 54.18m^2，层高 5.4m，根据建设单位提供的资料，本项目 DSA 机房墙体和地面、屋顶铅当量不低于 2mmPb，防护门和观察窗铅当量不低于 3mmPb，屏蔽参数见表 10-7。

表 10-7 本项目 1 座 DSA 机房屏蔽设计一览表

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）
手术部 DSA 机房（OR1 手术室内）	四周墙体	3mm 铅当量硫酸钡板
	顶面	160mm 砼+10mm 硫酸钡水泥
	地面	160mm 砼+10mm 硫酸钡水泥
	防护门	内衬 3mm 铅板
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃

注：1.铅密度为：11.3g/cm^3，混凝土密度为：2.35g/cm^3，硫酸钡水泥密度为：3.2g/cm^3；2..DSA 机房上方为 1#综合楼 3 楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室，下方为 1#综合楼 1 楼住院大厅。

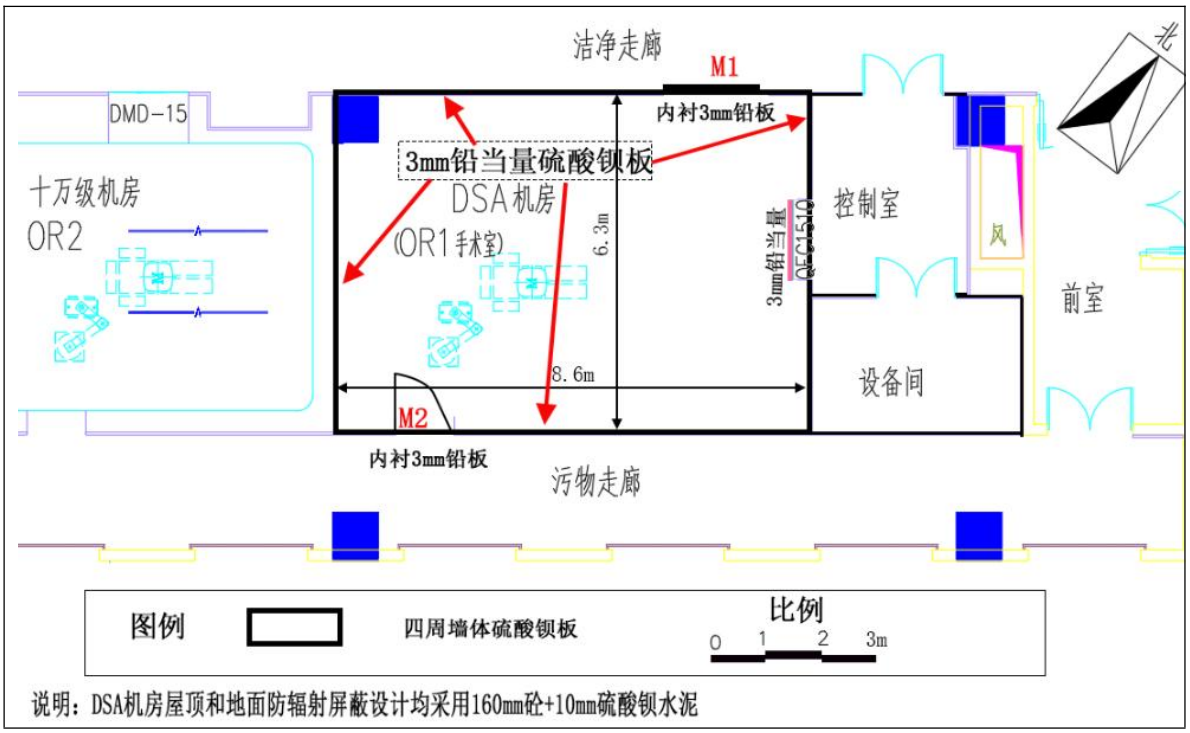


图 10-8 本项目 DSA 辐射防护设计图

（四）放射科III类射线装置

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6.2.1 条规定：“不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于 GBZ130-2020 中表 3 的规定”。

本项目机房的屏蔽防护要求见表 10-8。

表 10-8 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量（mmPb）	非有用线束方向铅当量（mmPb）
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0

C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
口腔 CBCT	2.0	1.0
口内牙片机房、乳腺摄影机房	1.0	1.0
CT 机房	2.5	

根据建设单位提供的资料，放射科III类射线装置各机房拟采取的屏蔽防护与标准对照情况见表 10-9。

表 10-9 本项目各III类射线机房拟采取的屏蔽措施与标准对照情况一览表

机房名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度	铅当量（mmPb）	标准要求（mmPb）	符合情况
CT 机房	四面墙体	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥	4.0	2.5	符合
	顶棚	160mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥	4.0	2.5	符合
	地坪	160mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥	4.0	2.5	符合
	观察窗	20mm 铅玻璃	4.0	2.5	符合
	防护门	4mm 铅板	4.0	2.5	符合
DR 机房	东、南、北墙	240mm 实心砖+3mmPb 硫酸钡水泥	3.0	2.0	符合
	西墙（主屏蔽）	240mm 实心砖+3mmPb 硫酸钡水泥	3.0	3.0	符合
	顶棚	160mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	3.0	2.0	符合
	地坪（主屏蔽）	160mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	3.0	3.0	符合
	观察窗	15mm 铅玻璃	3.0	2.0	符合
	防护门	3mm 铅板	3.0	2.0	符合
数字胃肠机房	东、南、北墙	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥	4.0	2.0	符合
	西墙（主屏蔽）	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥	4.0	3.0	符合
	顶棚	160mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥	4.0	2.0	符合
	地坪（主屏蔽）	160mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡水泥	4.0	3.0	符合
	观察窗	20mm 铅玻璃	4.0	2.0	符合
	防护门	4mm 铅板	4.0	2.0	符合
乳腺机房	四面墙体	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.0	符合
	顶棚	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.0	符合

	地坪	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.0	符合
	观察窗	15mm 铅玻璃	3.0	1.0	符合
	机房大门	3mm 铅板	3.0	1.0	符合
口腔全景 CT 机房	四面墙体	240mm 实心砖+3mmPb 硫酸钡水泥	3.0	2.0	符合
	顶棚	160mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	3.0	1.0	符合
	地坪	160mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	3.0	1.0	符合
	观察窗	15mm 铅玻璃	3.0	2.0	符合
	防护门	3mm 铅板	3.0	2.0	符合
牙片机房	四面墙体	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.0	符合
	顶棚	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.0	符合
	地坪	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.0	符合
	观察窗	10mm 铅玻璃	2.0	1.0	符合
	防护门	2mm 铅板	2.0	1.0	符合
OR8 手术室（C 形臂机房）	四面墙体	2mmPb 硫酸钡板	2.0	2.0	符合
	顶棚	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	2.0	符合
	地坪	160mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	2.0	2.0	符合
	观察窗	10mm 铅玻璃	2.0	2.0	符合
	防护门	2mm 铅板	2.0	2.0	符合

说明：对于墙体和地面环评采用保守不计砖墙和混凝土辐射防护、仅核查附加防护层是否符合要求；硫酸钡水泥对应的铅当量由建设单位提供；5mm 厚铅玻璃相当于 1mmPb（密度 4.68g/cm^3）；1mm 铅板相当于 1mmPb（密度 11.3t/m^3）。

由表 10-9 可以看出本项目各III类射线机房拟采取的屏蔽措施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

四、辐射安全措施

（一）放疗科医用直线加速器

1、设备本体安全联锁与控制逻辑

1）双模式软件互锁：加速器 MV 级治疗 X 射线装置与 kV-CBCT 影像 X 射线装置分别配置独立高压系统；设备控制系统设置软件互锁，MV 治疗模式与 kV-CBCT 影像模式不可同时出束，有效避免双束叠加照射风险。

2）门机联锁闭环保护：设备高压回路与防护门设置严格门-机联锁逻辑，高压通

电状态下防护门无法开启，仅当高压完全关闭后方可开启防护门；防护门未完全关闭到位时，MV治疗高压、kV-CBCT影像高压均无法接通，从源头确保人员进入机房期间无射线出束风险。

3）联锁复位与旁路管理：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操作后方可重新启动治疗。设备安装、调试、维修需临时旁路联锁时，须经单位辐射安全管理机构批准及见证，严禁私自解除联锁，作业结束后立即恢复联锁功能并测试有效性。

4）出束状态灯光联锁：治疗室入口上方设置照射状态指示灯及电离辐射警告标志，指示灯与设备出束状态联锁，MV 治疗或 kV-CBCT 出束时点亮，停止出束后熄灭，实现可视化安全警示。

本项目新建直线加速器运行期安全联锁控制逻辑见下图。

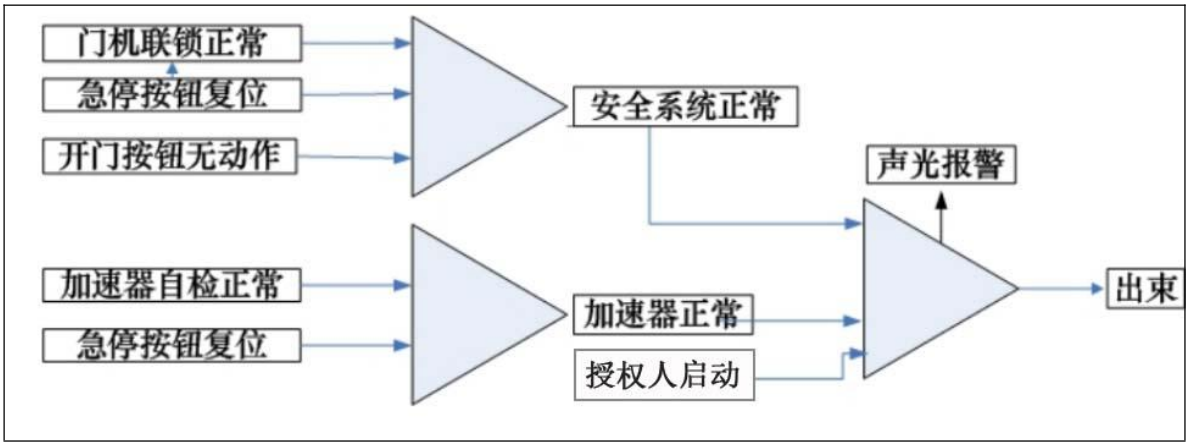


图 10-9 加速器机房联锁系统逻辑图

2、机房警示与门机联锁系统

加速器机房入口处规范设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯，指示灯与设备出束状态联锁：设备 MV 治疗束或 kV-CBCT 影像束出束作业时，指示灯常亮警示；设备停止出束、高压关闭后，指示灯同步熄灭，清晰区分机房照射作业状态，有效杜绝无关人员逗留、误入机房引发意外照射。

3、紧急防护装置

1）紧急停止按钮：在加速器设备表面、操作控制室、迷道入口门内旁侧、机房四周墙体等多位置布设带醒目标识的紧急停止按钮，标识清晰、无遮挡，机房内人员可从各个方向快速观察、便捷触发，紧急工况下可快速终止设备运行与射线出束。

2）机房紧急开门装置：机房迷道入口人员易接触区域设置紧急开门按钮，突发事故时，机房内人员撤离至迷道后可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸；同时防护门配备防挤压功能，规避开门过程中的机械安全风险。

4、视频监控与对讲监护系统

机房与控制室之间配套安装全覆盖视频监控系统及双向对讲装置，监控范围覆盖整个机房及迷道区域。治疗全过程中，操作人员可实时观察患者状态，与患者实时语音沟通，及时处置治疗过程中的突发异常情况，保障治疗安全有序开展。

5、辐射监测与预警设施

1）固定式剂量监测报警装置：每台直线加速器机房迷道墙体均布设 1 套固定式辐射剂量监测探头，监测显示及报警终端安装于操作控制室内，工作人员可实时观测机房内辐射水平。当机房辐射剂量超出预设阈值时，系统自动触发声光报警，实现异常辐射预警。

2）便携式辐射监测设备：本项目配置 1 台辐射巡测仪，与陀螺刀设备共用，用于日常机房辐射环境巡检、设备工况监测；2 台直线加速器共配置 6 台个人剂量报警仪（每台配套 3 台），所有辐射工作人员均常规佩戴个人剂量计，实现个人外照射剂量常态化监测。

6、人员管理与职业健康保障

本项目 2 台医用直线加速器共配置 10 名辐射工作人员，包含医师 4 名、技师 4 名、医学物理师 2 名。所有辐射工作人员上岗前必须完成放射治疗类别辐射安全防护知识及相关法律法规培训，考核合格后方可上岗作业。建设单位定期委托具备资质的机构，为工作人员开展职业健康体检，建立完整、连续的个人职业健康监护档案，严格落实辐射职业健康常态化管理要求。

7、辐射安全管理制度

建设单位建立并严格落实放射设备使用管理、操作规程、辐射防护、设备维护、应急处置等全套辐射安全管理制度。所有从事直线加速器辐射作业的医务人员，均需参加放射治疗类别辐射安全专项培训及考核，作业全过程严格遵守规范流程，杜绝违规操作，有效防范辐射安全事故发生。

本项目 2 座医用直线加速器机房辐射安全与防护措施图见图 10-10。

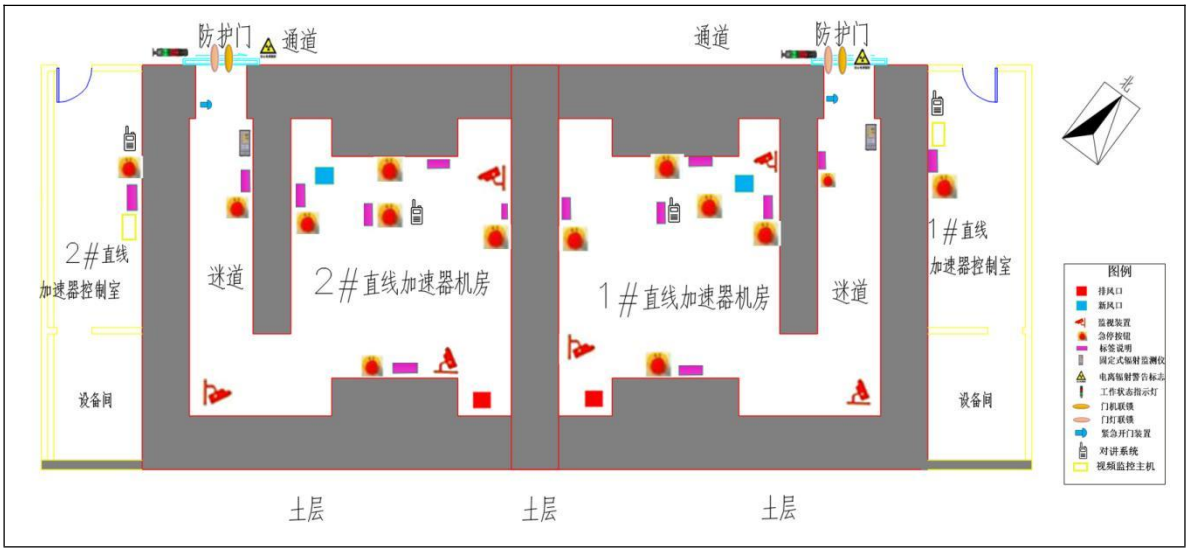


图 10-10 本项目医用直线加速器安全设施位置示意图

（二）放疗科陀螺刀

1、设备本体安全联锁与保护功能

陀螺刀自身设置多重安全联锁及故障保护装置，可在异常工况下快速关源、停机、退床，从设备层面保障治疗安全，具体功能如下：

1）双模式出束互锁保护：本陀螺刀设备配置的 ^{60}Co 放射源治疗系统与 CBCT 影像系统，两套系统相互独立，设备控制系统设置软件互锁机制，^{60}Co 放射源治疗出束模式与 CBCT 影像出束模式无法同时工作，有效避免治疗射线与影像射线叠加照射，保障治疗安全。

2）防撞保护：设备配备防撞开关，治疗床运行发生碰撞时，即刻停止机械运动，并在 2s 内关闭放射源，暂停治疗。

3）源位检测联锁：各准直器位置均设置源开关位置检测开关，治疗过程中若 2s 内源开关未到位，系统立即关源并触发声光报警。

4）机械限位保护：设备机械运动极限位置设有限位开关，出现超行程异常运动时立即停机，防止设备损坏。

5）故障自动保护：设备运行出现系统故障时，报警指示灯、蜂鸣器同步启动；若放射源处于出源工作状态，系统优先自动关源，并控制三维运动床退出治疗位置，保障患者安全撤离。

6）手动关源装置：设备设置手动关源机构，当设备出现机械故障、自动关源失效时，可通过手动方式强制关闭放射源，作为兜底安全措施。

7）UPS 断电保护：设备配置 UPS 不间断后备电源，市电中断时，可保障放射源顺利关闭、三维运动床安全退出，避免断电引发安全风险。

2、门-机联锁及工作状态指示灯

1）门-机联锁：治疗机房防护屏蔽门未完全关闭时，设备无法启动出束治疗；治疗过程中若屏蔽门被意外开启，系统可在 2s 内关闭放射源、退出治疗床，终止照射。

2）工作状态指示灯联锁：机房防护门外设置电离辐射警告标志及门-灯联锁工作状态指示灯，指示灯与防护门、放射源出束状态联动。设备出束治疗时，门外指示灯点亮，提示内部正在开展放射治疗；治疗结束、放射源回位贮源后，指示灯切换为非工作状态；异常开门关源时，指示灯同步切换状态，有效防止人员误入照射区域。

3、紧急停止装置

本项目在控制室、机房内四周墙面、迷道入口内侧及设备主机外壳均设置带明显标识的紧急停止按钮。紧急情况下按下急停按钮，设备立即停止所有机械运动，并在 2s 内完成关源操作，快速终止辐射照射，最大限度降低辐射风险。

4、辐射监测与预警设施

1）固定式剂量监测报警装置：治疗室迷道内墙设置固定式辐射剂量监测探头，控制室配置显示与报警终端，可实时监测机房内辐射水平。当辐射剂量超出设定阈值时，系统自动触发声光报警，实现异常辐射预警。

2）便携式辐射监测设备：项目配置 1 台辐射巡测仪（与放疗科直线加速器共用），用于日常机房辐射水平巡检、环境监测；每台陀螺刀配置 3 台个人剂量报警仪，2 台陀螺刀共配置 6 台个人剂量报警仪，所有辐射工作人员均常规佩戴个人剂量计，实现个人辐射剂量常态化监测。

5、视频对讲监护系统

机房内及操作控制台均设置摄像头与对讲装置，治疗全过程可实现操作人员与患者的实时视频、语音沟通，实时掌握患者状态，及时处置治疗过程中的突发情况。

6、人员管理与职业健康保障

本项目 2 台陀螺刀共配置 10 名辐射工作人员，包含医师 4 名、技师 4 名、物理师 2 名。所有辐射工作人员均需完成放射治疗类别辐射安全防护及法律法规培训，考核

合格后方可上岗。建设单位定期组织工作人员开展职业健康体检，建立完整、连续的个人职业健康监护档案，规范落实辐射职业健康管理要求。

7、辐射安全管理制度

建设单位建立并严格落实放射源使用管理、设备操作规程、辐射防护、设备维护、应急管理等相关制度。所有辐射工作人员严格按照规范开展作业，常态化落实辐射防护措施，杜绝违规操作，防范辐射安全事故发生。

本项目 2 座陀螺刀机房辐射安全与防护措施示意图见图 10-11。

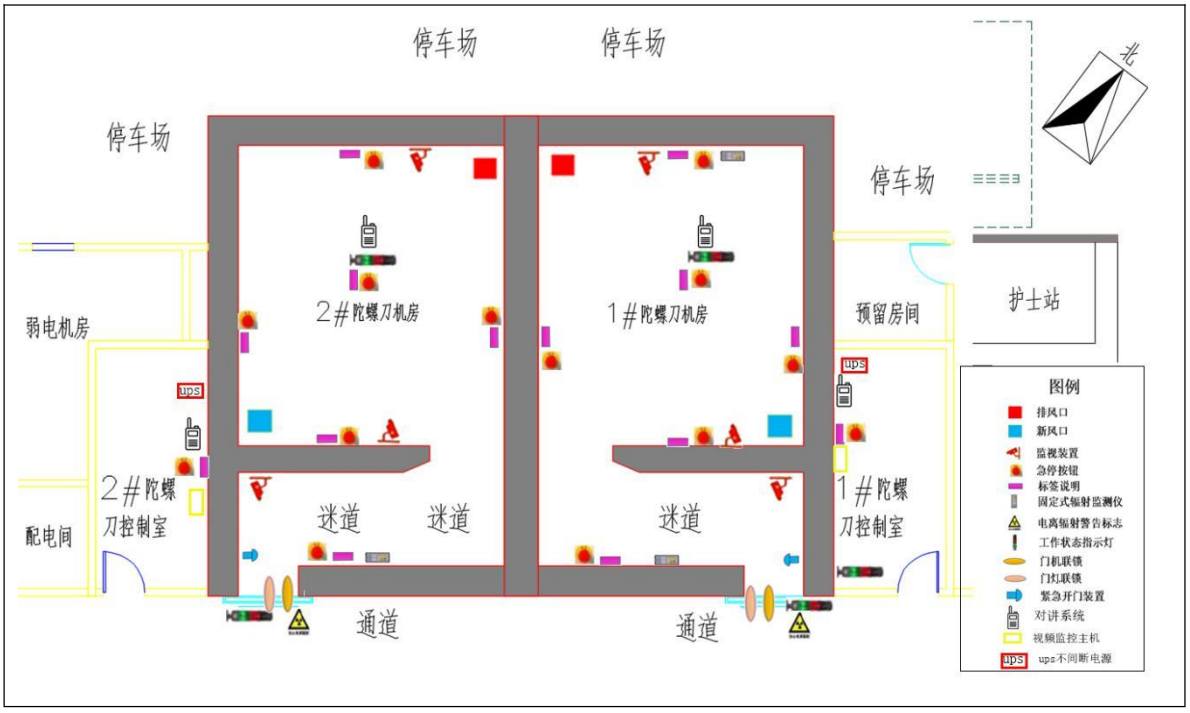


图 10-11 本项目陀螺刀机房安全设施位置示意图

（三）手术部 DSA

1、电离辐射警告标志

本项目 DSA 机房门（M1 和 M2）入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

2、门灯联动及闭门装置

DSA 机房设置 2 道防护门，北侧患者（含医护）通道防护门（M1）为电动推拉门，设置防夹装置；南侧废物通道防护门（M2）为平开门，设置自动闭门装置。患者（含医护）通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，并安装“射线有害、灯亮勿入”可视警示语句的灯箱，且工作状态指示灯与防护门能有效联动，在防护门关闭

的情况下，工作状态指示灯才亮。

3、急停按钮和中文说明

本项目 DSA 控制室操作台上拟设置 1 个急停按钮，机房内的治疗床边操作面板自带 1 个急停按钮，各急停按钮均与 X 射线系统连接，在出现紧急情况时，按下急停按钮即可停止 X 射线出束，急停按钮旁拟张贴中文使用说明。

4、观察窗或摄像监控装置

本项目 DSA 控制室墙上拟设置观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。

5、对讲装置

本项目 DSA 控制室拟设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流。

6、辐射监测仪器

拟为本项目 DSA 配置 1 台辐射巡检仪（与放射科其他射线装置共用），3 台个人剂量报警仪。职业人员工作时将佩戴个人剂量计（建设单位拟对介入手术医生采用双剂量监测方法，在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，在铅围裙内躯干上再佩戴另一枚剂量计），每三个月及时将剂量计送检，并建立个人剂量档案。

7、职业健康管理

建设单位拟为本项目 DSA 配备 4 名职业人员，其中 2 名医师，1 名护士，1 名技师。职业人员均须参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习及培训，考核合格后方可上岗。拟对本项目 DSA 配置的 4 名职业人员开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

8、辐射安全管理制度

完善并落实射线装置相关的安全使用制度、管理制度，从事辐射工作的医务人员均拟参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”类别的辐射安全培训与考核。医务人员在操作过程中严格遵守操作规程，避免发生事故。

9、其他辐射安全措施

介入手术需要长时间的透视和大量的摄片，对人员的辐射剂量较高，因此在评估介入放射的效应和操作时，其辐射损伤必须加以考虑。X 射线球管工作时产生的散射线对手术部内工作人员有较大影响。根据辐射防护“三原则”，建设单位应结合 DSA 操作规程等辐射防护制度，在以下方面加强防护：

1）操作中减少透视时间和摄片的次数，介入人员在操作时应尽量远离检查床。

2）应加强对介入人员的培训，包括辐射防护的培训，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速，以减少病人和介入人员的剂量。

3）本项目所有在介入放射手术部内的工作人员都应开展个人剂量监测，建设单位应结合个人剂量监测数据采取措施，减少工作人员的受照剂量。

4）配备的 DSA 及配套设备必须符合国际或国家标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；在保证图像质量的情况下，设备应调节到满足低剂量的有效范围内。

5）介入人员应该结合 DSA 设备的特点，了解一些降低剂量的方法，比如采用小照射野、低频率脉冲透视等方法。

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

7）临床介入手术时，介入医生需站在 DSA 床边操作，操作人员除个人防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜及介入防护手套等）外，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的。如：铅悬挂防护屏、床侧防护帘、床上防护覆盖板、防护手术手套等。

8）候诊区设置放射防护注意事项告知栏，让病患及陪护者了解并遵守放射防护注意事项。

10、个人防护用品

建设单位拟为 DSA 项目职业人员及受检患者配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅防护眼镜（不低于 0.5mm 铅当量）及介入防护手套（不低于 0.025mm 铅当量）等个人防护用品；DSA 设备配套铅悬挂防护屏、床侧防护帘（不低于 0.5mm 铅当量）防护用品。具体配备情况见表 10-10。

表 10-10 个人防护用品配备一览表

射线装置名称	工作人员	患者和受检者	陪检者
DSA	4 件铅橡胶围裙、4 件铅橡胶围脖、4 副铅防护眼镜、4 副介入防护手套；铅悬挂防护屏、床侧防护帘（不低于 0.5mm 铅当量）	1 件铅橡胶围脖、1 件铅方巾	-

注：本项目配备 4 名职业人员，介入手术中实施介入手术期间，驻留在手术部人员在机房内不超过 3 名，2 名介入医生轮流进行第一、第二术者位操作。

本项目手术部 DSA 机房辐射安全与防护措施示意图见图 10-12。

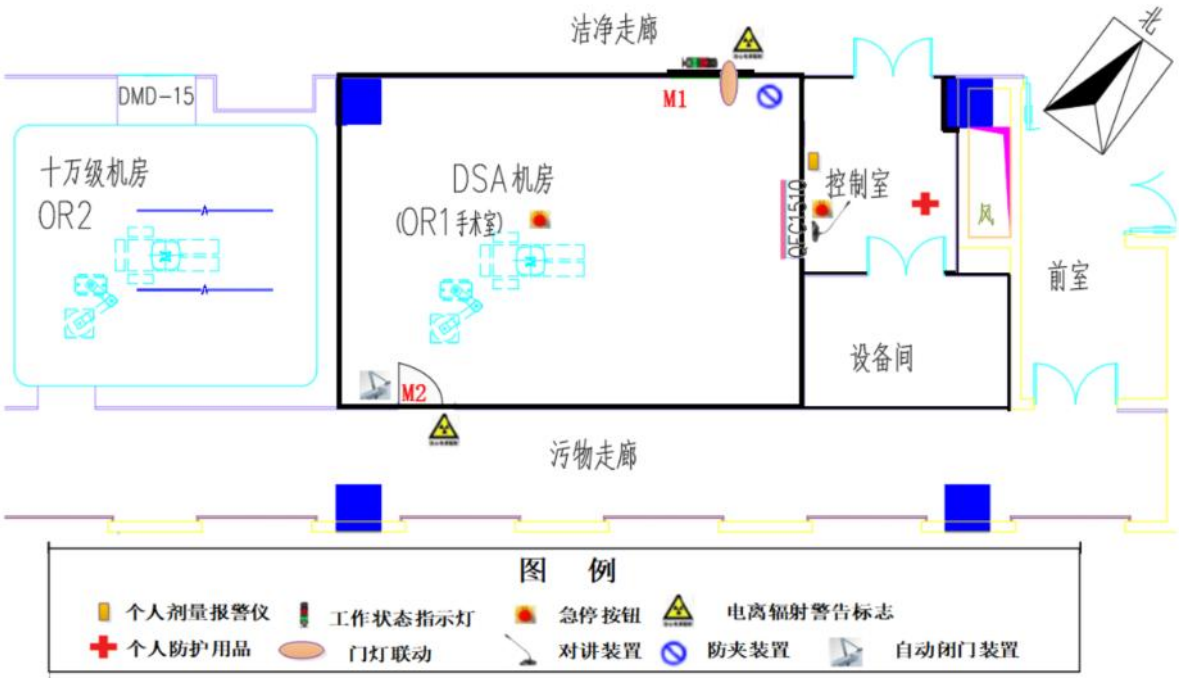


图 10-12 本项目手术部新建 1 台 DSA 机房辐射安全与防护措施示意图

（四）放射科III类射线装置

根据建设单位提供的资料，本项目放射科III类射线装置拟设置的辐射安全防护措施如下。

1、工作状态指示灯及电离辐射警告标志：本项目放射科III类射线装置机房各受检者防护门外张贴电离辐射警告标志。

2、门灯联动及闭门装置

设备出束期间，门外 X 射线工作状态指示灯同步点亮，警示标语 “射线有害，灯亮勿入”，提醒外部人员禁止进入。防护门配置闭门装置，保证门能够自动闭合，保障联锁可靠。

3、观察与对讲设施控制室与机房之间设置铅防护观察窗（或视频监控系统），操作人员可实时观察机房内受检者状态；配套双向对讲装置，实现控制室与机房内受检者双向语音沟通。

4、各射线装置控制室操作台上均设置红色紧急停止按钮，可在机房异常、设备故障、人员误照射等突发情况下快速切断设备高压输出，实现紧急停机、终止出束，安全联锁与应急防护功能完善。

5、拟为本项目放射科射线装置配置 1 台辐射巡检仪（与本项目 DSA 共用），放

射科每台射线装置配置 1 台个人剂量报警仪（放射科共 7 台），职业人员均配置个人剂量计。

6、拟配置符合铅当量要求的工作人员、受检者个人及辅助防护用品，对性腺、甲状腺等敏感器官实施屏蔽防护；儿童检查配备专用防护用品。

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定：“每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于 GBZ130-2020 表 4 中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。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；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb。个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。”。建设单位拟为本项目放射科III类射线装置配备的个人防护用品和辅助防护设施见下表 10-11。

表 10-11 建设单位拟为本项目放射科III类射线装置配备的个人防护用品和辅助防护设施一览表

序号	设备名称	名称	铅当量	工作人员	受检者	陪检者
1	CT（CT 机房）	铅橡胶围裙	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅橡胶帽子	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅橡胶颈套	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅防护衣	0.5mmPb	—	—	1 件
		包裹式铅方巾	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
2	DR（DR 机房）	铅橡胶围裙	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅橡胶帽子	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅橡胶颈套	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅防护衣	0.5mmPb	—	—	1 件
3	数字胃肠机（数字胃肠机房）	铅橡胶围裙	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅橡胶帽子	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅橡胶颈套	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅防护衣	0.5mmPb	—	—	1 件
4	乳腺机（乳腺机房）	铅橡胶围裙	0.5mmPb	—	1 件[注 1]	—
		铅橡胶帽子	0.5mmPb	—	1 件[注 1]	—
		铅橡胶颈套	0.5mmPb	—	1 件[注 1]	—

		铅防护衣	0.5mmPb	—	—	1 件
5	口腔全景 CT（口腔全景 CT 机房）	大领铅橡胶颈套	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅橡胶帽子	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅防护衣	0.5mmPb	—	—	1 件
6	牙片机（牙片机房）	大领铅橡胶颈套	0.5mmPb	—	2 件[注 2]	—
		铅防护衣	0.5mmPb	—	—	1 件
7	移动式 C 臂机（OR8 手术室）	铅橡胶围裙	0.5mmPb	4 件	2 件[注 2]	—
		铅橡胶帽子	0.5mmPb	4 件	2 件[注 2]	—
		铅橡胶颈套	0.5mmPb	4 件	2 件[注 2]	—
		移动铅屏风	2mmPb	1 件	—	—

注 1：乳腺机房主要针对成人检查，故只计划配备成人防护用品。

注 2：成人和儿童规格的防护用品各 1 件。

由表 10-11 可以看出，建设单位拟为本项目放射科III类射线装置配备的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

个人防护用品不使用时，应妥善保管，不应折叠放置，以防止断裂。建设单位应当每年对使用中的个人防护用品进行至少 1 次自行检查，防止因老化、断裂或损伤而降低防护质量。若发现老化、断裂或损伤应及时更换。

本项目涉及放疗科医用直线加速器、^{60}Co 陀螺刀，介入科 DSA，放射科**III**类常规射线装置，各类型设备均配套完善的机房屏蔽、安全联锁、监测预警、视频对讲、紧急应急、个人防护及管理制度体系，辐射安全防护措施全面、可行、合规，可有效控制运行期辐射环境影响，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等规范标准要求。

三废治理

一、放射性废物

（一）陀螺刀项目产生的废 ^{60}Co 放射源

陀螺刀设备中 ^{60}Co 放射源经使用 6～8 年后，因其自然衰变使其活度逐渐下降，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换出来成为废放射源。

本项目废 ^{60}Co 放射源拟由生产厂家回收，已出具废旧放射源返回原厂承诺书（见

附件 6）。

二、非放射性废物

（一）废气

放疗科医用直线加速器机房、手术部 DSA 机房内，空气受 X 射线电离作用产生臭氧、氮氧化物；放疗科陀螺刀机房内空气受 X 射线、γ 射线共同电离作用，同样生成臭氧、氮氧化物；本项目其他 III 类射线装置出束作业时，X 射线电离机房内空气，也会产生少量臭氧和氮氧化物。上述废气经机房动力排风系统直接排放至室外大气。

1、放疗科各机房通风

本项目放疗科 4 座机房均设有通风装置，均采用机械排风方式。4 座放疗机房内均采用上进下出的通风系统，进、排风管道从防护门上方至机房内，进风口与排风口位置设计成对角。进风口均设置于治疗室吊顶上方向下送风，排风口均设在治疗室内一角，下沿距治疗室地面 0.5m 高，从下部排风。废气经单独管道引至 1#综合楼楼顶排至室外，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

各机房通风图见图 10-13。

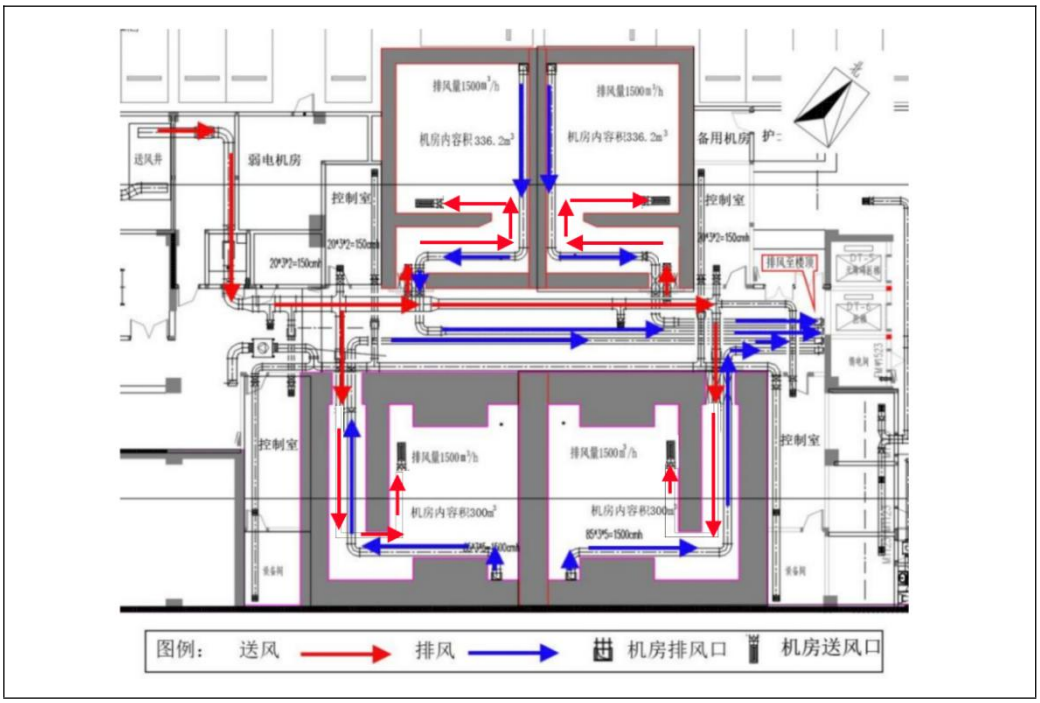


图 10-13 本项目放疗科直线加速器、陀螺刀机房通风布设图

本项目 2 座医用直线加速器机房容积均为 300m³（包括迷道），其排风机的设计排风量为 1500m³/h，每小时通风换气次数约为 5 次/h，采用全排全送方式；陀螺刀机

房容积均约 336.2m^3（包括迷道），其排风机的设计排风量为 1500m^3/h，每小时通风换气次数约为 4.46 次/h，采用全排全送方式，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的相关要求。

2、DSA 机房通风

本项目手术部 DSA 机房拟采用机械式的动力通风装置为 DSA 机房通风换气，排风装置位于机房吊顶位置，通风系统接入 1#综合楼通风系统（排风口位于 1#综合楼楼顶平台），机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过通风系统排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。本项目 DSA 机房配套设置机械动力通风装置，可保障机房内部空气流通，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 “X 射线设备工作场所机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风” 相关规定。

3、其他 III 类射线装置机房（共 7 座）

其他 III 类射线装置机房（共 7 座）均已设置动力通风装置，并保持良好的通风，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 “X 射线设备工作场所机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风” 相关规定。

（二）废水

本项目运营期废水主要为放射工作人员、就诊患者产生的生活污水一并排入医院污水处理站，经处理达标后接入市政污水管网。

（三）固体废物

工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。放疗过程中产生的废体模、一次性床单，医用器具和药棉、纱布、手套等，检查用一次性垫单、消毒棉签、手套等在医疗废物暂存间暂存，统一交由有资质医疗废物处置单位处置，废造影剂委托有资质单位处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目各机房土建工程已建成，剩余工程主要为防护门安装、机电工程、通风系统及室内装饰工程。本阶段无放射源、射线装置安装调试，不产生辐射影响；施工活动主要污染因子为扬尘、施工噪声、施工废水、建筑垃圾，施工期环境影响分析如下：

（1）大气环境影响

装修切割、物料转运、场地清理等作业会产生扬尘；施工机械、建材运输车辆运行会排放燃油废气并伴生扬尘，污染物影响范围局限于施工现场及邻近区域，属于局地、短时影响。施工扬尘执行江苏省《施工场地扬尘排放标准》（DB32/4437—2022）。

防治措施：a. 定期清扫作业面，定时洒水抑尘，保持场地持续湿润；b. 砂石、粉料等建材密闭存放，渣土、建材运输车辆全程密闭遮盖，规范装载，防止沿途抛撒、滴漏；c. 施工出入口设置冲洗设施，车辆出场前冲洗车轮，保持场内通道清洁湿润；d. 装修切割工序优先采用湿式作业，减少粉尘散发。

（2）声环境影响

防护门吊装、机电管线切割、钻孔、装饰机具等施工作业产生施工噪声，医院内住院患者、医护人员、就诊人员属于高敏感人群，高噪声作业易对其休息、诊疗活动造成干扰。施工噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）。

防治措施：优先选用低噪声型施工机具，对高噪声设备采取减振、围挡隔声措施；合理排布施工时序，避开午间（12:00~14:00）休息时段施工；严禁夜间（22:00~ 次日 6:00）开展任何噪声施工作业；高噪声工序尽量集中安排、缩短单次作业时长；施工围挡保持封闭完整，利用墙体阻隔噪声向外传播。

（3）固体废物影响

施工固废主要为装修边角料、包装废料、少量破碎混凝土等建筑垃圾；其次为施工人员产生的生活垃圾。建筑垃圾若随意堆放、运输散落，会占用场地、污染路面，遇雨水冲刷易携带泥沙进入雨水管网；生活垃圾无序堆放易滋生蚊虫、产生异味。

防治措施：建筑垃圾分区集中堆放，及时委托具备相应清运能力的单位转运至

合规消纳场所，装车时采取遮盖、围挡措施，防止运输途中散落；可回收物料单独分类收集回收；施工人员生活垃圾分类收集，交由城市环卫部门统一清运处置。

（4）水环境影响

施工废水主要为场地冲洗废水、少量装修泥浆废水，含泥沙、悬浮物，直接漫排易造成管网淤积；另有施工人员生活污水。

防治措施：施工泥浆、冲洗废水经临时沉淀池沉淀处理，上清液接入医院污水管网，沉渣定期清捞纳入建筑垃圾处置，严禁废水漫流、直排雨水管网；施工人员生活污水依托医院现有污水处理站统一处理。

（5）生态及其他环境影响

本项目位于医院内部建成区域，无原生植被、野生动物，不存在生态破坏影响；施工围挡封闭管理，施工期做好物料管控，油漆、胶粘剂等装修材料分区存放，远离雨水径流，防范化学品渗漏污染；施工结束后及时清理场地，恢复现场整洁。

综上所述，本项目施工期各类环境影响均具有短暂性、可逆性，待防护、机电、装饰工程完工，施工活动停止后，影响随之消失。建设及施工单位须严格落实上述污染防治措施，做好现场管控，最大限度降低施工对医院敏感人群及周边环境的干扰。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）放疗科医用直线加速器

1、辐射环境影响分析

（1）辐射屏蔽核算方式

本项目医用直线加速器为自屏蔽式环形机架加速器，设备通过机头内置集成射束阻挡器实现主束机内完全拦截，无主束直接直射机房围护结构的路径。本次评价参照《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）附录 D.2 螺旋断层加速器放射治疗装置屏蔽核算原则开展屏蔽剂量核算，两类设备屏蔽条件的异同性分析如下。

（1）相同点（类比核算的技术依据）

1）自屏蔽防护机理一致，均可采用泄漏辐射模型计算。螺旋断层加速器（TOMO）滑环机架内置主束流挡板，所有治疗出束角度下，主束穿过患者后均被机内屏蔽体完全拦截，无主束直射机房墙体；标准 D.2.3.1 明确对此类自带主束拦截结构的设备，可忽略患者散射辐射，全部围护结构统一按泄漏辐射模型核算，不再区分主屏蔽、次屏蔽墙体。本项目 Halcyon 环形机架加速器配置集成式射束阻挡器，经后文自屏蔽几何宽度校核，最大射野、全机架旋转角度工况下，主束穿过等中心（患者位置）后全部被设备自带屏蔽体阻挡，不存在主束直接直射机房墙体、屋顶的路径，设备外部辐射场由主束透射辐射、机头侧向泄漏共同组成，辐射场特征与螺旋断层加速器自屏蔽工况高度一致。

2）源项构成特征一致。两类设备均通过自屏蔽完全拦截高能主束，设备外壳外侧无直射主束，向外辐射均为残余透射辐射、机头泄漏辐射的混合辐射场，因此均可采用整机综合透射率（残余透射辐射、机头泄漏辐射）作为统一源项，按照泄漏辐射模型保守计算，无需单独开展主束透射剂量核算。

3）自屏蔽结构形式与防护机理完全一致。两类设备均采用环形机架布局，射线源与对侧自屏蔽屏蔽体相对几何位置固定，可随机架整体同步旋转；所有治疗工况、全机架旋转角度下，主束均穿过等中心（患者位置）后完整投射至设备自带自屏蔽体，实现主束机内完全拦截，从根源上杜绝高能主束直射机房围护结构，二者

自屏蔽结构原理、防护逻辑、屏蔽效果高度统一。

4）保守评价原则一致。附录 D.2.3.1 标准示例中螺旋断层加速器核算忽略设备本体自屏蔽结构的额外屏蔽、忽略患者散射辐射贡献；本项目评价沿用相同保守原则，同样不计机头集成射束阻挡器的屏蔽、忽略患者散射辐射，整体计算条件安全保守，类比核算原则具备统一性。

（2）差异性（仅工况、参数、模式差异，不影响类比合理性）

①机架结构与出束模式不同。螺旋断层加速器为滑环式环形机架，采用 360°连续螺旋扫描出束，扇形窄射束全域环绕患者照射，射线对各墙体、屋顶的照射概率均匀，标准示例中照射使用因子 U 取 0.1。本项目 Halcyon 为固定式环形机架，可 0°-360°离散角度旋转治疗，仅支持共面照射，无连续螺旋扫描出束模式；为保守评价，本次环评对所有机房围护结构照射使用因子 U 统一取 1，取值严于标准 TOMO 示例，计算结果更保守。

②源轴距与射野形态存在差异。螺旋断层加速器源轴距 SAD=85 cm，采用狭长扇形窄射束；本项目加速器源轴距 SAD=100 cm，采用最大 28 cm×28 cm 标准正方形治疗射野。本次环评保守选取加速器厂家提供的距等中心 1 m 位置整机综合射线透射率最大值 0.1%（包含残余主束透射、机头泄漏辐射全部贡献）作为源项输入（0.1%作为整机泄漏辐射源项），取值大于设备纯机头泄漏率 0.05%，源项选取偏保守。

③患者散射辐射贡献存在差异。螺旋断层加速器为狭长扇形束，患者受照区域窄、散射辐射产出量小；本项目最大射野可达 28 cm×28 cm，射野面积更大，同等治疗剂量下患者散射辐射理论贡献略高于螺旋断层加速器工况。本次评价参照规范要求统一忽略患者散射辐射，同时叠加“源项取最大值、使用因子 U 取 1、不计自屏蔽”多重保守条件，保守余量可完全包络患者散射辐射剂量贡献，整体评价工况仍偏安全。

（3）类比核算合理性结论

本项目自屏蔽环形机架加速器与螺旋断层加速器核心屏蔽机理、自屏蔽结构形式完全一致，均可通过设备本体集成屏蔽结构完全拦截全部主束，主束均不能直射机房围护结构，设备外部辐射场均为残余透射与泄漏杂散混合场。二者仅在机架运行模式、射野参数上存在细微差异，不影响屏蔽核算的类比合理性。本项目直线加

速器机头纯漏射率实测＜0.05%，主束方向自屏蔽体外综合透射实测最大值 0.1%，本次评价参照 GBZ/T 201.2-2011 附录 D.2.3.1 原则，全部机房围护结屏蔽核算时保守采用统一综合透射最大值 0.1%作为整机泄漏辐射源项，按照泄漏辐射模型核算，采用保守使用因子、保守源项取值并忽略自屏蔽与次要散射贡献，整套计算条件偏安全保守，核算结果可完全包络设备全部实际运行工况，综上本项目屏蔽核算方式可行。

（2）自带屏蔽体宽度校核

根据加速器厂家和建设单位提供的资料，本项目医用直线加速器主束散射角为 15.9°（对应等中心处最大照射野 28 cm×28 cm），射线源至自带屏蔽体外侧面的距离为 1.818 m（等中心至屏蔽体近端面 0.626 m＋屏蔽体沿射束方向厚度 0.192 m＋其余结构间距 1.000m，详见厂家设计图纸及图 11-1，有用线束照射至自带屏蔽体外侧面处的投影宽度为 2×1.818m×tan(15.9°/2)≈0.508m，长度方向投影宽度相同（正方形射野）。

本项目加速器自带屏蔽体为钢包覆铅的矩形厚板（不计外侧包覆钢板的铅板尺寸为长 0.754m×宽 0.66m×厚 0.172m，含包覆钢板总厚度 0.192m），其最窄边宽度 0.66m 及长度 0.754m 均大于主束在屏蔽体外侧面的投影尺寸 0.508m。即在最大照射野下，治疗主束完全落在自带屏蔽体覆盖范围内，机架旋转及治疗床行进全程主束均无越出屏蔽体直射机房墙体（含顶棚）的路径，主束被完全遮挡；主束穿透屏蔽体后的残余透射辐射、机头侧向泄漏及结构杂散辐射之和以加速器厂家提供的综合射线透射率 0.1%表征，作为整机泄漏辐射源项，据此按 GBZ/T201.2-2011 附录 D.2.3.1 泄漏辐射模型开展机房屏蔽核算

具体见下图 11-1。

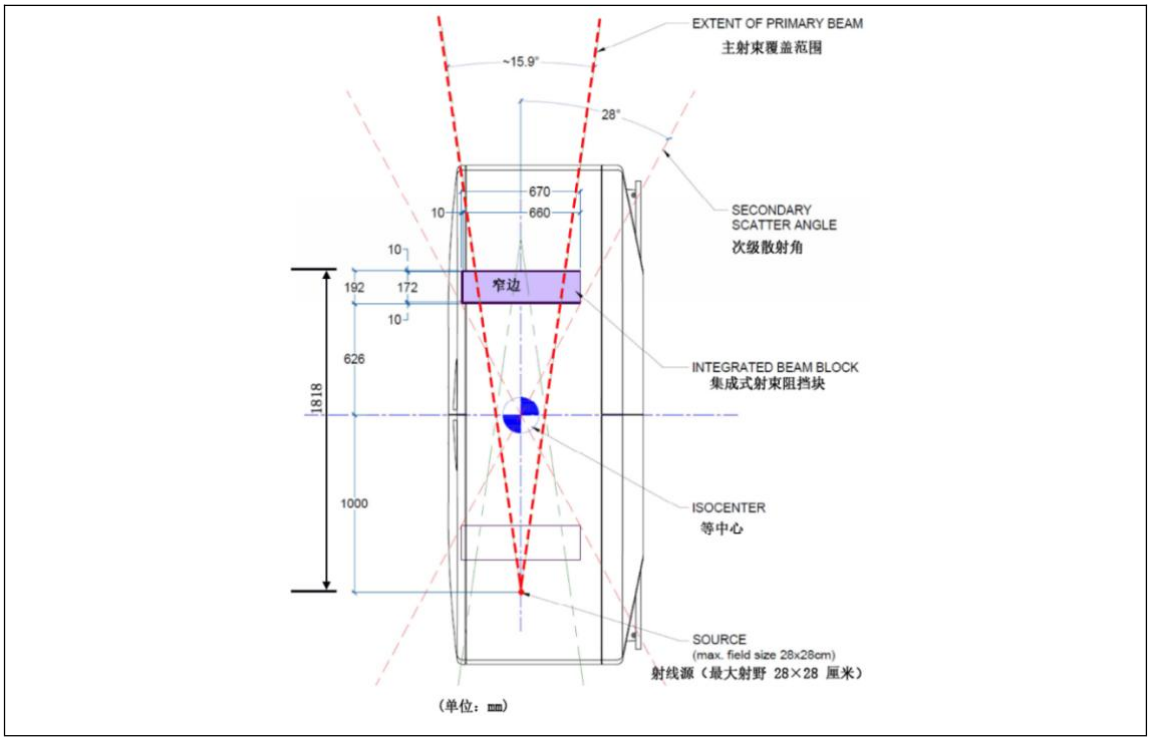


图 11-1 本项目 2 台医用直线加速器主束照射与自带屏蔽体剖视图（尺寸单位：mm）

注：根据厂家和建设单位提供的资料，辐射源点至自带屏蔽体外侧距离为 1.818m(1m+0.626m+0.192m）。

2、辐射防护效果预测

本项目医用直线加速器机房的关注点设定见图 11-2、图 11-3。

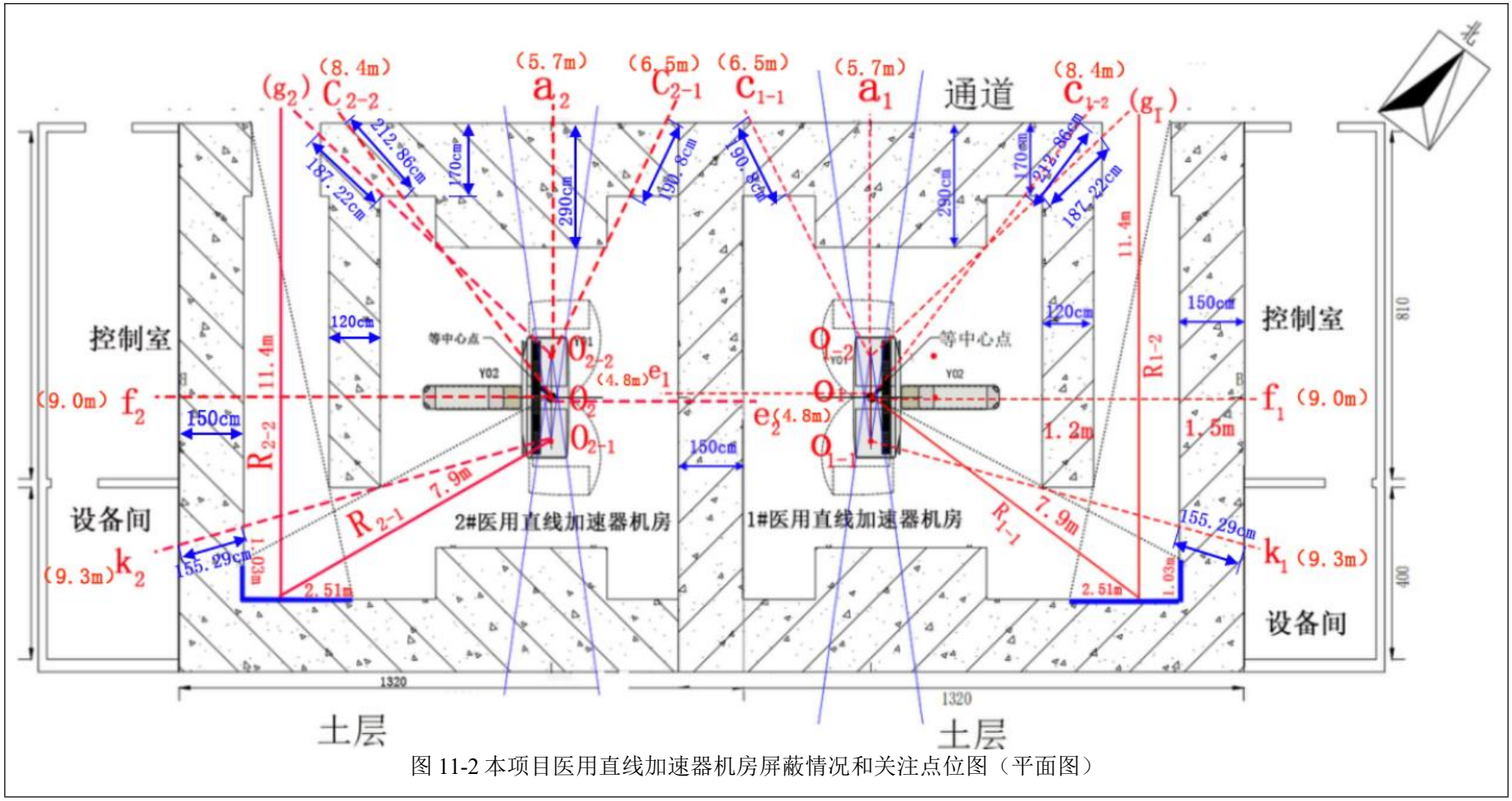


图 11-2 本项目医用直线加速器机房屏蔽情况和关注点位图（平面图）

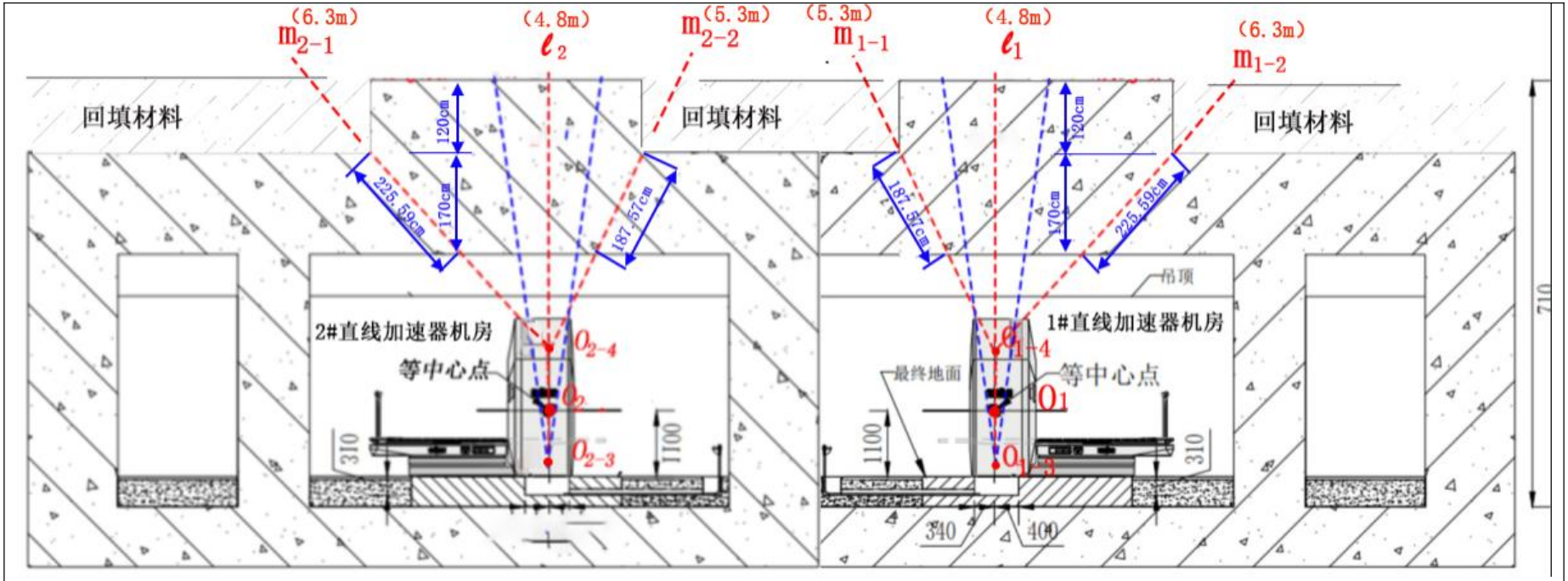


图 11-3 本项目医用直线加速器机房屏蔽情况和关注点位图（剖面图）

（3）加速器机房砼屏蔽体外剂量率

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的相关公式计算，在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式 11-1 计算或在结构图中量出有效厚度 X_e（cm），按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式 11-3 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

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

式中：X—设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角，°。

本项目机房屏蔽体设计屏蔽厚度 X 和实际屏蔽厚度 Xe 通过在 CAD 图上直接量取。由于 1#、2#医用直线加速器机房呈镜像分布，且使用的设备一样，屏蔽计算只计算 1#机房，2#机房计算结果同 1#机房，结果见下表 11-1。

表 11-1 本项目医用直线加速器机房外关注点位置砼屏蔽体实际屏蔽厚度计算一览表

点位	位置	设计屏蔽厚度 X（cm）	砼屏蔽体有效厚度Xe（cm）
a_1/a_2	北侧主屏蔽体外（通道）	290	290.00
c_{1-1}/c_{2-1}	北侧次屏蔽体西部外（通道	170	190.80
c_{1-2}/c_{2-2}	北侧次屏蔽体东部外（通道）	170	212.86
f_1/f_2	东侧/西侧迷道外墙侧屏蔽体外（控制室）	270	270.00
k_1/k_2	东侧/西侧迷道外墙侧屏蔽体外（设备间）	150	155.29
e_1/e_2	西侧侧屏蔽墙外（2#医用直线加速器机房）/东侧侧屏蔽墙外（1#医用直线加速器机房）	150	150
l_1/l_2	屋顶主屏蔽上方（楼梯间）/（住院大厅）	290	290.00
m_{1-1}/m_{2-2}	屋顶次屏蔽上方（加压送风机房）/（住院大厅）	170	187.57
m_{1-2}/m_{2-1}	屋顶次屏蔽上方（康复大厅）/（护士站）	170	225.59
g_1/g_2	防护门外（$O_{1-2}\rightarrow g_1$）/（$O_{2-2}\rightarrow g_2$）	140	187.22

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

式中：TVL_1（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，$TVL_1=TVL$。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中，对应 6MV 的 X 射线能量泄漏辐

射，混凝土 TVL_1 为 34cm，TVL 为 29cm。

屏蔽透射因子 B 计算结果见下表 11-2。

表 11-2 本项目医用直线加速器机房外关注点处屏蔽透射因子计算一览表

点位	位置	砼屏蔽体有效厚度Xe（cm）	TVL_1（cm）	TVL（cm）	B
a_1/a_2	北侧主屏蔽体外（通道）	290.00	34	29	1.49×10^{-10}
c_{1-1}/c_{2-1}	北侧次屏蔽体西部外（通道	190.80	34	29	3.92×10^{-7}
c_{1-2}/c_{2-2}	北侧次屏蔽体东部外（通道）	212.86	34	29	6.80×10^{-8}
f_1/f_2	东侧/西侧迷道外墙侧屏蔽体外（控制室）	270.00	34	29	7.28×10^{-10}
k_1/k_2	东侧/西侧迷道外墙侧屏蔽体外（设备间）	155.29	34	29	6.57×10^{-6}
e_1/e_2	西侧侧屏蔽墙外（2#医用直线加速器机房）/东侧侧屏蔽墙外（1#医用直线加速器机房）	150.00	34	29	1.00×10^{-5}
l_1/l_2	屋顶主屏蔽上方（楼梯间）/（住院大厅）	290.00	34	29	1.49×10^{-10}
m_{1-1}/m_{2-2}	屋顶次屏蔽上方（加压送风机房）/（住院大厅）	187.57	34	29	5.06×10^{-7}
m_{1-2}/m_{2-1}	屋顶次屏蔽上方（康复大厅）/（护士站）	225.59	34	29	2.47×10^{-8}
g_1/g_2	防护门外（$O_{1-2}\rightarrow g_1$）/（$O_{2-2}\rightarrow g_2$）	187.22	34	29	5.21×10^{-7}

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

式中：$\dot{H}$—关注点计算剂量率，μSv/h

$\dot{H}_0$—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，μSv·m²/h，本项目为 4.8×10^8μSv·m²/h；

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm。R 距离通过 CAD 量取；

f—本项目直线加速器机头纯漏射率实测＜0.05%，主束方向自屏蔽体外综合透射实测最大值 0.1%，本次评价对所有机房围护结构屏蔽核算，保守采用整机泄漏辐射综合透射最大值 0.1% 作为泄漏辐射源项。本项目泄漏辐射比取 0.1%。

本项目医用直线加速器砼屏蔽体外剂量率预测见下表 11-3。

表 11-3 本项目医用直线加速器机房屏蔽体外剂量率预测一览表

点位	位置	$\dot{H}_0$	f	B	R(m)	$\dot{H}$	$\dot{H}_c$	评价
a_1/a_2	北侧主屏蔽体外（通道）	4.8×10^{8}	0.001	1.49×10^{-10}	5.7	＜0.001	2	满足
c_{1-1}/c_{2-1}	北侧次屏蔽体西部外（通道	4.8×10^{8}	0.001	3.92×10^{-7}	6.5	0.004	2	满足
c_{1-2}/c_{2-2}	北侧次屏蔽体东部外（通道）	4.8×10^{8}	0.001	6.80×10^{-8}	8.4	＜0.001	2	满足
f_1/f_2	东侧/西侧迷道外墙侧屏蔽体外（控制室）	4.8×10^{8}	0.001	7.28×10^{-10}	9.0	＜0.001	2.5	满足
k_1/k_2	东侧/西侧迷道外墙侧屏蔽体外（设备间）	4.8×10^{8}	0.001	6.57×10^{-6}	9.3	0.036	10	满足
e_1/e_2	西侧侧屏蔽墙外（2#医用直线加速器机房）/东侧侧屏蔽墙外（1#医用直线加速器机房）	4.8×10^{8}	0.001	1.00×10^{-5}	4.8	0.208	0.8	满足
l_1/l_2	屋顶主屏蔽上方（楼梯间）/（住院大厅）	4.8×10^{8}	0.001	1.49×10^{-10}	4.8	＜0.001	10	满足
m_{1-1}/m_{2-2}	屋顶次屏蔽上方（加压送风机房）/（住院大厅）	4.8×10^{8}	0.001	5.06×10^{-7}	5.3	0.009	6.4	满足
m_{1-2}/m_{2-1}	屋顶次屏蔽上方（康复大厅）/（护士站）	4.8×10^{8}	0.001	2.47×10^{-8}	6.3	＜0.001	1.6	满足
g_1/g_2	防护门外	4.8×10^{8}	0.001	5.21×10^{-7}	8.4	0.004	0.8*	满足

说明*：根据 GBZT 201.2-2011 中 4.3.2.5.1 b)条款，本项目≤10 MV 加速器，有用线束不向迷路内墙照射的迷路入口本项目有用线束不 向迷路 内墙照射时的迷路入 口，泄漏辐射剂量率应为防护门 g_1（g_2）参考控制水平的一个分数（应小于 1/4），本项目 g_1（g_2）泄漏辐射剂量率控制水平为 3.2μSv/h×1/4=0.8μSv/h。

（3）加速器机房防护门外剂量率

①防护门位置泄漏辐射影响

根据前文表 11-3 可知，本项目加速器防护门处 g_1（g_2）泄漏透射剂量率为 0.004μSv/h，满足泄漏辐射控制水平 0.8 μ Sv/h。

②防护门位置患者散射剂量率

按照公式 11-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，当散射角 30°时，患者散射辐射在混凝土中什值层对于

6MV 射线为 26cm，再按照公式 11-4 计算防护门处 g_1（g_2）处的散射辐射剂量率。

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

式中：$\dot{H}_g$—g_1（g_2）处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者 400cm^2 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45°散射角的值，根据 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2，本项目 6MV 时，α_{ph}为 1.39×10^{-3}；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2，本项目为 28cm×28cm=784cm^2；

α_2—砼（混凝土）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°；α_2值见附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值α_2=0.022（22×10^{-3}）；

A—防护门处的散射面积，m^2；本项目为 A=(长）3.54m×高 3.7m=13.1m^2。

R_1—图中所指 $R_{1\text{-}1}$（$R_{1\text{-}2}$）；本项目通过 CAD 量取为 R_1=7.9m。

R_2—图中所指 $R_{2\text{-}1}$（$R_{2\text{-}2}$）；本项目通过 CAD 量本项目为 R_2=11.4m。

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，μSv/h，本项目 X 射线能量 6MV，最高剂量率为 4.8×10^{8}μSv/h。

表 11-4 患者散射至医用直线加速器机房入口（防护门外）g_1（g_2）点剂量率核算值

参数	数值
α_{ph}	1.39×10^{-3}
F（cm^2）	784
α_2	22×10^{-3}
$R_{1\text{-}1}$（$R_{1\text{-}2}$）（m）	7.9
$R_{2\text{-}1}$（$R_{2\text{-}2}$）（m）	11.4
A（m^2）	13.1
$\dot{H}_0$（μSv/h）	4.8×10^8
$\dot{H}_g$（μSv/h）	46.467

防护门外 g_1（g_2）点处的辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）计算公式计算如下。

$$\dot{H}=\dot{H}_{gz}\cdot 10^{-(X/TVL_1)}+\dot{H}_{og} \quad \text{公式 11-5}$$

式中：$\dot{H}_{og}$—g_1（g_2）处泄漏辐射剂量率，μSv/h；本项目计算为 0.004μSv/h；

$\dot{H}_{gz}$：g_1（g_2）处患者散射剂量率，μSv/h；本项目计算为 46.467μSv/h。

TVL_1—散射辐射在铅中的什值层，cm。根据 GBZ/T 201.2-2011，按照前文公式 11-2 估算防护门的铅屏蔽厚度，在防护门外 g_1（g_2）处的散射辐射能量约 0.2MeV，铅中的 TVL_1 值为 0.5cm。

X：铅防护门厚度，cm，本项目直线加速器防护门设计 10mmPb（1cm）。

按照公式 11-5 计算设计防护门外辐射剂量率$\dot{H}$，防护门散射屏蔽透射因子 B 根据前文公式 11-2 计算，$B=10^{-(X_e)/TVL_1}=10^{-(1.0)/0.5}=10^{-2}$。

表 11-5 本项目医用直线加速器机房入口（防护门外）g_1（g_2）点剂量率核算值

参数	数值
防护门厚度，cm铅（mmPb）	1.0（10）
$\dot{H}_{gz}$（μSv/h）	46.467
TVL_1（cm铅）	0.5
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	0.004
$\dot{H}$（μSv/h）	0.469
防护门外参考控制水平 $\dot{H}_c$(μSv/h)	3.2
评价	满足

根据上表 11-5 可知，本项目直线加速器防护门外剂量率 0.469μSv/h。满足评价提出的防护门外剂量率参考控制水平 3.2μSv/h。

（4）本项目医用直线加速器配套 CBCT 出束期间的辐射影响

对照 GBZ130 对 CT 机房的建设要求，本项目每座直线加速器机房有效面积 49m²（不含迷道长 7m、宽 7m），最小单边长度 7m。满足标准中有效面积≥30m²、最小单边长度≥4.5m 的要求。本次环评的直线加速器机自带的 CBCT 满足 GBZ130 对 CT 机房的建设要求。

按照 GBZ130-2020 中 C.1.2b)给出的计算公式进行计算：

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}In\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right)$$ 公式 11-6

式中：

X—给定屏蔽物质的铅厚度；

α、β、γ—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子，给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照

GBZ130-2020 中 C.1.2a）相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$ 公式 11-7

式中：

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X—不同屏蔽物质的厚度；

α、*β*、*γ*—给定屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见下表，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020)附录 C，140kVCT（主束）时对砼的拟合参数根据见下表 11-6。

表 11-6 CBCT 最大管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

常用最大管电压	屏蔽材料	α	β	γ
140kV（CBCT）	铅	2.009	3.990	0.3420
	砼	0.03360	0.01220	0.5190

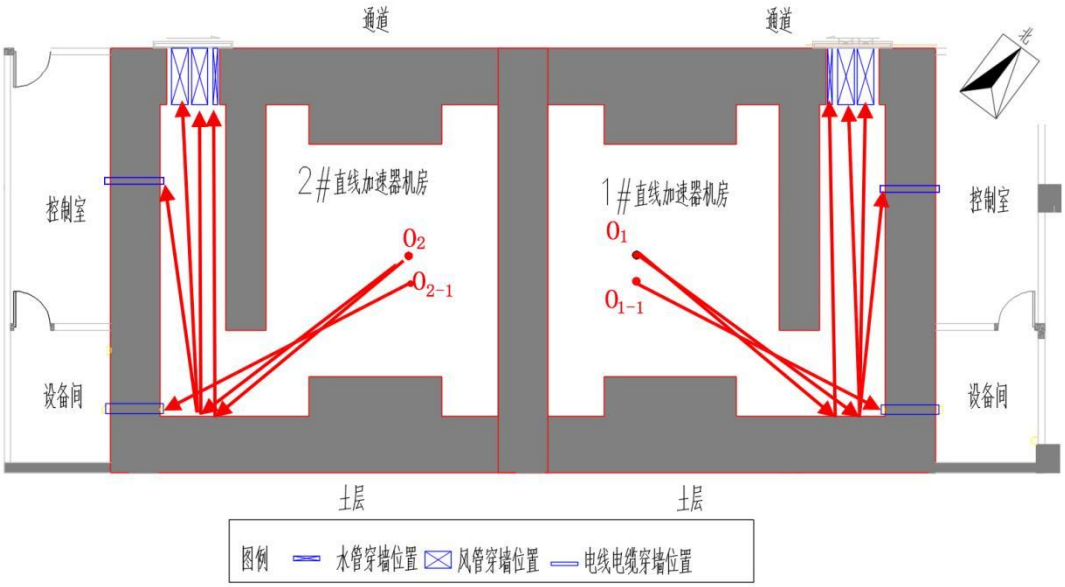
经计算，机房侧屏蔽最薄位置 1500mm 混凝土，在 140kV 管电压下铅当量 23.8mmPb，屏蔽透射因子 7.12×10^{-23}；防护门外屏蔽铅当量 10mmPb，屏蔽透射因子 $B=7.70\times10^{-11}$。CBCT 属于 kV 级图像引导射线，单次图像采集曝光时间短、输出剂量率低，相较于加速器 MV 级治疗 X 射线，CBCT 产生的辐射剂量贡献占比极低，叠加后不会改变机房外关注点的辐射剂量评价结论，其运行带来的附加辐射环境影响可忽略。

（5）电缆及通风管道、门缝辐射补偿措施的效果评价

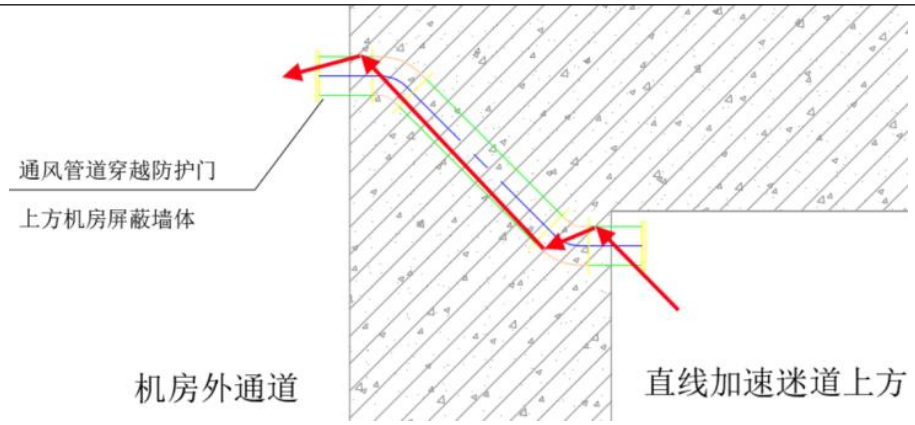
①通风、给排水及电缆穿墙

本项目直线加速器机通风管道、水管道均设计从机房防护门上方 S 型竖向斜穿墙，电缆管线穿墙孔位于地沟内，地面下穿越屏蔽墙体并设计为 U 型，均避开主射线方向，根据《辐射防护手册（第一分册）》“一个能使射线至少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”，本项目通风管道、水管、电线电缆穿墙的设计满足辐射防护的要求射线至少经过 3 次散射才能到达治疗室外，外侧的辐射剂量将在控制范围内。各穿墙位置射线散射示意图，本项目通风管道、水管、电线电缆穿墙的设计满足辐射防护的要求

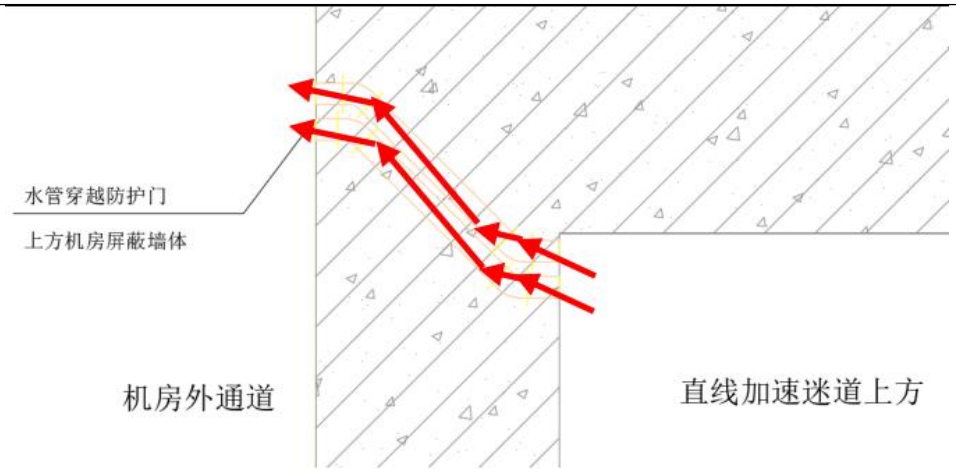
各穿墙管道内 X 射线散射示意图见图 11-4。



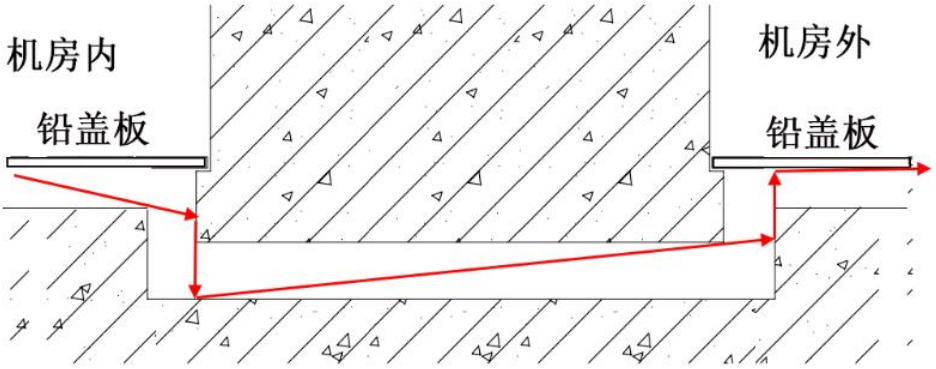
辐射源点及机房内辐射线路示意图



射线经通风管道穿墙散射示意图（患者散射至迷道墙后经 S 型路径穿墙体，射线穿出机房至少经三次散射）



射线经水管道穿墙散射示意图（患者散射至迷道墙后经 S 型路径穿墙体，射线穿出机房至少经三次散射）



射线经电缆电线管道穿墙散射示意图（患者散射至迷道墙后经 U 型地沟穿越墙体进入控制室，泄漏射线后经 U 型地沟穿越进入设备间，射线穿出机房至少经三次散射）

图 11-4 本项目医用直线加速器机房通风管道及电缆穿墙及散射示意图

②门缝

根据建设单位提供的资料，本项目防护门设计时已考虑防护门与墙壁及地面的重叠搭接，间隙拟小于 1cm，搭接不小于 10cm，满足重叠宽度大于缝隙十倍的要求。

（6）放疗科医用直线加速器保护目标有效剂量评价

①保护目标处年有效剂量估算

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff}=H\cdot t\cdot T\cdot U \qquad \text{公式 11-8}$$

式中：D_{Eff}—关注点人员有效剂量（Sv）；

H—关注点的辐射剂量率（Sv/h）；

t—关注点处年受照时间（h），本项目单台医用直线加速器年出束运行时间不超过 625h；

T—居留因子；

U—使用因子；

计算结果列于表 11-7。

表 11-7 医用直线加速器辐射环境保护目标处年有效剂量估算结果

参考点，最近距离	参考点所在场所	居留因子 T	使用因子 U	量约值 Sv/a）	结论
东，紧邻（f_1 点）	1#直线加速器控制室	1	1	5	满足
e_2 点	1#直线加速器机房	1/2	1		满足

东，紧邻（k_1点）	1#设备间	1/4	1		满足
西，紧邻（f_2点）	2#直线加速器控制室	1	1		满足
e_1点	2#直线加速器机房	1/2	1		满足
西，紧邻（k_2点）	2#设备间	1/4	1		满足
北、4.5m	1#陀螺刀控制室	1	1		满足
北、4.5m	2#陀螺刀控制室	1	1		满足
北、7.5m	护士站	1	1		满足
东，3m	诊室	1	1		满足
东，7.2m	负1楼通道、楼梯间、电梯间、电梯厅	1/5	1		满足
东，7.2m	*1#综合楼负1楼人防办公室、人防寝室、人防管理用房、物资储存库房等	1	1		满足
西，3m	1#综合楼地下室负1楼消防泵房、消防水池等消防供水场所，地下室柴油发电机房、备用设备间等供电场所，地下室风机房等场所	1/4	1		满足
北，紧邻（a_1点）	放疗科楼内通道	1/5	1		满足
北，紧邻（c_{1-1}点）	放疗科楼内通道	1/5	1		满足
北，紧邻（c_{1-2}点）	通道	1/5	1		满足
防护门（g_1点）	通道	1/8	1		满足
北，紧邻（a_2点）	通道	1/5	1		满足
北，紧邻（c_{2-1}点）	通道	1/5	1		满足

北，紧邻（c_{2-2}点）	通道	1/5	1		满足
防护门（g_2点）	通道	1/8	1		满足
北、11m	地下车库	1/40	1		满足
上方，紧邻（l_1点）	楼梯间	1/40	1		满足
上方，紧邻（m_{1-1}点）	加压送风机房	1/16	1		满足
上方，紧邻（m_{1-2}点)	康复大厅	1/4	1		满足
上方（1#直线加速器），紧邻	通道	1/5	1		满足
	药房和药库	1	1		满足
上方，紧邻（l_2点）	住院大厅	1/4	1		满足
上方，紧邻（m_{2-1}点）	护士站	1	1		满足
上方，紧邻（m_{2-2}点)	住院大厅	1/4	1		满足
上方，2m	*1#综合楼其他场所	1	1	. .	满足

注：1）居留因子取值参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A；

2）*该处场所居留因子保守取 1，剂量率取上方最大剂量率 0.009μSv/h；

3）各点位剂量率取表 11-3、表 11-5 中的值，屏蔽体外各环境保护目标处的剂量率取 2 座直线加速器所在方向屏蔽体外最大剂量率按距离平方反比进行估算。其中北侧关注点取北侧最高值防护门外 g_1（g_2）点剂量率 0.469μSv/h 作为计算剂量率，东侧、西侧分别取东侧、西侧屏蔽体外剂量率最高值，即设备间 k_1 点、k_2 点剂量率 0.036μSv/h 作为起始点，按照所在方向距离平方反比进行估算。

根据表 11-7 结果分析可知，本项目医用直线加速器投入运行后，职业人员和周围公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量最大为 0.097mSv（1#或 2#陀螺刀控制室），不超过 5mSv；公众年有效剂量最大为 0.057mSv（防护门外通道），不超过 0.1mSv）。

（二）陀螺刀

1、辐射环境影响分析

本项目陀螺刀采用陀螺旋转结构，在公转环集束射线穿过靶心经过的路径

上，设置了有效厚度的铅屏蔽层（190mmPb），实现了机内放射源的自屏蔽。此设计既解决了公转环的平衡问题（平衡锤），又可有效防止射线的透射。同时，由于机内设计有自屏蔽，即使是治疗过程中，射线穿透机器的透射剂量率已降至很低，对机房的屏蔽要求已降至很低。

依据设备厂家和建设单位提供的治疗机房内开源状态剂量率分布图（见图 11-5），在模式 2 状态下治疗头以 270°为法线，距等中心 1m 处的周围剂量当量率最大值为 17340μGy/h（本项目空气比释动能率和周围剂量当量率转换系数为 1），该剂量率已经包含主束透射、泄漏和散射剂量率，在计算屏蔽体外关注点剂量率时保守以此值作为本项目辐射源强进行计算。

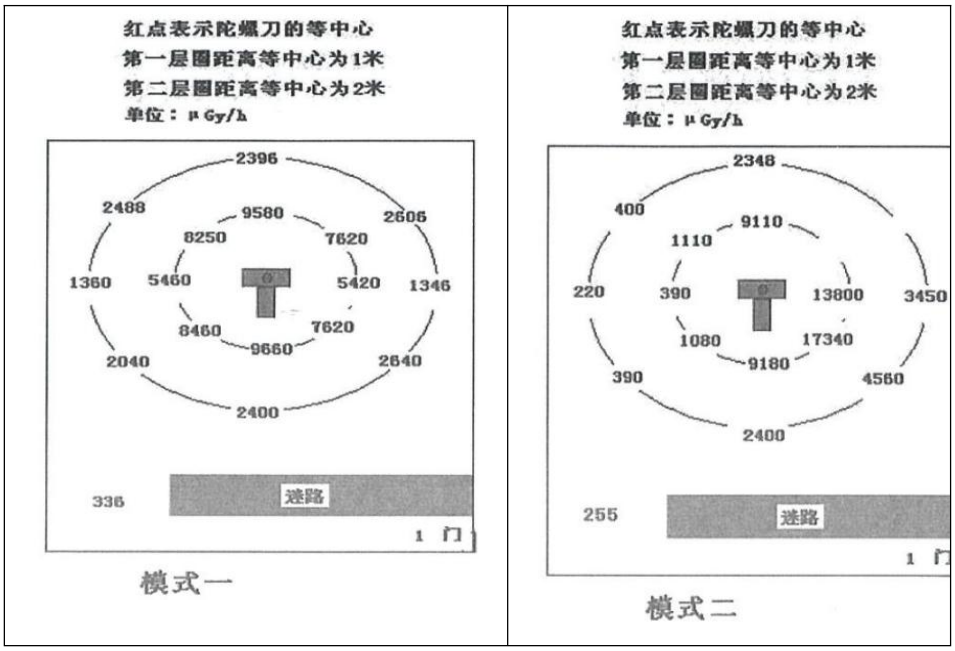


图 11-5 两种测试模式下治疗机房内开源状态剂量率分布图

1）测试条件

放射源种类：^{60}Co；

最大装源活度：3.145×10^{14}Bq。

2）测试方法

在治疗机房内距离陀螺刀等中心 1m、2m 的各个位置布点，打开源开关，用剂量仪测试一段时间内的累积剂量，转换成剂量率。

①测试模式一：治疗头以 0°法线为轴做旋转运动，见图 11-6；

②测试模式二：治疗头以 270°法线为轴作旋转运动，见图 11-7。

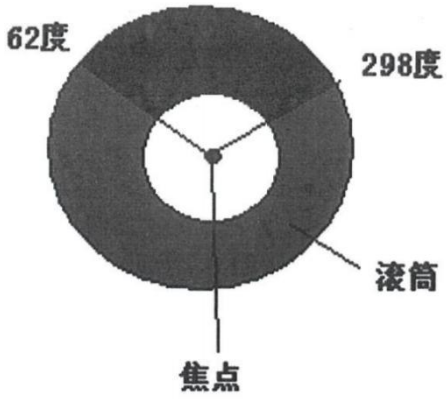


图 11-6 治疗头以 0°为法线示意图

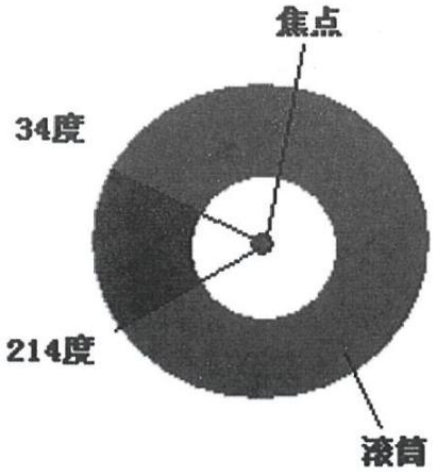


图 11-7 治疗头以 270°为法线示意图

2、辐射防护效果预测

（1）工作状态下机房外周围关注点处的γ辐射剂量率

本项目 2 座陀螺刀机房中东墙、西墙及屋顶为主射束方向。由于距焦点 1m 处的吸收剂量率的取值为陀螺刀厂家提供的治疗室内开源状态模拟治疗状态时实测杂散剂量率最大值，该剂量率数值已包含透过自屏蔽的有用线束、漏射线及散射线束的剂量率，因此，偏安全考虑，本项目在计算时采用陀螺刀厂家提供的该剂量率数值，对防护门处剂量估算时同时考虑散射剂量率双重影响。本项目陀螺刀机房辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图 11-8 和图 11-9（预测点位取墙体或者防护门外 30cm 处），2 座陀螺刀机房中陀螺刀设备布置、机房砼屏蔽结构、预测点位均以中间南北方向共用墙体中轴线，呈两侧对称布置。

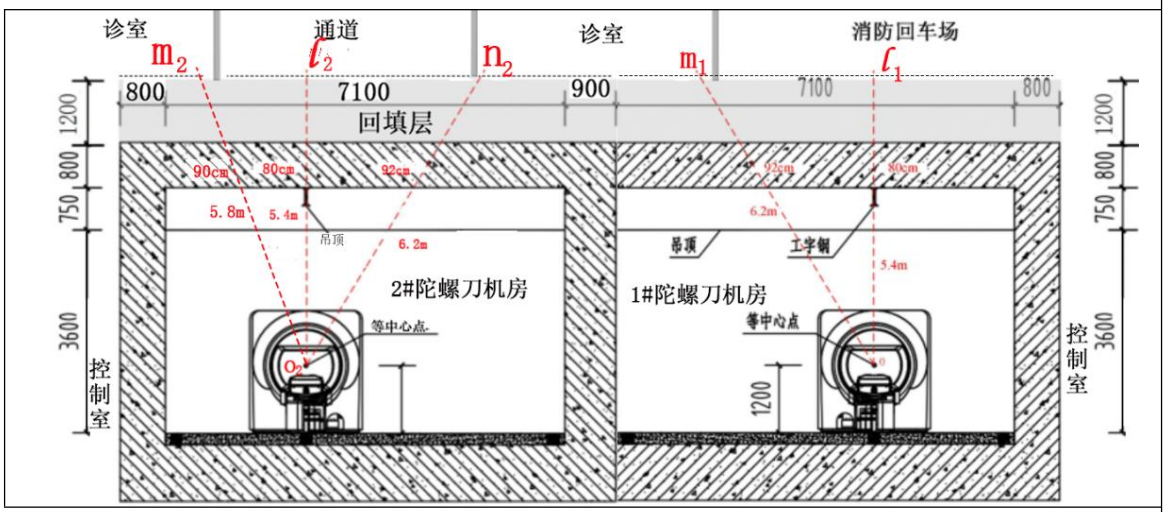


图 11-8 本项目放疗科机房上方计算关注点示意图

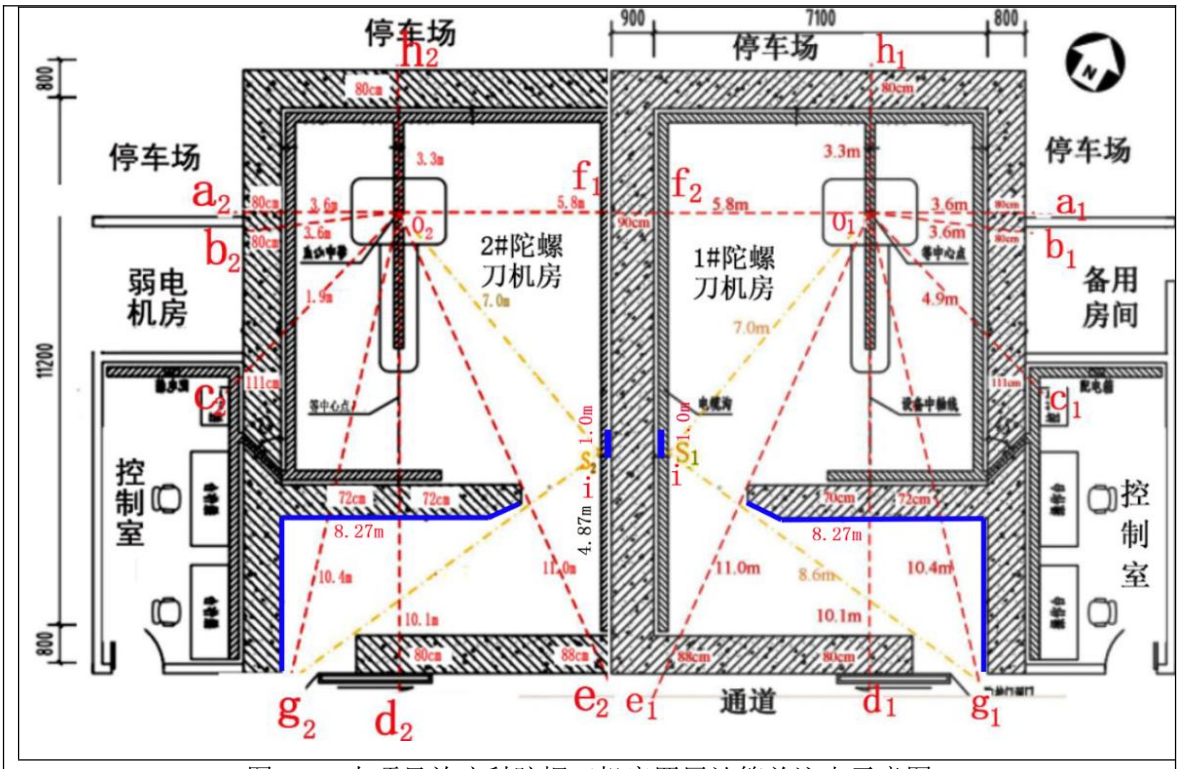


图 11-9 本项目放疗科陀螺刀机房四周计算关注点示意图

（2）1#陀螺刀机房屏蔽体外透射剂量率

估算点位见图 11-8 和图 11-9。

根据《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/T201.3-2014），在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照前文公式 11-1 计算有效厚度 *Xe*（cm），按照前文公式 11-2 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 *B*。

计算 *B* 时，TVL_1（cm）和 *TVL*（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，TVL_1=*TVL*。本项目 *TVL*、TVL_1 取值根据《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/T201.3-2014）附录 C 表 C.1 砼 *TVL*=218mm、TVL_1=245mm，铅 *TVL*=TVL_1=41mm。计算出γ射线在屏蔽物质的屏蔽透射因子 *B* 后，根据前文公式 11-3 计算屏蔽体外剂量率。公式 11-3 中：$\dot{H}_0$—入射剂量率，μSv/h。根据前文源项分析可知，本项目陀螺刀$\dot{H}_0$=17340μSv/h。*R*—靶点至参考点的距离，m，本项目计算起点为等中心点，参考点均为对应屏蔽体墙外 30cm；*f* 取 1。

由于 1#、2#陀螺刀机房呈镜像分布，且使用的设备一样，屏蔽计算只计算 1#机房，本项目陀螺刀机房屏蔽体厚度 *X*、实际屏蔽厚度 *Xe* 以及 *R* 的取值由 CAD 图

纸上读取并标注在图上,按照前文公式 11-3 计算得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率(μSv/h），计算结果见表 11-8。

表 11-8 本项目陀螺刀机房治疗出束状态下参考点处的透射剂量率核算值

点位	屏蔽体材料和厚度X（mm）	砼等效厚度*Xe*（mm）	*TVL*$_1$（mm）	*TVL*（mm）	B	*H*$_0$(μSv/h）	*R*（m）	*f*	*H*(μSv/h）	控制剂量率(μSv/h）	评价
a$_1$ /*a*$_2$（负1楼停车场	砼800	800	砼245	砼218	2.85E-04	17340	3.6	1	0.381	10	满足
b$_1$(备用房间)/*b*$_2$(弱电机房)	砼800	828	砼245	砼218	2.12E-04	17340	3.7	1	0.268	10	满足
c$_1$/*c*$_2$(控制室)	砼800	1131	砼245	砼218	8.63E-06	17340	4.9	1	0.006	2.5	满足
g$_1$/*g*$_2$(防护门外)	砼700，铅12mm	718	砼245；铅41	砼218；铅41	3.45E-04	17340	10.4	1	0.055	3.2	/
d$_1$/*d*$_2$(通道)	砼800	800	砼245	砼218	2.85E-04	17340	10.1	1	0.048	2	满足
南墙西段外*e*$_1$点(通道)	砼800	881	砼245	砼218	1.21E-04	17340	11	1	0.017	2	满足
f$_1$/*f*$_2$(陀螺刀机房)	砼900	900	砼245	砼218	9.89E-05	17340	5.8	1	0.051	0.8	满足
北墙外*h*$_1$/*h*$_2$（负1楼停车场）	砼800	800	砼245	砼218	2.85E-04	17340	3.3	1	0.453	10	满足
顶棚上方外*l*$_1$点(消防回车场)/*l*$_2$(一层通道	砼800	800	砼245	砼218	2.85E-04	17340	5.4	1	0.169	10	满足
顶棚西部上方*m*$_1$/*m*$_2$(诊室)	砼800	933	砼245	砼218	6.98E-05	17340	6.2	1	0.031	0.4	满足
顶棚西部上方*n*$_2$点(诊室)	砼800	933	砼245	砼218	6.98E-05	17340	6.2	1	0.031	0.4	满足

（3）陀螺刀机房防护门辐射防护设计核算

本项目每座陀螺刀机房入口均设有直迷道，迷道口用 12mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷道入口处的散射线。

根据前文图 11-9，黄颜色所示路径为迷路散射最不利路径，采用散射模型：^{60}Coγ 射线由等中心 O_1（O_2）入射至 1#陀螺刀西侧内墙南部（2#陀螺刀东侧内墙南部，图中蓝色区域所示），再次散射至 1#陀螺刀迷道内墙（或 2#陀螺刀迷道内墙，图中蓝色区域所示），散射面积合计 S_1（S_2），保守将二次散射按照一次散

射计算，按照一次散射路径（图中黄颜色路径所示），计算时散射面积取两次散射面积之和，能满足屏蔽校核的安全要求。

入口 g_1（g_2）处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中 5.2.2.4 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射公式进行计算：

$$\dot{H}=\frac{f\cdot \dot{H}_0\cdot S\cdot \alpha_w}{R_L^2\cdot R^2}$$ 公式 11-9

式中：f—泄漏辐射比率，保守考虑，本项目取 1；

$\dot{H}_0$—活度为 A 的放射源在距其 1 m 处的剂量率，单位μSv/h，本项目取陀螺刀厂家提供的 1m 处最大剂量率 17340μSv/h（包含散射、泄漏射线和主束经平衡锤后透射的最大值）。

S—散射面积，即自泄漏辐射始点和计算点共同可看见的散射体区域的面积，单位为平方米，本项目长合计为 9.27m（1m+8.27m）（图中蓝色区域所示），高 4.35m，散射面积 40.32m^2，见图 11-8 和图 11-9 中蓝色线所示意的面积。

α_w—散射体的散射因子，取（GBZ/T201.3-2014）中表 C.4 中 45°入射辐射砼 45°反散射，能量 0.25MeV 光子的散射系数 3.05×10^{-3}。

R_L—泄漏辐射始点至散射体中心点的距离，m，本项目 R_L=7.0m；

R—散射体中心至计算点的距离，m，本项目 R=8.6m。

表 11-9 本项目陀螺刀机房防护门 g_1（g_2）点剂量率计算结果

参数	取值
f	1
$\dot{H}_0$(μSv/h)	17340
S（m^2）	40.32
α_w（砼散射体的散射因子）	3.05×10^{-3}
R_L（m）	7
R（m）	8.6
$\dot{H}$(μSv/h）	0.588

防护门外 g_1（g_2）点处的辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）计算公式如下。

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

式中：$\dot{H}_{og}$—g_1（g_2）处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；根据前文表 11-8 计算结果，本项目陀螺刀机房门外泄漏辐射剂量率 0.055 μSv/h；

$\dot{H}_{gz}$：g_1（g_2）点计算的辐射经混凝土墙体散射至防护门处的剂量率，μSv/h；本项目计算为 0.588μSv/h。

TVL—散射辐射在铅中的什值层，cm。在防护门外g_1（g_2）处的散射辐射能量约 0.2MeV，铅中的 *TVL* 值为 0.5cm。

X：铅防护门厚度，cm。本项目 1#、2#陀螺刀防护门设计 12mmPb（1.2cm）。

铅门对散射光子屏蔽透射因子 $B=10^{-(X_e)/TVL_1}=10^{-(1.2)/0.5}=3.98\times10^{-3}$。

表 11-10 本项目陀螺刀机房入口（防护门外）g_1（g_2）点剂量率核算值

参数	防护门外 g_1（g_2）
防护门厚度	1.2cm 铅（12mmPb）
$\dot{H}_{gz}$（μSv/h）	0.588
TVL	0.5cm 铅
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	0.055
$\dot{H}$（μSv/h）	0.057
防护门外参考控制水平 $\dot{H}_c$(μSv/h)	3.2
评价	满足

根据上表 11-10 可知，本项目 1#、2#陀螺刀防护门外剂量率 0.057μSv/h。小于评价提出的防护门外剂量率参考控制水平 3.2μSv/h。

（4）本项目陀螺刀配套 CBCT 出束期间的辐射影响

对照 GBZ130 对 CT 机房的建设要求，本项目每座陀螺刀机房有效面积 56.8m^2（不含迷道长 8m、宽 7.1m），最小单边长度 7.1m（见图 10-6 和图 10-7）。满足标准中有效面积≥30m^2、最小单边长度≥4.5m 的要求。

按照 GBZ130-2020 中 C.1.2b)给出的计算公式进行计算：

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

式中：

X—给定屏蔽物质的铅厚度；

α、*β*、*γ*—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子，给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照

GBZ130-2020 中 C.1.2a）相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$ 公式 11-12

式中：

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X—不同屏蔽物质的厚度；

α、*β*、*γ*—给定屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见下表，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020)附录 C，120kVCT（主束）时对砼的拟合参数根据见下表：

表 11-11 混凝土和铅对 120kV 管电压下（保守取最大）CT 机产生 X 射线衰减的拟合参数

管电压 (kV)	材料	*α*	*β*	*γ*
120（CT）	铅	2.246	5.730	0.5470
	混凝土	0.03830	0.01420	0.6580

根据以上表格和公式，经计算本项目混凝土四周和屋顶屏蔽体墙体铅当量 12.8mm，防护门厚 12mmPb，铅当量均大于 GBZ130-2020 中关于 CT 机房有用线束和非有用线束照射方向屏蔽体的最小铅当量 2.5mmPb 的要求。

本次计算保守选取 1#（2#）陀螺刀机房 80cm 厚北墙计算机房砼屏蔽体屏蔽透射因子，根据以上表格和公式，混凝土的 X 射线屏蔽透射因子为 3.06×10^{-14}，本项目铅防护门对 CBCT 出束 X 射线屏蔽透射因子为 1.94×10^{-13}（不考虑迷道内墙屏蔽影响）。

CBCT 属于 kV 级图像引导射线，单次图像采集曝光时间短、输出剂量率低，相较于 ^{60}Co 治疗γ 射线，CBCT 产生的辐射剂量贡献占比极低，叠加后不会改变机房外关注点的辐射剂量评价结论，其运行带来的附加辐射环境影响可忽略。

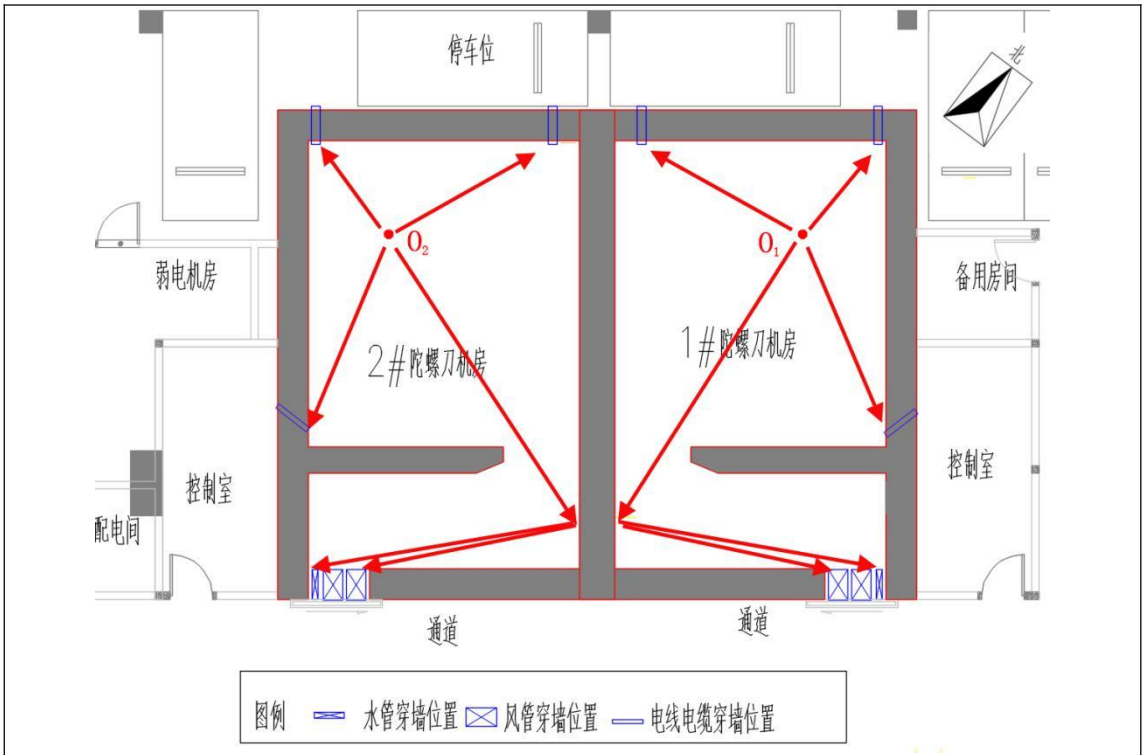
（5）机房门缝处辐射防护评价

本项目 2 座陀螺刀机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，均已考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

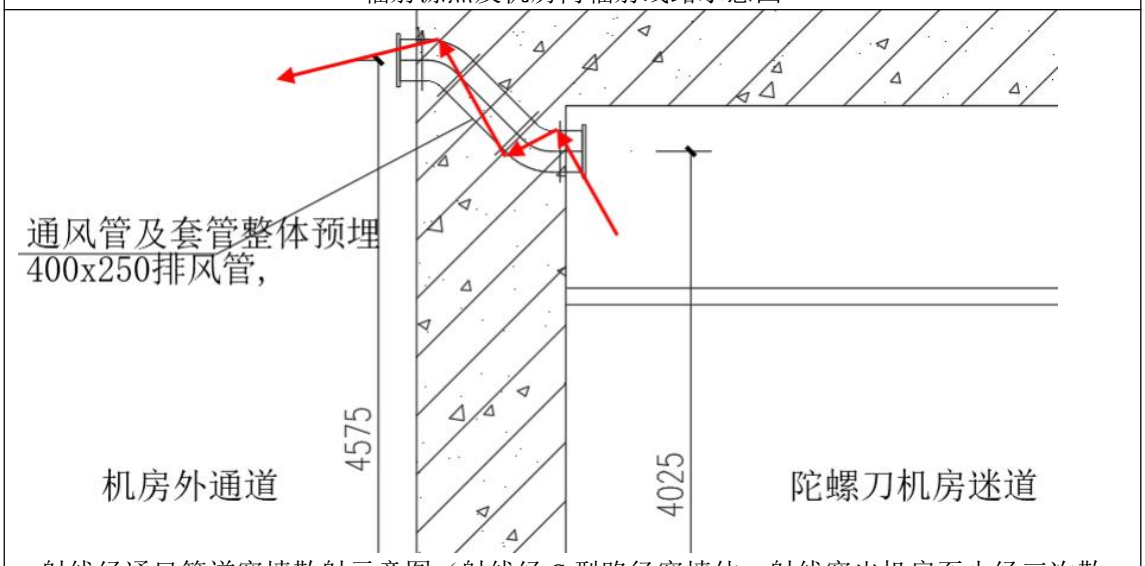
（6）通风管、水管、电线电缆穿墙处剂量率

本项目 1#、2#陀螺刀机房通风管道、水管道均设计从机房防护门上方 S 型竖

向斜穿墙，电缆管线穿墙孔位于地沟内，地面下穿越屏蔽墙体并设计为 U 型，均避开主射线方向，根据《辐射防护手册（第一分册）》“一个能使射线至少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”，本项目通风管道、水管、电线电缆穿墙的设计满足辐射防护的要求射线至少经过 3 次散射才能到达治疗室外，外侧的辐射剂量将在控制范围内。各穿墙位置射线散射示意图，本项目通风管道、水管、电线电缆穿墙的设计满足辐射防护的要求（见图 11-10）。

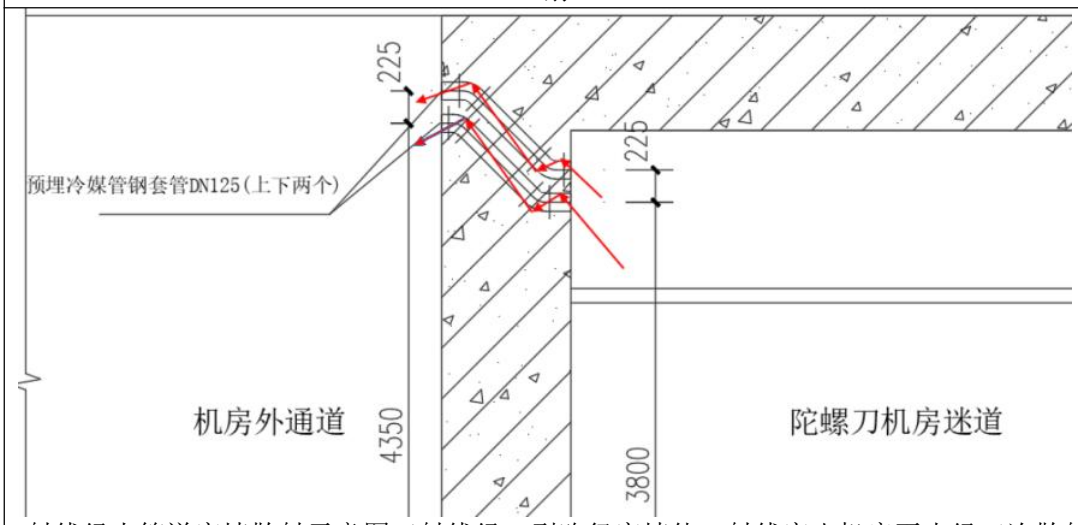


辐射源点及机房内辐射线路示意图



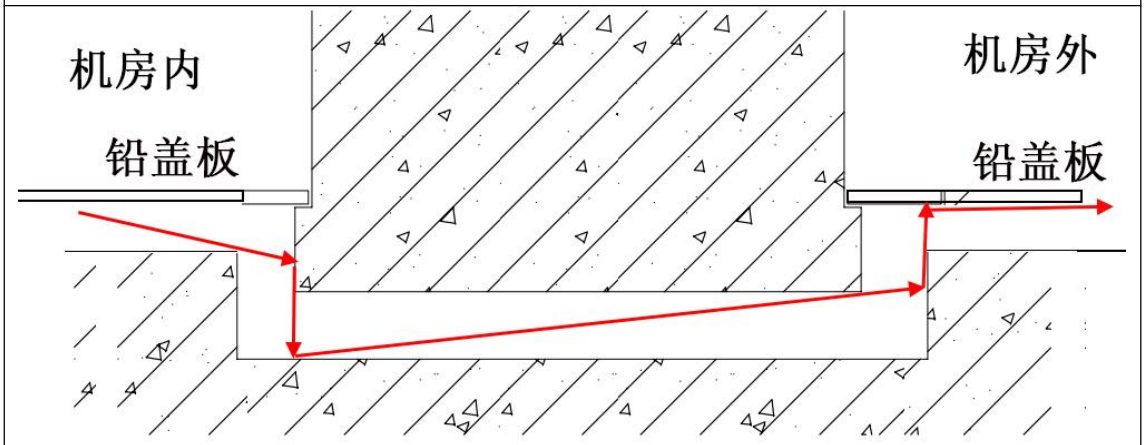
射线经通风管道穿墙散射示意图（射线经 S 型路径穿墙体，射线穿出机房至少经三次散

射）



射线经水管道穿墙散射示意图（射线经 S 型路径穿墙体，射线穿出机房至少经三次散射）

射线经水管道穿墙散射示意图（射线经 S 型路径穿墙体，射线穿出机房至少经三次散射）



射线经电缆电线管道穿墙散射示意图（射线经 U 型地沟穿越出机房至少经三次散射，机房内沟槽深 20cm，上覆厚钢板）

图 11-10 本项目陀螺刀机房通风、空调水管道散射示意图

（7）陀螺刀初装源/换源辐射影响

装源、换源作业由建设单位委托具备相应资质的第三方单位实施，相关作业人员为受托单位辐射工作人员，建设单位辐射工作人员不参与装源和换源，因此，不再核算装源、换源作业期间对建设单位辐射工作人员的辐射剂量。

（8）放疗科陀螺刀保护目标有效剂量评价

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff}=H\cdot t\cdot T\cdot U \qquad \text{公式 11-13}$$

式中：D_{Eff}—关注点人员有效剂量（Sv）；

H—关注点的辐射剂量率（Sv/h）；

t—关注点处年受照时间（h），本项目 1#、2#陀螺刀年治疗出束运行时间不超过 625h；

T—居留因子；

U—使用因子。

计算结果见表 11-12。

表 11-12 本项目放疗科陀螺刀辐射环境保护目标处年有效剂量估算结果

参考点，最近距离	参考点所在场所	居留因子 T	使用因子 U	H(μSv/h）	人员可达处年有效剂量（mSv/a）	剂量约束值(mSv/a)	结论
东墙南段，紧邻(c_1点)	1#陀螺刀控制室						满足
西墙，紧邻(f_1点)	2#陀螺刀机房						满足
西墙南段，紧邻(c_2点)	2#陀螺刀控制室						满足
东墙，紧邻(f_2点)	1#陀螺机房						满足
南、4.5m	1#直线加速器控制室						满足
南、4.5m	2#直线加速器控制室						满足
东，3m	护士站						
东墙北段，紧邻（a_1点）	地下车库（负 1 楼停车场）						满足
东墙中段，紧邻(b_1点)	备用房间						满足
南，6m	诊室						满足

东，10.2m	负 1 楼通道、楼梯间、电梯间、电梯厅	1						满足
东，10.2m	*1#综合楼负 1 楼人防办公室、人防寝室、人防管理用房、物资储存库房等工作人员							满足
南墙东段，紧邻（d_1）	放疗科楼内通道	1						满足
南墙西段，紧邻（e_1）	放疗科楼内通道	1						满足
防护门外（g_1点）	放疗科楼内通道	1						满足
北墙外，紧邻（h_1）	负 1 楼停车场	1/						满足
顶棚上方，紧邻(l_1点)	消防回车场	1/						满足
顶棚西部上方，紧邻(m_1点)	诊室							满足
上方（1#陀螺刀机房），紧邻	药房、药库							满足
南墙东段，紧邻（e_2）	放疗科楼内通道	1						满足
南墙西段，紧邻（d_2）	放疗科楼内通道	1						满足
防护门外（g_2点）	放疗科楼内通道	1						满足
西墙中段，紧邻（b_2）	弱电机房	1						满足
西墙北段，紧邻（a_2）	负 1 楼停车场	1/						满足
西，6m	1#综合楼地下室负 1 楼消防泵房、消防水池等消防供水场所，地下室柴油发电机房、备用设备间等供电场所，地下室风机房等	1						满足
北墙外，紧邻（h_2）	负 1 楼停车场	1/						满足
顶棚上方（l_2点）	1 楼通道	1						满足
顶棚西部上方，紧邻（m_2点）	诊室							满足
顶棚西部上方，紧邻（n_2点）	诊室							满足
上方（2#陀螺刀机房），紧	1 楼住院大厅	1						满足

邻							
陀螺刀机房顶棚上方，2m	*1#综合楼内其他场所	1	1	0.098	0.061		满足

注：1）居留因子取值参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A；

2）*该处场所居留因子保守取 1；

3）各点位剂量率取表 11-8、表 11-10（陀螺刀防护门外）中的值，屏蔽体外各环境保护目标处的剂量率取 2 座陀螺刀所在方向屏蔽体外最大剂量率按距离平方反比进行估算。

其中南侧以防护门 g_1（g_2）0.057μSv/h 为剂量率计算点（含散射+透射）。

根据表 11-12 结果分析可知，本项目陀螺刀投入运行后，职业人员和周围公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量最大为 0.078mSv（东侧护士站），不超过 5mSv；公众年有效剂量最大为 0.061mSv（陀螺刀机房顶棚上方），不超过 0.1mSv）。

（9）本项目放疗科医用直线加速器、陀螺刀有运行期环保目标年有效剂量叠加影响

本项目放疗科 2 台医用直线加速器，2 台陀螺刀，运行期间对放疗科职业人员及周围公众造成叠加辐射环境影响，本项目 1#、2#陀螺刀，1#、2#直线加速器均分别设置独立控制室，各配置 1 组职业人员，实行分岗位独立值守。各岗位职业人员主要在对应设备的控制室内开展操作工作；开展职业人员有效剂量估算时，叠加放疗科装置的辐射贡献。

放疗中心运行期环保目标年有效剂量叠加见下表 11-13。

表 11-13 本项目放疗科运营期环保目标年有效剂量叠加情况一览表

位于放疗科方位	参考点所在场所	1）直线加速器年有效剂量贡献（mSv/a）	2）陀螺刀年有效剂量贡献（mSv/a）	叠加后年有效剂量（mSv/a）	人员性质	剂量约束值(mSv/a)	结论
东侧	1#直线加速器控制室	＜0.001			职业人员	5	满足
西侧	2#直线加速器控制室	＜0.001					满足
东侧	1#陀螺刀控制室	0.097					满足
西侧	2#陀螺刀控制室	0.097					满足
东侧	护士站	0.057					满足

东侧（陀螺刀机房南侧）	诊室	0.013					满足
东侧	负 1 楼通道、楼梯间、电梯间、电梯厅	0.002					满足
东侧	1#综合楼负 1 楼人防办公室、人防寝室、人防管理用房、物资储存库房等工作人员	0.008					满足
直线加速器机房和陀螺刀机房中间区域	放疗科楼内通道东、西部	＜0.001					满足
防护门外	通道东、西部	0.036				0.1	满足
西侧	弱电机房	0.036[3)]					满足
西侧	1#综合楼地下室负 1 楼消防泵房、消防水池等消防供水场所，地下室柴油发电机房、备用设备间等供电场所，地下室风机房等	0.003					满足
北侧	负 1 楼停车场	0.001					满足
上方（1#和2#陀螺刀机房上方）	诊室	/					满足
上方	1#综合楼内其他场所	0.003					满足

说明：1)2)分别表 11-7 和表 11-12 中对 ；3 刀 侧弱电机房公众年有效剂量保守采用叠加 2#直线加速器防护门外 g_2 点年有效剂量；4）陀螺刀机房上方 1 层诊室受 1#、2#陀螺刀叠加影响，数值来自表 11-12 中 m_1 点和 n_2 点年有效剂量。

在进行放射治疗前，工作人员需进入机房对患者进行摆位，全部操作均在贮源（关源）状态下进入机房，禁止源处于照射状态下人员进入机房；配套门机联锁、源位显示、个人剂量报警仪。此时放射源处于贮存状态，工作人员进行摆位时距离设备约 1m，根据《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/T201.3-2014）附录 B.2 贮源状态下距源 1m 处的空气比释动能率不大于 20μSv/h，平均每位患者在机房内接受摆位时间不超过 30s，平均每位患者治疗完成后解除摆位时间不超过 30s，单台陀螺刀按照年工作负荷按最大治疗 12500 人计算（50 人/天×250 天/年），经核算，则每台陀螺刀在患者摆位期间职业人员年最大有效剂量为 4.167mSv，建设单位拟为本项目每台陀螺刀配置 1 组工作人员，开展放射治疗期间，拟配置 2 名及以上人员协调操作，采用 2 名辐射工作人员轮流摆位，则每名职业人员在摆位期间年有效剂量最多为 4.167mSv÷2=2.084mSv。

根据表 11-13，本项目放疗科正常运行后，放疗科职业人员和公众年有效剂量合计。

①陀螺刀每名职业人员控制室操作过程中年剂量估算值最大为 0.101mSv（取陀螺刀控制室或机房内年有效剂量，忽略 CBCT 出束辐射影响），叠加机房内摆位时受到的年有效剂量总计为 2.185mSv（0.101mSv+2.084mSv）。

②直线加速器每名职业人员年剂量估算最大 0.019mSv（取直线加速器控制室年有效剂量，忽略 CBCT 出束辐射影响）。

③放疗科护士年有效剂量最大为 0.135mSv。

④放疗科周围公众年有效剂量最大值为 0.078mSv（放疗科西侧弱电机房）。

职业人员和公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（三）DSA

1、DSA 机房的屏蔽情况与标准要求的相符性分析评价

（1）评价标准

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

（2）本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

由前文表 10-7 可知，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅、硫酸钡板和硫酸钡水泥以外，还涉及顶面、地面使用的混凝土辐射防护材料及东墙的铅玻璃观察窗。本项目按额定管电压 125kV 主束方向的极端条件核算 DSA 机房各屏蔽部位屏

蔽材料的等效铅当量厚度。

按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 给出的计算公式进行计算：

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}In\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right) \qquad \text{公式 11-14}$$

式中：

X—给定屏蔽物质的铅厚度；

α、*β*、*γ*—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子。

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

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

式中：

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X—不同屏蔽物质的厚度；

α、*β*、*γ*—给定屏蔽物质（本项目为混凝土）对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数.

根据各屏蔽材料在额定管电压 125kV 的最不利条件的等效铅当量厚度进行核算，由 GBZ 130-2020 中表 C.2 中查取 125kV 下 X 射线辐射衰减的有关拟合参数，见下表：

表 11-14 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974
125kV（散射）	铅	2.233	7.888	0.7295
	混凝土	0.03510	0.06600	0.7832

本项目机房屏蔽部位涉及的混凝土按公式 11-14、公式 11-15 和表 11-14 参数，计算其屏蔽透射因子 *B*、铅当量厚度，计算结果列于下表。

表 11-15 本项目 DSA 机房地面、屋顶混凝土屏蔽透射因子 *B*、铅当量厚度计算结果

管电压	屏蔽体*	屏蔽透射因子 B	铅当量厚度（mm）
125kV（主束）	172mm 混凝土（160mm+12mm）	5.10E-04	2.2
125kV（散射）	172mm 混凝土（160mm+12mm）	6.23E-04	2.4

说明：*本次评价保守将 10mm 硫酸钡水泥按照混凝密度折算为 12mm 混凝土。

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

表 11-16 本项目 DSA 机房屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

屏蔽体	屏蔽参数	等效铅当量（mm）	标准要求（铅当量）	评价结果
四面墙体	3mm 铅当量硫酸钡板	3	2.0mm	符合
顶棚	160mm 砼+10mm 硫酸钡水泥	2.2	2.0mm	符合
地面	160mm 砼+10mm 硫酸钡水泥	2.4	2.0mm	符合
防护门	内衬 3.0mm 铅板	3	2.0mm	符合
观察窗	3.0mm 铅当量铅玻璃	3	2.0mm	符合

注：1.铅密度为：11.3g/cm^3，硫酸钡水泥密度为：3.2g/cm^3，混凝土密度为：2.35g/cm^3。
2. 屋顶、地面保守将硫酸钡水泥涂层按照密度折算成混凝土厚度后取铅当量值。

由上表可知，本项目 DSA 机房在额定最大管电压 125kV 下屏蔽防护措施均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

2、DSA 机房屏蔽体外辐射剂量率

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

根据建设单位提供的资料，DSA 正常运行时摄影模式（拍片模式）为 80kV/500mA；透视模式为 80kV/20mA。本项目 DSA 辐射影响构成情况见下表。

表 11-17 本项目 DSA 辐射影响构成情况

操作模式	正常运行时最大工况	射线种类	辐射影响对象
摄影模式	80kV/500mA	散射线、漏射线	机房外公众、控制室职业人员

透视模式	80kV/20mA	散射线、漏射线	机房外公众、职业人员；机房内介入手术职业人员

（1）关注点的选取

本项目 DSA 机房的预测点选取如表 11-18，计算点位图见图 11-11。

表 11-18 本项目 DSA 机房预测点选取情况表

点位	点位说明	距离（m）
1	东侧观察窗外 30cm 处，控制室	5.4
2	东侧防护墙外 30cm 处，控制室	5.3
3	东防护墙外 30cm 处，设备间	5.4
4	南侧防护墙外 30cm 处，污物走廊	3.1
5	南侧污物通道门外 30cm 处，污物走廊	3.4
6	西侧防护墙外 30cm 处，OR2 手术室	4.2
7	北侧防护墙外 30cm 处，洁净走廊	3.8
8	北侧患者防护门外 30cm 处，洁净走廊	4.6
9	楼上，3 楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室，地面以上 100cm 处	散射：5.4；漏射：5.85
10	楼下，1 楼住院大厅，地面以上 170cm 处	散射：4.4；漏射：3.95
11	第一术者位	散射：0.5；漏射：0.5
12	第二术者位	散射：1；漏射：1

注：1.机房四侧屏蔽体外关注点位于屏蔽体外 30cm 处，机房上关注点位于距上方（楼上）地面 100cm 处，机房下方关注点位于距下方（楼下）地面 170cm 处；楼上、楼下距离：漏射为球管（距离地面 0.55m）至关注点距离，散射为患者（距离地面 1m）至关注点距离。

2、本项目位于 1#综合楼 2 楼，机房内东西方向长 8.6m，南北方向长 6.3m，层高 5.4m，下方 1 楼高度 5.1m，上方 3 楼层高 4.5m。

散射：楼上3楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室：ds=5.4-1+1=5.4m；楼下1楼住院大厅：ds=5.1-1.7+1=4.4m；漏射：楼上 3 楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室：ds=5.4-0.55+1=5.85m；楼下 1 楼住院大厅：ds=5.1-1.7+0.55=3.95m。

4、DSA 机房四周受照体至关注点的距离通过 CAD 设计图量取。

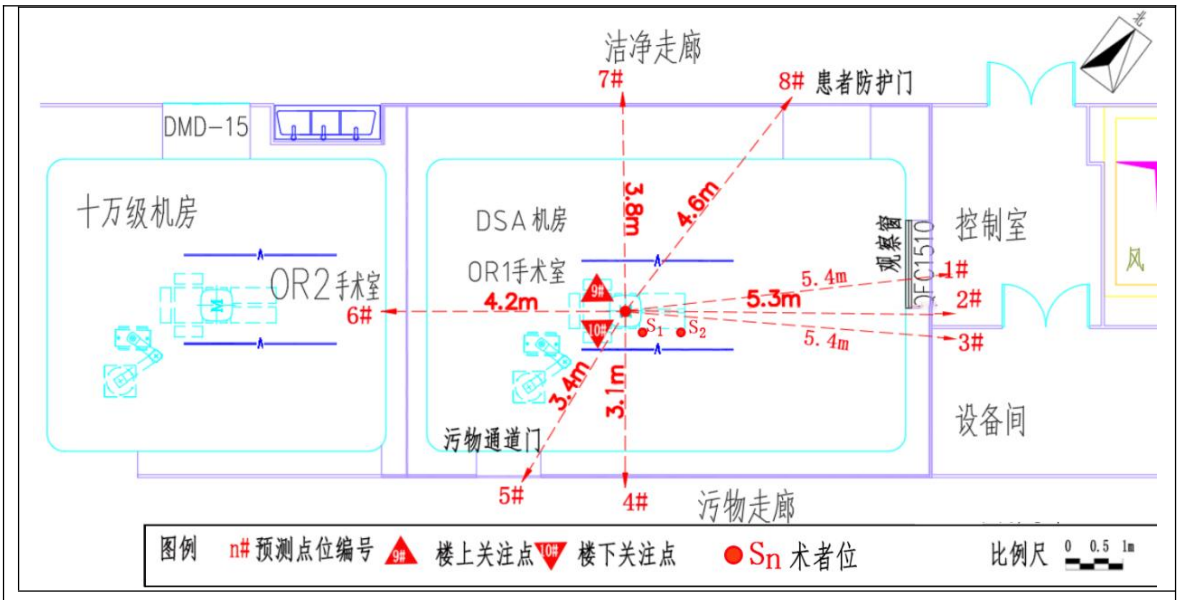


图 11-11 本项目 DSA 计算点位图

（2）关注点处散射辐射剂量率计算

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

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

式中：

Hs—关注点处散射辐射剂量率，μSv/h；

H_0—X 射线机发射率常数，$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$；根据辐射源项分析，管电压80kV 为 $5mGy \cdot m^2/（mA \cdot min）$（$300000\mu Gy \cdot m^2/(mA \cdot h)$）；

I—管电流，mA；根据建设单位提供的资料，本项目正常情况在透视、摄影模式下正常使用的常用最大管电压 80kV 下最大管电流分别取 20mA、500mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 查取。本项目常用最大管电压为 80kV，从《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中采用内插法计算散射角 90º时对应的 a 值为 0.0008；对于散射线向机房地面情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角 180º的数据，表中所列散射角中以 135º最接近 180º，故从该表中散射角为 135º、管电压

为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0016；对于散射线向机房顶面投射的情况（C 臂旋转调整角度或患者位置所致），因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角 0°的数据，表中所列散射角中以 30°最接近 0°，故从该表中散射角为 0°、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0009；

S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 256cm²；

d_0—源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目 d_0取最小值 0.45m（符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求）；

d_s—受照体至关注点的距离，m；

α、β、γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，此处散射线是指本项目常用最大管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角θ=90°）的一次散射线能量，根据《辐射防护手册（第一分册）》的能量散射公式：

$$E = \frac{E_0}{1+\frac{E_0(1-\cos\theta)}{0.511}}$$ 公式 11-17

80kV 射线经过一次散射后的能量值约为 69.2kV，保守近似取值为 70kV。根据 NCRP147 报告 TABLE C.1 查取铅在对应管电压下的α、β、γ数值，见表 11-19。

表 11-19 铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
80kV	4.04	21.69	0.7187
70 kV	5.369	23.49	0.5883

K—周围剂量当量与空气比释动能转换系数，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，表中无 70kV 对应的数据，根据 60kV 和 80kV 数据使用内插法得管电压为 70kV 时周围剂量当量与空气比释动能转换系数为 1.60Sv/Gy；

B_s——屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-15；

X—铅厚度，本项目 DSA 机房屏蔽体的铅厚度，见表 11-16；

将前述有关参数代入公式 11-16，计算透视和摄影模式下 DSA 机房外、机房内术者位处散射辐射剂量率，计算结果见表 11-20。

表 11-20 DSA 机房关注点处散射辐射剂量率计算结果

关注点位置	操作模式	H_0	*I*	*Bs*	d_0	*ds*	*Hs*

（点位编号）			μGy•m²/（mA•h）	mA	/	m	m	μSv/h
东侧观察窗外30cm处，控制室（1#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	5.4	4.83E-06
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			1.21E-04
东侧防护墙外30cm处，控制室（2#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	5.3	5.01E-06
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			1.25E-04
东防护墙外30cm处，设备间（3#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	5.4	4.83E-06
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			1.21E-04
南侧防护墙外30cm处，污物走廊（4#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	3.1	1.46E-05
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			3.66E-04
南侧污物通道门外30cm处，污物走廊（5#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	3.4	1.22E-05
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			3.04E-04
西侧防护墙外30cm处，OR2手术室（6#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	4.2	7.98E-06
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			1.99E-04
北侧防护墙外30cm处，洁净走廊（7#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	3.8	9.75E-06
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			2.44E-04
北侧患者防护门外30cm处，洁净走廊（8#）		透视模式	300000	20	5.80E-09	0.45	4.6	6.65E-06
		摄影模式	300000	500	5.80E-09			1.66E-04
楼上，3楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室，地面以上100cm处（9#）		透视模式	300000	20	4.26E-07	0.45	5.4	3.99E-04
		摄影模式	300000	500	4.26E-07			9.97E-03
楼下，1楼住院大厅，地面以上170cm处（10#）		透视模式	300000	20	1.45E-07	0.45	4.4	3.64E-04
		摄影模式	300000	500	1.45E-07			9.09E-03
第一术者位（S_1）	铅衣内	透视模式	300000	20	2.84E-04	0.45	0.5	27.54
	铅衣外	透视模式	300000	20	5.35E-03		0.5	519.24
第二术者位（S_2）	铅衣内	透视模式	300000	20	2.84E-04	0.45	1	6.88
	铅衣外	透视模式	300000	20	5.35E-03		1	129.81

注：第一、第二术者位防护为DSA设备配套铅悬挂防护屏、床侧防护帘（不低于0.5mmPb），职业人员手术时穿戴铅衣（不低于0.5mmPb）。

（3）关注点处泄漏辐射剂量率计算

DSA泄漏辐射剂量率采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-18}$$

式中：

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

B—DSA 机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式 11-15，根据 NCRP147 报告 TABLE C.1 查取铅对应于 80kV 的α、β、γ数值，见表 11-21，X 为铅厚度，本项目 DSA 机房屏蔽体的铅厚度，见表 11-16。

表 11-21 铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
80kV	4.04	21.69	0.7187

K—查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，管电压为 80kV 时周围剂量当量与空气比释动能转换系数取 1.67Sv/Gy。

将有关参数代入公式 11-18，计算透视和摄影模式下 DSA 机房外、机房内术者位处泄漏辐射剂量率，计算结果见表 11-22。

表 11-22 DSA 机房关注点处漏射线辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）		H_i	r	B	$\dot{H}_L$
		mGy/h	m	/	μSv/h
东侧观察窗外 30cm 处，控制室（1#）		1	5.4	4.15E-07	2.37E-05
东侧防护墙外 30cm 处，控制室（2#）		1	5.3	4.15E-07	2.47E-05
东防护墙外 30cm 处，设备间（3#）		1	5.4	4.15E-07	2.37E-05
南侧防护墙外 30cm 处，污物走廊（4#）		1	3.1	4.15E-07	7.21E-05
南侧污物通道门外 30cm 处，污物走廊（5#）		1	3.4	4.15E-07	5.99E-05
西侧防护墙外 30cm 处，OR2 手术室（6#）		1	4.2	4.15E-07	3.93E-05
北侧防护墙外 30cm 处，洁净走廊（7#）		1	3.8	4.15E-07	4.80E-05
北侧患者防护门外 30cm 处，洁净走廊（8#）		1	4.6	4.15E-07	3.27E-05
楼上，3 楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室，地面以上 100cm 处（9#）		1	5.85	1.05E-05	5.12E-04
楼下，1 楼住院大厅，地面以上 170cm 处（10#）		1	3.95	4.69E-06	5.02E-04
第一术者位（S_1）	铅衣内	1	0.5	1.43E-03	9.55
	铅衣外	1	0.5	1.37E-02	91.54
第二术者位	铅衣内	1	1	1.43E-03	2.39

（S_2）	铅衣外	1	1	1.37E-02	22.88

（4） 关注点处预测计算结果汇总

根据上述计算结果，对 DSA 机房内、外各关注点处的辐射剂量率理论估算结果进行汇总，见表 11-23。

表 11-23 DSA 机房关注点处辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）		使用模式	辐射剂量率（μSv/h）		合成辐射剂量率（μSv/h）
			散射线	漏射线	
东侧观察窗外 30cm 处，控制室（1#）		透视	4.83E-06	2.37E-05	2.86E-05
		摄影	1.21E-04	2.37E-05	1.44E-04
东侧防护墙外 30cm 处，控制室（2#）		透视	5.01E-06	2.47E-05	2.97E-05
		摄影	1.25E-04	2.47E-05	1.50E-04
东防护墙外 30cm 处，设备间（3#）		透视	4.83E-06	2.37E-05	2.86E-05
		摄影	1.21E-04	2.37E-05	1.44E-04
南侧防护墙外 30cm 处，污物走廊（4#）		透视	1.46E-05	7.21E-05	8.67E-05
		摄影	3.66E-04	7.21E-05	4.38E-04
南侧污物通道门外 30cm 处，污物走廊（5#）		透视	1.22E-05	5.99E-05	7.21E-05
		摄影	3.04E-04	5.99E-05	3.64E-04
西侧防护墙外 30cm 处，OR2 手术室（6#）		透视	7.98E-06	3.93E-05	4.72E-05
		摄影	1.99E-04	3.93E-05	2.39E-04
北侧防护墙外 30cm 处，洁净走廊（7#）		透视	9.75E-06	4.80E-05	5.77E-05
		摄影	2.44E-04	4.80E-05	2.92E-04
北侧患者防护门外 30cm 处，洁净走廊（8#）		透视	6.65E-06	3.27E-05	3.94E-05
		摄影	1.66E-04	3.27E-05	1.99E-04
楼上，3 楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室，地面以上 100cm 处（9#）		透视	3.99E-04	5.12E-04	9.11E-04
		摄影	9.97E-03	5.12E-04	1.05E-02
楼下，1 楼住院大厅，地面以上 170cm 处（10#）		透视	3.64E-04	5.02E-04	8.66E-04
		摄影	9.09E-03	5.02E-04	9.59E-03
第一术者位（S_1）	铅衣内	透视	27.54	9.55	37.09
	铅衣外	透视	519.24	91.54	610.78
第二术者位（S_2）	铅衣内	透视	6.88	2.39	9.27
	铅衣外	透视	129.81	22.88	152.69

由表 11-23 可知，本项目 DSA 机房四周及楼上、楼下最大周围剂量当量率为 9.11E-04μSv/h（透视模式）、0.0105μSv/h（摄影模式），满足评价提出的“DSA 机房四周屏蔽体外 30cm 处、屋顶上方楼层距”地面 100cm、楼下距下层地面 170cm 处的周围剂量当量率均不超过 2.5μSv/h”的限值。

3、职业人员及周围公众年有效剂量估算：

（1）年有效剂量估算模式：

DSA 机房周围公众、控制室职业人员年有效剂量计算采用联合国原子辐射效

应科学委员会（UNSCEAR）2000年报告附录A中的计算公式进行估算：

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \qquad \text{公式11-19}$$

式中：

H_r—关注点处辐射剂量率，μSv/h；

T—居留因子；

t—年照射时间，h，根据前文表9-5可知，本项目DSA透视和摄影年照射时间分别为66.7h和2.78h；

DSA机房内介入医生的外照射辐射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）给出的公式进行估算：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \qquad \text{公式 11-20}$$

式中：

α—系数，有甲状腺屏蔽时，取0.79，无屏蔽时，取0.84；

H_u—铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的H_p（10），单位为mSv；

β—系数，有甲状腺屏蔽时，取0.051，无屏蔽时，取0.100；

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。

（2）年有效剂量估算结果：

将有关参数代入公式11-19、公式11-20，根据表11-23的计算结果估算DSA辐射工作人员及机房周围公众年附加剂量，见表11-24。

表11-24 DSA辐射工作人员及机房周围公众年附加剂量

关注点，最近距离	射线类型	t	T	辐射剂量率	年有效剂量 H_{Er}（mSv/a）	人员类型
东侧观察窗外控制室	散射线+漏射线（透视）				<0.001	职业人员
	散射线+漏射线（摄影）					
东侧防护墙外控制室	散射线+漏射线（透视）				<0.001	职业人员
	散射线+漏射线（摄影）					
东防护墙外设备间	散射线+漏射线（透视）				<0.001	职业人员
	散射线+漏射线（摄影）					
南侧防护墙外污物走廊	散射线+漏射线（透视）				<0.001	公众
	散射线+漏射线（摄影）					

南侧污物通道门外污物走廊	散射线+漏射线（透视）	66.7		<0.001	公众
	散射线+漏射线（摄影）	2.78			
西侧防护墙外 OR2 手术室	散射线+漏射线（透视）	66.7		<0.001	公众
	散射线+漏射线（摄影）	2.78			
北侧防护墙外洁净走廊	散射线+漏射线（透视）	66.7		<0.001	公众
	散射线+漏射线（摄影）	2.78			
北侧患者防护门外洁净走廊	散射线+漏射线（透视）	66.7		<0.001	公众
	散射线+漏射线（摄影）	2.78			
楼上，3 楼接诊台、阳性接诊室和男更衣室，地面以上 100cm 处	散射线+漏射线（透视）	66.7		0.001	公众
	散射线+漏射线（摄影）	2.78			
楼下，1 楼住院大厅	散射线+漏射线（透视）	66.7		<0.001	公众
	散射线+漏射线（摄影）	2.78			
第一术者位	铅衣内	66.7		4.53	职业人员
	铅衣外	66.7			
第二术者位	铅衣内	66.7		1.13	职业人员
	铅衣外	66.7			

注：居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198）中附录 A。

由表 11-24 可知，本项目 DSA 机房外职业人员（技师）的年附加剂量最大不超过 0.001mSv，机房内介入操作第一、第二术者操作位的年有效剂量分别为 4.53mSv、1.13mSv，医院拟为本项目 DSA 配置 2 名介入医生，两名医生轮流承担第一、第二术者，每人应为(4.53+1.13)÷2≈2.83 mSv/a，手术过程中护士位于第二术者位之后，护士年附加剂量参照第二术者位最大为1.13mSv，控制室技师出束期间不进入机房，年有效剂量最大不超过 0.001mSv；机房屏蔽体外周围公众的年附加剂量<0.001mSv，职业人员和公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

对于介入手术，由于其实际工作中 DSA 透视工况及操作时间的不确定性，职业人员需要依靠佩戴个人剂量计进行跟踪性监测才能准确地测定其受照剂量的大小，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）要求进行佩戴，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，在日常检测中发现个人剂

量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。介入手术工作人员均按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）穿戴防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等），并充分利用自带的铅悬挂防护屏及床侧防护帘等做好自身防护，确保其年有效剂量满足标准限值要求。

综上所述，根据上述理论估算结果，本项目 OR1 手术室(DSA 机房)在经实体屏蔽后，对 DSA 机房外职业人员和周围公众的环境影响较小，同时在开展介入工作时，在采取有效的辐射防护措施和建设单位良好的管理情况下，职业人员的年有效剂量可以满足标准限值要求。

4、本项目放疗科和 DSA 保护目标年有效剂量叠加估算

本项目 2#医用直线加速器布置于 1#综合楼负 1 层，手术部 DSA 布置于 1#综合楼 2 层，二者中间 1 层为住院大厅及护士站，该位置需考虑 2 处放射诊疗项目场所在正常运行后装置的辐射叠加影响。根据表 11-7，2#医用直线加速器对上方公众年有效剂量最大贡献为 0.001 mSv，DSA 对下方住院大厅、护士站的公众年有效剂量最大贡献为 0.001 mSv，两处叠加后该场所公众年有效剂量最大值为 0.002 mSv（0.001 mSv+0.001 mSv）。

根据前文，评价范围内其他场所受放疗科正常运行期所致公众年有效剂量贡献为 0.078mSv（放疗科西侧弱电机房），叠加本项目 DSA 的辐射贡献后，1#综合楼内其他场所公众年有效剂量不超过 0.079mSv（0.078mSv+0.001 mSv）。综上，本项目辐射工作场所周边公众年有效剂量，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的公众剂量限值，同时满足本项目设定的公众年有效剂量管理约束值不大于 0.1 mSv 的要求。

二、放射性“三废”影响分析

（一）废 ^{60}Co 放射源

放疗科陀螺刀中 ^{60}Co 放射源经使用 6～8 年后，因其自然衰变使其活度逐渐下降至低于初始活度的一半，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换出来成为废放射源。建设单位已出具“退役放射源处置承诺书”并盖章确认，废旧放射源按照要求返回放射源生产厂家；建设单位承诺退役 ^{60}Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理，建设单位已出具退役放射源处置承诺书，详见附件 6。废

^{60}Co 源在院内仅做短期屏蔽暂存，由生产单位采用专用屏蔽容器、具备资质的运输车辆闭环转运，不在医院内长期贮存，经厂家回收处置后，放射性废物脱离医院场区，对本项目院区及周边环境不再产生辐射影响。

三、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

本项目医用直线加速器机房、DSA 机房及本项目其他III类医用射线装置（共 7 台）机房内空气受 X 射线电离作用，陀螺刀机房内空气受 X 射线、γ射线共同电离作用，会产生少量臭氧、氮氧化物废气。机房配套动力排风装置，可及时将产生的废气排出至室外大气。臭氧性质不稳定，常温下约 50 分钟即可自行分解为氧气，无持久污染性，经大气扩散稀释后，对周边大气环境影响较小。

（二）废水

本项目运营期产生的废水主要为工作人员、就诊患者产生的生活污水，以及造影检查工序产生的少量含造影剂废水。所有废水统一收集后汇入医院现有污水处理站，经标准化处理达标后排放，不存在无序排放情况，对周边水环境影响较小。

（三）固体废物

本项目运行期产生的固体废物主要包括生活垃圾、办公垃圾，各类固体废物均分类收集、分类处置，实现规范管理。

项目工作人员日常产生的生活垃圾实行分类收集，集中收集后交由城市环卫部门统一清运处理，不会对周边环境产生不利影响。

放疗过程产生的废体模、一次性床单，DSA 介入诊疗过程产生的医用废弃器具、药棉、纱布、一次性手套，以及放射诊断过程产生的一次性垫单、消毒棉签、废弃防护手套等，全部于院内医疗废物暂存间分区、密闭暂存，定期交由具备相应资质的医疗废物处置单位统一清运、集中处置，废造影剂委托有资质单位处理。

综上，本项目各类固体废物均得到分类收集、规范暂存及合规处置，贮存、转运过程中严格落实污染防控措施，无随意丢弃、随意堆放情况，固体废物对院区及周边土壤、地下水、大气环境的影响较小。

事故影响分析

一、可能产生的辐射事故

（一）放疗科医用直线加速器、陀螺刀

1、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

2、医用直线加速器、陀螺刀工作过程中，人员误留、误入机房内，导致发生误照射；

3、机房门机联锁（门灯联动）失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射。

4、停机维修期间，因操作不当，导致工作人员受到误照射。

5、陀螺刀设备使用时间较长或因外力使源包壳出现破损时，放射源泄漏，使人员或公众受到误照射。

6、陀螺刀停机维修期间的误照射。

7、陀螺刀卡源、电气系统失控事故。

8、陀螺刀倒源流程过程中的意外情况。

（二）DSA、其他III类医用射线装置（共 7 台）

1、防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，可能给工作人员和周围活动的人员造成不必要的照射。

2、属于隔室操作的射线装置在正常工作期间，人员误留或在出束期间误入机房内，导致发生误照射。

3、防护门故障，造成在出束期间防护门未关闭或关闭不严对职业人员和公众造成误照射。

4、由于机房防护门漏射线造成不必要的照射。

5、当医护人员开展 DSA 介入治疗时，未穿防护服或其他防护用品，以及违反操作规程或误操作等，造成超剂量照射。

6、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

二、事故预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下处理措施：

1、严格按照相应规章制度与操作规范，在放射治疗前，检查治疗室内无病患以外的人员停留；

2、定期进行辐射防护设施的检测与维修，杜绝因设施问题造成人员误照射；

3、加强人员培训，定期组织工作人员内部学习与考核，强化人员素质，明确操作流程，尽可能降低因人员操作失误产生事故的可能性；

4、定期对机房周围环境进行监测，保证机房周围环境辐射水平处于正常范围之内；

5、职业人员在工作时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪；

6、定期通过检测仪器检测陀螺刀周边辐射剂量率，排除设备源包壳失效等事故。

三、事故处理措施

针对本项目可能发生的辐射事故，拟采取以下处理措施：

1、发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房闭门装置失效，导致防护门无法自动关闭），立即按下急停开关，确保医用直线加速器停止工作。

2、立即向领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

3、事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

4、对发生事故的射线装置和放射源，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

依照《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》的规定，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目运行期间的最大可信事故为射线装置或放射源失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，属于一般辐射事故。

建设单位拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后 1 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，同时向卫生健康行政主管部门报告；并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成

或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政主管部门报告。

建设单位拟严格执行射线装置的操作规程及工作场所分区管理要求，定期监测辐射工作场所的辐射环境剂量率等，确保辐射工作场所安全。当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向所在单位的辐射安全负责人报告，启动辐射事故应急方案。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

本项目 ^{60}Co 为I类放射源、医用直线加速器和 DSA 为II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用I类放射源、II类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，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，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

建设单位拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，任命小组组长，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。建设单位拟根据本次新建放射诊疗项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的安全管理工作中。本项目职业人员拟由建设单位新聘用，不兼职其他放射工作，建设单位拟为本项目放疗科配备 24 名辐射工作人员，拟为本项目 DSA 配备 4 名辐射工作人员，拟配备辐射安全管理人员 1 人，以上职业人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，从事放疗科项目的职业人员参加“放射治疗”辐射安全与防护考核，从事 DSA 项目的职业人员需参加“医学 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，辐射防护管理人员需参加“辐射安全管理”辐射安全与防护考核。同时如有新增人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核，取得考核成绩单后方可上岗。

建设单位拟为其他 7 台III类射线装置配置 10 名辐射工作人员，根据生态环境部 2021 年第 9 号《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，放射科仅从事 III 类射线装置使用、销售的辐射工作人员，无需参加生态环境部统一集中考核，由使用单位自主开展培训、自主组织考核，建设单位拟对仅从事其他 7 台III类射线装置辐射工作人员自主开展培训、自主组织考核并保存考核记录，从事III类射线装置辐射工作人员通过建设单位自主考核后方可上岗。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要

求，使用放射源、射线装置的单位要“有健全操作规程、放射诊疗工作职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。建设单位拟根据本项目新建放射诊疗项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

建设单位拟制定放疗科医用直线加速器、陀螺刀，手术部 DSA、放射科III类射线装置操作规程，明确职业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。

1）放射性同位素使用登记制度

建立放射性同位素使用登记制度，对本项目陀螺刀配套的 ^{60}Co 密封放射源进行登记管理，记录放射源编码、核素种类、活度、存放位置、使用、检修、定期盘存、换源及退役相关信息，做到账物相符。

2）设备操作规程

建设单位拟针对放疗科医用直线加速器、陀螺刀，手术部 DSA、放射科III类射线装置制定专项操作规程，明确工作人员资质条件及操作防护流程，规范日常诊疗操作。

放疗科开展放疗作业前，辐射工作人员须全面检查机房屏蔽设施、门机联锁、急停按钮、警示装置等安全设施，确保所有屏蔽及安全防护措施到位，方可开机作业。作业全过程严格按照规范流程操作。

所有辐射工作人员上岗拟佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪，其中 DSA 介入医生佩戴双剂量计。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）要求，开展放射治疗期间，应有两名及以上辐射工作人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试及检修期间，控制室必须安排工作人员值守。治疗出束过程中工作人员不得擅自离岗，密切监视控制台参数、视频对讲及患者状态，出现异常立即停止出束处置。

3）放射诊疗岗位职责

建设单位拟明确管理人员、射线装置操作人员、陀螺刀设备操作人员、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。

4）辐射防护和安全保卫制度

建设单位拟结合本项目放射源及射线装置运行特点，落实辐射防护与安全保卫管理。定期检查机房门机联锁、急停按钮、工作指示灯、电离辐射警告标志、个人剂量报警仪、辐射监测仪等安全设备，及时维修或更换故障设备，确保安全装置、监测仪器始终处于正常工作状态。

各放射诊疗机房实行封闭式管理，落实门禁及钥匙专人管理制度，严禁无关人员进入机房；对陀螺刀I类放射源实行全流程闭环管理，严防放射源失控、丢失、被盗。

5）设备检修维护制度

建设单位拟建立辐射设备日常保养、定期检修及故障处置制度，对医用射线装置、^{60}Co放射源、辐射监测设备及安全防护设施开展常态化维护保养。

明确本项目辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保辐射检测装置、报警装置及急停按钮、联动装置、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等安全措施保持良好工作状态。

6）人员培训计划和健康管理制度

明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，辐射安全管理人员、辐射安全防护负责人及所有职业人员均应通过辐射安全防护考核，并应强调对培训档案的管理，做到有据可查。建设单位拟对职业人员开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

7）监测方案

①明确监测项目和频次；

②职业人员个人剂量监测数据拟建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》，在日常检测中发现个人剂量异常的，拟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；

③对发生辐射事故处理进行全程监测，初次装源或更换源委托有资质单位进行辐射环境检测；

④项目建成投入运行后，定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的单位进行监测，发现异常情况的，拟立即采取措施，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；

⑤项目建成投入运行后，委托有资质监测单位对本单位放射源、射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

8）辐射事故应急措施

建设单位拟制定完善的辐射事故应急预案，针对射线装置误照射、设备失控、陀螺刀卡源、辐射泄漏、人员超剂量照射等突发情况，建立完备的应急处置流程。发生辐射事故或异常时，立即停机断电、封锁现场、疏散人员，快速落实应急防护措施，防止事态扩大。

发生辐射事故，应当立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后一小时内向公安机关、卫生健康主管部门和生态环境主管部门报告，建设单位应积极配合主管部门开展事故调查和善后处置工作。建设单位定期开展辐射事故应急演练，持续提升应急处置能力。

辐射监测

1、辐射监测方案

建设单位拟制定《海吉亚辐射工作监测方案》和如下辐射监测方案，辐射监测计划见表 12-1：

1）委托有资质的单位对项目所在场所周围环境 X-γ 辐射剂量率进行 1 次竣工验收监测；

2）委托有资质的单位对项目所在场所周围环境 X-γ 辐射剂量率进行年度监测，监测频次：1～2 次/年；

3）定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，监测频次：1 次/3 个月；

4）委托有资质的单位对职业人员开展个人剂量监测（1 次/3 个月），建立个人剂量档案，当发现职业人员个人剂量单季度超过 1.25mSv，应立即停止工作并向辐射安全负责人报告，并调查超标原因。

建设单位辐射工作场所监测计划一览表见表 12-1。

表 12-1 辐射工作场所监测计划表

监测对象	监测项目	监测点位	监测类别	监测周期	监测方式	结果评价
放疗科 1#、2#医	X-γ辐射剂量率	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶	验收监测	竣工后 3 个月内	委托有资质单位监测	《放射治疗辐射安全与防护要

用直线加速器机房		棚、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外等	日常监测	不少于 1 次/季	自主监测	求》（HJ1198-2021）中 6.1.4 的规定
			年度监测	1～2 次/年	委托有资质单位监测	
放疗科 1#、2#陀螺刀机房	X-γ辐射剂量率	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外等	验收监测	竣工后 3 个月内	委托有资质单位监测	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.4 的规定
			日常监测	不少于 1 次/季	自主监测	
			年度监测	1～2 次/年	委托有资质单位监测	
手术部 DSA 机房	X-γ辐射剂量率	距墙体、门、窗表面 30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm、地面下方（楼下）距下方地面 170cm、操作位、电缆口外等	验收监测	竣工后 3 个月内	委托有资质单位监测	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）
			日常监测	不少于 1 次/季	自主监测	
			年度监测	1～2 次/年	委托有资质单位监测	
其他III类射线装置	X-γ辐射剂量率	距墙体、门、窗表面 30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm、地面下方（楼下）距下方地面 170cm、操作位、电缆口外等	验收监测	竣工后 3 个月内	委托有资质单位监测	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）
			日常监测	不少于 1 次/季	自主监测	
			年度监测	1～2 次/年	委托有资质单位监测	
个人剂量监测	职业性外照射个人剂量	/	/	不少于 1 次/季	委托有资质单位监测	年有效剂量不超过 5mSv

建设单位拟根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于 1 次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

建设单位拟为本项目 39 名辐射工作人员（含放疗科 24 名（包括 4 名护士）、DSA4 名、III类射线装置配置 10 名）和 1 名辐射安全管理人员配备个人剂量计，并组织职业人员进行个人剂量监测（1 次/季）和职业健康体检（1 次/2 年），拟成立的辐射安全与环境保护管理机构负责全医院职业人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放和保管。

建设单位拟在每年末编写放射源与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包

括放射源、射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年 1 月 31 日前将上一年年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

2、监测仪器情况

建设单位拟根据辐射管理要求为本项目配备辐射巡测仪 2 台（负 1 楼放疗科 1 台+楼上手术部和放射科 1 台），固定式剂量监测报警装置 4 套（放疗科 4 座机房每座机房各 1 套）和个人剂量报警仪 22 台（放疗科每台装置配 3 台，合计 12 台，手术部 DSA 拟配置 3 台，放射科拟配置 7 台，合计 22 台），用于辐射防护监测和报警。

辐射事故应急

建设单位拟按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第18号）等相关规定，制定《辐射事故应急预案》，拟成立应急救援领导小组，并明确机构的职责、联系方式等内容。制定辐射事故应急预案并明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

发生辐射事故后，建设单位立即向当地公安、生态环境部门报告，同时拟按应急预案采取相应措施。

建设单位计划每年进行1次应急演练，应急预案的相关措施得到落实。并在以后的辐射安全管理工作中根据本项目的特点，在本项目运行过程中不断完善辐射事故应急处理预案，明确人员职责和应急响应措施。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

常熟海吉亚医院有限公司根据本项目建设规划，拟在新建 1#综合楼开展放射诊疗项目，主要包括：

（一）放疗科项目：于 1#综合楼负 1 楼放疗科预留 2 座医用直线加速器机房（1#、2#）内分别新增 1 台医用直线加速器（型号：Halcyon，X 线能量：6MV，无电子线），每台医用直线加速器内含 1 套 CBCT 系统，用于放疗图像引导定位，最大管电压为 140kV，最大管电流为 80mA；于 1#综合楼负 1 楼放疗科预留 2 座陀螺刀机房（1#、2#）内分别新增 1 台 GMX-I 型陀螺旋转式钴-60 立体定向放射治疗系统（单台陀螺刀内含 22 枚 ^{60}Co 放射源，属I类源，总活度为 $3.145\times10^{14}Bq$），用于开展肿瘤的放射治疗，每台陀螺刀配套 1 套 GMX-CBCT-A 型放射治疗用锥形束 X 射线图像引导系统（最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA）。

（二）DSA 项目：于 1#综合楼 2 楼手术部 OR1 手术室预留 1 座 DSA 机房，新增 1 台 DSA（型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。

（三）放射科放射诊断项目（III类射线装置）：

于 1# 综合楼 1 楼放射科新建 1 座放射治疗模拟定位 CT 机房、1 座 DR 机房、1 座数字胃肠机机房、1 座乳腺机房，在机房内分别拟配置 1 台放射治疗模拟定位 CT 机、1 台 DR 机、1 台数字胃肠机和 1 台乳腺机用于放射诊断。

于 1#综合楼 2 楼门诊二区新建 1 座口腔全景 CT 机房和 1 座牙片机房，分别拟配置 1 台口腔全景 CT 机和 1 台牙片机用于放射诊断，另外于 1#综合楼 2 楼手术部 OR8 手术室（C 形臂机房）内拟配置 1 台移动式 C 臂机用于手术期间放射诊断。

二、实践正当性评价

本项目用于患者的放射诊疗、医疗诊断和介入治疗，项目的运行能为病人提供放射诊疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践正当性”原则。

三、项目选址及布局合理性评价

本项目为常熟海吉亚医院新建放射诊疗项目，常熟海吉亚医院位于常熟市东南街道羿家路 11 号。医院四至情况为常熟市高新区湖山路以东、春霁路以北、福盛路以西、羿家路以南。

经核查，本项目建址位于“常熟高新技术产业开发区”重点管控单元（编码 ZH32058120164），不在常熟市生态保护红线内，评价范围内均不涉及优先保护单元和一般管控单元。

本项目不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、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 HJ 19-2022 中 3.4 定义的“受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等” 生态保护目标，

辐射评价 50m 范围内为医院内部 1#综合楼，院内道路等，无居民区、学校、商住楼宇及大型商业人流密集区域等环境敏感目标（见附图 2），场地周边无儿科病房、产房等特殊人群集中的敏感场所，运行后的环境保护目标主要是从事本项目的职业人员、其他医务人员、院内病患及周围公众等。

项目外部选址条件良好、环境制约较小。本项目放疗科设置 4 座放射治疗机房，包含直线加速器及陀螺刀治疗机房，各机房均单独布设，配套独立控制室、设备间及专用迷道结构，严格实现治疗机房与操作区域物理隔离，采用隔室操作模式。控制室统一布置于机房迷道外墙外侧（陀螺刀控制室位于侧屏蔽墙外侧，已避开主射线照射区），有效避开设备有用线束直射范围，从平面布局源头规避职业人员受直射辐射影响，放疗科各辐射工作场所分区布局、屏蔽结构及操作方式均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及相关放疗机房屏蔽设计规范要求。

本项目手术部配置的DSA机房及放射科其余III类医用射线装置机房均为独立专用机房，机房布局已充分考虑上下楼层及邻室房间人员居留情况，合理优化设备有用线束投射方向，避开操作人员岗位、防护门窗、管线洞口及人员长期停留区域。各机房配套设置观察窗、视频监控、对讲系统及专用防护门，严格实现医患人流与诊疗污物物流分流，防护设施齐全、操作流程规范，整体布局与防护设计完全满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）各项规定。综合分析，本项目场址区位合规、环境敏感程度低，各辐射工作场所功能分区清晰、防护布局科学合理，设备布置、隔室操

作、线束控制、通道分流等防护措施完善，项目整体选址及布局均满足放射诊疗建设项目辐射安全防护相关规范标准，辐射环境风险整体可控，选址与布局具备充分合理性。

四、辐射环境现状评价

本项目建址及周边检测点位γ辐射空气吸收剂量率为（55.2～119）nGy/h，均位于江苏省室内环境天然γ辐射水平评价参考范围内（50.7-129.4）nGy/h；测量结果均已扣除宇宙射线响应值，属江苏省天然γ辐射正常水平。

五、环境影响分析评价

根据预测结果，在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，本项目投入运行后职业人员和公众所受辐射剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

本项目放疗科1#、2#医用直线加速器机房内和1#、2#陀螺刀机房内均设置有通风系统，通风换气次数和通风型式均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h”的相关要求。机房内通风管道穿墙孔外侧、电缆电线穿墙孔外侧以及防护门缝隙外侧的辐射剂量率在控制范围内。

本项目工作人员和部分患者产生的生活污水以及诊疗过程中产生少量含造影剂等废水，由院内污水处理站统一处理；项目工作人员日常产生的生活垃圾实行分类收集，集中收集后交由城市环卫部门统一清运处理；放疗过程产生的废体模、一次性床单，DSA介入诊疗过程产生的医用废弃器具、药棉、纱布、一次性手套等，分类收集后于院内医疗废物暂存间分区、密闭暂存，定期交由具备相应资质的医疗废物处置单位统一清运、集中处置，废造影剂委托有资质单位处理，对周围环境影响较小，废^{60}Co放射源由建设单位委托厂家回收处理并已签署承诺书，本项目各类固体废物均得到分类收集、规范暂存及合规处置，贮存、转运过程中严格落实污染防控措施，无随意丢弃、随意堆放情况，固体废物对院区及周边土壤、地下水、大气环境的影响较小。

六、辐射安全措施评价

本项目放疗科医用直线加速器机房、陀螺刀机房入口处拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，机房内外设置相应的急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，机房拟设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门拟设有防挤压功能，医用直线加速器机房、陀螺刀机房迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内，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）的相关要求；本项目手术部 DSA 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯，DSA 机房拟设闭门装置（电动推拉门拟设置曝光时关闭机房门与防夹装置）、门灯联动装置、对讲装置与观察窗，DSA 控制室及导管床侧拟设置急停按钮，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定；建设单位拟为放射科每台III类射线装置设置工作状态指示灯及电离辐射警告标志、观察与对讲设施控制室与机房之间设置铅防护观察窗、配套双向对讲装置、各射线装置控制室操作台上均设置红色紧急停止按钮、辐射巡检仪及个人剂量报警仪辐射监测设备、符合规定和数量的铅防护用品；满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

七、辐射安全管理评价

建设单位拟成立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以建设单位内部文件形式明确其管理职责。建设单位拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，拟建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。拟为本项目配备 39 名辐射工作人员（含拟为本项目放疗科配置 24 名（包括 4 名护士）、拟为本项目 DSA 配置 4 名、拟为其他III类射线装置配置 10 名，辐射安全管理人员 1 名）均须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，并通过对应专业的考核。建设单位拟对仅从事其他 7 台III类射线装置辐射工作人员自主开展培训、自主组织考核并保存考核记录。

职业人员均拟配置个人剂量计，其中 DSA 介入医生配备双剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。

八、辐射防护监测仪器评价

建设单位拟为本项目配备有辐射巡测仪2台，固定式剂量监测报警装置4套和个人剂量报警仪22台，用于辐射防护监测和报警。所有职业人员均配备个人剂量计（DSA介入医生配备双剂量计），工作时按照规定要求随身佩戴。建设单位拟定期开展辐射工作场所辐射剂量率的巡测，值班人员佩戴个人剂量报警仪，职业人员均拟按要求佩戴个人剂量计，定期进行个人剂量监测，并建立健康档案。符合要求。

综上所述，本项目选址及布局合理，拟采取的辐射安全与防护措施适当，在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该项目的运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

1、该项目运行中，职业人员应严格遵守操作规程等辐射安全制度，建设单位应加强对职业人员的操作技能培训和辐射防护安全的宣教。

2、保证各项安全措施及辐射防护设施正常运行，严格按国家有关规定及要求进行操作，确保项目运行安全可靠。

3、定期对辐射工作场所进行检查和监测，及时发现并排除事故隐患。

4、建设单位应按照江苏省生态环境厅发布的《医疗单位辐射安全管理标准化建设指南（第二版）》开展辐射安全管理相关工作；项目建成投入运行后，建设单位应对辐射安全状况开展年度评估，并于每年1月31日前将年度评估报告上传至国家核技术利用辐射安全申报系统。

5、取得本项目环评批复、项目建成后，应及时申领辐射安全许可证，并按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，在3个月内完成竣工环境保护验收工作。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	管理机构：建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
	管理制度：制定《医用直线加速器操作规程》《陀螺刀操作规程》《DSA 操作规程》《放疗科医师职责》《放疗技师职责》《放疗科物理师职责》《放疗科维修人员岗位职责》《辐射安全和放射防护责任制度》《安全装置定期检修与维护制度》《射线装置使用登记台账管理制度》《辐射防护知识培训制度》《监测方案》《辐射事故应急预案》及放射科辐射安全管理制度文件等。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射防护措施	屏蔽措施：放疗科 1#、2#医用直线加速器机房，放疗科 1#、2#陀螺刀四侧墙体及顶面采用砼结构进行辐射防护；手术部 DSA 机房四侧墙体采用硫酸钡、顶面、地面采用砼加硫酸钡进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。放射科III类射线装置机房四周墙体采用实心砖+硫酸钡水泥、屋顶和地面采用混凝土+硫酸钡水泥、各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，详见表 10-3～10-7 及表 10-9	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求。	175
辐射安全措施	放疗科医用直线加速器机房、陀螺刀机房入口处设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门机联锁装置，机房内外设置相应的急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，机房设置从室内开启治疗机房门的紧急开门装置，防护门设有防挤压功能，机房迷道的内入口处设置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	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）的相关要求。	24
	本项目 DSA 机房入口处设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯，DSA 机房设闭门装置（电动推拉门设置曝光时关闭机房门与防夹装置）、门灯联动装置、对讲装置与观察窗，DSA 控制室及治疗床侧设置急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。	4
	放射科III类射线装置机房设置工作状态指示灯及电离辐射警告标志、观察与对讲设施控制室与机房之间设置铅防护观察窗，配套双向对讲装置，各射线装置控制室操作台上均设置红色紧急停止按钮，辐射巡检仪及个人剂量报警仪辐射监测设备，符合规定和数量的铅防护用品。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。	18

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
	所有职业人员均配备个人剂量计（DSA 介入医生双剂量计），工作时按规范要求随身佩戴。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的相关要求	3
人员配备	辐射安全管理人员和职业人员参加辐射安全与防护培训，考核合格。辐射安全管理人员、放疗科和 DSA 职业人员分别通过“辐射安全管理”“放射治疗”“介入放射学”专业考核。放射科仅从事 III 类射线装置使用的辐射工作人员自主开展培训、自主组织考核并保存考核记录。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	1
	职业人员在上岗前佩戴个人剂量计（DSA 介入医生为双剂量计），并定期送检（1 次/季），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	职业人员定期（不少于 2 年 1 次）进行职业健康体检，并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	配备辐射巡测仪 2 台（放疗科合计 1 台、DSA 和放射科共用 1 台）。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求	17
	配备固定式剂量监测报警装置 4 套（为放疗科 4 台设备每台设备各配置 1 套）。		
	配备个人剂量报警仪 22 台（放疗科每台装置配 3 台，合计 12 台，手术部 DSA 配置 3 台，放射科配置 7 台，合计 22 台）。		
三废治理措施	退役 ^{60}Co 放射源由生产厂家回收处理，建设单位与放射源厂家签署退役 ^{60}Co 放射源回收协议	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号），《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相应规定	/
	放疗科：1#、2#医用直线加速器机房，1#、2#陀螺刀机房内设置强制排风系统，采用全排全送，进风口设在各机房治疗室内上方，排风口设在各机房治疗室内下部，进风口与排风口位置对角设置，通风换气次数不小于 4 次/h；手术部 DSA 和放射科III类射线装置均设置有效通风系统。	放疗科项目满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关通风要求，手术部 DSA 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。	30
总计	/	/	272

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见： 公章 经办人　　年　月　日
审批意见 公章 经办人　　年　月　日