

核技术利用建设项目

柳州市工人医院鱼峰山院区医用血管造影 X 射线机 (DSA) 与核素钷-90 微球应用项目

环境影响报告表

(公示本)



二〇二四年十二月

核技术利用建设项目

柳州市工人医院鱼峰山院区医用血管造影 X 射线机 (DSA) 与核素钷-90 微球应用项目
环境影响报告表

(公示本)



建设单位名称 (盖章): 柳州市工人医院

建设单位法人代表 (签名或签章): 黄海欣



通讯地址: 柳州市柳南区和平路 156 号

邮政编码: 545007

联系人: ***

电子邮箱: *****

联系电话: *****

目 录

| | |
|-----------------------|-----|
| 表 1 项目基本情况 | 1 |
| 表 2 放射源 | 34 |
| 表 3 拟使用非密封放射性物质 | 34 |
| 表 4 使用射线装置 | 35 |
| 表 5 废弃物 | 36 |
| 表 6 评价依据 | 37 |
| 表 7 保护目标与评价标准 | 40 |
| 表 8 环境质量和辐射现状 | 47 |
| 表 9 项目工程分析与源项 | 56 |
| 表 10 辐射安全与防护 | 74 |
| 表 11 环境影响分析 | 93 |
| 表 12 辐射安全管理 | 129 |
| 表 13 结论与建议 | 135 |
| 表 14 审批 | 140 |

附件:

附件 1 委托书

附件 2 项目登记备案证明

附件 3 辐射安全许可证

附件 4 依托核医学项目的环评批复与竣工验收批复

附件 5 辐射工作人员考核合格证

附件 6 个人剂量监测报告

附件 7 辐射现状监测报告与核医学科 SPECT 场所检测报告

附件 8 医院辐射相关管理制度

附件 9 医院辐射事故应急预案

表 1 项目基本情况

| | | | | | |
|-------------|---|--|---|-----------------------|-------|
| 建设项目名称 | | 柳州市工人医院鱼峰山院区医用血管造影 X 射线机 (DSA) 与核素钷-90 微球应用项目 | | | |
| 建设单位 | | 柳州市工人医院 | | | |
| 法人代表 | 黄海欣 | 联系人 | *** | 联系电话 | ***** |
| 注册地址 | | 柳州市柳南区和平路 156 号、柳州市鱼峰区柳石路 1 号、柳州市柳南区红岩路四区 47 号 | | | |
| 项目建设地点 | | 柳州市鱼峰区柳石路 1 号柳州市工人医院鱼峰山院区 | | | |
| 立项审批部门 | | *** | | 批准文号 | ***** |
| 建设项目总投资(万元) | 380 | 项目环保投资(万元) | 66 | 投资比例(环保投资/总投资) | 17.4% |
| 项目性质 | <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它 | | | 占地面积(m ²) | 530 |
| 应用类型 | 放射源 | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类 | | |
| | 非密封放射性物质 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | / | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙 | | |
| | 射线装置 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 | | |
| | 其他 | --- | | | |

1.1 建设单位概况

柳州市工人医院是国家三级甲等综合性公立医院，始建于 1933 年，是国家卫健委脑卒中筛查基地医院、全国第五批中国胸痛中心、中华骨髓库非血缘定点采集医院、中华骨髓库非血缘移植医院、国际 (SOS) 救援中心合作医院。拥有自治区级重点专科 (含重点

建设) 8 个、重点学科 2 个, 广西妇幼健康服务重点建设专科 2 个。拥有广西骨科生物材料研发与临床转化重点实验室、柳州市肿瘤疾病与防治重点实验室、柳州市结直肠癌精准检测与临床转化重点实验室三个重点实验室; 柳州市妇科肿瘤近距离治疗智能引导系统工程技术研究中心、柳州市骨科生物材料工程技术研究中心两个工程技术研究中心。医院现执业登记为一院三地址(三区), 由柳州市和平路 156 号(主院区)、柳州市柳石路 1 号(鱼峰山院区)与柳州市红岩路四区 47 号(西院区)组成。

1.2 项目由来和目的

医院为了助推科室临床发展, 拓展医院业务范围, 满足肿瘤治疗需求, 结合医院实际情况, 医院拟在鱼峰山院区新增配一台医用血管造影 X 射线机(以下简称 DSA), 用于介入诊疗; 为满足临床肿瘤治疗与科研教学的需要, 医院拟扩建使用核素钇-90 (^{90}Y) 微球, 用于开展 ^{90}Y 微球介入治疗肝癌项目。

根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》(环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号), 项目拟购置的医用血管造影 X 射线机属于 II 类射线装置。项目拟开展钇-90 微球治疗项目, 用于肝癌的选择性体内放射治疗, 属于乙级非密封放射性工作场所。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版)规定, 第 172 条“核技术利用建设项目”中“乙、丙级非密封放射性物质工作场所、使用 II 类射线装置”的规定, 本项目需编制环境影响评价报告表, 办理辐射环境影响评价审批手续。

建设单位委托广西辐卫安环保科技有限公司承担该项目的环评工作。环评单位接受委托后, 随即组织专业人员开展现场踏勘、资料收集及整理分析等工作, 结合工程的具体情况以及辐射危害特征, 按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ/T10.1-2016)的要求, 编制完成了该项目环境影响报告表。

1.3 项目建设概况及规模

- (1) 项目名称: 柳州市工人医院鱼峰山院区医用血管造影 X 射线机 (DSA) 与核素钇-90 微球应用项目
- (2) 建设单位: 柳州市工人医院
- (3) 建设地点: 鱼峰山院区 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室、鱼峰山院区特殊医技楼 (8 号楼) 核医学科 2 楼与 3 楼、鱼峰山院区 5 号楼 7 楼、8 楼专用病房。

(4) 建设内容：①新建医用血管造影 X 射线机 (DSA) 应用项目：医院拟在鱼峰山院区 5 号楼一楼新建介入治疗室 DSA1 室，包括其控制室、辅助配套设施等，新增配备 1 台 DSA。本项目 DSA 建成后，预计每年完成约 3000 台介入手术。

②扩建核素 ^{90}Y 微球治疗应用项目：拟依托鱼峰山院区现有的 8 号楼核医学科 2 楼储源室储存 ^{90}Y 、依托核医学科 3 楼核素治疗室里面的原 ^{131}I 分装柜进行 ^{90}Y 分装测活、依托核医学科 3 楼 ECT 检查室的 SPECT 进行扫描与剂量学评估、依托核医学科 3 楼放射性固体废物储存室进行固体废物储存，以及 5 号楼 1 楼新建介入治疗室 DSA1 室新增开展 ^{90}Y 微球手术，依托 5 号楼 7 楼、8 楼专用病房（其中 7 楼专用病房拟为护士办公室改建，8 楼专用病房为原有籽粒植入病房）， ^{90}Y 微球手术每天最多治疗 2 个病人，每年最多治疗 200 例。

在 ^{90}Y 微球手术前 7~14 天时，需先在 DSA 介入条件下对患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，模拟 ^{90}Y 在体内的分布，然后进行 SPECT 扫描，判断患者是否适合 ^{90}Y 治疗。医院使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物用于模拟 ^{90}Y 微球在体内的分布，每个患者使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的最大量约为 $1.85\text{E}+8\text{Bq}$ (5mCi)，依托现有的核医学科 3 楼 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 操作场所进行药物存储和抽取工作，置于铅罐中后由辐射工作人员按规定运送至 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室，在 DSA1 室进行介入注射，然后回到核医学科 3 楼接受 SPECT 的扫描检查，满足 ^{90}Y 微球手术条件后方进行 ^{90}Y 微球手术。项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用量很小，无需申请增加 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用量，可依托原有的核医学科许可量，核医学科已许可使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效最大操作量为 $1.85\text{E}+7\text{Bq}$ (500mCi)，现有核医学科场所均已开展环境影响评价，且已通过竣工环保验收。

本项目使用的 ^{90}Y 微球，每瓶 ^{90}Y 微球活度为 3GBq ，一般每位患者用量为 $1.5\text{GBq}\sim 2.5\text{GBq}$ 。本项目使用的 ^{90}Y 微球来源为外购，药物到达医院后直接送至 8 号楼核医学科 3 楼分装室进行药物存储和抽取工作，然后置于铅罐中由辐射工作人员送至 5 号住院楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室，进行 ^{90}Y 微球治疗手术，手术后由工作人员护送患者到 8 号楼核医学科 3 楼 ECT 检查室再次接受 SPECT 的扫描检查，检查完后在 5 号楼 7 楼或 8 楼专用病房进行医学留观 1~2 天后出院。

本次环评规模具体为：新增使用一台 DSA (II 类射线装置)，在已许可的 1 处乙级非密封放射性工作场所 (核医学科) 扩建开展 ^{90}Y 微球，仍属于乙级非密封放射性工作场所，此外在 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室使用增加 1 处乙级非密封放射性工作场所。

本项目新建的 DSA 辐射项目内容见表 1-1；本项目拟扩建使用的核素见表 1-2，应用情况见表 1-3。

表 1-1 本次拟新建使用的射线装置基本信息一览表

| 名称 | 型号 | 类别 | 数量(台) | 主要参数 | 使用位置 |
|--------------------|------------------|-----|-------|--|----------------------------|
| 医用血管造影 X 射线机 (DSA) | Optima IGS Venus | II类 | 1 | 最大管电压：125kV， 最大管电流：1000mA 球管数量：单球管 | 鱼峰山院区 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室 |

表 1-2 本项目拟使用核素特性一览表

| 核素 | 半衰期 | 物理状态 | 毒性 | 衰变模式 | 辐射类型 | 射线能量 (MeV) | 用途 |
|-------------------|-------|------|----|----------------|------|-----------------------|----|
| ⁹⁰ Y | 2.67d | 悬浮液 | 中毒 | β ⁻ | β 射线 | 最大：2.284 平均：0.9337 | 治疗 |
| ^{99m} Tc | 6.02h | 液态 | 低毒 | 同质异能跃迁 | γ 射线 | 0.143 | 诊断 |

表 1-3 拟使用非密封放射性物质应用情况一览表

| 核素 | 最大用药量 (Bq) | 日最大操作量 (Bq) | 日等效最大操作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 工作场所 | 操作方式 |
|-------------------|------------|-------------|---------------|------------|------------------------|--------|
| ⁹⁰ Y | 3.0E+09/瓶 | 6.0E+09 | 6.0E+07 | 6.0E+11 | 鱼峰山院区核医学科 | 抽取活度测定 |
| ⁹⁰ Y | 2.5E+09/人 | 5.0E+09 | 5.0E+07 | 5.0E+11 | 鱼峰山院区5号楼1楼介入治疗室 DSA1 室 | 介入注射 |
| ^{99m} Tc | 1.85E+08/人 | 3.7E+08 | 3.7E+05 | 3.7E+11 | 鱼峰山院区核医学科 | 抽取活度测定 |
| ^{99m} Tc | 1.85E+08/人 | 3.7E+08 | 3.7E+05 | 3.7E+11 | 鱼峰山院区5号楼1楼介入治疗室 DSA1 室 | 介入注射 |

注：项目依托鱼峰山院区核医学科原许可的^{99m}Tc，^{99m}Tc原许可的日等效最大操作量为1.85E+07Bq，年最大用量为8.88E+11Bq，本项目不增加^{99m}Tc用量。

1.4 区域环境及保护目标

1.4.1 地理位置

柳州市工人医院鱼峰山院区位于柳州市柳石路 1 号，本项目位于鱼峰山院区，为医院建设用地，根据现场勘查，医院东侧为教师公寓，东南侧为柳州市第六中学，西侧为柳石路，隔路为居民区；西北侧为医院宿舍区，东北侧为乐群路，隔路居民区。医院地理位置见图 1-1。

本项目 DSA 位于院内 5 号楼（地下 1 层，地上 14 层建筑）一楼东侧，留观病房位

于5号楼7楼与8楼东北侧，本项目用到的核医学科用房位于8号楼（地上3层建筑）2楼与3楼；本项目在医院总平图中位置见图1-2。



图 1-1 项目地理位置图

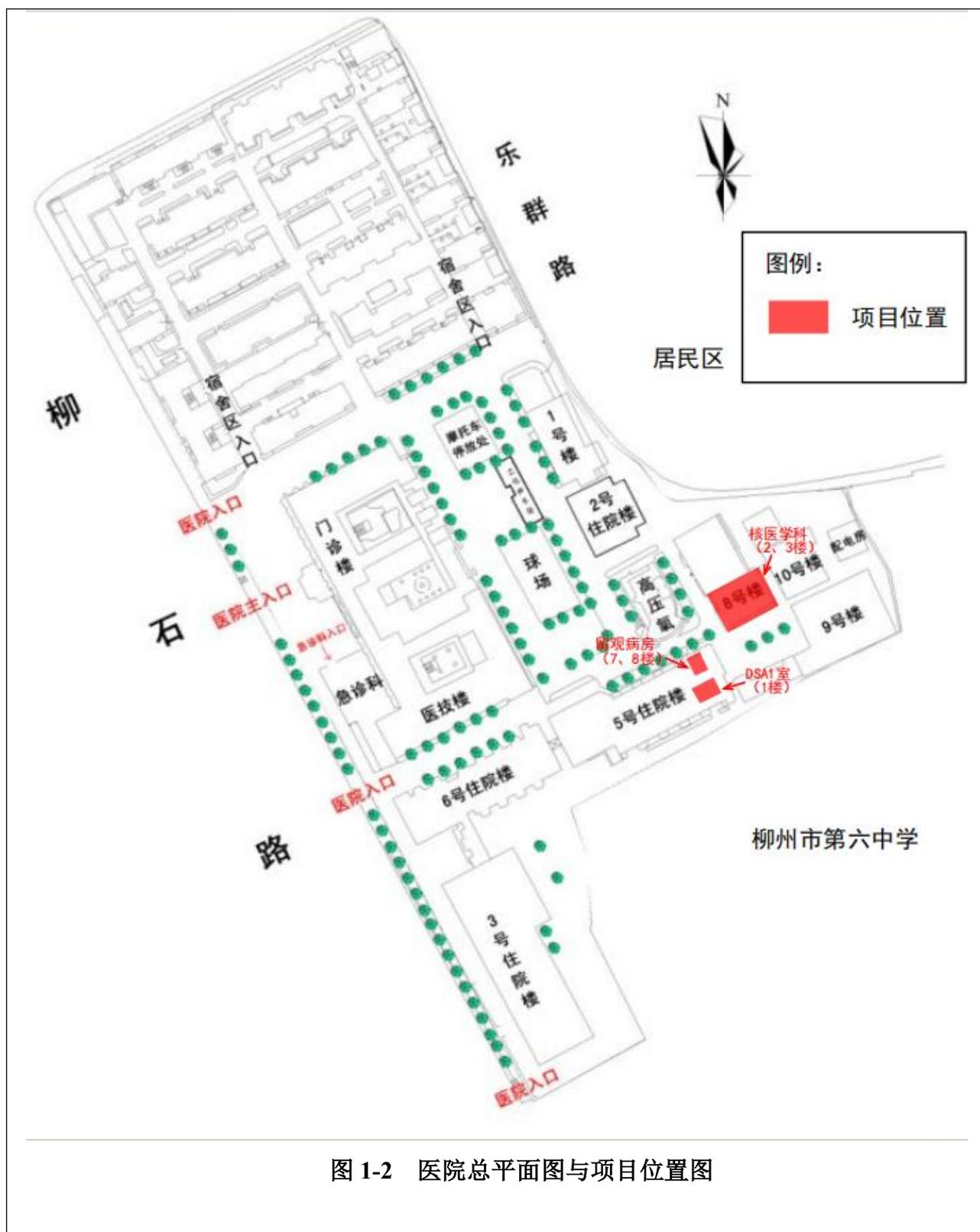


图 1-2 医院总平面图与项目位置图

1.4.2 项目周围环境概况

(1) 本项目涉及用房所在位置与外部建筑物环境关系

本项目拟建 DSA 机房与专用病房均位于医院 5 号楼（14F）东侧。核医学科位于院内 8 号楼。医院总平面布局图见图 1-2。

以 DSA 机房与专用病房场界为起点四周 50m 范围内，拟建项目东侧约 19m 为医院 9 号楼（4F），南侧约 17m 为六中教学楼（5F）；西侧为 5 号楼内部用房，西北侧约 8m 为高压氧舱楼（1F）与医院停车场，西北侧隔高压氧舱楼约 42m 为医院 2 号住院楼（7F），北侧约 8m 为 8 号楼（3F），东北侧约 33m 为 10 号楼（3F），东北侧约 45m 为配电房。

以核医学科场界为起点四周 50m 范围内，核医学科东侧相邻 10 号楼，东侧隔 10 号楼约 19m 为配电房，东南侧约 5m 为 9 号楼，南侧约 8m 为 5 号住院楼，南侧约 32m 为六中教学楼，西侧约 9m 为高压氧舱楼，西北侧约 19m 为 2 号住院楼，北侧约 15m 为院外乐群路，隔路约 32m 为居民区。

拟建项目外部关系环境卫星图见图 1-3，项目周围环境现状详见图 1-4。





DSA1 室与专用病房所在楼（5 号楼）



核医学所在楼（8 号楼）



DSA1 室拟建位置 1



DSA1 室拟建位置 2



DSA1 室拟建位置 3



DSA1 室拟建位置 4



ECT 检查室



核素治疗室 (^{90}Y 分装室)



储源室



7楼留观病房拟建位置



8楼留观病房所在位置



六中教学楼（5号楼南侧）



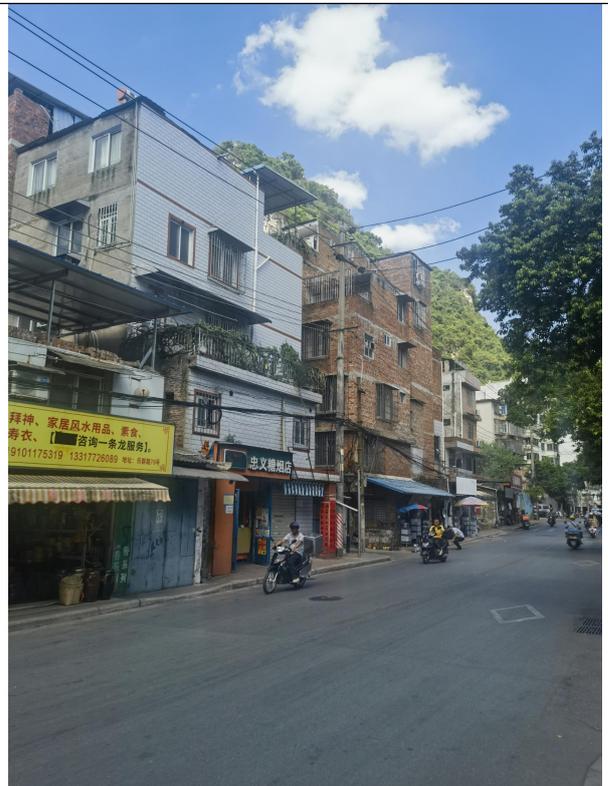
高压氧仓楼（5号楼北侧、8号楼东侧）



9号楼（5号楼东侧、8号楼南侧）



院内停车场（5号楼西北侧）



院外道路与居民区（8号楼北侧）



2号住院楼（8号楼西北侧）



配电房（8号楼东侧）

图 1-4 项目周边环境现状照片图

(2) 项目机房四至环境关系

5号楼为地下1层、地上14层建筑，DSA1室拟设置在5号楼1楼东南角；专用防护病房拟设置于5号楼7楼与8楼东北角，项目涉及8号楼原有的核医学用房，⁹⁰Y储源室拟设置于核医学科2楼，⁹⁰Y分装拟使用核医学科3楼核素治疗室内的原¹³¹I分装柜进行分装，ECT检查室位于核医学科3楼。各场所周围环境关系详见表1-4，各场所平面布置图见图1-5至图1-15。

表 1-4 本项目主要用房相邻周边情况

| 房间名称 | 周边环境 | | | | | |
|----------|---------|----------|-----|--------------|------------|---------------|
| | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 楼上 | 楼下 |
| DSA1室 | 楼梯间/设备间 | 配电室/男更衣室 | 操作间 | 污物间/操作间/洁净通道 | 光动力治疗室/换药室 | 水箱机房 |
| 8楼防护专用病房 | 电梯厅 | 走廊 | 病房 | 悬空 | 肿瘤三病区病房 | 护士值班室（拟建防护病房） |
| 7楼防护专用病房 | 电梯厅 | 走廊 | 病房 | 悬空 | 防护专用病房 | 全科医学科病房 |

| | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|--------|------------|----|----------------|
| 储源室 | 悬空 | 通道 | 直加机房上空 | 悬空 | 阳台 | 配电房/水冷机房/直加设备间 |
| 核素治疗室 (⁹⁰ Y分装室) | 治疗操作室 | ^{99m} Tc分装/注射室 | 通道 | 放射性固体废物储存室 | 天台 | PET/CT注射候诊室 |
| 核医学科 ECT室 | 患者通道 | 医生通道 | 控制室 | 配电室/甲功能室 | 天台 | PET/CT机房 |

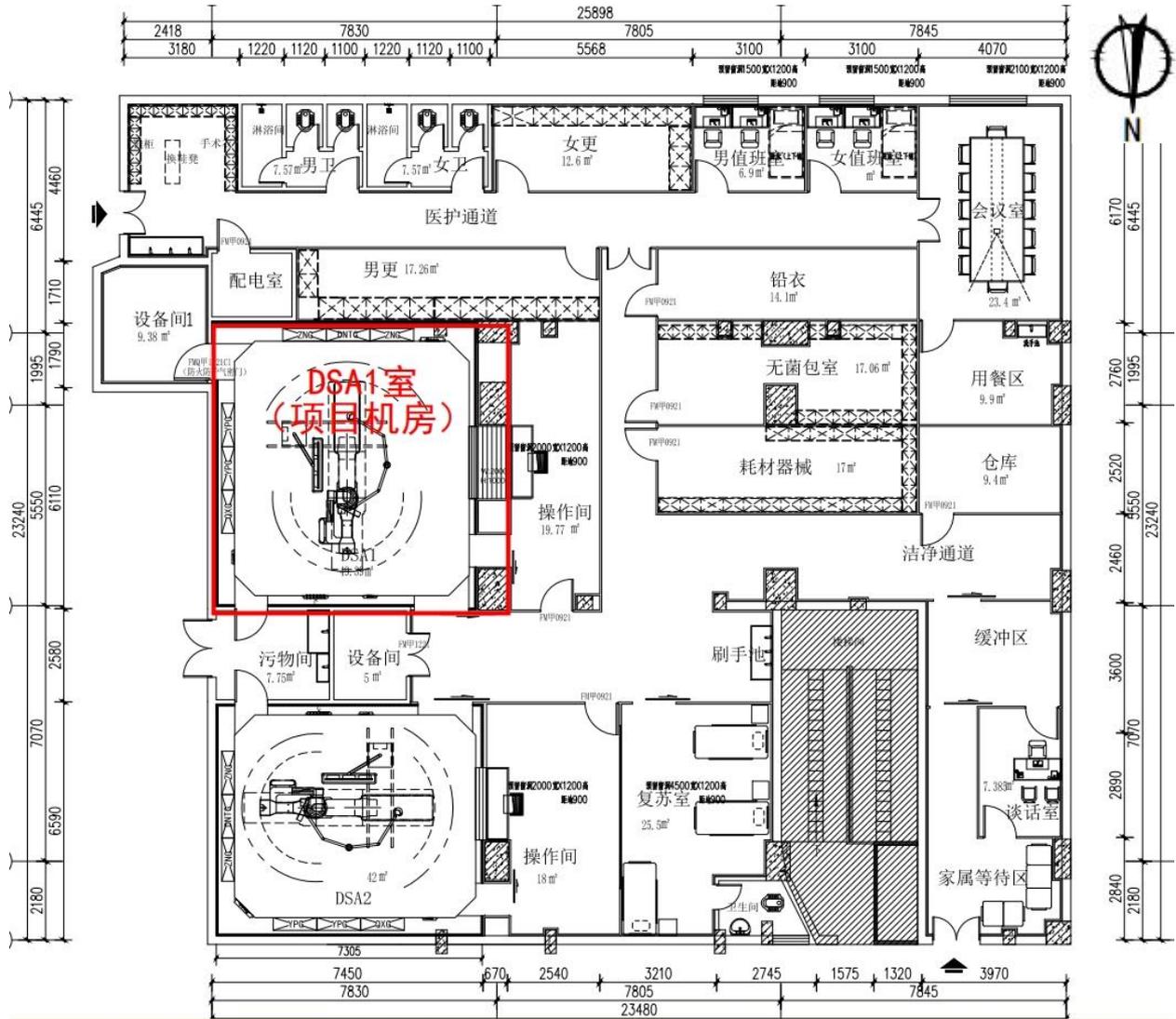
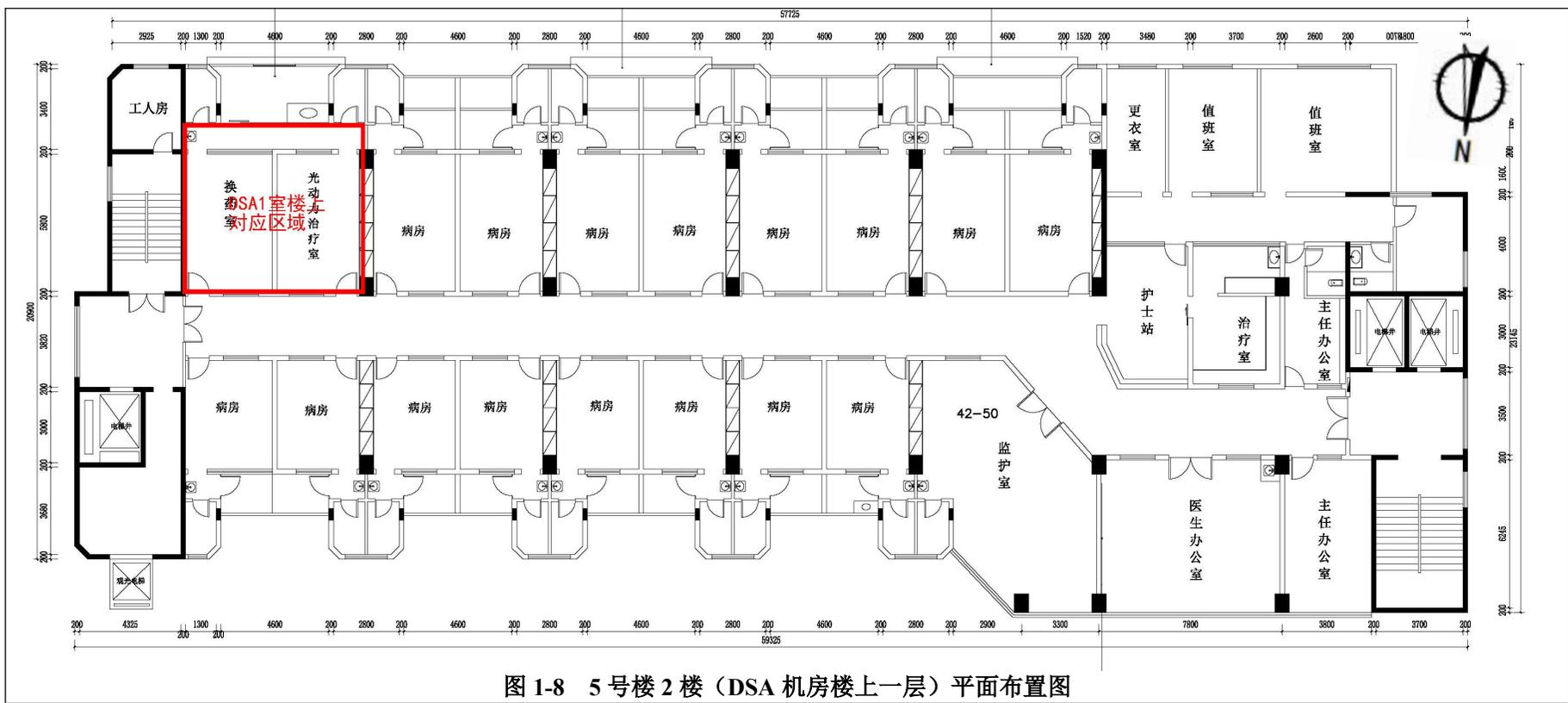


图 1-5 5 号楼 1 楼介入治疗室平面布置图



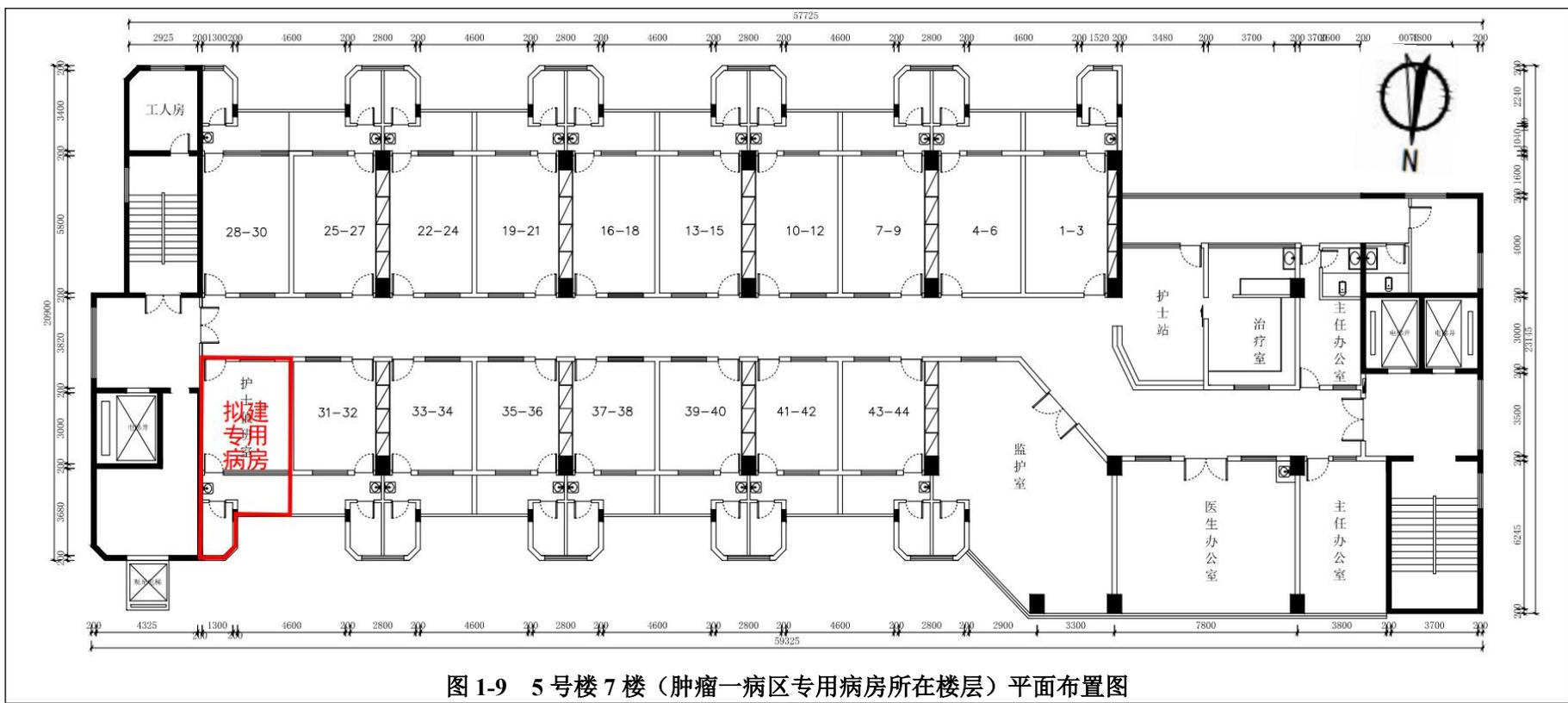


图 1-9 5号楼 7楼（肿瘤一病区专用病房所在楼层）平面布置图

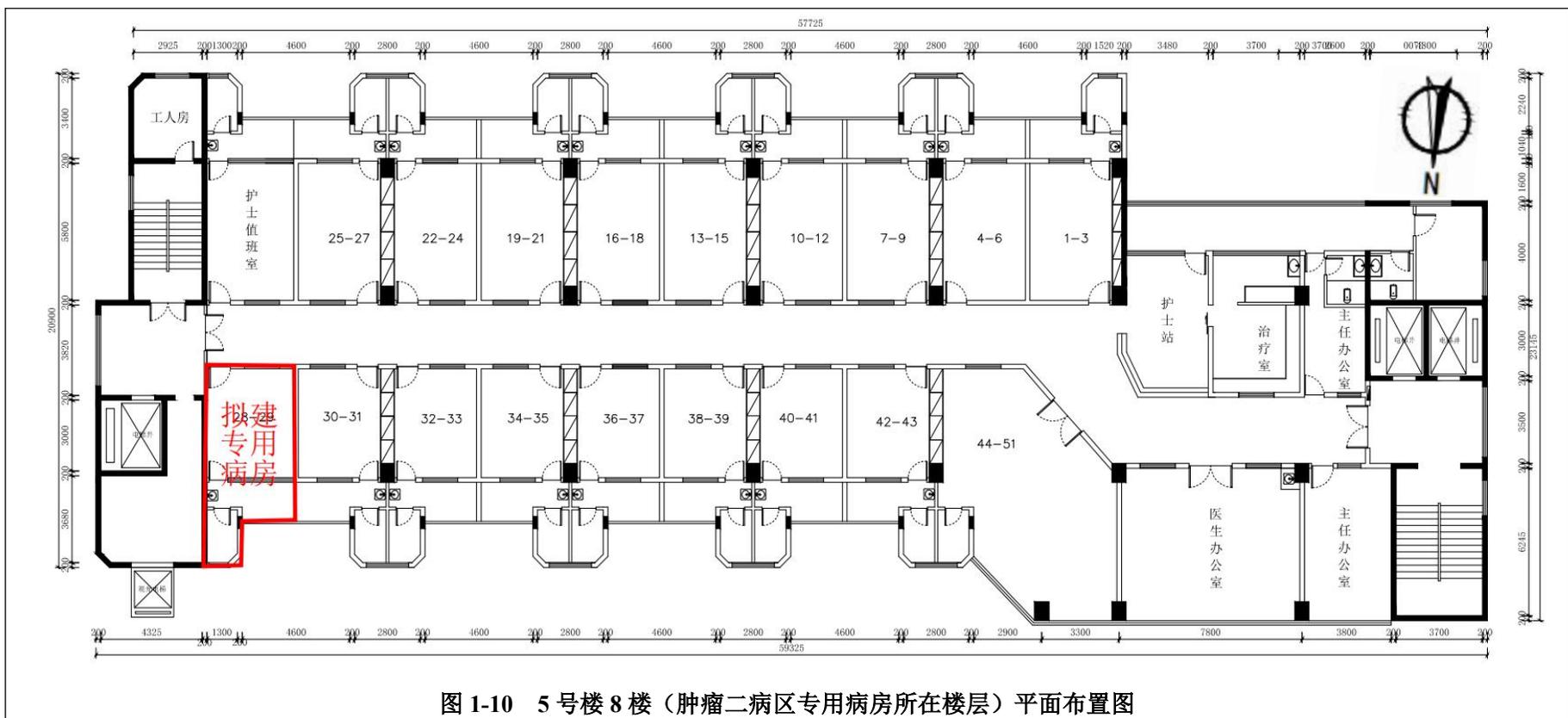
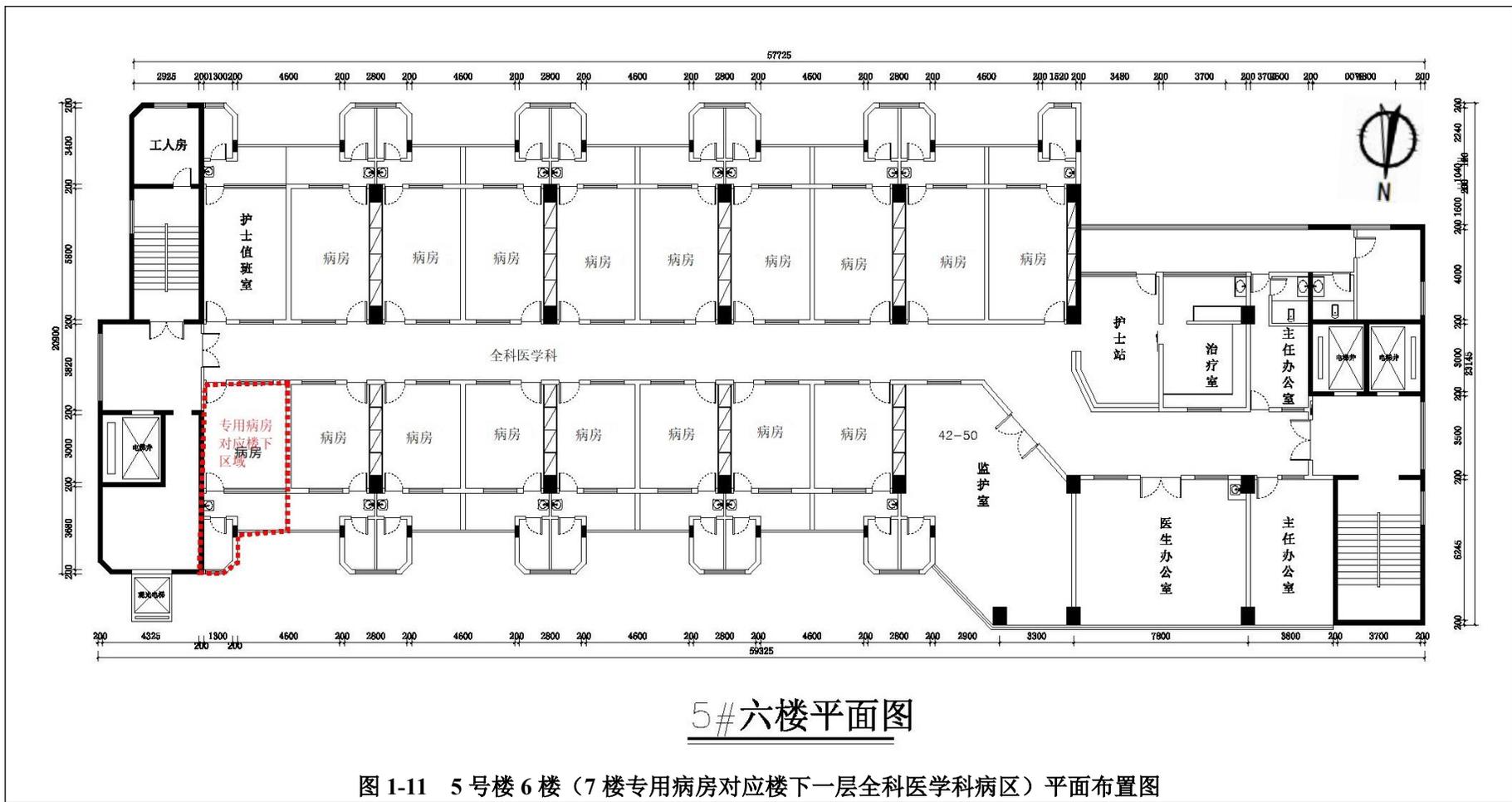
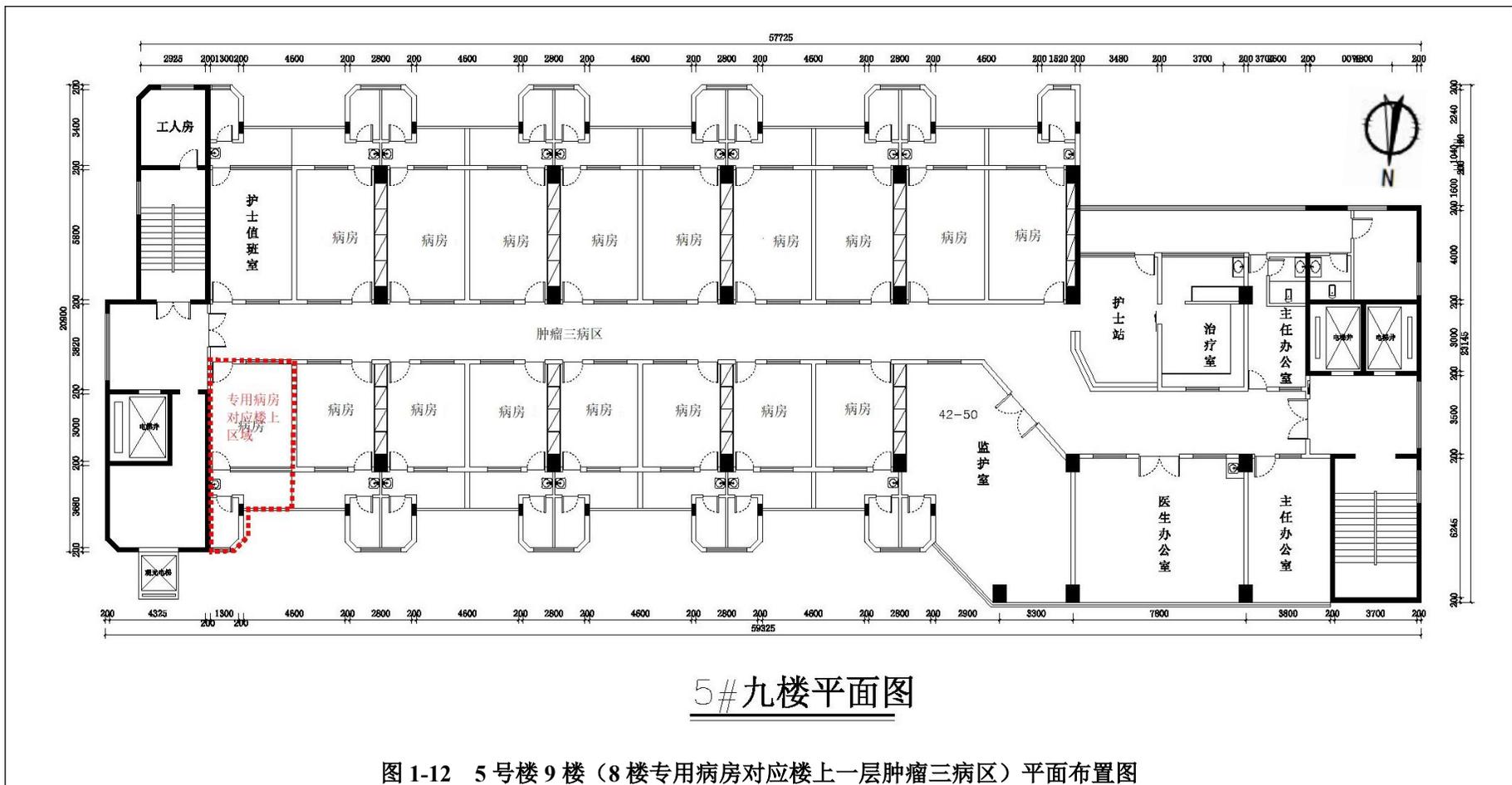


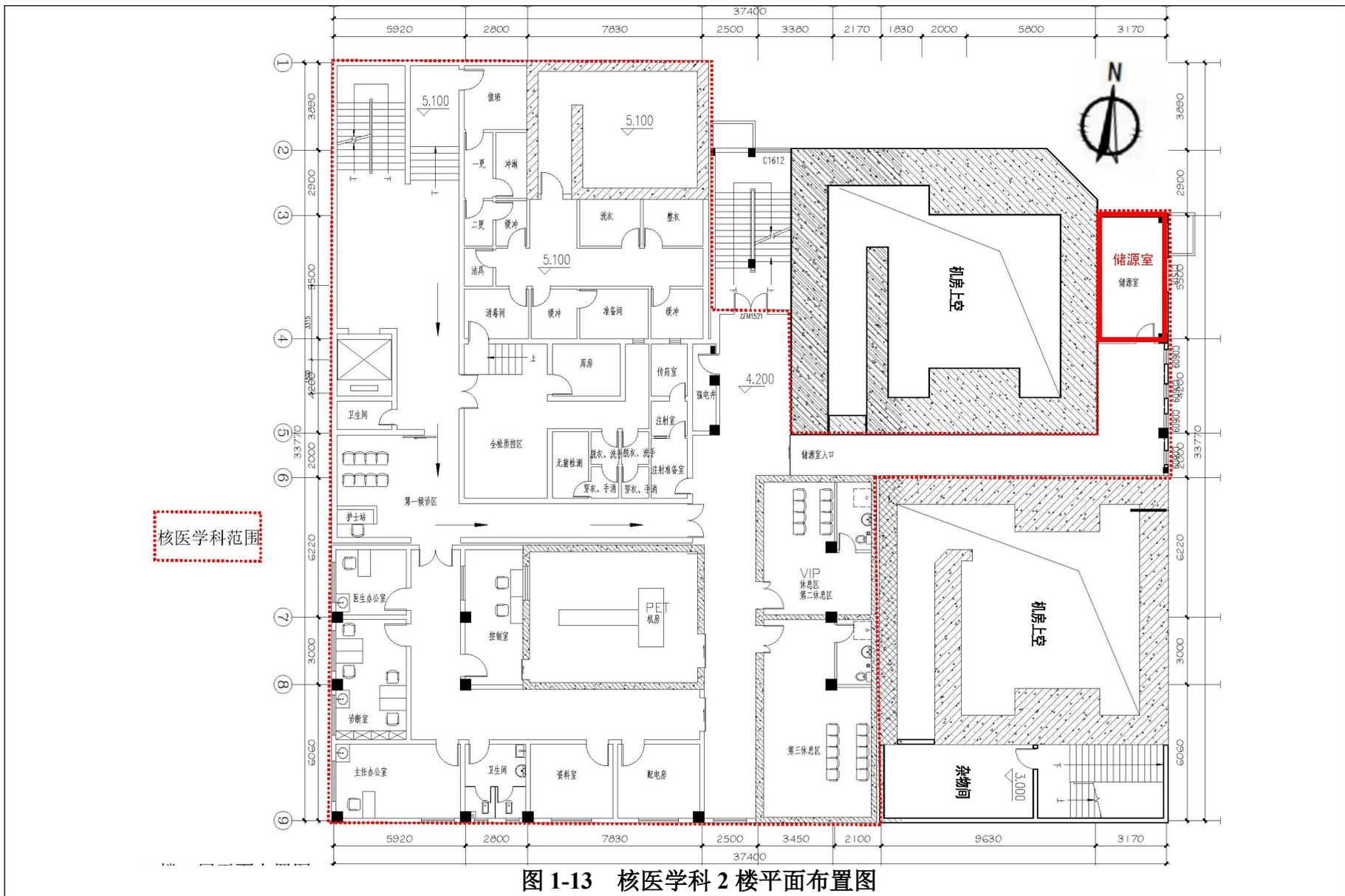
图 1-10 5 号楼 8 楼（肿瘤二病区专用病房所在楼层）平面布置图

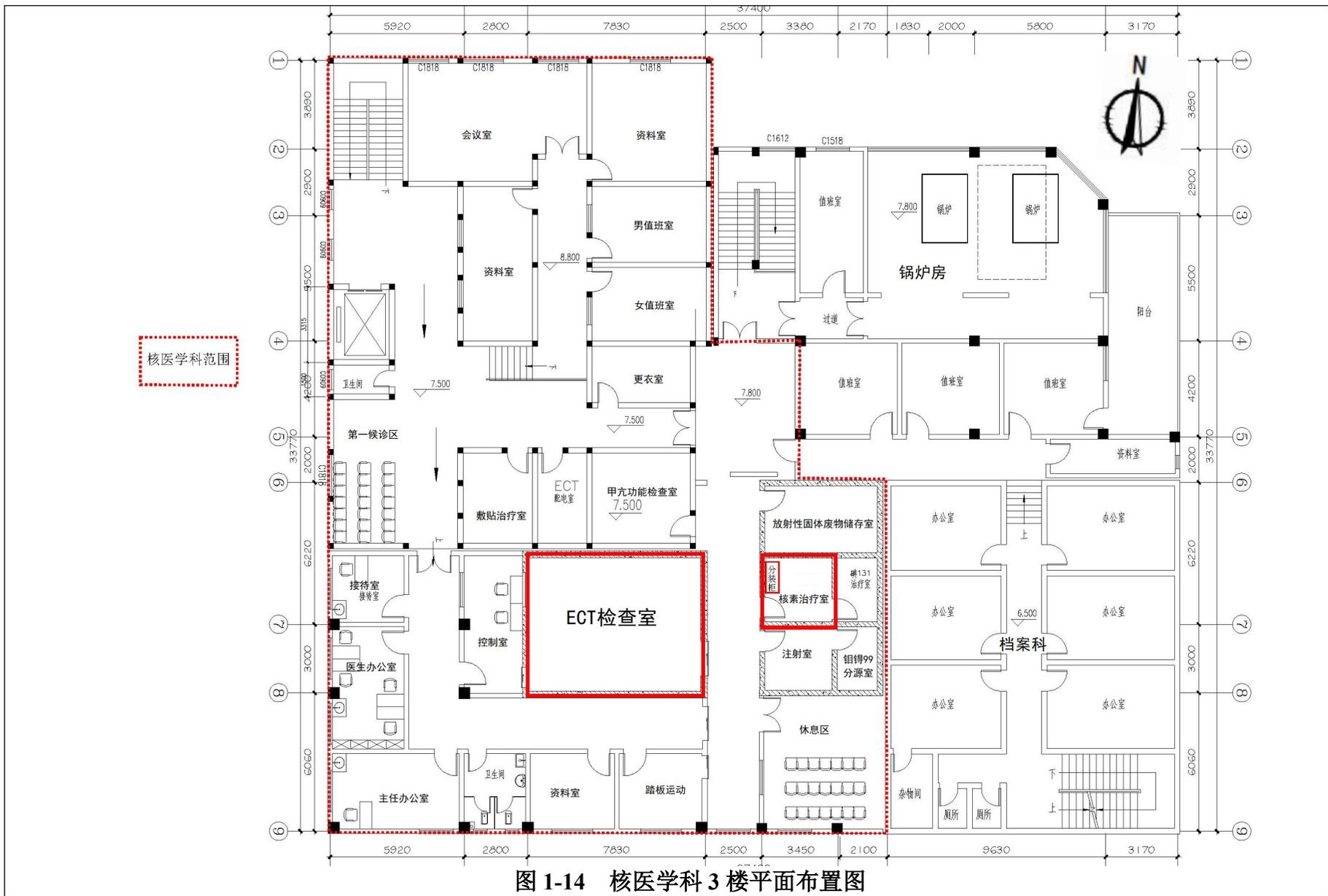


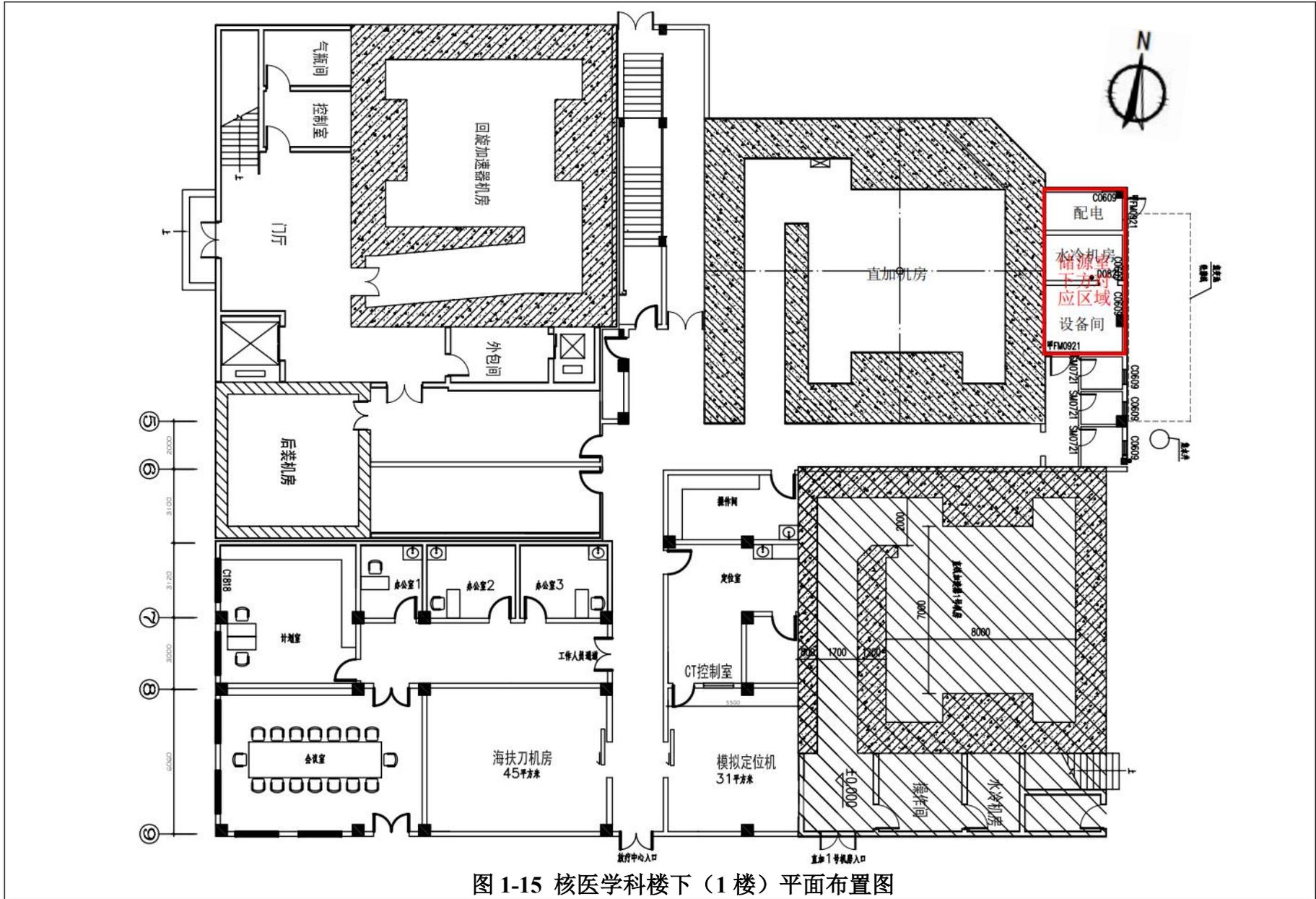


5#九楼平面图

图 1-12 5 号楼 9 楼（8 楼专用病房对应楼上一层肿瘤三病区）平面布置图







1.4.3 项目选址合理性

项目拟建的介入治疗室 DSA1 室所处位置相对独立，非工作人员引导不能随意进入，采取了有效的物理屏蔽，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。运行期间建筑物内辐射水平维持在当地天然本底范围，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本项目 DSA 选址合理。

项目依托核医学科高活区用房均设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，且将其场所划分为控制区，无关人员不得进入。以上场所均独立，且采取划分区域等措施后，本项目不会产生交叉污染。核医学科已通过环境影响评价，选址合理。

本项目介入治疗室 DSA1 室作为新增的乙级非密封源场所，DSA1 室位于 5 号楼 1 楼西侧，所处位置相对独立，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。DSA 机房均采取了有效的物理屏蔽，与周围非放射性工作场所分开，且医生通道、病人通道和污物通道均独立设置。专用病房设置于相应楼层的东北角，对周围环境影响较小，也有利于病人留观期间的隔离管理。因此，本项目涉及场所的选址，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）选址有关要求。

1.4.4 实践的正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的社会危害时，该实践才是正当的。本项目数字减影血管造影技术是一种新的 X 线成像系统，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，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 手段在医疗诊断方面有其他技术无法替代的特点，而 ^{90}Y 微球治疗对于肝癌病人，可显著延长其生存时间，提升生存质量，减少痛苦等。本项目的建设有利于提高周边的医疗水平，更好的服务周边群众，具有明显的社会效益，项目建成运行后，将为柳州市及周边地区提供一个更加优越的就医环境，同时将提高医院的整体医疗服务水平，保障病人健康，考虑此项目开展后带来的利益远大于其受到的辐射危害，项目对周围环境的影响也在可接受范围内，因此符合“实践正当性”要求。

1.4.5 产业政策符合性

本项目使用的射线装置、放射性核素属于国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录(2024 年本)》“鼓励类”中第六项“核能”中第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”以及第十三项“医药”中第 4 款“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”，均属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.5 原有核技术利用项目概况

1.5.1 原有核技术利用项目许可情况

医院已于 2024 年 10 月 26 日重新申领了辐射安全许可证，证书编号为：桂环辐证[B0140]，有效期至 2029 年 10 月 25 日，详见附件 3。准许使用 III 类、IV 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

建设单位在用的核技术利用项目环保手续齐全，医院现有放射源、非密封放射性、射线装置基本情况见表 1-5。

表 1-5 医院现有辐射安全许可证已许可辐射项目

| (一) 放射源 | | | | |
|----------------|-------------|----------|------|-----------------|
| 放射源 | 活度 Bq | 数量 (枚) | 分类 | 辐射活动场所名称 |
| Ge-68 | 4.63E+07 | 2 | V | 鱼峰山院区特殊医技楼核医学科 |
| Ge-68 | 9.25E+07 | 1 | V | |
| Ir-192 | 3.7E+11 | 1 | III | 鱼峰山院区特殊医技楼肿瘤治疗室 |
| Sr-90 (Y-90) | 3.56E+9 | 2 | V | 总院特殊医技楼核医学科 |
| (二) 非密封放射性物质 | | | | |
| 核素 | 日等效最大操作量 Bq | 年最大用量 Bq | 场所等级 | 辐射活动场所名称 |
| Tc-99m | 1.85E+7 | 8.88E+11 | 乙级 | 鱼峰山院区特殊医技楼核医学科 |
| I-131 | 1.11E+9 | 2.22E+11 | | |
| P-32 | 1.11E+8 | 1.11E+10 | | |
| Mo-99 (Tc-99m) | 1.85E+7 | 8.88E+11 | | |

| | | | | |
|----------------|---------|----------|----|---|
| C-11 | 9.25E+6 | 3.7E+11 | | |
| Sr-89 | 1.85E+8 | 7.4E+9 | | |
| Sm-153 | 3.7E+8 | 3.7E+10 | | |
| F-18 | 3.7E+7 | 7.4E+12 | | |
| I-125 (粒子源) | 3.7E+6 | 1.85E+11 | 丙级 | 鱼峰山院区特殊医技楼肿瘤治疗室：鱼峰山院区 8 号楼 1 楼 CT-SIM 扫描室 |
| Sr-89 | 1.85E+8 | 9.25E+10 | 乙级 | 总院特殊医技楼核医学科 |
| Mo-99 (Tc-99m) | 2.96E+7 | 1.48E+12 | | |
| Tc-99m | 2.96E+7 | 1.48E+12 | | |
| I-131 | 1.85E+9 | 9.25E+11 | | |
| P-32 | 7.40E+8 | 3.7E+11 | | |

(三) 射线装置

| 序号 | 装置名称 | 规格型号 | 类别 | 数量 (台) | 使用场所 |
|----|-------------------|-----------------------|-------|--------|-------------------------------------|
| 1 | 移动式 C 形臂 X 线系统 | Bvlibrag | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 10 手术间 |
| 2 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | Cios Spin | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 11 手术间 |
| 3 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | O-arm1000 | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 12 手术间 |
| 4 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | Ziehm Solo FD | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 1 手术间 |
| 5 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | OEC Elite MiniView | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 2 手术间 |
| 6 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | ARCADIS Varic | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 5 手术间 |
| 7 | 移动式 G 型臂 X 射线成像系统 | B6P 型 | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 7 手术间 |
| 8 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | Ziehm Solo FD | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 8 手术间 |
| 9 | 移动式 X 射线诊断设备 | ARCADIS Varic | III 类 | 1 | 西院手术室：西院门诊住院综合楼 4 楼手术室第 9 手术间 |
| 10 | 移动式摄影 X 射线机 | Mobilett Mira Max | III 类 | 1 | 西院医学影像科：西院门诊住院综合楼 1 楼医学影像科移动 X 线机机房 |
| 11 | X 射线计算机体层摄影设备(CT) | SOMATOM Definition AS | III 类 | 1 | 西院医学影像科：西院门诊住院综合楼 1 楼医学影像科 CT 室 |
| 12 | 数字化医用 X 射线摄影系统 | DRX-Innovation Plus | III 类 | 1 | 西院医学影像科：西院门诊住院综合楼 1 楼医学影像科 DR1 室 |

| | | | | | |
|----|--------------------------|------------------------------------|------|---|---|
| 13 | 数字化医用 X 射线摄影系统 | Ysio Max | III类 | 1 | 西院医学影像科:西院门诊住院综合楼 1 楼医学影像科 DR2 室 |
| 14 | 医用 X 射线摄影系统 (DR) | Digital Diagnost | III类 | 1 | 西院医学影像科:西院门诊住院综合楼 2 楼医学影像科 DR3 室 |
| 15 | X 射线骨密度测定仪 | OSTEOCRE | III类 | 1 | 西院医学影像科:西院门诊住院综合楼 2 楼医学影像科 DR4 室 |
| 16 | 医用回旋加速器 | HM-10HC | II类 | 1 | 鱼峰山院区特殊医技楼核医学科:鱼峰山院区特殊医技楼核医学科 1 楼回旋加速器室 |
| 17 | PET/CT | Biograph mCT S (20) -3R | III类 | 1 | 鱼峰山院区特殊医技楼核医学科:鱼峰山院区特殊医技楼核医学科 2 楼 PET/CT 室 |
| 18 | SPECT | Symbia E | III类 | 1 | 鱼峰山院区特殊医技楼核医学科:鱼峰山院区特殊医技楼核医学科 3 楼 ECT 控制室 |
| 19 | 医用直线加速器 | Trilogy | II类 | 1 | 鱼峰山院区特殊医技楼肿瘤治疗室:鱼峰山院区 8 号楼放疗中心 1 楼直线加速器 2 室 |
| 20 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | OEC 9900 Elite | II类 | 1 | 鱼峰山院区特殊医技楼肿瘤治疗室:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼肿瘤介入室 |
| 21 | X 射线计算机体层摄影设备 | SOMATOM definition AS | III类 | 1 | 鱼峰山院区特殊医技楼肿瘤治疗室:鱼峰山院区 8 号楼 1 楼 CT-SIM 扫描室 |
| 22 | 螺旋断层放射治疗系统 | Radixact Treatment Delivery System | II类 | 1 | 鱼峰山院区特殊医技楼肿瘤治疗室:鱼峰山院区 8 号楼放疗中心 1 楼 TOMO 机房 |
| 23 | X 射线管悬吊式摄影系统 (DR) | NOVA FA | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区 3 号楼体检中心 2 楼体检科 DR 室 |
| 24 | 口腔 X 射线数字化体层摄影系统 (口腔 CT) | NEWTOM VGi | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科口腔 CT 室 |
| 25 | 移动式 X 射线摄影机 | SM-50HF-B-D | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科移动 DR 机房 |
| 26 | 微焦点牙科 X 射线机 | MSD-III | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 3 楼口腔照片室 |
| 27 | X 射线计算机体层摄影设备 | SOMATOM Definition Flash | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科 CT1 室 |
| 28 | X 射线计算机断层扫描装置 (16 排 CT) | Lightspeed | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科 CT2 室 |
| 29 | 数字化医用 X 射线摄影系统 | VX3739-SYS | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科 DR1 室 |

| | | | | | |
|----|---------------------------|-------------------------------|------|---|--|
| 30 | 直线数字化 X 射线系统 (DR) | RAD SPEED M | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科 DR2 室 |
| 31 | 医用 X 射线摄影装置 (DR) | AXIOM Aristos VX Plus | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科 DR4 室 |
| 32 | X 射线诊断系统 (胃肠机) | AXIOM Luminos DRF | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区门诊大楼 2 楼医学影像科特检室 |
| 33 | 移动数字化 X 射线摄影系统 (车载 DR) | 7200D | III类 | 1 | 鱼峰山院区医学影像科:鱼峰山院区体检中心 (体检车内:车牌:桂 B19600) |
| 34 | 医用血管造影 X 射线机 | Artis one | II类 | 1 | 总院介入治疗室:总院门诊医技综合楼 5 楼介入治疗室 02 间手术室 |
| 35 | 血管造影 x 射线系统 | Allura Xper Fd20 | II类 | 1 | 总院介入治疗室:总院门诊医技综合楼 5 楼介入治疗室第 3 手术间 |
| 36 | 医用血管造影 X 射线机 | Innova IGS 530 | II类 | 1 | 总院介入治疗室:总院门诊医技综合楼 5 楼介入治疗室第 4 手术间 |
| 37 | X 射线计算机体层摄影设备 (32 排) | SOMATOM Confidence | III类 | 1 | 总院介入治疗室:总院门诊医技综合楼 5 楼介入治疗室复合手术室 CT 设备间 |
| 38 | 医用血管造影 X 射线机 (双球管) | Artis zee III biplane | II类 | 1 | 总院介入治疗室:总院门诊医技综合楼 5 楼介入治疗室复合手术室 DSA2 室 |
| 39 | 医用血管造影 X 射线机 | ARTIS pheno | II类 | 1 | 总院介入治疗室:总院门诊医技综合楼 5 楼介入治疗室复合手术室 DSA 室 |
| 40 | SPECT/CT | Symbia EVO Excel | III类 | 1 | 总院特殊医技楼核医学科:总院特殊医技楼 1 楼核医学科 SPECT/CT 机房 |
| 41 | 移动式摄影 X 射线机 | DRX-Revolution | III类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科 DR6 室 |
| 42 | 口腔 X 射线计算机体层摄影设备 (耳鼻喉 CT) | SBR3D-2 | III类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科耳鼻喉 CT 室 |
| 43 | 口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备 | KaVo OP 3D Vision | III类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科口腔 CT 室 |
| 44 | 口腔曲面体层 X 射线机 | SS-X9010DPro-2DE | III类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科口腔曲面体层 X 射线机机房 |
| 45 | 高频直流牙科 X 射线机 | FT-H1 | III类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 4 楼口腔科口腔照片室 |
| 46 | X 射线计算机体层摄影设备 (64 排) | Optima CT680 Expert | III类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼急诊 CT 室 |
| 47 | 数字化医用 X 射线摄影系统 (DR) | Multix Fusion Max 翔龙 Max(配置二) | III类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼急诊科 DR 室 |

| | | | | | |
|----|-------------------------|----------------------|----|---|----------------------------------|
| 48 | X 射线计算机体层摄影设备 (256 排) | Revolution Apex | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科 CT2 室 |
| 49 | X 射线计算机体层摄影设备 (64 排) | Optima CT670 | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科 CT3 室 |
| 50 | X 射线计算机断层摄影设备(CT)(16 排) | Brilliance CT16slice | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科 CT4 室 |
| 51 | 数字化医用 X 射线摄影系统 | DRX-Innovation Plus | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科 DR1 室 |
| 52 | 数字化医用 X 射线摄影系统 | DRX-Innovation Plus | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科 DR2 室 |
| 53 | 数字 X 射线摄影系统 | RADspeed Pro 80 | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科 DR6 室 |
| 54 | 双能 X 光骨密度测定仪 | OSTEOCORE | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科骨密度室 |
| 55 | 电磁式体外冲击波碎石机 | ZH-VC | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 1 楼医学影像科体外碎石室 |
| 56 | 乳腺 X 射线机 | MAMMOMAT Inspiration | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 3 楼钼靶检查室 |
| 57 | 移动式 C 形臂 X 射线机 | SIREMOBILCO MPACT L | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院门诊医技综合楼 5 楼手术室第 34 间 |
| 58 | 车载数字化 X 射线机 | 6200A | Ⅲ类 | 1 | 总院医学影像科:总院体检车(车牌号:桂 B•A8718) |

在历年运行过程中,医院严格遵守了《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规,配合各级生态环境部门监督和指导,辐射防护设施运行、维护、检测工作良好,在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

1.5.4 原有核技术利用项目辐射安全管理情况

医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》、《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和防护管理办法》等辐射法律法规,配合各级生态环境部门监督检查,辐射防护设施运行良好,在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理方面运行良好。

1) 医院制定了一系列辐射防护管理制度包括《辐射安全与防护培训制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射监测方案》、《辐射工作人员剂量监测流程图》、《放射性废物及放射源退役处置方案》、《医用放射性同位素管理制度》、《放射安全防护工作制度》、《放射安全防护与质量保证制度》、《放射工作人员健康管理制度》、《放射工

作人员岗位职责》、《放射性药物管理制度》、《放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》、《放射性药物管理制度》、《核医学科放射性废物储存管理制度》、《钷 90 放射性溢出应急处理流程》、《放射防护操作规程》以及《DSA 操作规程》等一系列基本规章制度，并严格按照规章制度执行，详见附件 8。

2) 为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了放射（辐射）防护管理领导小组和放射（辐射）防护管理工作小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理，见附件 7。

3) 医院定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并持证上岗。

4) 医院放射性工作场所均设置有电离辐射警示牌和工作指示灯，并根据不同项目进行分区管理。

5) 近年来医院近年来委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站对医院辐射工作场所开展辐射监测，对放射性同位素与射线装置安全和防护状况进行评估，并向生态环境主管部门提交上一年度安全评估报告。

1.6 本项目与原有核技术利用项目依托关系

(1) 核医学科SPECT项目相关用房

项目依托医院核医学科SPECT相关用房，医院核医学科SPECT相关用房于2014年完成了《柳州市工人医院2014年改扩建核医学科核技术应用项目环境影响报告表》的编制，广西壮族自治区环境保护厅于2015年1月9日以（桂环审（2015）2号）对该项目环评文件进行了批复。于2016年编制了《2014年改扩建核医学科核技术应用建设项目竣工环境保护验收监测表》，2017年自治区环境保护厅以桂环验（2017）56号进行了批复。环评批复与竣工验收批复详见附件4。

(2) 辐射工作人员依托关系说明

医院拟为本项目 DSA 介入手术配备 16 名辐射工作人员，⁹⁰Y 手术项目配备 8 名辐射工作人员。配备的辐射工作人员参加辐射安全与防护知识培训情况见表 1-6 至表 1-7；培训合格证详见附件 5。医院委托有柳州市疾病预防控制中心对相关放射工作人员开展个人剂量监测工作，工作期间按 GBZ 128-2019 的要求佩戴个人剂量计，监测周期为不超过 3 个月测定一次，配备的辐射工作人员个人剂量监测情况见表 1-8 至表 1-9，个人剂量报告详见附件 6；医院本身具有职业健康体检资质，按照国家相关法律规定，放射工作人员必须进行岗前、岗中、离岗、紧急职业健康检查。

表 1-6 本项目 DSA 介入手术辐射工作人员培训情况

| 序号 | 姓名 | 工作岗位 | 辐射安全培训合格证 | 有效期 |
|----|--------|------|---------------|----------------------------------|
| 1 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0100733 | 2024 年 5 月 9 日至 2029 年 5 月 9 日 |
| 2 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0100700 | 2024 年 5 月 9 日至 2029 年 5 月 9 日 |
| 3 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0100551 | 2024 年 5 月 8 日至 2029 年 5 月 8 日 |
| 4 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0100868 | 2024 年 6 月 13 日至 2029 年 6 月 13 日 |
| 5 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0100740 | 2024 年 5 月 9 日至 2029 年 5 月 9 日 |
| 6 | ██████ | 介入医师 | FS24BJ0101480 | 2024 年 5 月 21 日至 2029 年 5 月 21 日 |
| 7 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0101087 | 2024 年 7 月 5 日至 2029 年 7 月 5 日 |
| 8 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0100793 | 2024 年 6 月 13 日至 2029 年 6 月 13 日 |
| 9 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0101081 | 2024 年 7 月 5 日至 2029 年 7 月 5 日 |
| 10 | ██████ | 介入医师 | FS24GX0101082 | 2024 年 7 月 5 日至 2029 年 7 月 5 日 |
| 11 | ██████ | 介入技师 | FS24GX0100981 | 2024 年 7 月 4 日至 2029 年 7 月 4 日 |
| 12 | ██████ | 介入技师 | FS22GX0100498 | 2022 年 6 月 9 日至 2027 年 6 月 9 日 |
| 13 | ██████ | 护士 | FS24GX0100656 | 2024 年 5 月 8 日至 2029 年 5 月 8 日 |
| 14 | ██████ | 护士 | FS24GX0100699 | 2024 年 5 月 9 日至 2029 年 5 月 9 日 |
| 15 | ██████ | 护士 | FS22GX0100344 | 2022 年 6 月 9 日至 2027 年 6 月 9 日 |
| 16 | ██████ | 护士 | FS24GX0100579 | 2024 年 5 月 8 日至 2029 年 5 月 8 日 |

表 1-7 本项目 ⁹⁰Y 手术辐射工作人员培训情况

| 序号 | 姓名 | 工作岗位 | 辐射安全培训合格证 | 有效期 |
|----|--------|-------|---------------|----------------------------------|
| 1 | ██████ | 肿瘤医师 | / | / |
| 2 | ██████ | 肿瘤医师 | FS21GX0200052 | 2021 年 4 月 1 日至 2026 年 4 月 1 日 |
| 3 | ██████ | 核医学医师 | FS20GX0300037 | 2020 年 8 月 6 日至 2025 年 8 月 6 日 |
| 4 | ██████ | 核医学医师 | FS21GX0300001 | 2021 年 1 月 7 日至 2026 年 1 月 7 日 |
| 5 | ██████ | 技师 | FS22GX0300037 | 2022 年 6 月 9 日至 2027 年 6 月 9 日 |
| 6 | ██████ | 技师 | FS21GX0300005 | 2021 年 1 月 7 日至 2026 年 1 月 7 日 |
| 7 | ██████ | 护士 | FS23GX0200004 | 2023 年 2 月 14 日至 2028 年 2 月 14 日 |
| 8 | ██████ | 护士 | FS23GX0200001 | 2023 年 2 月 14 日至 2028 年 2 月 14 日 |

注：██████医生辐射培训已过 5 年有效期，医院计划安排其进行新一轮的培训考核。

表 1-8 本项目 DSA 介入手术辐射工作人员个人剂量监测情况

| 序号 | 姓名 | 季度监测结果 (mSv) | 季度监测结果 (mSv) | 季度监测结果 (mSv) | 季度监测结果 (mSv) | 年剂量当量 (mSv) |
|----|--------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 2023.4.1- 2023.6.30 | 2023.7.1- 2023.9.30 | 2023.10.1- 2023.12.31 | 2024.1.1- 2024.3.31 | 2023.4.1- 2024.3.31 |
| 1 | ██████ | 0.14 | 0.09 | 0.12 | 0.11 | 0.46 |
| 2 | ██████ | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.16 |
| 3 | ██████ | 0.21 | <MDL (0.01) | 0.12 | <MDL (0.01) | 0.35 |
| 4 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 5 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 6 | ██████ | 0.12 | <MDL (0.01) | 0.07 | --- | 0.20 |
| 7 | ██████ | 0.94 | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.97 |
| 8 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 9 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 10 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 11 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 12 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 13 | ██████ | --- | --- | <MDL (0.01) | 0.10 | 0.11 |
| 14 | ██████ | --- | --- | <MDL (0.01) | --- | 0.01 |
| 15 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.04 |
| 16 | ██████ | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | --- | <MDL (0.01) | 0.03 |

*注：最低探测下限（MDL）为 0.02mSv。凡是结果小于 MDL，均记录为 0.01mSv。

表 1-9 本项目 ⁹⁰Y 手术辐射工作人员个人剂量监测情况

| 序号 | 姓名 | 季度监测结果 (mSv) | 季度监测结果 (mSv) | 季度监测结果 (mSv) | 季度监测结果 (mSv) | 年剂量当量 (mSv) |
|----|--------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 2023.4.1- 2023.6.30 | 2023.7.1- 2023.9.30 | 2023.10.1- 2023.12.31 | 2024.1.1- 2024.3.31 | 2023.4.1- 2024.3.31 |
| 1 | ██████ | <MDL (0.01) | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.12 |
| 2 | ██████ | 0.10 | 0.34 | 0.14 | 0.10 | 0.68 |
| 3 | ██████ | 0.15 | 0.19 | 0.14 | 0.09 | 0.57 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 4 | ■ | 0.19 | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | --- | 0.21 |
| 5 | ■ | <MDL (0.01) | 0.02 | <MDL (0.01) | <MDL (0.01) | 0.05 |
| 6 | ■ | <MDL (0.01) | 0.02 | 0.02 | <MDL (0.01) | 0.06 |
| 7 | ■ | --- | --- | --- | <MDL (0.01) | 0.01 |
| 8 | ■ | --- | --- | --- | 0.07 | 0.07 |
| *注：最低探测下限（MDL）为 0.02mSv。凡是结果小于 MDL，均记录为 0.01mSv。 | | | | | | |

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 |
|----|------|----------------------------|----|----------|----|------|---------|----|
| / | / | / | / | / | / | / | / | / |

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 拟使用非密封放射性物质

| 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 | 备注 |
|----|-------------------|----------|----------|-------------------|------------------|---------------|----------|------|---------------------------------------|-------------|----------|
| 1 | ⁹⁰ Y | 悬浮 液 | 使用 | 6.0E+09 | 6.0E+07 | 6.00E+11 | 肝癌治疗 | 很简单 | 鱼峰山院区5号 楼1楼介入治疗 室DSA1室/核医 学科 | 核医学科2楼 | 扩建 项目 |
| 2 | ^{99m} Tc | 液态 | 使用 | 3.7E+8 | 3.7E+05 | 3.7E+10 | SPECT 扫描 | 很简单 | 鱼峰山院区5号 楼1楼介入治疗 室DSA1室/核医 学科 | 核医学科3楼 | 依托 原有 |

注：项目依托鱼峰山院区核医学科原许可的 ^{99m}Tc，^{99m}Tc 原许可的日等效最大操作量为 1.85E+07Bq，年最大用量为 8.88E+11Bq，本项目不增加 ^{99m}Tc 用量。

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《核医学科辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)。

表 4 使用射线装置

(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 | 最大能量 (MeV) | 额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|----|----|----|----|------|------------|------------------------|----|------|----|
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

(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 | 厂家 | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|--------------------|-------|----|------------------|------------------|------------|------------|------|----------------------------|------|
| 1 | 医用血管造影 X 射线机 (DSA) | II 类 | 1 | Optima IGS Venus | 北京通用电气华伦医疗设备有限公司 | 125kV | 1000mA | 介入诊疗 | 鱼峰山院区 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室 | 新增项目 |
| 2 | SPECT | III 类 | 1 | Symbia E | 德国西门子子公司 | 140kV | 100mA | 显像诊断 | 鱼峰山院区核医学科 3 楼 | 依托原有 |

(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

| 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 |
|---------|----|--|----|------|-------|-------|------------------------------------|--|
| 放射性固体废物 | 固态 | ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | / | 10kg | 100kg | / | 分类、分期收集于放射性废物桶中，转移至放射性固体废物储存间衰变贮存。 | 放射性固废贮存时间和辐射剂量监测结果满足 HJ1188-2021 中相关规定后按一般医疗废物处置。 |
| 放射性废水 | 液态 | ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | / | / | / | / | 依托原有衰变池 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 依托原核医学科环评，进衰变池后达标排放 ^{90}Y 属于豁免活度浓度直接排放 |
| 放射性废气 | 气态 | ^{90}Y | / | / | / | / | / | 极少量，直接排放。 |

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/m³；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/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

| | |
|------------------|--|
| 法 规 文 件 | <p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第九号, 2014 年修订, 2015 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第四十八号, 2018 年修改, 2018 年 12 月 29 日起施行);</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号, 2003 年, 2003 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(4) 《中华人民共和国职业病防治法》(中华人民共和国主席令第 24 号 2018 年 12 月 29 日 修订)</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(中华人民共和国国务院令第 682 号, 2017 年修改, 2017 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第 449 号令, 2019 年 3 月 2 日 修订版);</p> <p>(7) 《放射工作人员职业健康管理辦法》, 中华人民共和国卫生部令第 55 号, 2007 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 环境保护总局第 31 号令, 自 2006 年 1 月 18 日公布, 2021 年 1 月 4 日第四次修正;</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行);</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部 部令第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>(11) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告, 公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日起实施);</p> <p>(12) 《关于发布放射源分类办法的公告》, (国家环境保护总局公告 2005 第 62 号), 于 2005 年 12 月 23 日公布并施行;</p> <p>(13) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》(原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告, 公告 2017 年第 65 号, 2018 年 1 月 1 日起实施);</p> <p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部 2019 年 第 57 号公告);</p> |
|------------------|--|

| | |
|--|--|
| | <p>(15) 《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）；</p> <p>(16) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）；</p> <p>(17) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令 第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(18) 《关于印发<医用同位素中长期发展规划> (2021-2035 年) 的通知》（国家原子能机构、科技部、公安部、生态环境部、交通运输部、国家卫生健康委、国家医疗保障局、国家药品监督管理局文件国原发〔2021〕2 号，2021 年 5 月 26 日印发）。</p> |
| <p style="text-align: center;">技 术 标 准</p> | <p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016），环境保护部；</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）</p> <p>(6) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(8) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(10) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(11) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(12) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(13)《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(14) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。</p> |
| <p style="text-align: center;">其 他</p> | <p>(1) 《辐射安全手册》（潘自强）；</p> <p>(2) 《辐射防护导论》（方杰）</p> <p>(3) 《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫）；</p> <p>(4) 《钷-90 树脂微球使用过程中辐射安全风险分析报告》(生态环境部核与辐射安全中心)；</p> |

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">(5) 《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》1992;(6) Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities (NCRP147)(7) 辐射环境影响评价委托书;(8) 建设单位提供的其它相关技术资料。 |
|--|

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用 II 类射线装置、使用乙级非密封放射性物质工作场所，参照《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）中对核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围的相关规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，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”，确定本项目评价范围为核技术利用工作场所周围 50m 的区域。

具体范围为以 8 号楼核医学科场所边界为起点四周 50m 范围内及以 5 号楼 DSA1 室与病房边界为起点四周 50m 范围内。本项目评价范围详见图 7-1。



图 7-1 本项目评价范围与环境保护目标示意图

7.2 保护目标

本项目使用核素的登记接收和药物准备、SPECT 扫描显影和放射性固废暂存等工作依托 8 号楼核医学科现有场所、设施进行；在 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室分别进行 ^{99m}Tc -MAA 和 ^{90}Y 微球的药物输注，在 5 号楼 7 楼、8 楼东北角设置了专用病房。本项目环境保护目标为从事本项目的辐射工作人员、周围 50m 范围内的其它常驻非放射工作人员和公众。50m 范围内保护目标分布情况见表 7-1。

由医院总平面布置及现场调查可得，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员、各场所周边偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员以及评价范围内的公众。本项目的环境保护目标见表 7-1，本项目环境保护目标示意图见图 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标

| 项目 | 环境保护对象 | 人员类别 | 位置描述 | 规模 | 年有效剂量要求 |
|-------------------------|---------------------------------|------|-----------------------|----------|---------|
| 5 号楼 DSA1 室及 专用病房 | 介入治疗室内 辐射工作人员 | 职业 | 介入治疗室内与本项目 相关工作场所内 | 22 人 | 5mSv |
| | 5 号楼内部其他 工作人员 | 公众 | 同一栋楼 | 约 293 人 | 0.1mSv |
| | 高压氧舱楼 | 公众 | 西北侧 8m | 约 7 人 | 0.1mSv |
| | 8 号楼 | 公众 | 北侧 8m | 约 30 人 | 0.1mSv |
| | 9 号楼 | 公众 | 东侧 19m | 约 15 人 | 0.1mSv |
| | 10 号楼 | 公众 | 东北侧 33m | 约 18 人 | 0.1mSv |
| | 配电楼 | 公众 | 东北侧 45m | 约 2 人 | 0.1mSv |
| | 2 号楼 | 公众 | 西北侧 42m | 约 23 人 | 0.1mSv |
| | 六中教学楼 | 公众 | 南侧 17m | 约 1800 人 | 0.1mSv |
| | 项目周围院内停车 场、道路、楼道间 等区域流动人员 | 公众 | 使用场所边界 50m 范围 内 | 流动人员 | 0.1mSv |
| 核医学科 | 核医学科 辐射工作人员 | 职业 | 核医学科与本项目相关 工作场所内 | 12 人 | 5mSv |
| | 8 号楼内部其他 工作人员 | 公众 | 核医学科楼下 | 约 18 人 | 0.1mSv |
| | 10 号楼 | 公众 | 核医学科东侧紧邻 | 约 18 人 | 0.1mSv |
| | 配电楼 | 公众 | 核医学科东侧 19m | 约 2 人 | 0.1mSv |
| | 2 号楼 | 公众 | 核医学科西北侧 19m | 约 23 人 | 0.1mSv |
| | 高压氧舱楼 | 公众 | 核医学科西侧 9m | 约 7 人 | 0.1mSv |
| | 5 号楼 | 公众 | 核医学科西南侧 8m | 约 293 人 | 0.1mSv |
| | 9 号楼 | 公众 | 核医学科东南侧 5m | 约 15 人 | 0.1mSv |
| | 六中教学楼 | 公众 | 核医学科南侧 32m | 约 1800 人 | 0.1mSv |
| | 居民区（50 米范围 内） | 公众 | 核医学科北侧 32m | 约 60 人 | 0.1mSv |
| | 项目周围院内外道 路、停车场等区域 流动人员。 | 公众 | 核医学科边界外 50m 范 围内 | 流动人员 | 0.1mSv |

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

(1) 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)：

该标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第4.3.2.1款关于剂量限制的规定：应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准6.2.2规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录B(标准的附录B)中规定的相应剂量限值，不应将剂量限值应用项目于获准实践中的医疗照射。

第B1.1.1.1款，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：由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均)，20mSv；本次评价从辐射防护最优化原则出发，使职业人员尽量避免不必要的附加剂量照射，取其四分之一即5mSv作为职业人员的年剂量管理约束值。

第B1.2款，公众照射实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv；

(2) 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)：

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

综上所述，本项目取不超过5mSv/a作为职业照射的剂量约束值；取不超过0.1mSv/a作为公众剂量约束值，为考虑人员受照剂量叠加影响后的约束值。

7.3.2 工作场所辐射剂量率控制水平

(1) DSA介入手术项目

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)：

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2.5 μ Sv/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) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于25 μ Sv/h。

(2) ⁹⁰Y 微球治疗项目

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10 μSv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μSv/h。

《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）

关于控制区剂量率：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

⁹⁰Y 患者出院要求：

为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合 HJ1188-2021 附录 B 的相关规定。（附表 B.1 规定患者体内 Y-90 核素活度不超过 2500MBq 时，可以出院）

7.3.3 核医学表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-2 的控制水平。

表 7-2 工作场所放射性表面污控制水平（单位：Bq/cm²）

| 表面类型 | | β放射性物质（Bq/cm ² ） |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|
| 工作台、设备、墙壁、地面 | 控制区 ¹⁾ | 4×10 |
| | 监督区 | 4 |
| 工作服、手套、工作鞋 | 控制区 | 4 |
| | 监督区 | |
| 手、皮肤、 内衣、工作袜 | | 4×10 ⁻¹ |
| 1) 该区内的高污染子区除外。 | | |

7.3.4 核医学工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

| 级别 | 具体内容 |
|----|--------------------------------------|
| 甲 | >4×10 ⁹ |
| 乙 | 2×10 ⁷ ~4×10 ⁹ |
| 丙 | 豁免活度值以上~2×10 ⁷ |

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，核医学放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-4。

表 7-4 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

| 毒性组别 | 毒性组别修正因子 |
|------|----------|
| 高毒 | 1 |
| 中毒 | 0.1 |
| 低毒 | 0.01 |

7.3.4 放射性废物处理规定

(1) DSA 介入手术项目

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

(2) ^{90}Y 微球治疗项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

(1) 放射性废液

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

(2) 放射性固体废物

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期

的 10 倍；

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4 Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm²。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

(3) 放射性废气

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

7.3.5 X 射线机房防护设施的技术要求

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 7-5 要求。

表 7-5 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

| 设备类型 | 机房内最小有效使用面积 ^d m ² | 机房内最小单边长度 ^e m |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| 单管头 X 射线设备 ^b （DSA） | 20 | 3.5 |

b.单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。

d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2.1 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不低于表 7-6 要求。

表 7-6 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 |
|---------------|----------------|-----------------|
| C 形臂 X 射线设备机房 | 2.0 | 2.0 |

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于柳州市鱼峰区柳石路 1 号,建设地点为柳州市工人医院鱼峰山院区院内,项目地理位置图见图 1-1。

根据前文“1.3 建设内容及规模”可知,本次核技术利用项目辐射工作场所包含 5 号楼 1 楼新建的 1 台 DSA 场所,依托核医学科 2 楼与 3 楼原有的核医学场所以及 5 号楼 7 楼、8 楼 2 间防护专用病房等场所进行扩建。各辐射工作场所具体位置详见图 1-2。项目现状见图 1-4。

8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为本项目场址及周围辐射环境。

8.3 辐射环境现状监测

1、辐射环境现状监测目的

对项目场所进行辐射剂量率本底监测,以掌握场址的辐射环境质量现状水平,为现状评价提供基础数据。

2、监测因子:本项目现状评价对象为项目场址的 γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染现状水平。

3、监测点位布设

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)并结合本项目的实际情况进行监测布点,本次监测主要针对拟建辐射工作场所及周边环境 γ 辐射剂量率和 β 表面污染进行监测。

根据现场条件,合理布设监测点,监测布点图见图 8-1 至图 8-6 所示。监测报告见附件 6。

4、监测仪器与监测规范

本项目电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 γ 辐射剂量率监测仪器参数与规范

| | |
|------|--------------------|
| 监测项目 | γ 辐射空气吸收剂量率 |
| 仪器名称 | 多功能辐射监测仪 |
| 仪器型号 | SCK-200+SCK-2002 |
| 仪器编号 | 21002+21001 |
| 生产厂家 | 上海钴景环境科技有限公司 |

| | |
|--------|--------------------------------|
| 能量响应范围 | 20keV~7MeV |
| 量程 | 1nGy/h~100μGy/h |
| 检定单位 | 上海市计量测试技术研究院 |
| 证书编号 | 2023H21-20-4993881001 |
| 校准有效期 | 2023年12月8日至2024年12月7日 |
| 相对固有误差 | 10.5% |
| 监测规范 | 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） |

表 8-2 β 表面污染监测仪器参数与规范

| | |
|-------|---|
| 监测项目 | β表面污染 |
| 仪器名称 | 表面污染监测仪 |
| 仪器型号 | Como-170 |
| 仪器编号 | 8224 |
| 生产厂家 | NUVIA |
| 检定单位 | 中国测试技术研究院 |
| 证书编号 | 检定字第 202310000752 号 |
| 校准有效期 | 2023年10月10日至2024年10月9日止 |
| 监测规范 | 《表面污染测定 第1部分 β发射体（E _{βmax} 0.15MeV）和α发射体》GB/T 14056.1-2008 |

5、质量保证措施

（1）结合现场实际情况及监测点的可到达性，在项目拟建场址内和评价范围内工作人员活动区域、人流量相对较大的区域布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性。

（2）依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）采用即时测量方法进行测量。

（3）监测仪器每年经有资质的计量部门检定或校准，检定合格后方可使用。

（4）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

（5）本次监测实行全过程的质量控制，严格按照监测机构《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗。

（6）监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人批准。

6、监测结果

于 2024 年 9 月 29 日对该项目开展现状监测，监测结果见表 8-3、表 8-4。

表 8-3 拟建场址 γ 辐射剂量率结果

| 监测点号 | 监测位置 | γ 辐射剂量率 (nGy/h) | | 备注 |
|-------------|-------------------|------------------------|-----|------------|
| | | 平均值 | 标准差 | |
| γ 1 | 护士休息室 (拟建 DSA1 室) | 60 | 2.2 | DSA1 室所在位置 |
| γ 2 | 护士办公室 (拟建 DSA1 室) | 62 | 1.6 | DSA1 室所在位置 |
| γ 3 | 库房 (拟建 DSA1 操作间) | 62 | 1.4 | DSA1 室西侧 |
| γ 4 | 过道 (拟建 DSA 洁净通道) | 61 | 1.3 | DSA1 室北侧 |
| γ 5 | 备用间 (拟建医护通道) | 62 | 2.1 | DSA1 室东侧 |
| γ 6 | 楼梯间 | 63 | 1.8 | DSA1 室东侧 |
| γ 7 | 换药室 | 58 | 1.4 | DSA1 室楼上 |
| γ 8 | 光动力室 | 59 | 1.6 | DSA1 室楼上 |
| γ 9 | 水箱机房 | 58 | 1.3 | DSA1 室楼下 |
| γ 10 | 8 楼专用病房 (28-29 床) | 63 | 1.7 | 8 楼专用病房 |
| γ 11 | 病房 (8 楼专用病房东侧) | 63 | 1.3 | 5 号楼 8 楼 |
| γ 12 | 病房走廊 (8 楼专用病房南侧) | 63 | 1.8 | 5 号楼 8 楼 |
| γ 13 | 电梯间通道 (8 楼专用病房西侧) | 64 | 1.3 | 5 号楼 8 楼 |
| γ 14 | 病房 (8 楼专用病房楼上) | 64 | 0.9 | 5 号楼 9 楼 |
| γ 15 | 7 楼专用病房 (护士值班室) | 64 | 1.5 | 7 楼专用病房 |
| γ 16 | 病房 (7 楼专用病房东侧) | 62 | 2.2 | 5 号楼 7 楼 |
| γ 17 | 病房走廊 (7 楼专用病房南侧) | 63 | 2.1 | 5 号楼 7 楼 |
| γ 18 | 电梯间通道 (7 楼专用病房西侧) | 63 | 2.7 | 5 号楼 7 楼 |
| γ 19 | 病房 (7 楼专用病房楼下) | 63 | 1.4 | 5 号楼 6 楼 |
| γ 20 | ECT 检查室 | 82 | 1.3 | 核医学科 3 楼 |
| γ 21 | ECT 控制室 | 82 | 4.0 | 核医学科 3 楼 |

| | | | | |
|-----|-----------------------|-----|-----|-----------|
| γ22 | 甲亢功能检查室 | 84 | 2.5 | 核医学科 3 楼 |
| γ23 | 医生通道 | 83 | 1.4 | 核医学科 3 楼 |
| γ24 | 患者通道 | 109 | 3.5 | 核医学科 3 楼 |
| γ25 | 核素治疗室 | 105 | 3.0 | 核医学科 3 楼 |
| γ26 | 碘 131 治疗室 | 101 | 3.1 | 核医学科 3 楼 |
| γ27 | 放射性固体废物储存室 | 103 | 3.3 | 核医学科 3 楼 |
| γ28 | 注射室 | 112 | 0.9 | 核医学科 3 楼 |
| γ29 | 钼铈分装室 | 127 | 2.1 | 核医学科 3 楼 |
| γ30 | 注射后休息区 | 107 | 2.3 | 核医学科 3 楼 |
| γ31 | PET/CT 机房 (ECT 检查室楼下) | 108 | 2.6 | 核医学科 2 楼 |
| γ32 | PET/CT 候诊室 (核素治疗室楼下) | 107 | 3.4 | 核医学科 2 楼 |
| γ33 | 8 号楼天台 | 91 | 3.7 | 室外 |
| γ34 | 档案科办公室 | 86 | 3.4 | 10 号楼 3 楼 |
| γ35 | 阳台 (储源室楼上) | 93 | 3.0 | 10 号楼 3 楼 |
| γ36 | 储源室 | 100 | 2.4 | 核医学科 2 楼 |
| γ37 | 储源室通道 | 97 | 4.5 | 核医学科 2 楼 |
| γ38 | 直加水冷机房 (储源室楼下) | 83 | 1.5 | 核医学科 3 楼 |
| γ39 | 医院 10 号楼 1 楼 | 84 | 2.8 | 室内 |
| γ40 | 医院配电楼 1 楼 | 85 | 4.2 | 室内 |
| γ41 | 医院高压氧舱楼 1 楼 | 60 | 4.8 | 室内 |
| γ42 | 医院院内道路 | 59 | 3.2 | 室外 |
| γ43 | 医院 9 号楼 1 楼 | 55 | 2.0 | 室内 |
| γ44 | 医院 2 号楼 1 楼 | 81 | 1.1 | 室内 |
| γ45 | 医院院内停车场 | 40 | 1.6 | 室外 |
| γ46 | 医院 6 号楼 1 楼 | 56 | 1.3 | 室内 |

| | | | | |
|--------|-----------|--------|-----|----|
| γ47 | 居民区店内 | 66 | 1.5 | 室内 |
| γ48 | 居民区小巷 | 62 | 1.1 | 室外 |
| γ49 | 院外道路（乐群路） | 46 | 1.4 | 室外 |
| γ50 | 教师公寓停车场 | 51 | 3.4 | 室外 |
| γ51 | 六中教学楼 1 楼 | 64 | 1.4 | 室内 |
| 室内测量范围 | | 55~109 | / | / |
| 室外测量范围 | | 40~91 | / | / |

注：1、监测使用 SCK-200+SCK-2002 型多功能辐射监测仪监测；
2、监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值。宇宙响应值为 16.7nGy/h。

表8-4 拟建场址β表面放射性污染水平监测结果

| 监测点号 | 监测位置 | 监测结果 (Bq/cm ²) | 备注 |
|------|--------------------|----------------------------|----------|
| β1 | 护士休息室（拟建 DSA1 室）地面 | <MDL | 5 号楼 1 楼 |
| β2 | 护士办公室（拟建 DSA1 室）地面 | <MDL | 5 号楼 1 楼 |
| β3 | 库房（拟建 DSA1 操作间）地面 | <MDL | 5 号楼 1 楼 |
| β4 | 过道（拟建 DSA 洁净通道）地面 | <MDL | 5 号楼 1 楼 |
| β5 | 备用间（拟建医护通道）地面 | <MDL | 5 号楼 1 楼 |
| β6 | 楼梯间地面 | <MDL | 5 号楼 1 楼 |
| β7 | 8 楼专用病房（28-29 号）地面 | <MDL | 5 号楼 8 楼 |
| β8 | 8 楼专用病房（28-29 号）床面 | <MDL | 5 号楼 8 楼 |
| β9 | 8 楼病房走廊地面 | <MDL | 5 号楼 8 楼 |
| β10 | 7 楼专用病房（护士值班室）地面 | <MDL | 5 号楼 7 楼 |
| β11 | 7 楼病房走廊地面 | <MDL | 5 号楼 7 楼 |
| β12 | ECT 检查室 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β13 | ECT 检查床床面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β14 | ECT 控制室 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β15 | ECT 操作台台面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |

| | | | |
|-----|--------------|------|----------|
| β16 | 医生通道地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β17 | 患者通道地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β18 | 核素治疗室地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β19 | 碘 131 治疗室地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β20 | 放射性固体废物储存室地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β21 | 甲亢功能检查室地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β22 | 注射室地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β23 | 钼铈分装室地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β24 | 注射后候诊区地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β25 | 注射后候诊区椅子表面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β26 | 注射前候诊区地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β27 | 患者通道出口地面 | <MDL | 核医学科 3 楼 |
| β28 | 储源室地面 | <MDL | 核医学科 2 楼 |
| β29 | 储源室通道地面 | <MDL | 核医学科 2 楼 |

注：1、监测使用 Como-170 型表面污染监测仪进行监测；

2、β射线表面污染监测结果已扣除本底；

3、表面污染仪 β 探测下限（MDL）：0.12 Bq/cm²。

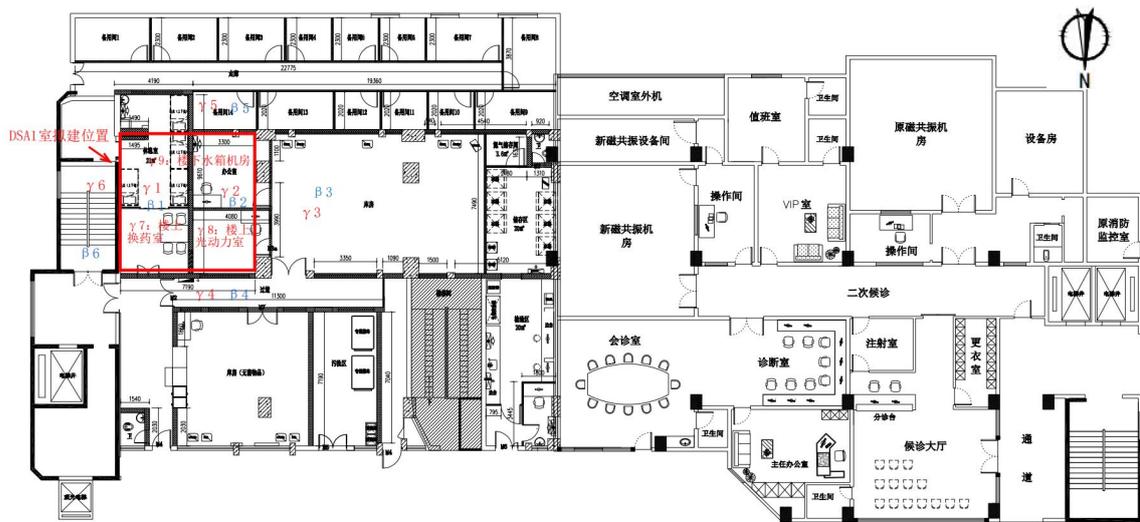


图 8-1 项目拟建场所及周围环境现状监测点位图(一)

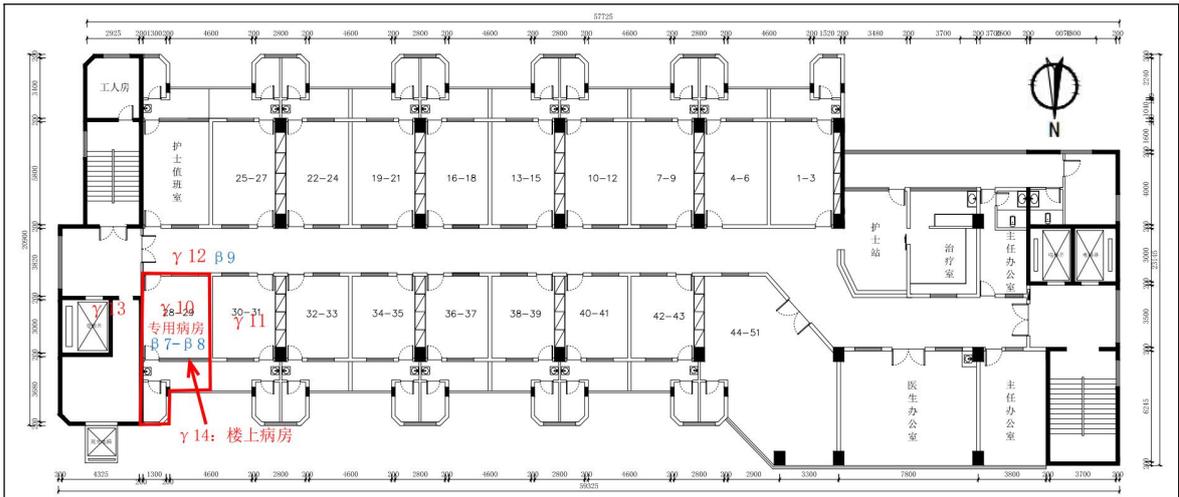


图 8-2 项目拟建场所及周围环境现状监测点位图(二)

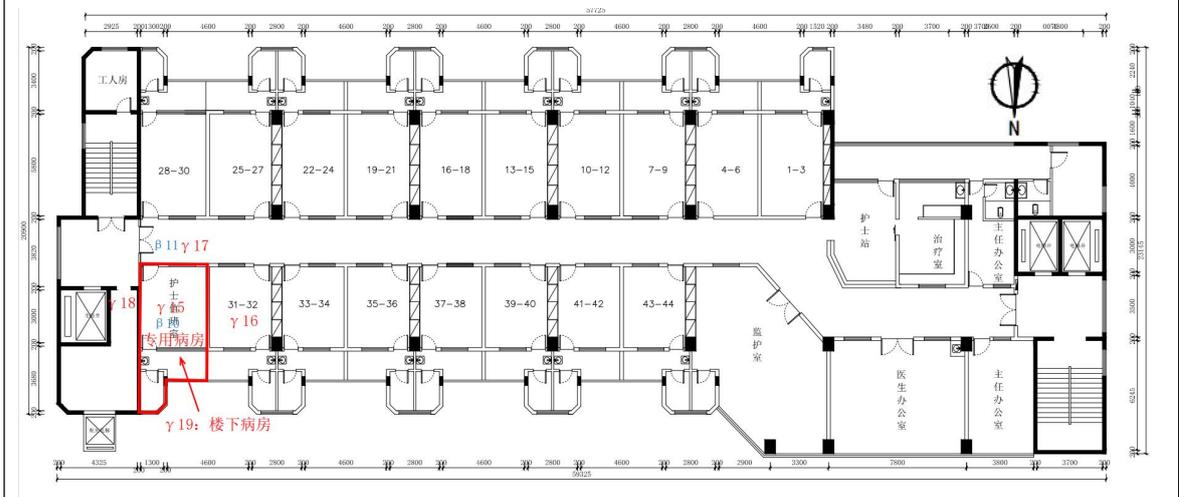


图 8-3 项目拟建场所及周围环境现状监测点位图(三)

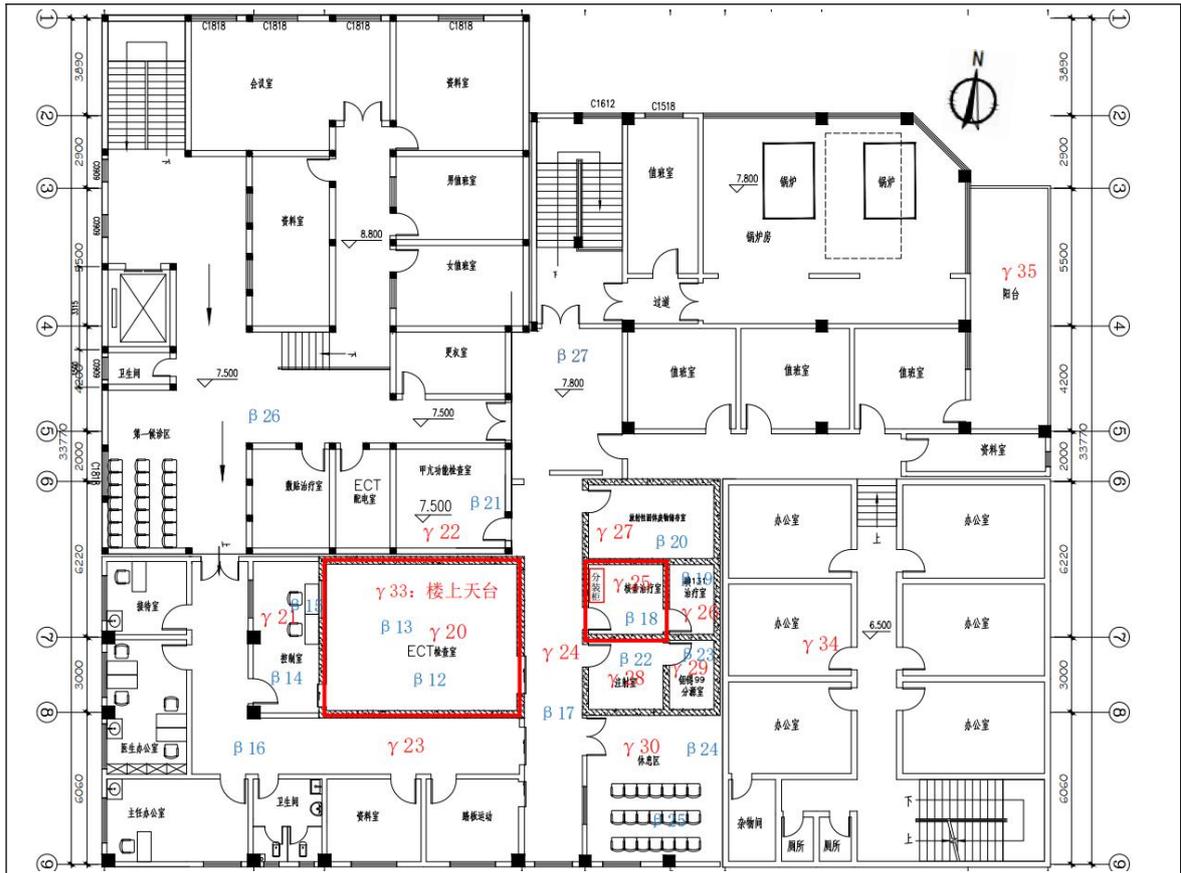


图 8-4 项目拟建场所及周围环境现状监测点位图(四)

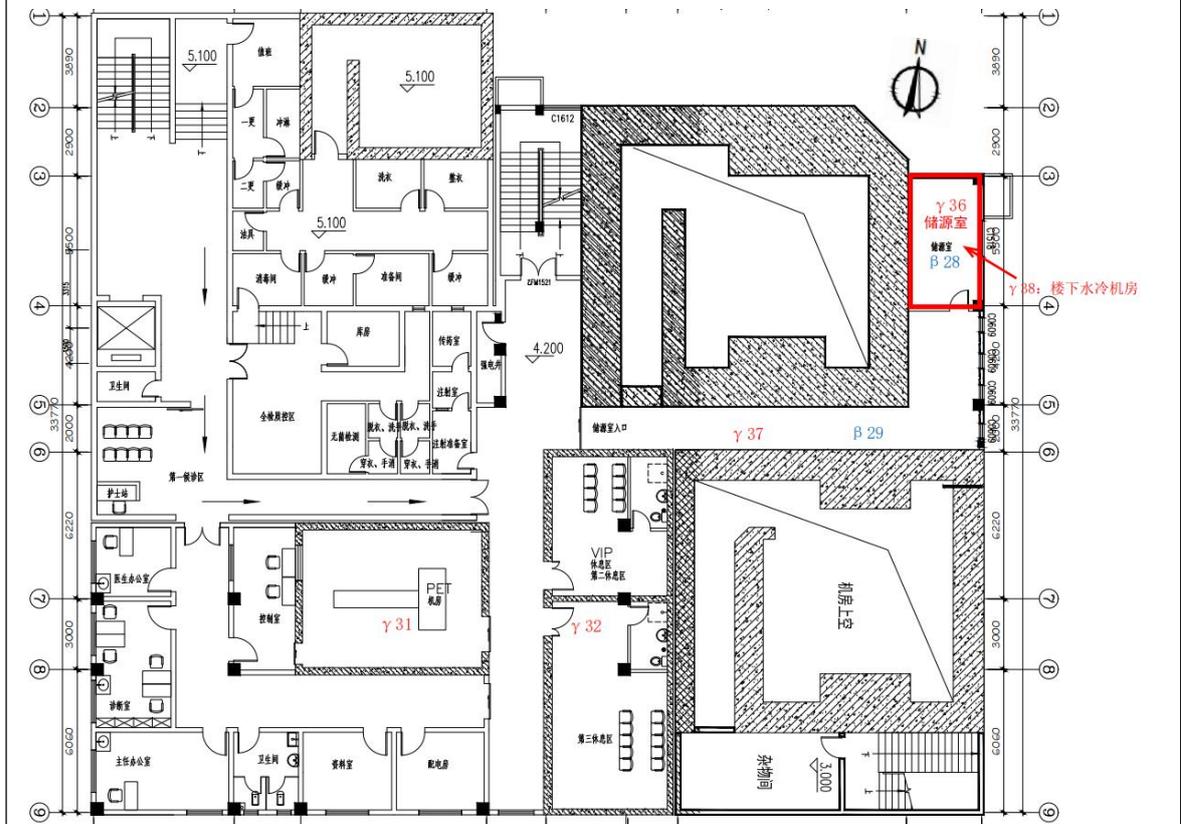


图 8-5 项目拟建场所及周围环境现状监测点位图(五)



图 8-6 项目拟建场所及周围环境现状监测点位图(六)

7、结果评价

由表 8-3 的监测结果可知，在扣除仪器宇宙射线响应值后，项目机房场所及周围区域环境现状监测中室内 γ 辐射剂量率范围为 55~109nGy/h，室外地面测点 γ 辐射剂量率范围为 40~91nGy/h。

根据《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》，广西壮族自治区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率在（11.0~304.3）nGy/h 范围内，广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在（10.7~238.7）nGy/h 范围内；由以上数据比对可知，本项目拟建场所周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率的范围在广西本底的范围内，表明拟建项目环境辐射环境质量状况未见异常。

根据表8-4可知，本项目依托DSA1室、核医学科、病房等工作场所 β 表面污染为本底水平，未见异常，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的监督区表面污染控制水平4Bq/cm²、控制区表面污染水平40Bq/cm²。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 DSA 介入手术项目工程设备和工艺分析

(1) 设备组成

医用血管造影 X 射线机 (DSA) 是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法,是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由 X 射线发生系统、C 型支架、接收器、图像显示器、导管床、操作台等系统组成。X 射线发生系统位于接收器正对方向;操作台集合控制系统和设备状态显示等功能,位于控制室内;介入室内控制装置一般为脚闸控制,通过设备电缆引出、位于地面。DSA 基本结构图见图 9-1,典型 DSA 装置整体外观示意图如图 9-2。

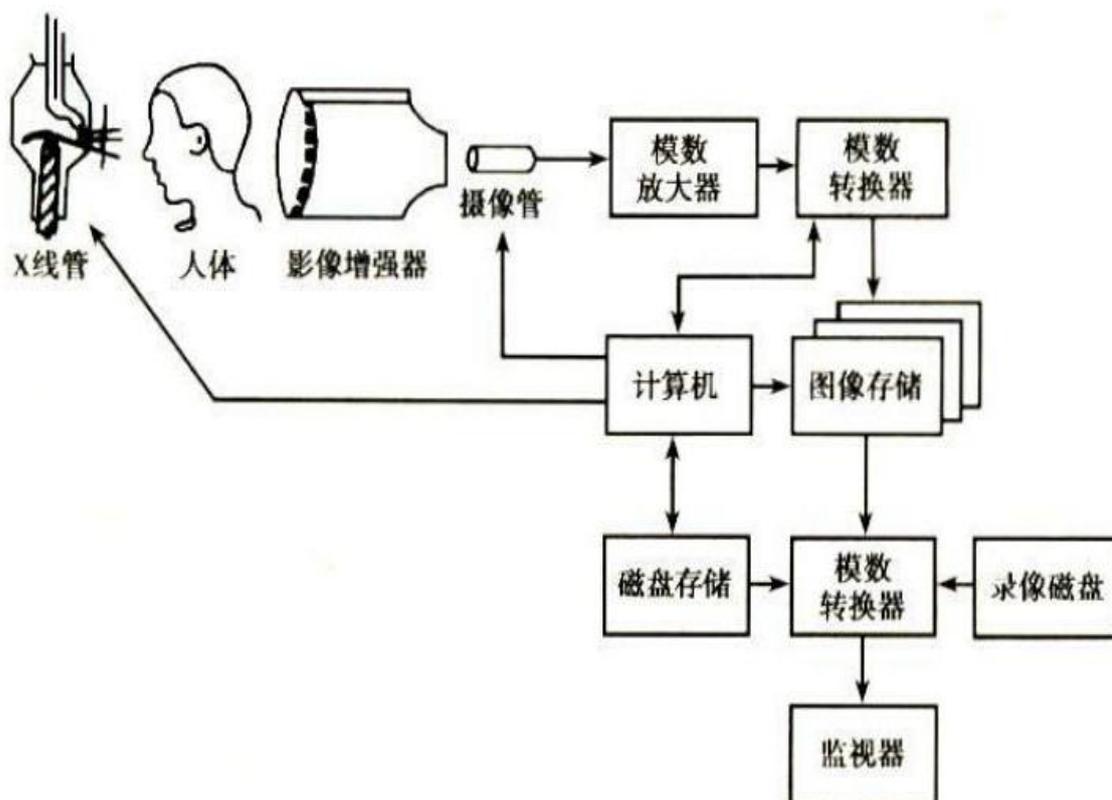


图 9-1 DSA 基本结构图

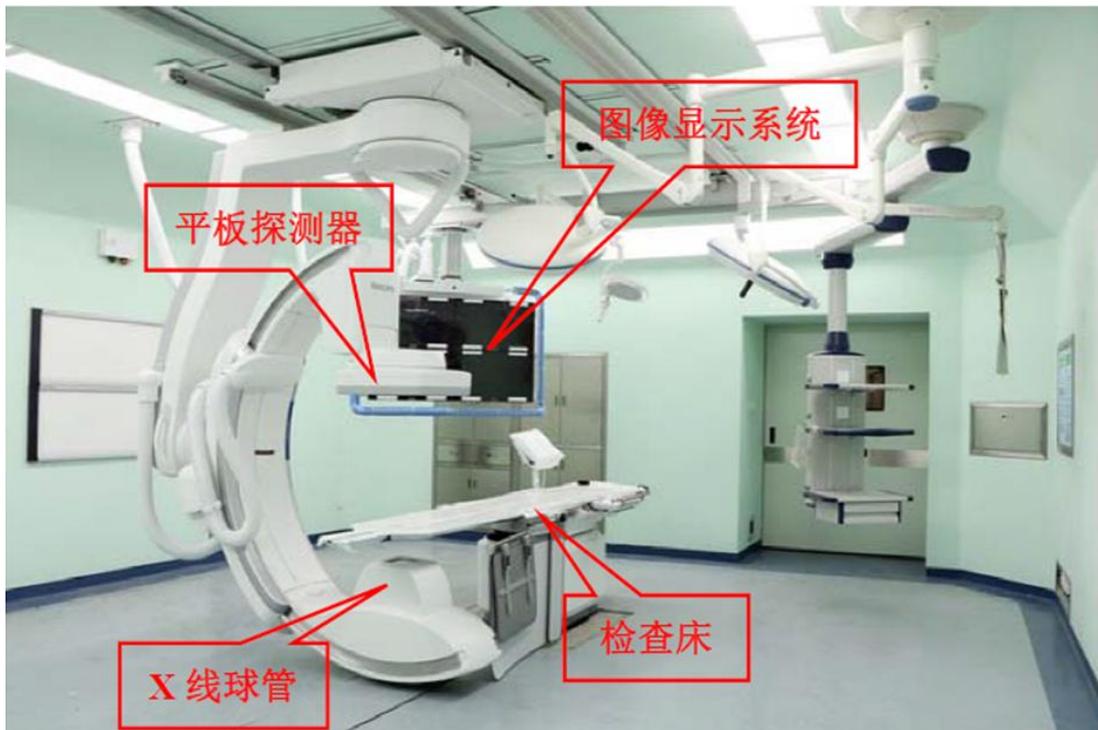


图 9-2 典型 DSA 装置整体外观示意图

(2) 工作原理

产生 X 射线的装置（DSA）主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9-3。

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来，且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示。由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全，节省胶片使造影价格低于常规造影。通过 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。

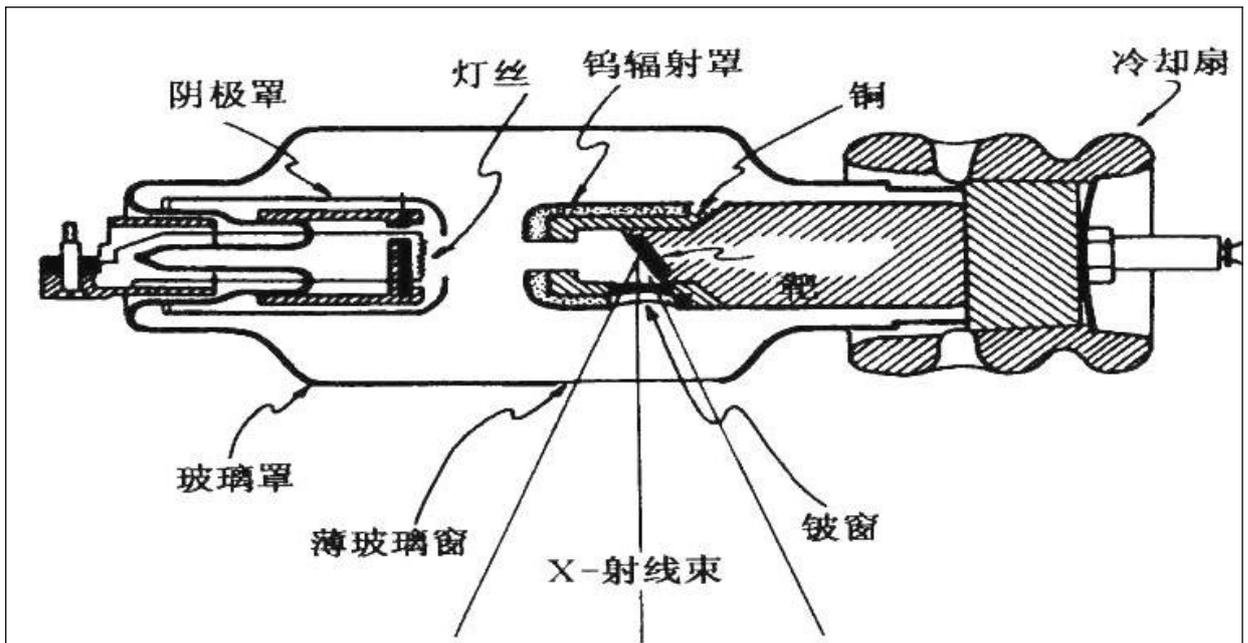


图 9-3 典型 X 射线管结构图

(3) 工作流程及及产污环节

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，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。DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况，医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，此时操作医师在手术室内身着铅服位于铅悬挂防护屏/铅防护帘后，对病人进行直接的手术操作。

产污环节分析：DSA 的 X 射线诊断机曝光时，主要污染因子为 X 射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字成像技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。X 射线与空气发生作用可能会产生少量臭氧、氮氧化物，但由于本项目使用的 X 射线能量较低，且曝光时长很短，一般保证室内良好通风即可。DSA 介入手术工作流程及产污环节见图 9-12。

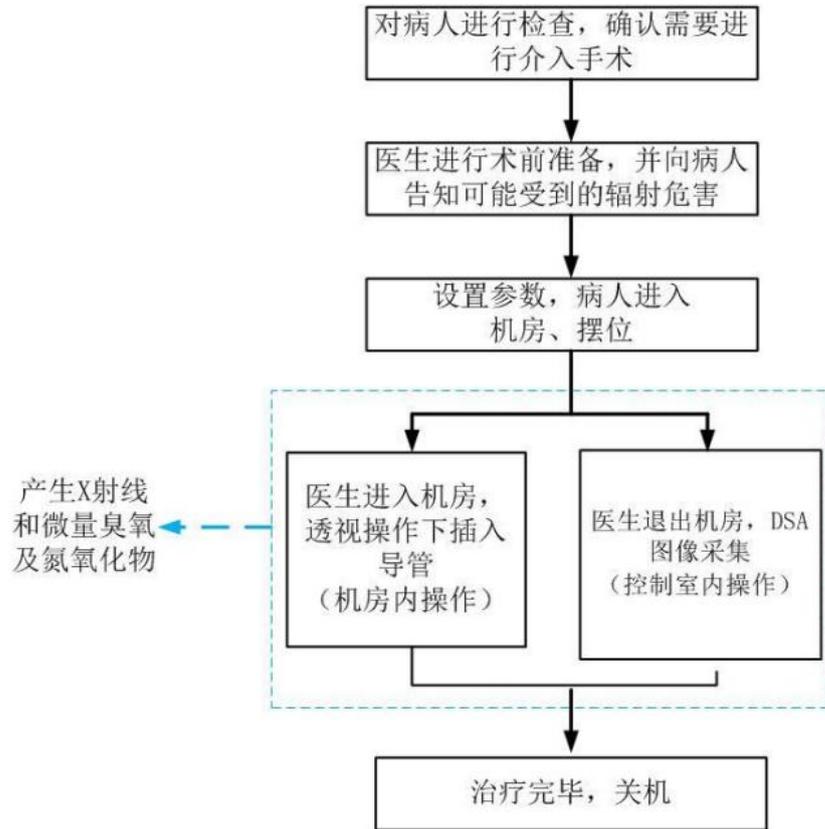


图 9-4 DSA 介入手术工作流程及产污环节示意图

(4) 人流、物流路线

工作人员路径：介入手术工作人员按日常工作经医护通道由换鞋间换鞋，进入更衣室换衣后经操作间进入 DSA1 室。技师在控制室内进行设备操作，手术医护人员在 DSA 机房内部进行手术。

患者路径：从入口通道→家属等待区→缓冲区→洁净通道→DSA1 室进行介入手术治疗，手术结束后原路返回。

污物路径：手术结束后，由工作人员将污物从 DSA 机房运至污物间，从污物间处理运出 DSA 机房。

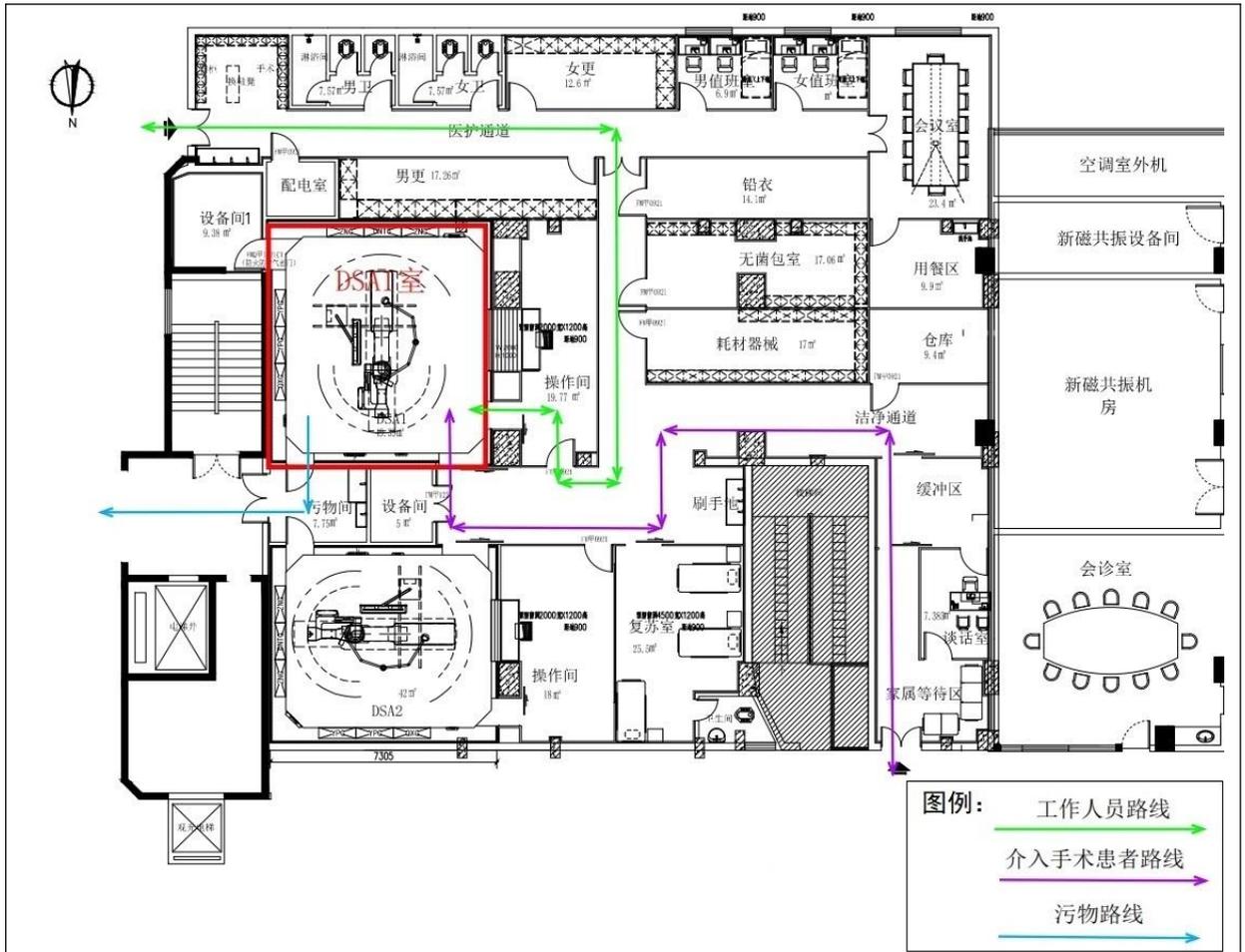


图 9-5 DSA 介入手术人流、物流路线图

(5) DSA 介入手术项目工作负荷与人员配备计划

本项目 DSA 介入手术拟配备医师 10 人、技师 2 人、护士 4 人，其中医师与护士主要在手术室进行手术，技师在控制室操作机器。DSA 项目工作人员均已通过辐射安全与防护知识考核，进行了个人剂量监测与职业健康体检，具有辐射工作经验可直接上岗，医院为其均建立有辐射人员职业健康档案。

根据建设单位提供的信息，本 DSA 项目运行工况按照保守情况下进行计算，具体工况见表 9-1。

表 9-1 拟建 DSA 运行工况一览表

| 设备名称 | 工作模式 | 最大运行管电压 (kV) | 最大运行管电流 (mA) | 每次手术保守出束时间 (min) | 年手术次数 (例) | 年累积出束时间 (h/a) |
|------|------|--------------|--------------|------------------|-----------|---------------|
| DSA | 摄影 | 100 | 500 | 2 | 3000 | 100 |
| | 透视 | 70 | 60 | 30 | 3000 | 1500 |

本项目正常运行后，预计每年最多完成介入手术约3000台，平均每台手术中使用医用血管造影X射线系统（DSA）装置出束时间：透视约为30min/台，摄影约为2min/台。

医院预计完成介入手术量最大为3000台，则介入手术室全年操作出束时间：透视约为1500h/年，摄影约为100h/年。

工作人员实行轮流制，每台手术需医师 1-3 人，护士 1 人，配备 1 名医技人员在控制室操作，其中单名介入手术医生年最大介入手术台数不超过 400 台，单名护士最大不超过 750 台，每台手术出束时间：透视状态平均 30min/台、摄影状态平均 2min/台；则单名介入手术医生、护士年手术量 DSA 出束时间透视 200h、摄影 13.3h。单名介入手术护士年手术量 DSA 出束时间透视 375h、摄影 25h。

9.1.2 ^{90}Y 微球输注项目工程设备和工艺分析

项目依托核医学科原有的钼锝分装柜分装 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、依托原有的 ^{131}I 分装柜分装 ^{90}Y ，依托核医学科SPECT机房开展SPECT扫描； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 注射位于介入治疗室DSA1室开展。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 不在同一天操作。由于核医学科使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 已具备完整的环保手续，已登记入辐射安全许可证并进行了竣工验收，本次对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在核医学科的使用仅做简单介绍，主要介绍 ^{90}Y 的使用。 ^{90}Y 微球输注依托DSA1室， ^{90}Y 微球输注实施后一个人一般只需要安排2台手术（1台进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射，1台进行 ^{90}Y 注射），正常操作情况下一般不会造成污染，不会干扰其他介入手术。如发现污染，可采取相应的去污措施，达到清洁解控水平后，方可转为普通介入手术。

(1) 工作原理

钇 90 (^{90}Y) 微球是一款靶向放射治疗产品，该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗 (SIRT) 中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌症细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织，被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌，包括结直肠癌肝脏转移癌症、原发性肝癌、胆管癌、神经内分泌细胞瘤、乳腺癌肝脏转移癌症等。

具体疗效包括：1) 对于原发性肝癌和结直肠癌肝转移的中晚期患者，可以有效延长患者的生存期；2) 患者治疗后的生存质量得到显著的提升，有效缓解晚期病患所承受的痛苦和副作用；3) 约 10%患者使用后生存期可能延长至 3 年以上甚至有望长期生存，甚至少数案例显示有机会让晚期癌症患者回到可被手术切除的状态，再通过手术实现康复。

^{90}Y 半衰期为 64.2h，是通过化学方法从 ^{90}Sr 中提取，将其离子键结合在微球上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ^{90}Y 放射性核素

的颗粒注入肿瘤血管，使 ^{90}Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞，此微球具有不能通过毛细血管网，且不被巨噬细胞吞噬、生物相容性好、无毒的特点。 ^{90}Y 发出的 β 射线最高能量为 2.284MeV，在人体组织中的最大射程为 11mm，平均 2.5mm。

^{90}Y 微球直径约为 20-60 μm ，密度约为 1.6g/cm³，比重 1.6（血液 1.097），可随血液滞留于肿瘤末梢血管，持续照射以到达治疗目的。少量 ^{90}Y 微球和游离的 ^{90}Y 微球通过血液参与人体代谢，最终通过尿液排出体外。游离的微量 ^{90}Y 微球以氯化钇（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）形式存在，（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）不具备挥发性，正常操作情况下难以在空气中形成气溶胶。

（2）工作流程及产污环节

^{90}Y 微球治疗以介入治疗形式进行，操作过程主要包括 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ （Tc-99m 标记的亚锡聚合白蛋白）肝动脉内注射、核医学科 SPECT 扫描、核医学科 ^{90}Y 微球剂量准备、 ^{90}Y 微球肝内介入注射、核医学 SPECT 扫描进行剂量学评估等环节。具体分两个阶段，第一个阶段，在治疗前 1-2 周做肝内 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 扫描，第二阶段为 ^{90}Y 微球手术注射。

第一阶段（ ^{90}Y 治疗前1~2周）：

在治疗前1-2周需使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记聚合白蛋白（ $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ ）注入肝动脉，评估患者是否适合此项治疗。该阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装操作在8号楼核医学科3楼钼铊分装室完成。注射过程在5号楼1楼介入治疗室DSA1室完成。其原理为： $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 为一种对人体无害的诊断蛋白，分子大小近似 ^{90}Y 微球，可模拟 ^{90}Y 微球在体内分布状况，确保 ^{90}Y 微球会停留在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官放射性伤害。

第一阶段具体过程如下：

A、根据预约情况，通知患者集中到医院接受检查。

B、签署同意书，禁食6-8h。

C、注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前，工作人员和患者穿戴好防护用品，设置DSA系统的相关技术参数。然后在DSA导管室内利用透视和减影功能完成导管放置，此过程，DSA导管室技师在控制室操作，减影时DSA导管室内无工作人员停留，透视时工作人员在DSA导管室内进行相关操作。放置导管后，工作人员为患者手动注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，此过程工作人员利用移动注射车、铅衣、铅防护吊屏、床侧铅防护帘、注射器防护套等进行防护。注射过程中DSA不曝光，注射过程一般不超过5分钟。注射结束后再进行透视，确认注射情况。

D、将患者转移至核医学科3楼ECT检查室，接受SPECT扫描，扫描完成后由患者

通道离开。

E、医生根据患者检查结果，确认⁹⁰Y处方剂量。

第二阶段具体步骤如下（⁹⁰Y正式治疗）：

A、根据预约情况，通知病人集中治疗。患者住院准备第二阶段⁹⁰Y微球注射。为避免核素过多衰变减少浪费，合理安排治疗时间，⁹⁰Y微球在植入手术当天送达医院。

B、治疗当天，在核医学科3楼核素治疗室内的¹³¹I分装柜进行⁹⁰Y微球抽取（分装）、活度测量等准备工作。将⁹⁰Y微球送至DSA1室，患者于DSA1室进行血管造影，放置导管（此过程需利用DSA进行透视和减影），进行手动注射，注射时先推入一部分药物（此过程不曝光），然后注入造影剂进行透视确认药物注射情况，然后再次推药，重复4-5次完成注射。

C、⁹⁰Y微球注射完成后将病人转移至病房或按患者需要做SPECT扫描评估后转移至病房。使用SPECT扫描⁹⁰Y与机体组织相互作用产生的韧致辐射信号，再次确认肝脏中微球的留置区域。

D、患者进入专用病房，1-2天后出院。

在5号楼1楼介入手术室DSA1室进行，利用DSA装置进行^{99m}Tc和⁹⁰Y注射手术，每例注射手术结束后，对DSA室及周围相区域进行表面污染检测，确认是否造成污染。正常操作情况下一般会在手术台上铺设吸水纸，手术过程一般不会造成污染，如发现污染，也可将吸水纸转化为固体废物处理，一般不会产生放射性废水。

⁹⁰Y微球治疗项目工作流程与产污环节见图9-6。

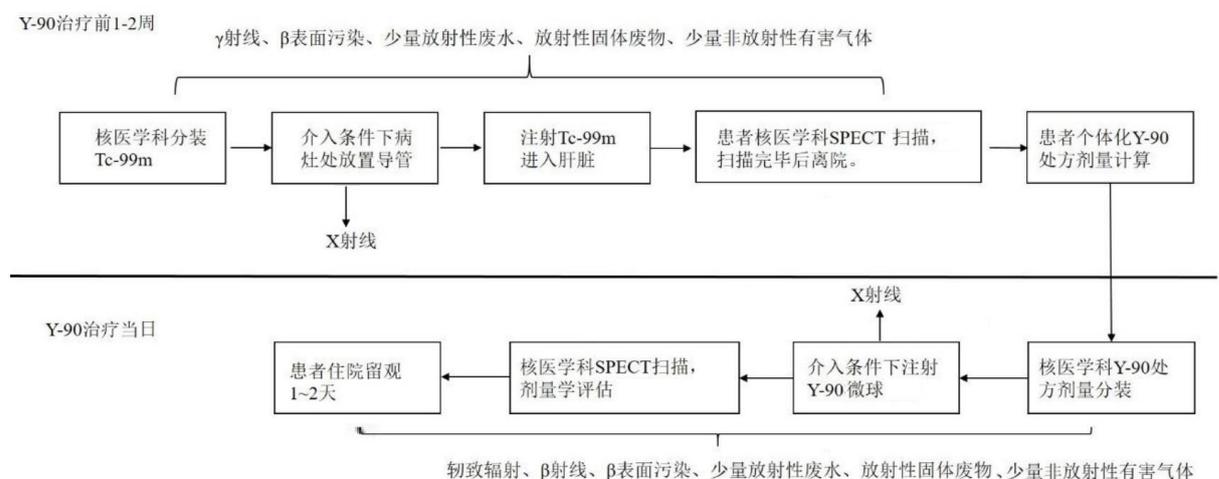


图 9-6 ⁹⁰Y 核素治疗工作流程及产污环节示意图

(3) ^{90}Y 微球总活度测量和抽取（分装）流程

每剂 ^{90}Y 微球盛放在西林瓶中，总活度约为 $3.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ，容积约为 5ml。一般每位患者最大注射量为 $2.5 \times 10^9 \text{Bq}$ 即可满足治疗需求，每位患者对应 1 瓶 ^{90}Y 微球，剩余 ^{90}Y 微球作为放射性固体废物进行处理。 ^{90}Y 微球的活度测量、抽取过程均在 8 号楼核医学科 3 楼 ^{131}I 分装柜内进行。

①测量时，先将无菌 V 瓶置于 15mm 有机玻璃 V 架上。工作人员手持内置 ^{90}Y 微球西林瓶的 6.4mmPb 的防护铅罐（未打开）进行摇晃，持续时间大约 30s，重新悬浮 ^{90}Y 微球。

②摇匀后，快速打开防护铅罐盖子，使用长柄镊子夹取含 ^{90}Y 微球的西林瓶放置在活度计测井内，测量 ^{90}Y 微球总活度并进行记录。通过测量活度值，计算需要抽取的 ^{90}Y 微球的体积、以及抽取后西林瓶内剩余活度。

③抽取时，通过倒转铅罐数次以重新悬浮 ^{90}Y 微球。快速打开铅罐盖子，用镊子移除西林瓶铝盖，使用酒精棉球擦拭橡胶隔垫。将排气针刺穿西林瓶橡胶隔垫形成通气孔。将带有 15mm 有机玻璃防护的注射器扎入西林瓶底部，快速抽压数次，使 ^{90}Y 微球混合均匀。抽取出事先计算出的 ^{90}Y 微球悬浮液的体积，拉出注射器针头。

④用镊子夹住西林瓶，轻轻摇晃，使剩余的 ^{90}Y 微球重新混匀，置于活度计测井内测量西林瓶内剩余活度。若剩余活度处于计算得剩余活度范围内，则认为抽取量准确；反之，则认为抽取量不准确。如抽取量不准确，需将注射器中的 ^{90}Y 微球重新注入西林瓶中，重复上述抽取步骤。

⑤确认抽取准确活度后，将 ^{90}Y 微球从注射器注入到事先准备好的 V 瓶内。取下西林瓶塞上的排气针，将含有剩余 ^{90}Y 微球的西林瓶置于铅罐并盖上盖子。

⑥从 V 瓶上取下排气针，盖好 V 瓶屏蔽罐顶部的塞子。在 V 瓶支架上贴上包含患者信息、处方剂量、注射时间、治疗部位等必要信息的标签。并将 V 瓶连同 V 瓶支架置于铅罐中。

⑦分装完毕，检测操作者、操作台面及相关区域可能存在的辐射污染，并对可能存在的污染进行处理。将剩余 ^{90}Y 微球及分装操作中产生的固体废物统一收集处置。



图 9-7 放射性药物 ^{90}Y 微球活度测定、分装流程

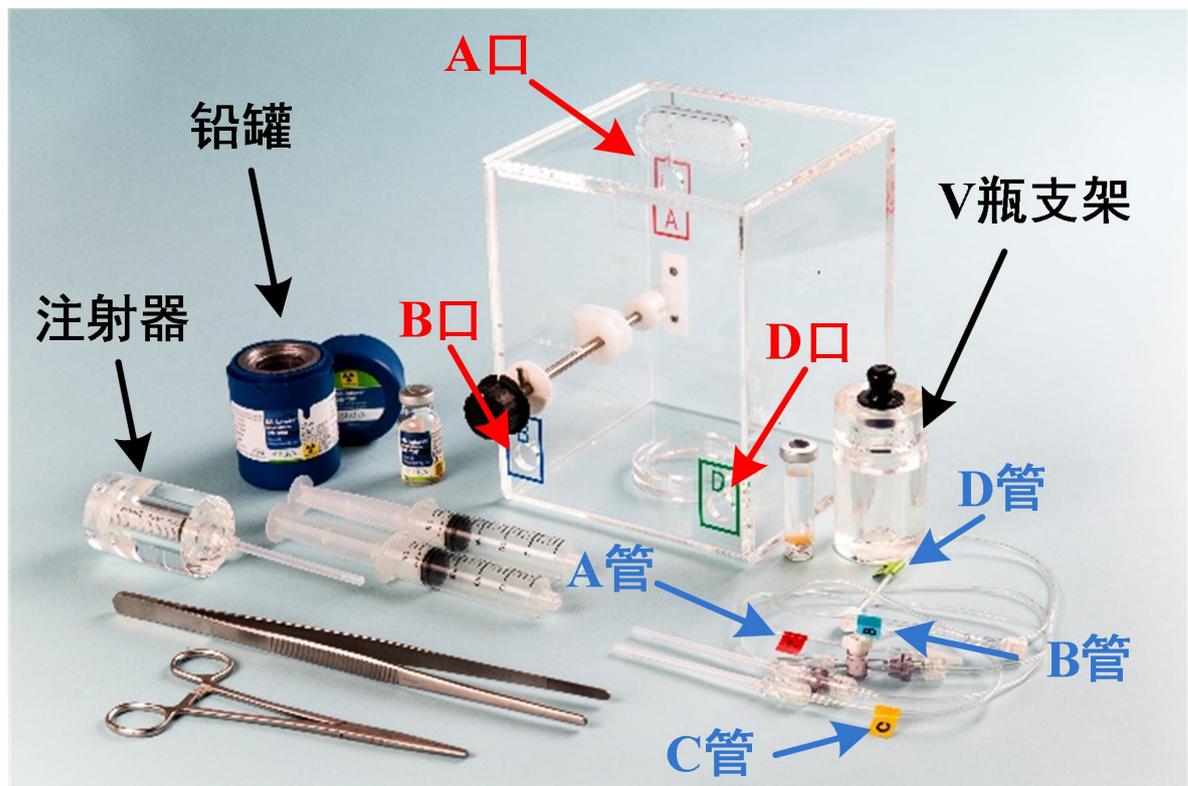


图 9-8 产品包装及配件

(4) 人流、物流路线

a) 医护人员路线：如图 9-10 与图 9-11 绿色线路所示：①核医学工作人员从工作人员通道进入核医学科进行日常的药物分装与 SPECT 扫描操作。工作结束后经表面污染监测按原路离开核医学科。②介入手术工作人员按日常工作经医护通道由换鞋间换鞋，进入更衣室换衣后经操作间进入 DSA1 室，工作结束后进行表面污染监测无异常后经原路返回。工作人员进出介入手术室的时间与药物运送时间及治疗后患者离开时间错开出行。

b) 患者路线：如图 9-10 至图 9-13 红色线路所示： ^{90}Y 微球输注治疗患者经预约后到达 5 号楼 1 楼从入口通道→家属等待区→缓冲区→洁净通道→DSA1 室进行 ^{90}Y 微球治疗输注，输注结束后原路返回，如需进行术后 SPECT 扫描评估的患者将患者从 5 号楼 1 楼介入治疗室经院内道路运送至 8 号楼 3 楼 ECT 室进行扫描评估，评估后将患者运送至 5 号楼东侧电梯，上到 7 楼或 8 楼专用病房留观；如不需要 SPECT 扫描患者直接从介入治疗室东侧电梯转移至 7 楼或 8 楼专用病房进行留院观察（约 1 天-2 天）；根据 HJ1188-2021 表 B.1 规定 ^{90}Y 治疗患者的出院活度标准为 $\leq 2500\text{MBq}$ ，一般患者的输注药量要低于出院限值，可直接离开。医院为了临床管理需求保守考虑安排治疗后患者进行住院留观；转运过程中在患者输注部位外包裹铅方巾，由科室人员调控转运时间，避免人员高峰期交汇。

^{90}Y 微球输注治疗患者治疗前需要进行术前评估，以模拟 ^{90}Y 微球在体内的分布，确保患者病灶处能够将 ^{90}Y 微球有效栓塞，避免患者接受无效辐射。术前评估患者进入介入室，工作人员通过 DSA 引导将 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 介入注射至注入到患者病灶位置处，后将注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者转移到核医学科 ECT 室进行扫描显像，评估 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在患者病灶部位的分布，正常组织和肿瘤组织接受剂量的比例，为制定 ^{90}Y 微球治疗个体化处方剂量提供依据（术前评估患者流程与 ^{90}Y 微球治疗患者流程基本一致）。

c) 药物运输路线：如图 9-9 至图 9-11 橙色线路所示，根据预约情况，放射源由医院统一按计划订购，一般治疗当天由厂家直接送至核医学科 2 楼储源室保险柜内储存， ^{90}Y 微球输注治疗患者治疗前术前评估需要的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，在核医学分装后运送至 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室进行注射。 ^{90}Y 微球治疗当天由核医学 2 楼储源室送至 3 楼核素治疗室内的原 ^{131}I 分装柜进行质控、分装标记后密封在带有屏蔽的专用装置内由专人负责从患者通道经核医学出口离开核医学工作区，经由院内室外道路运送至 5 号楼 1 楼介

入治疗室 DSA1 室。放射性药物转移时， ^{90}Y 分装前在带有铅罐防护的包装盒中，分装后 ^{90}Y 有 V 瓶防护罐和铅罐防护， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 有注射器防护套和铅盒防护，以减少对周围人员的影响。

为了更有效的避免放射性药物路径与其他路径的交叉情况，考虑到手术量较少，可以通过控制手术时间安排来控制药物运送的时间，从而错开其他科室接诊高峰期，减少无关人员与药物的接触。

d) 放射性固体废物运输路线：如图 9-10 至图 9-11 蓝色线路所示，核医学科内产生的放射性固体废物，如手套、酒精棉球、放射性残液容器等，收集至专用铅防护污物桶，收集后定期送至放射性固体废物储存室内暂存衰变，存储一定时间后达标处理。

而本项目涉及的介入手术室 DSA1 室内拟增加铅防护污物桶，用于收集介入注射过程中产生的放射性固体废物，如一次性手套、医用棉球、输液管、V 瓶、吸水纸等。收集后的废物由放射性药物路径原路送至核医学科 3 楼放射性固体废物储存室内暂存衰变，存储一定时间后达标处理。

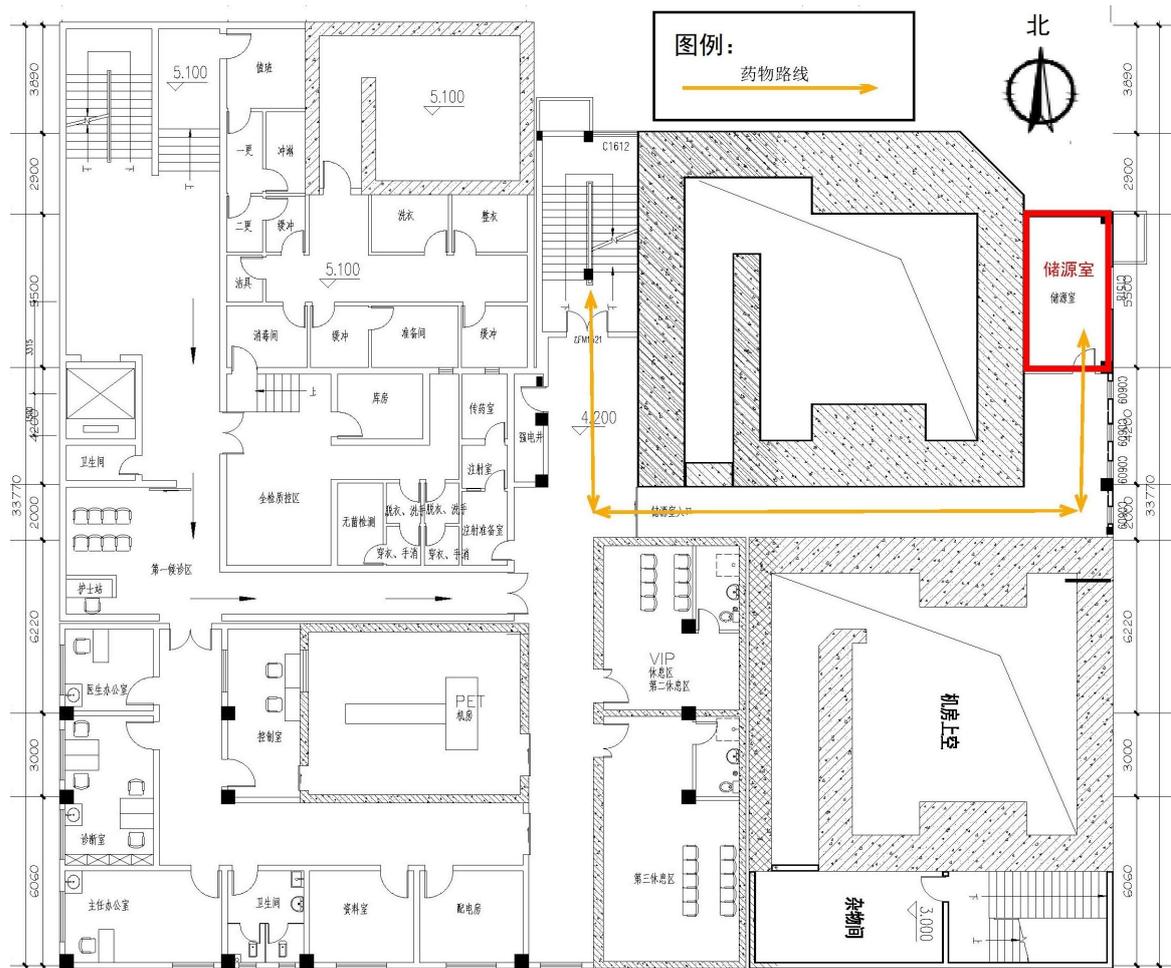


图9-9 核医学科2楼药物路线图



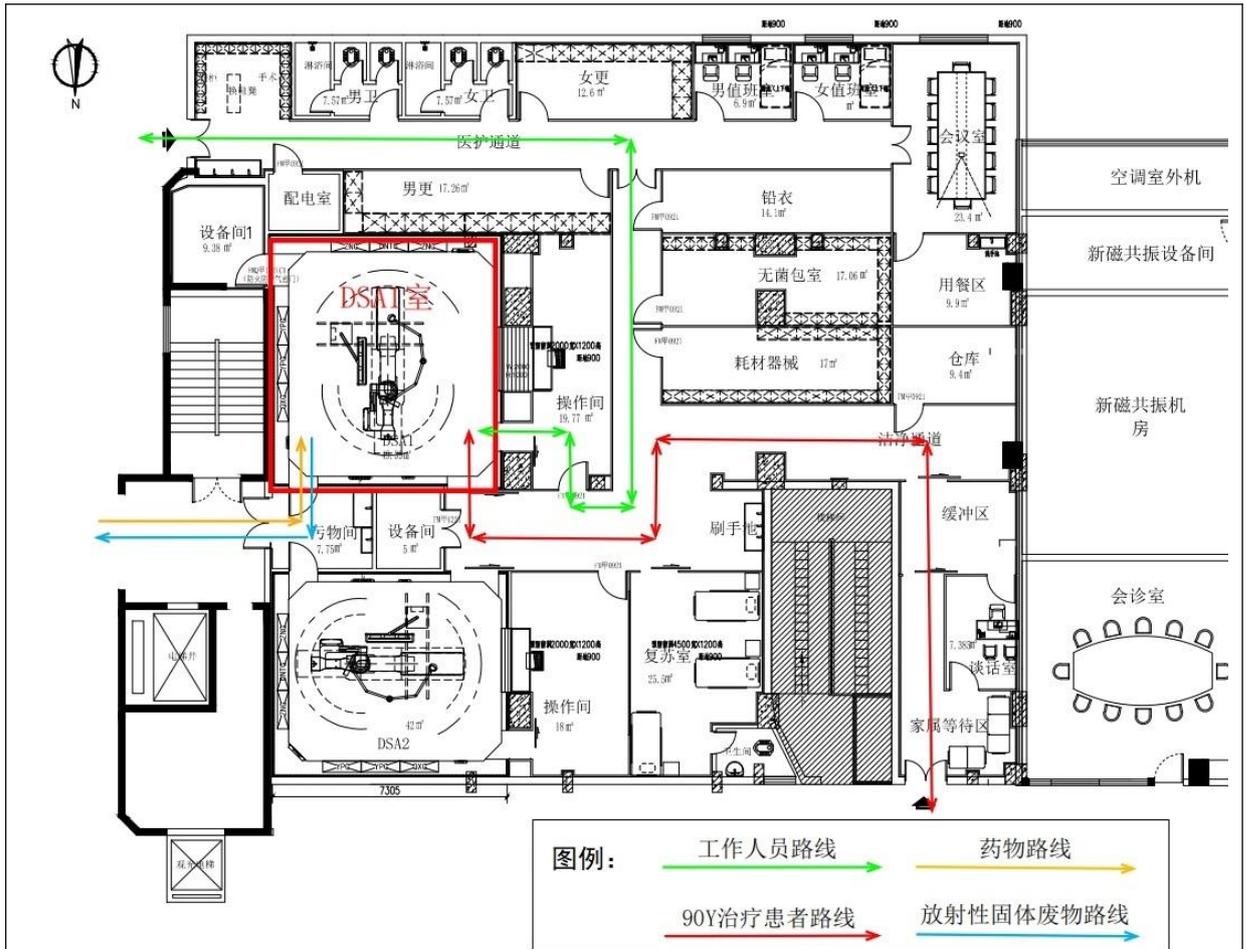


图9-11 5号楼1楼介入治疗室人流、物流图

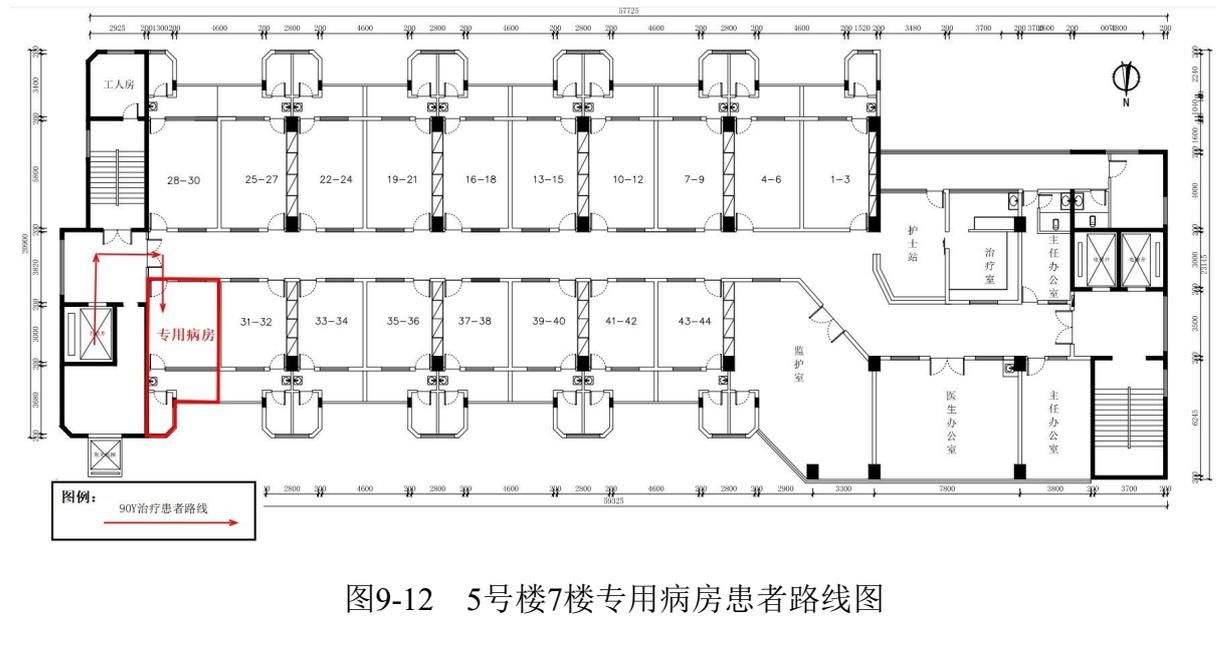


图9-12 5号楼7楼专用病房患者路线图

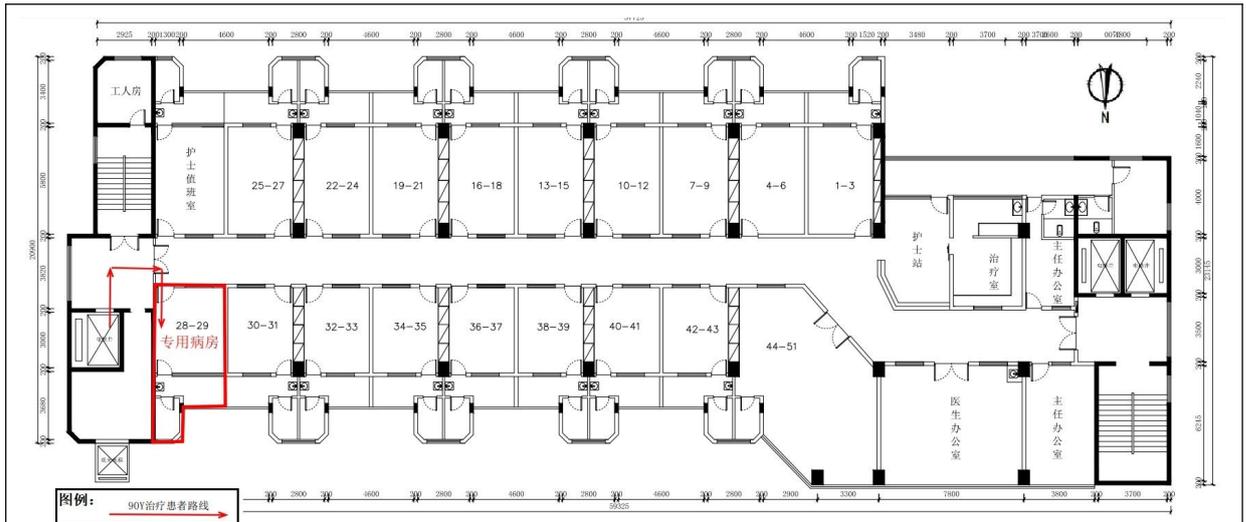


图9-13 5号楼8楼专用病房患者路线图

(5) ^{90}Y 微球输注手术项目工作负荷与人员配备计划

本项目每天最多 2 例患者，每年最多 200 例患者。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物前期模拟与 ^{90}Y 药物治疗不在同一天进行。根据项目实际情况，本项目辐射工作人员工作负荷详见下表。

表 9-2 辐射工作人员工作负荷一览表

| 工作环节 | 工作内容 | 工作人员 | 操作时间 (min/例) | 年操作次数 | 年累计总时间(h/a) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------|-------|-------------|
| 介入插管 | DSA 介入条件下插管 | ██████████ | 20 | 200 | 66.67 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期 检验 | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装 | ██████████ | 1 | 200 | 3.33 |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 运输 | ██████████ | 10 | 200 | 33.3 |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射 | ██████████ | 20 | 200 | 66.67 |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者转运 | ██████████ | 10 | 200 | 33.3 |
| | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者摆位 | ██████████ | 1 | 200 | 3.33 |
| | SPECT 检查 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) | ██████████ | 20 | 200 | 66.67 |
| ^{90}Y 微球 注射 | ^{90}Y 分装 | ██████████ | 5 | 200 | 16.67 |
| | ^{90}Y 转运 | ██████████ | 10 | 200 | 33.3 |
| | ^{90}Y 注入 | ██████████ | 30 | 200 | 100 |
| | ^{90}Y 患者转运 | ██████████ | 20 | 200 | 66.67 |
| | ^{90}Y 患者摆位 | ██████████ | 1 | 200 | 3.33 |
| | SPECT 剂量评估 (^{90}Y) | ██████████ | 20 | 200 | 66.67 |
| | 留观查房 | ██████████ | 10 | 200 | 33.3 |

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期污染源

本项目施工期主要是装修施工，在装修阶段主要污染物为扬尘、施工废水、噪声、施工废渣等。在安装及调试阶段主要污染物是设备运行时产生的电离辐射、臭氧及氮氧化物。

1、装饰工程施工

在对构筑物的室内外进行装修时(如表面粉刷、油漆、喷涂、裱糊、镶贴装饰等)，钻机、切割机等产生噪声，喷漆和其它涂料会产生废气、固体废弃物料及污水。

2、设备安装调试的污染分析

本项目仪器的安装及调试由设备供货方专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。安装调试阶段是在辐射防护设计完成后进行，在此过程中各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近。设备安装过程中会产生包装废物及电离辐射。

9.2.2 运行期污染源描述

9.2.2.1 DSA 介入手术项目污染源项分析

(1) 正常工况

正常运行时产生的主要污染源项为 X 射线，X 射线随着射线装置的开关而产生和消失，X 射线在辐射场中可分为三种射线：由 X 射线管窗口出射的用于诊断检查的有用射线；有 X 射线管防护套泄漏出来的漏射射线；从 X 射线管窗口射出的有用射线经过散射体（探测器、受检者体表、机房墙体、摆放的器具等）后产生的散射线。

本项目 DSA 运行时诊断结果在显示屏上观察或采用数字技术打印，不使用胶片摄影，不会产生废显（定）影液、废胶片和报废感光材料。X 射线装置运行时，机房内会有微量臭氧、氮氧化物等有害气体产生，机房设置排风装置，可以最大限度降低有害气体的浓度。

(2) 事故工况

①在给病人做检查治疗时，设备控制键失效，无法停止出束，导致工作人员、患者以及无关人员受到意外照射。

②X 射线装置联锁装置出现故障，在屏蔽门没有关紧的情况下出束，对门外的人员造成的误照射。

③X 射线装置安全联锁装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的 X 射线装置机房受到外照射。

④工作人员在手术室内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

9.2.2.2 ^{90}Y 微球治疗项目污染源项分析

(1) 正常工况

由上文工作流程分析可知，射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中，包括供药、分装、药物输注等过程。患者注射放射性药物后，本身短时间内也成为“辐射体”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物也成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。

^{90}Y 微球治疗项目主要污染因子包括：

① γ 射线、 β 射线和韧致辐射： ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗产生 γ 和 β 射线； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度测量和抽取等药物准备过程产生 γ 射线； ^{90}Y 微球衰变发射 β 射线和产生韧致辐射；患者在输注放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 后，人体便是一个辐射体（源），药物穿透人体产生的 γ 射线；患者在输注放射性药物 ^{90}Y 后，人体便是一个辐射体（源），药物与人体作用产生的韧致辐射。

② β 表面污染：核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装以及 ^{90}Y 微球药物准备和介入输注过程有可能可能发生核素撒漏，造成表面污染。

③X 射线和非放射性有害气体：DSA 属于 X 射线装置，开机曝光时产生 X 射线，X 射线使空气电离产生臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体。

④放射性废水： ^{90}Y 微球介入治疗，在第一阶段采取注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA模拟时，由于患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 最大仅为5mCi，小于核医学中心常见 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断患者的用药量，且本项目为介入注射采用较大分子 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA聚合白蛋白，核素主要在肝脏部位停留，患者排泄物中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 含量较少，且用药后即可离院，不住院。在注射手术过程中，患者处于麻醉状态，不排泄。因此， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在介入注射过程正常情况下不会产生放射性废水。如发生撒漏，则使用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，不用水进行清洗使之成为放射性固体废物。因此，DSA1室无放射性废水产生，在核医学科放射性废水产生量较少，依托核医学科现有的衰变池处理，由于注射的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 量较小，即使患者在核医学科排泄大小便，也不会影响废水衰变池处理能力及排放的水质。

在第二阶段， ^{90}Y 操作过程中正常情况下不会产生放射性废水。如发生撒漏，则使

用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，不用水进行清洗使之成为放射性固体废物，在注射手术过程中，患者处于麻醉状态，不排泄。因此，本项目放射性液体废物主要为⁹⁰Y患者住院留观期间产生的排泄物，⁹⁰Y患者排泄分析预测详见表11环境影响分析。

⑤放射性废气：^{99m}Tc-MAA为液体，不属于挥发性核素。注射时，药物均在密闭容器中，不会挥发，分装时在活性室通风柜内进行操作，放射性废气产生极少。

⁹⁰Y微球为悬浮液，悬浮溶液为无菌水，无挥发性，且在治疗全过程中，⁹⁰Y微球不暴露在空气，且游离的⁹⁰Y核素以氯化钇形式存在，氯化钇不具备挥发性，因此，本项目可以不考虑放射性废气的影响。

⑥放射性固体废物：^{99m}Tc前期检查过程：要为核医学科核素分装过程产生的一次性手套、口罩等；DSA1室注射^{99m}Tc产生的一次性手套、输液管患者体内管、吸水纸、工作台面铺料（铺料为双层，一层吸水纸，一层防水材料）、抹布、去污用品等。

⁹⁰Y治疗过程：操作⁹⁰Y过程中，抽取⁹⁰Y过程产生的一次性手套、注射器含剩余药物的西林瓶等；注射⁹⁰Y产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V瓶、V瓶防护罐、工作台面和地面铺料（吸水纸和防水材料）等；如果发生⁹⁰Y撒漏，还可能产生吸水纸、去污用纸、抹布、医护人员手套、口罩、手术服、有机玻璃盒子等。

⁹⁰Y微球抽取过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等放射性固体废物约50g/例；注射^{99m}Tc、⁹⁰Y放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物合计约450g。综上，开展一次⁹⁰Y微球介入治疗产生放射性固体废物约0.5kg。本项目月最大接诊量为20人次，年最大接诊量为200人次，则放射性固体废物产生量为10kg/月，100kg/年。

（2）事故工况

①由于管理不善，放射性药物被盗、丢失；

②核素操作或转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染；

③工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量；

④注射⁹⁰Y微球患者擅自离开专用病房，对周围人员造成意外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局及工作分区

10.1.1.1 工作场所布局

本项目各辐射工作场所的平面布局见表 10-1 所示：

表10-1 各个辐射工作场所周围环境状况一览表

| 房间名称 | 周边环境 | | | | | |
|-----------------------------|---------|--------------------------|--------|--------------|------------|-----------------|
| | 东侧 | 南侧 | 西侧 | 北侧 | 楼上 | 楼下 |
| DSA1 室 | 楼梯间/设备间 | 配电室/男更衣室 | 操作间 | 污物间/操作间/洁净通道 | 光动力治疗室/换药室 | 水箱机房 |
| 8 楼防护专用病房 | 电梯厅 | 走廊 | 病房 | 悬空 | 病房 | 护士值班室（拟建防护专用病房） |
| 7 楼防护专用病房 | 电梯厅 | 走廊 | 病房 | 悬空 | 防护专用病房 | 病房 |
| 储源室 | 悬空 | 通道 | 直加机房上空 | 悬空 | 阳台 | 配电房/水冷机房/直加设备间 |
| 核素治疗室（ ⁹⁰ Y 分装室） | 治疗操作室 | ^{99m} Tc 分装/注射室 | 通道 | 放射性固体废物储存室 | 天台 | PET/CT 注射候诊室 |
| 核医学科 ECT 室 | 患者通道 | 医生通道 | 控制室 | 配电室/甲功能室 | 天台 | PET/CT 机房 |

10.1.1.2 辐射工作场所分区

(1) 分区原则

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）核医学科辐射工作场所应按照（GB18871-2002）的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。核医学工作场所的控制区主要包括放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。核医学工作场所的监督区主要包括显像设备控制室、卫生通过间以及控制区相连的其他场所或区域。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要或可能需要专门防护手段或安全措施的限定区域定为控制区，以

便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散,并预防或限制潜在照射或潜在照射的范围。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

监督区:未被确定为控制区、通常不需采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

(2) 区域划分情况

结合以上原则与现场实际,本次环评对控制区和监督区的划分见表 10-2,本项目分区见图 10-1 至图 10-5;医院拟在各辐射工作场所控制区与监督区边界粘贴控制区与监督区标识。

表 10-2 本项目分区情况对照分析表

| 工作场所 | 控制区 | 监督区 |
|---------|---|-----------------------------------|
| DSA1 室 | DSA1室内 | 操作间、设备间、男更衣室、配电室、设备间、污物间、洁净走廊、楼梯间 |
| 核医学科3楼 | ECT检查室、核素治疗室、碘131治疗室、放射性固体废物储存室、注射室、钨铈分源室、患者通道、注射后休息区、甲亢功能检查室 | ECT控制室、医生通道、踏板运动、出口通道、东侧与控制区相邻办公室 |
| 核医学科2楼 | 储源室 | 储源室入口通道 |
| 7 楼专用病房 | 专用病房内 | 专用病房东侧病房、南侧病房走廊、西侧过道。 |
| 8 楼专用病房 | 专用病房内 | 专用病房东侧病房、南侧病房走廊、西侧过道。 |

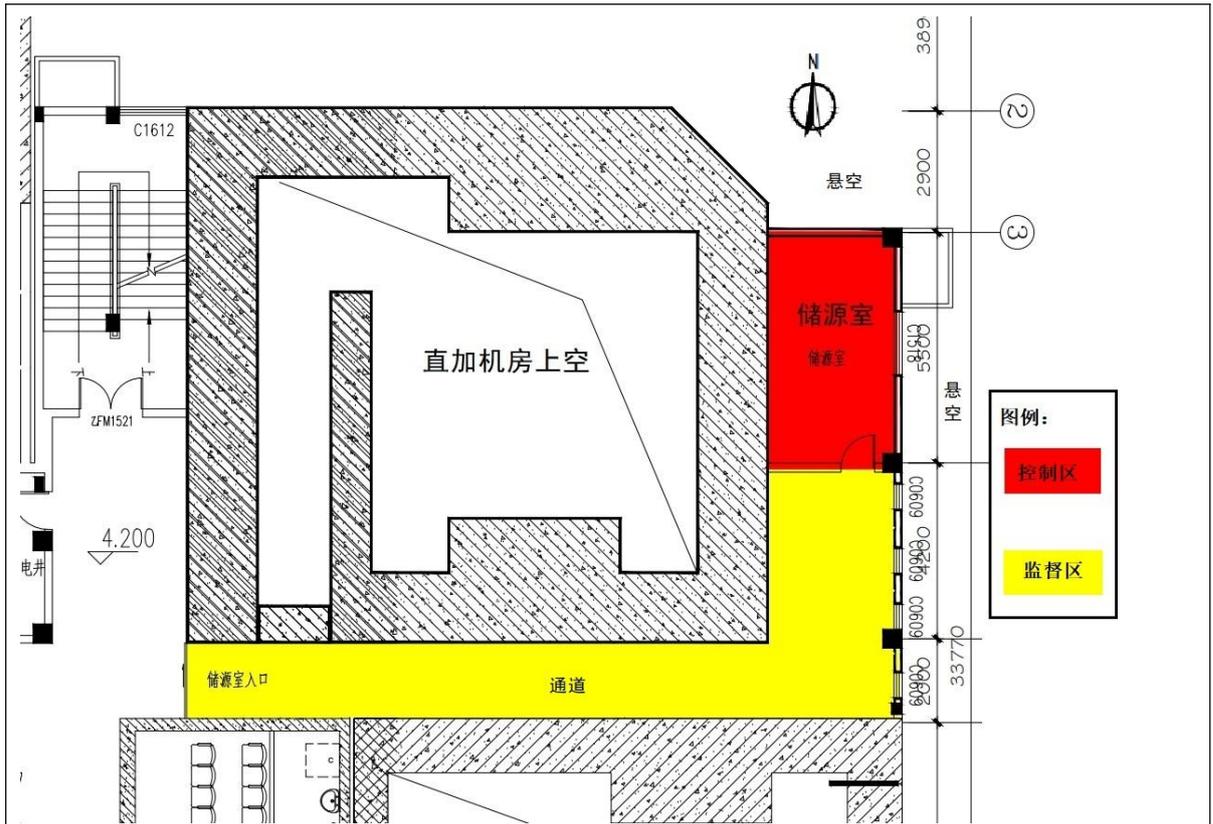


图 10-3 储源室分区布局图

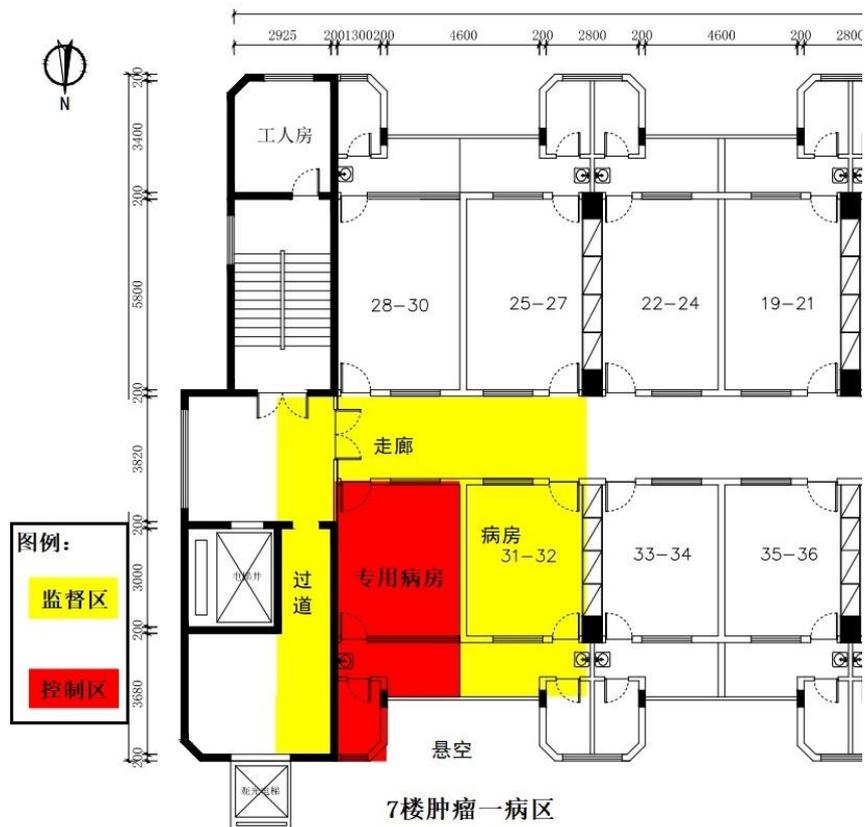


图 10-4 5 号楼 7 楼肿瘤一病区专用病房分区布局图

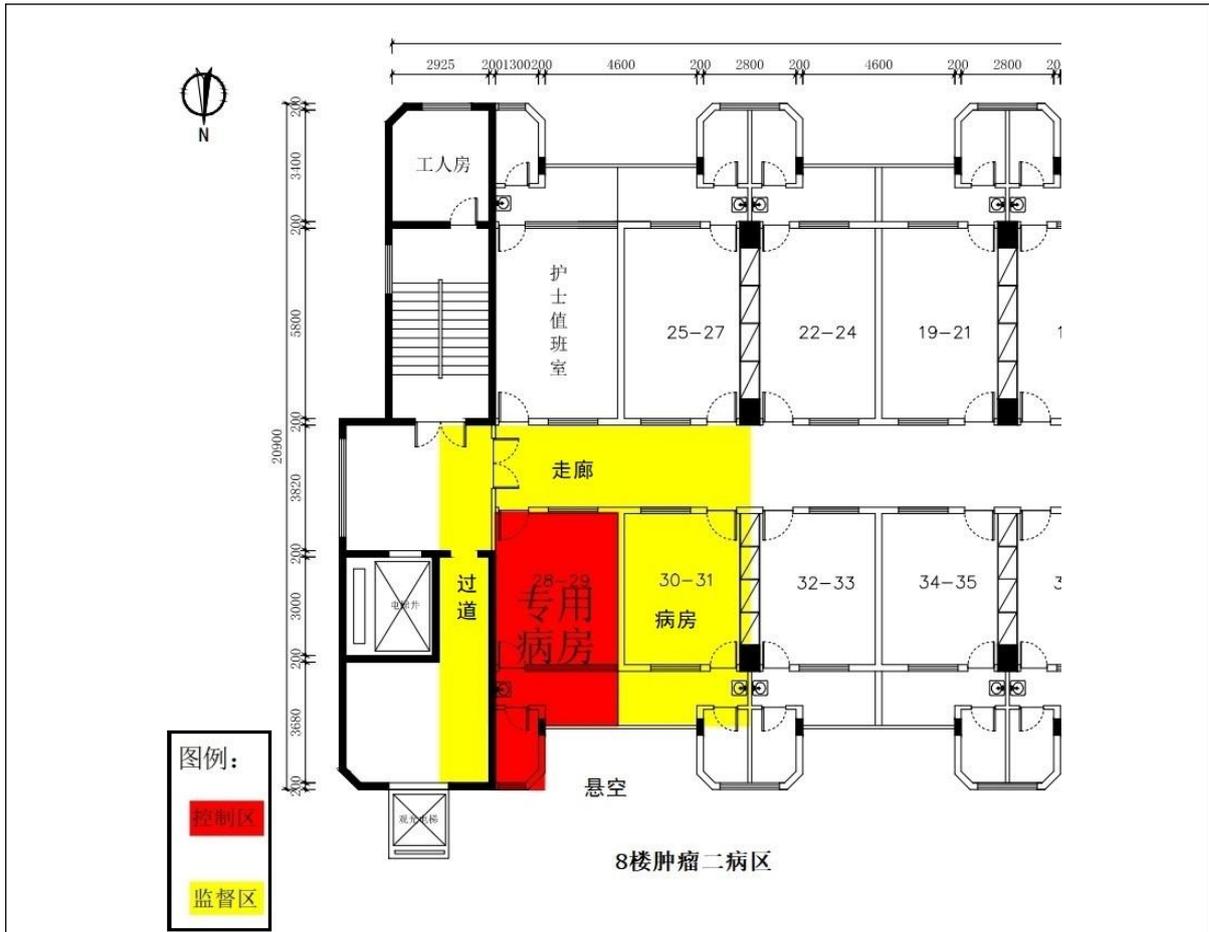


图 10-5 5 号楼 8 楼肿瘤二病区专用病房分区布局图

10.1.2 工作场所分级

本项目涉及的非密封放射性物质工作场所分级：依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表 10-3。根据日等效最大操作量得出工作场所属于乙级非密封源工作场所。详见表 10-3。

表 10-3 非密封源工作场所的分级

| 级别 | 日等效最大操作量/Bq |
|----|------------------------------------|
| 甲 | $>4 \times 10^9$ |
| 乙 | $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ |
| 丙 | 豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$ |

日等效最大操作量计算方法如下：

日等效最大操作量 = (计划的日操作最大活度 × 核素毒性组别修正因子) / 操作方式修正因子

本项目依托的鱼峰山院区核医学科工作场所属于已许可的乙级非密封源工作场所，核医学科日等效最大操作量约为 $1.859\text{E}+09\text{Bq}$ ，项目实施后；核医学科工作场所的日等效最大操作量详见表 10-4。

表10-4 核医学科工作场所的日等效最大操作量计算表

| 核素名称 | 日最大操作量 | 毒性 | 毒性组别修正因子 | 操作方式 | 操作方式修正因子 | 日等效最大操作量 |
|------------------------|---------|----|----------|-------|----------|-----------|
| 鱼峰山院区核医学科原已许可的日等效最大操作量 | | | | | | 1.859E+09 |
| ^{90}Y | 6.0E+09 | 中毒 | 0.1 | 很简单操作 | 10 | 6.0E+07 |

备注：项目依托于原有核医学科许可的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，不增加 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用量。

由上表可得，增加 ^{90}Y 核素，本项目核医学科日等效最大操作量约为 $(1.859\text{E}+09) + (6.0\text{E}+07\text{Bq}) = 1.919\text{E}+09\text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 的分级要求(见表 10-3)，项目实施后核医学科仍为乙级非密封源工作场所。

而本项目 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室日等效最大操作量表 10-5。

表10-5 DSA1室工作场所的日等效最大操作量计算表

| 核素名称 | 日最大操作量 | 毒性 | 毒性组别修正因子 | 操作方式 | 操作方式修正因子 | 日等效最大操作量 |
|--------------------------|---------|----|----------|-------|----------|----------|
| ^{90}Y | 5.0E+09 | 中毒 | 0.1 | 很简单操作 | 10 | 5.0E+07 |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 3.7E+08 | 低毒 | 0.01 | 很简单操作 | 10 | 3.7E+05 |

项目不在同一天内开展 ^{90}Y 肝癌治疗的第一阶段 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期模拟验证) 和第二阶段 (^{90}Y 正式治疗)，则 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室的日最大操作量为 $5.0\text{E}+07\text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 的分级要求(见表 10-3)，核定 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室为新增乙级非密封源工作场所。

综上，本项目实施后，鱼峰山院区核医学科场所等级仍为乙级场所，同时新增 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室为乙级非密封源工作场所，

10.1.3 辐射安全与防护措施

10.1.3.1 DSA 介入诊疗项目辐射防护措施

(1) DSA 机房屏蔽设计

本项目 DSA 机房采取的主要辐射屏蔽措施有：机房四侧墙体均为钢架结构 +3mmPb 铅板，机房天棚 12cm 混凝土加铺 2mmPb 厚铅板，机房地板 18cm 混凝土加铺 3cm 硫酸钡涂料，出入 DSA 机的 4 个房门均为内衬 4mmPb 铅板外包不锈钢的防护门，控制室与 DSA 机房之间建 4.5mmPb 铅玻璃观察窗。

本评价中，混凝土的等效铅当量依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 C 转换，转换时电压均按 125kV 计。本项目 12cm 混凝土（密度不小于 2.35g/cm³）保守均按 1.5mmPb，18cm 混凝土（密度不小于 2.35g/cm³）保守均按 2.0mmPb，参考《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫）表 6.14，150kV 条件下，3cm 硫酸钡防护砂浆保守按 2.0mmPb。本项目 DSA 机房拟采取的防护设计情况见表 10-6。

表 10-6 DSA1 室拟采取的防护设计情况

| 屏蔽体 | 拟采取的屏蔽措施 | 等效铅当量 mmPb | GBZ 130-2020 标 准要求 |
|--------|---------------------------------------|---------------|----------------------------|
| 观察窗 | 4.5mmPb 铅玻璃 | 4.5 | 有用线束方向铅当量和非有用线束方向铅当量≥2mmPb |
| 4 个防护门 | 内衬 4mmPb 铅板不锈钢 | 4 | |
| 机房四侧墙体 | 钢结构+3mmPb 铅板 | 3 | |
| 顶面 | 12cm 厚混凝土（1.5mmPb）+2mmPb 铅板 | 3.5 | |
| 地板 | 18cm 厚混凝土（2.0mmPb）+3cm 硫酸钡涂料（2.0mmPb） | 4 | |
| 最小单边长度 | 5.91m | | 3.5 |
| 有效使用面积 | 6.45m×5.91m=38.1m ² | | 20 |

注：1.铅密度不小于 11.3g/cm³，硫酸钡防护材料密度不小于 3.2g/cm³，混凝土密度不小于 2.35g/cm³；
2.机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积；
3.机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

通过表 10-6 可知，本项目拟建 DSA 机房的四面墙体、顶棚、地板、防护门以及观察窗采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度符合标准要求，从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目拟建 DSA 机房的屏蔽措施设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关屏蔽措施的技术要求。

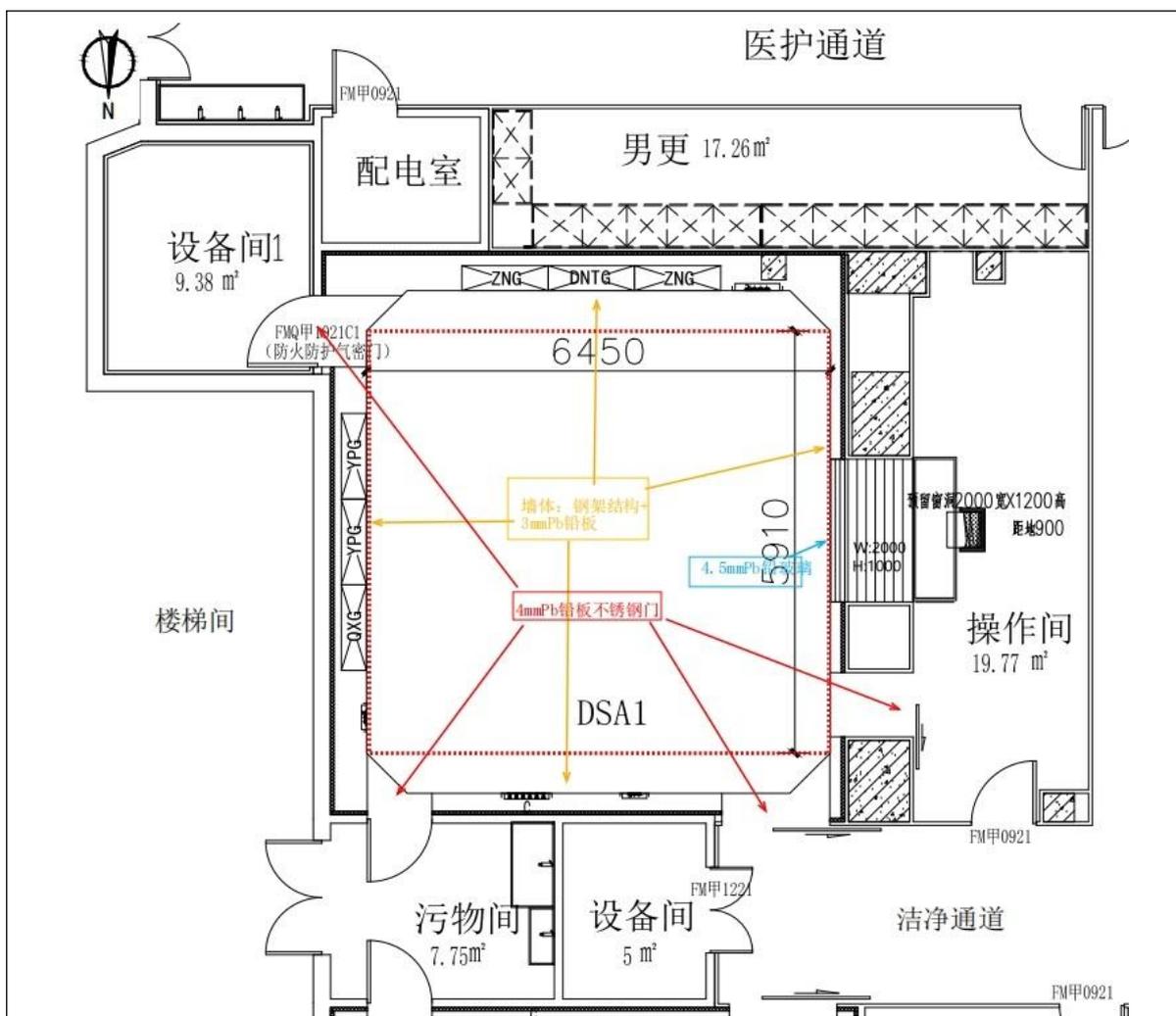


图 10-6 DSA 机房防护设计平面示意图

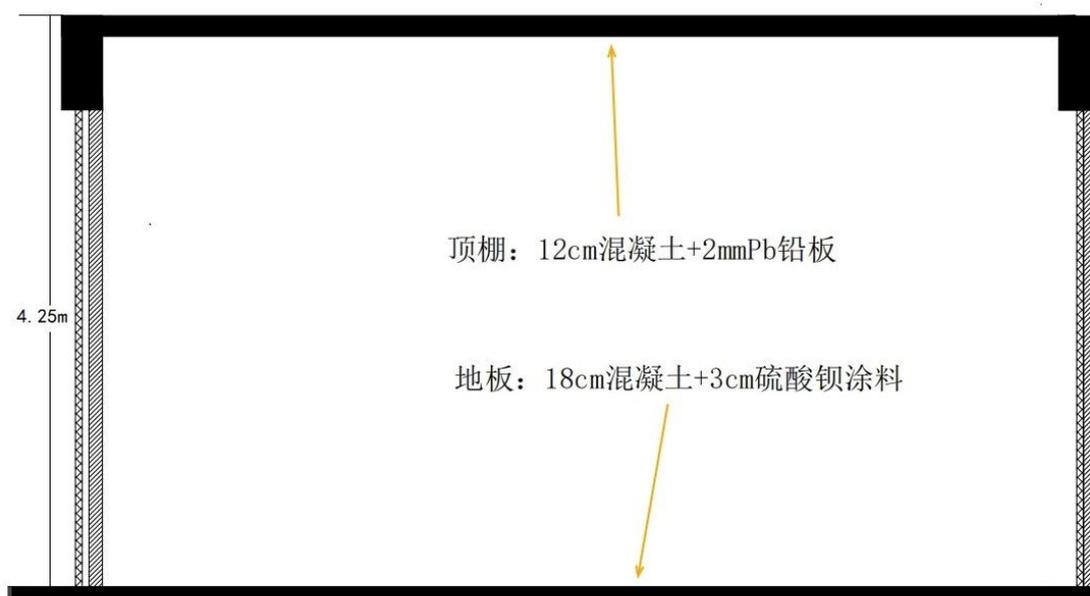


图 10-7 DSA 机房防护设计立面示意图

(2) 拟配备辐射防护用品及辐射安全警示设施情况

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），医院拟为辐射工作人员和受检者分别配备相应的个人防护用品，供工作人员、受检者使用，具体个人防护用品拟配备情况如表 10-7 所示。

表 10-7 本项目 DSA 介入手术防护用品拟配备情况

| 使用场所 | 医院拟配备情况 | | | 标准要求 | 符合性判断 |
|--------|---------|------------|----|---|-------|
| | 防护用品 | 铅当量 (mmPb) | 数量 | | |
| DSA1 室 | 铅围裙 | 0.5 | 3 | 工作人员：（必配：铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套；选配：铅橡胶帽子） 辅助防护设施：（铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏；选配：移动铅防护屏风） 受检者：（必配：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套；选配：铅橡胶帽）（GBZ130-2020） | 符合 |
| | 铅橡胶帽 | 0.5 | 3 | | |
| | 铅围脖 | 0.5 | 3 | | |
| | 铅介入手套 | 0.025 | 3 | | |
| | 铅眼镜 | 0.5 | 3 | | |
| | 铅悬挂防护屏 | 0.5 | 1 | | |
| | 床侧防护帘 | 0.5 | 1 | | |

本项目 DSA 介入手术拟配的个人防护用品与防护设施配置类型、数量以及防护用品铅当量均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

(3) 辐射安全防护措施

本项目 DSA 介入手术防护措施设计方案与标准《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对照分析见表 10-8 所示

表 10-8 本项目 DSA 介入手术机房防护措施与标准对照表

| 项目 | 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） | 本项目设置情况 | 符合情况 |
|------|---|--|------|
| 防护措施 | 单管头 X 射线设备（DSA）：机房内最小有效使用面积 20m ² ，机房内最小单边长度 3.5m； | 5 号楼 1 楼介入治疗室 DSA1 室，机房设计有效使用面积为 38.1m ² （长 6.45m×宽 5.91m），最小单边 5.91m | 符合 |
| | 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况 | DSA1 室拟设有观察窗，观察窗设置于机房和控制室之间，观察窗的位置能够方便地观察到患者和受检者状态 | 符合 |
| | 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物 | 机房内拟设置储物柜，放置手术所需的用品。不堆放诊断无关的杂物。 | 符合 |

| | | | |
|--------|--|---|----|
| 机房通风 | 机房应设置动力通风装置,并保持良好的通风 | 拟设有机械通风系统,使机房保持良好的通风 | 符合 |
| 标志、指示灯 | 机房门外应有电离辐射警告标志;机房门上方应有醒目的工作状态指示灯,灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句 | 机房门外拟有电离辐射警告标志;机房门上方拟设有醒目的工作状态指示灯,灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句 | 符合 |
| | 平开机房门应有自动闭门装置;推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施 | 本项目 DSA 机房平开机房门拟设置自动闭门装置,机房电动推拉式机房门拟设置曝光时关闭机房门的管理措施; | 符合 |
| | 工作状态指示灯能与机房门有效关联 | 本项目 DSA 机房拟设置门灯联锁,机房工作状态指示灯拟与机房门有效关联 | 符合 |
| | 候诊区应设置放射防护注意事项告知栏 | 候诊区拟放射防护注意事项告知栏 | 符合 |
| 受检者候诊区 | 受检者不应在机房内候诊 | 本项目相关介入治疗机房的候诊区均拟设置于机房外侧,受检者均不在机房内候诊。 | 符合 |

(4) DSA 机房通风设置

因 X 射线对空气的电离产生的臭氧和氮氧化物,医院根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)标准要求,在天花板吊顶处安装吸顶式排风系统,设置有排风与新风管道,管道设置有全热交换新风机,风机设计风量为 350m³/h;管道由 DSA 机房东侧墙体穿出,通过设备间排出室外,排风口处为室外道路,排风口位置空间开阔利于气流扩散,不会对周围环境造成影响,能保证机房良好的通风效果,详见图 10-8,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中关于“机房应设置动力通风装置,并保持良好的通风”的要求。管道穿墙洞口位置拟采用包 5mm 铅皮处理,详见图 10-9。

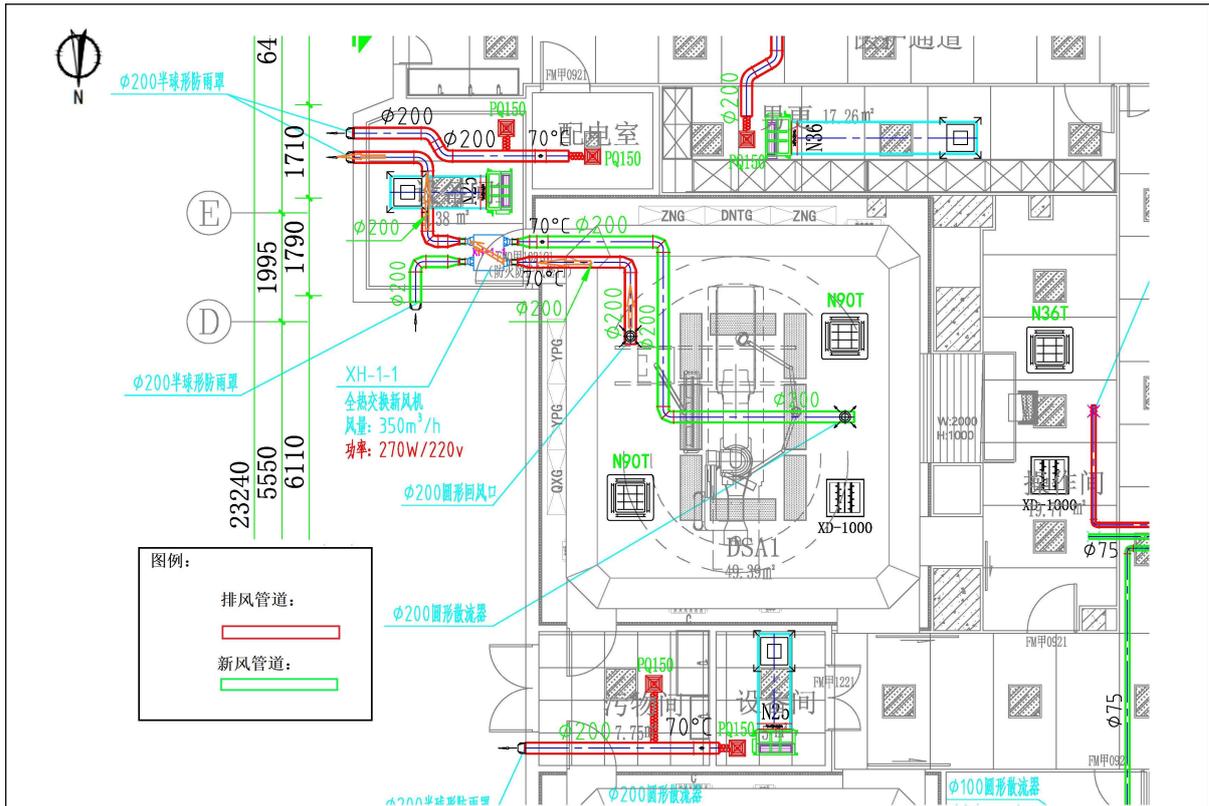


图 10-8 DSA 机房通风设计平面示意图

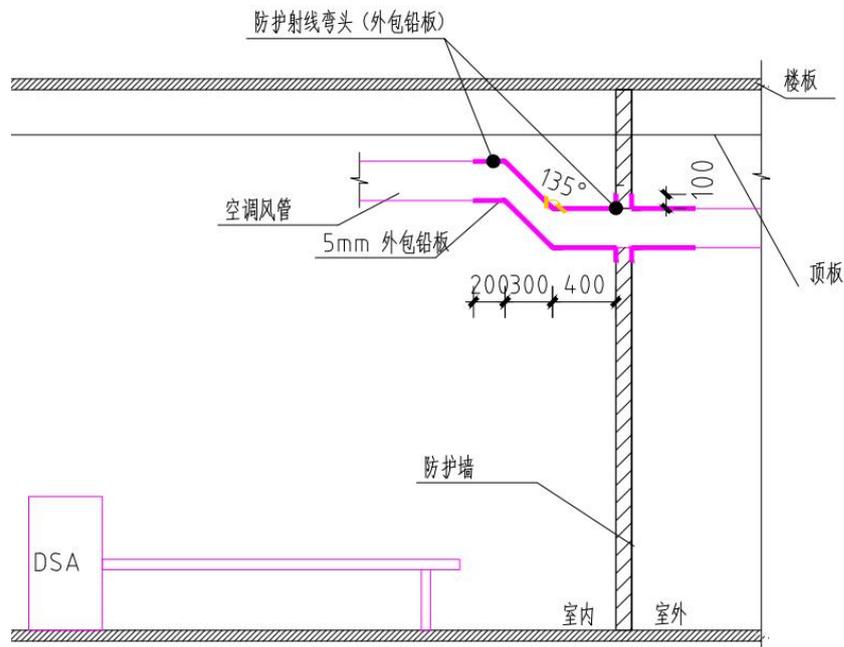


图 10-9 DSA 机房风管防护示意图

(5) 电缆设置

针对本项目拟建 DSA 机房的实际情况，设计单位将在合理布置管线穿墙位置，将电缆管线在地面下铺设，避免主射线直接照射管线口，穿墙洞口位置采用 4mm 铅

当量的铅盖板进行覆盖，满足整个机房屏蔽防护要求。

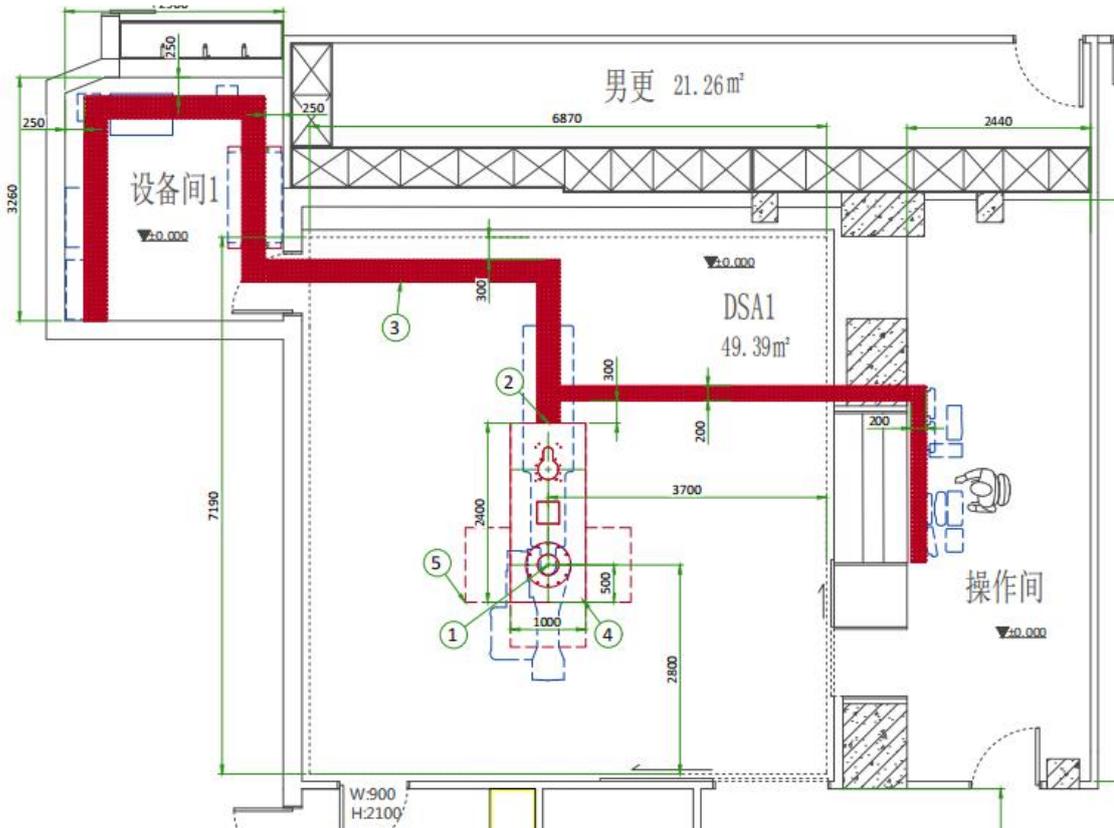


图 10-10 DSA 机房电缆走向示意图

10.1.3.2 ^{90}Y 微球治疗项目辐射防护措施

(1) 辐射防护屏蔽设计

^{90}Y 微球治疗项目依托的辐射工作场所均拟采取了辐射屏蔽措施。见表 10-9。

表 10-9 拟采取的辐射防护屏蔽设计方案

| 屏蔽体 | | 医院拟采取的屏蔽厚度 (cm) |
|---------|-----------|--------------------|
| DSA1 室 | 顶棚 | 12cm 混凝土+2mmPb 铅板 |
| | 地板 | 18cm 混凝土+3cm 硫酸钡涂料 |
| | 四面墙体 | 钢架结构+3mmPb 铅板 |
| | 观察窗 | 4.5mmPb 铅玻璃 |
| | 防护门 (4 扇) | 4mmPb 铅板 |
| ECT 检查室 | 顶棚 | 30cm 混凝土 (原有) |
| | 地板 | 30cm 混凝土 (原有) |

| | | |
|----------------------|------|---------------------------------|
| | 四面墙体 | 24cm 混凝土（原有） |
| | 观察窗 | 4mmPb 铅玻璃（原有） |
| | 防护门 | 4mmPb 铅板（原有） |
| 8 楼专用病房 （原籽籽植入病房） | 顶棚 | 12cm 混凝土（原有） |
| | 地板 | 12cm 混凝土（原有） |
| | 四面墙体 | 24cm 实心砖（原有） |
| | 防护门 | 2mmPb 铅板（原有） |
| 7 楼专用病房 （原护士值班室） | 顶棚 | 12cm 混凝土（原有） |
| | 地板 | 12cm 混凝土（原有） |
| | 四面墙体 | 24cm 实心砖（原有） |
| | 防护门 | 2mmPb 铅板（拟新增） |
| 分装柜 | 柜体 | 25mmPb（原有 ^{131}I 分装柜） |



图 10-11 本项目 ^{90}Y 分装拟用分装通风橱（原 ^{131}I 分装通风橱）

(2) 拟配备辐射防护用品及辐射安全警示设施情况

1、防护用品

医院严格规定相关辐射工作人员在辐射工作中做好个人的放射防护,并配备相应的防护用品和检测设备以达到辐射防护的目的,医院核医学科原已配备有相应的辐射防护用品及检测仪器,核医学科已配备辐射防护用品详见表10-10:

表 10-10 本项目核医学科已配备防护用品及辅助设备一览表

| 使用场所 | 设备名称 | 厂家、型号 | 数量 | 备注 |
|-------|-----------------|---------|------------|------------------------|
| 核医学场所 | 分装柜(含通风橱) | 广西华辉 | 1个(25mmPb) | 原有 ¹³¹ I分装柜 |
| | 活度计 | RM-905a | 1个 | 原有 |
| | 表面污染监测仪 | / | 1台 | 原有 |
| | 个人剂量报警仪 | / | 2个 | 原有 |
| | 铅帽、铅围脖、铅围裙、铅防护服 | / | 2套 | 原有 |

2、⁹⁰Y微球手术专用的防护配件

⁹⁰Y微球手术专用的防护配件是为满足放射安全的基本原则以及协助手术中处理⁹⁰Y微球产品而设计的,使用有机玻璃(丙烯酸类)和铅材料。此外,为防止放射性污染,需在手术室中可能存在放射性污染的地面粘贴一次性铺巾,通常是手术台和放置⁹⁰Y微球推车之间的地板。导管的接头下方需放置双层铺巾,以防止术中发生放射性污染。

表 10-11 ⁹⁰Y 微球手术专用防护配件一览表

| 序号 | 防护用品 | 数量 | 备注 |
|----|-------------------------|-------|------------------|
| 1 | 传输系统防护(有机玻璃,6mm) | 1套/手术 | 厂家配送,手术辅助用具 |
| 2 | V型瓶防护(V型瓶支架)(有机玻璃,18mm) | 1个/手术 | |
| 3 | 注射器防护套(有机玻璃,15mm。) | 1个/手术 | |
| 4 | 储源瓶(运输瓶)铅罐(6.4mm铅当量) | 1个/手术 | / |
| 5 | 一次性吸收衬层及托盘 | 按需配置 | 容纳任何意外溢漏的污染物 |
| 6 | 便携式个人剂量报警仪 | 2台 | / |
| 7 | 表面污染检测仪 | 1台 | 每次手术完对场所沾污情况进行检测 |

| | | | |
|----|-----------------|----|--------------|
| 8 | 铅废物桶（5mmPb，20L） | 2个 | 收集产生的放射性固体废物 |
| 9 | 铅转运盒（5mmPb） | 1个 | 转运放射性药品 |
| 10 | 手术应急去污用品 | 若干 | 意外洒泼应急处理 |
| 11 | 介入室污染防护服 | 若干 | 防止污染物沾染 |

(3) 辐射安全与防护合理性分析

核医学科和DSA1室工作场所采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的符合情况见下表。

表 10-12 采取的安全防护措施和设施与 HJ1188-2021 符合情况对照表

| 序号 | 放射防护要求 | 项目拟采取的安全防护措施和设施 | 符合情况 |
|----|--|--|------|
| 1 | 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。 | 本项目核医学场所位于8号楼2楼与3楼，属于相对独立区域，布局合理；因 ⁹⁰ Y微球介入手术需在介入室内开展，因此医院将5号楼1楼介入治疗室DSA1室作为 ⁹⁰ Y微球介入手术场所，该区域也是辐射项目集中区域，便于管理。高活区集中在一端，放射性药物、放射性废物的存放位置固定，给药后患者一般当即通过病人通道离开，必要时在5号楼7楼或8楼专用病房留观1-2天后再离开。 | 符合 |
| 2 | 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。 | 本项目核医学工作场所及介入手术室DSA1室设立了相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径；工作人员通道和患者通道分开；放射性药物均在开诊前运达分装室，且放射性药物转移货包均有足够的防护包装；废物均在无就诊病人时转移到废物储存间，即药物、废物通道在时间上与人员不交叉。 | 符合 |
| 3 | 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。 | 本项目控制区出入口设有门禁，无关人员不得随意进出控制区；在医生出入控制区处设置了更衣室，为工作人员提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；控制区内设有给药后患者的专用卫生间。 | 符合 |
| 4 | 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。 | 放射性物质一般按需购买，购买后使用前暂存于核医学科2楼储源室储存柜内暂存，有适当屏蔽。 | 符合 |

| | | | |
|----|--|---|----|
| 5 | 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。 | 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污，DSA1室地面拟设置为地板胶，且与墙壁衔接处无接缝。 | 符合 |
| 6 | 应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。 | 本项目放射药品在通风橱内进行分装标记等操作；从事放射性药物操作的工作人员配备有铅衣、铅围脖、一次性工作服、手套等。专用病房内拟设置铅屏风。 | 符合 |
| 7 | 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。 | 在医生出入控制区处设置了更衣室，并配备表面污染监测仪器，制定了监测制度，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测。 | 符合 |
| 8 | 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。 | 本项目使用的药物均为短半衰期核素，一般按需求订购，购买后使用前暂存于核医学科2楼储源室内暂存，储源箱定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质建立了台账，并及时登记，确保账物相符。 | 符合 |
| 9 | 放射性物质的分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。 | 放射性物质的分装在密闭及负压的通风橱中进行，通风橱设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置；防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。 | 符合 |
| 10 | 通风橱应有足够的通风能力，通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。 | 通风橱设计通风能力不少于0.5m/s，通风橱通风系统排气口高于本建筑物屋顶。 | 符合 |

综上所述，本项目核医学科和 DSA1 室工作场所采取的安全防护措施和设施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

（4）放射性药品、放射源储存过程的防护措施

本项目外购放射性药物由供药公司负责送至核医学科储源室，放射性药物运输过程中均储存在有屏蔽的容器内，转入医院后放射性药物均暂存于储源室，储源室采用双人双锁管理，防止放射性物品被盗或被破坏。

（5）表面污染防治措施

a) 介入治疗过程中应采取措施(比如用吸水纸等覆盖宜洒落药品的所有区域)，

避免药品洒落区域污染。

b) 介入注射完后，应及时使用辐射监测仪监测，确定导管接口处无残余放射性后方可将微导管从普通导管中移出，经包裹处理后放入带屏蔽的固体放射性废物桶内。

c) 介入治疗场所应配备表面污染监测仪，每次手术结束后对辐射工作人员应进行表面沾污监测，对手术床工作台面、工作椅、地面等区域进行表面污染监测，确保辐射工作场所的表面污染水平低于控制标准；如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

d) 如核素洒落而发生污染，应封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所去污和人员应急处理。

(6) 病人辐射安全管理

已进行治疗病人为活动的“辐射源”，其在医院的移动会对护理的医务人员、患者的陪护人员及医院公众环境产生一定的外照射。

本评价建议患者住院期间采取的管理措施如下：

a) 患者在进行治疗后，安排其在患者专用病房住院，治疗期间病人在专用病房内活动，特殊情况需离开时，需对病人穿戴个人防护用品进行整体屏蔽。

b) 对患者及家属（陪护）人员进行注意事项告知，陪护人员尽量不近距离接触患者，建议距离 1m 以上。在病房中合理利用铅屏风和铅衣进行防护。

c) 控制区内，任何物品在搬离病房之前应进行监测，被污染物品按放射性废物处理。

d) 为了将病人对其他人的影响减至最低，医院应给予出院患者辐射防护书面指导：①一周内不要搭乘必须与邻座共坐两小时以上的交通工具；②一周内不与伴侣共枕；③一周内避免与小孩或孕妇亲密接触；④一周内每次与他人的近距离接触应不超过一小时，如果接触时间延长，建议与其他人保持 1m 以上的距离。

10.2 三废的治理

10.2.1 DSA 介入诊疗项目三废的治理

医院血管造影用 X 射线装置在运行时无放射性废气、废水和固体废弃物产生。X 射线与空气作用会产生臭氧及氮氧化物，但产生的 X 射线能量较低（几十 keV），且每天曝光时间较短，因此本项目射线设备产生臭氧及氮氧化物是极少量的。

本项目所在 DSA 机房采用机械排风扇进行排风，机房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过机房内的排风系统和外界空气对流，可改善室内空气中臭氧及氮氧化物问题，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中满足关于“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求。通过换风方式将臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）排出机房外，可以最大限度降低有害气体的浓度。

10.2.2 ⁹⁰Y 微球治疗项目三废的治理

（1）放射性废水（液）

⁹⁰Y 微球介入治疗，在第一阶段采取注射^{99m}Tc-MAA模拟时，由于是在机房内注射后即扫描，一般情况下扫描后即离开核医学科，排泄可能性不大，如有排泄，依托原有的放射性衰变池贮存处理；医院原在核医学科建有足够容量的放射性废水衰变池，该衰变池通过管道收集来自核医学科辐射用房流出的废水，由于注射的^{99m}Tc量较小，即使患者在核医学科排泄大小便，也不会影响废水衰变池处理能力及排放的水质；在第二阶段，⁹⁰Y操作过程中正常情况下不会产生放射性废水。如发生撒漏，则使用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，不用水进行清洗使之成为放射性固体废物，在注射手术过程中，患者处于麻醉状态，不排泄。因此，本项目放射性废水主要为⁹⁰Y留观病人产生的排泄物。⁹⁰Y微球可随血流栓塞肿瘤末梢血管，不排出体外。尿液中不含有载药微球，但含有极低⁹⁰Y核素的活度浓度。根据后文表11分析，患者排泄物中⁹⁰Y核素单次排放活度和月排放总活度均低于 GB18871-2002中相应要求；尿液中⁹⁰Y活度浓度也低于 GB18871-2002 中规定的活度浓度豁免水平，因此患者尿液可以直接排放。

综上所述，可以认为本次扩建的⁹⁰Y微球应用项目不会对废水衰变池处理能力及排放的水质产生影响。

此外，药品购置回来使用后剩余少量的残留液，不得直接排放，应暂存衰变至满足HJ1188-2021中第7.2.3款要求后按固体废物处置。

(2) 放射性废气

^{90}Y 微球为悬浮液，悬浮溶液为无菌水，无挥发性，且在治疗全过程中， ^{90}Y 微球不暴露在空气，且游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇形式存在，氯化钇不具备挥发性，因此，本项目不考虑放射废气的影响。

(3) 放射性固体废物

^{90}Y 微球抽取过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等放射性固体废物；注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物。医院拟在核医学科与DSA1室各设置1个铅屏蔽废物桶，单个容积拟设置为20L，放射性固体废物先收集在各自相关工作场所的专用铅废物桶内，之后集中收集至核医学科3楼放射性固体废物储存室暂存衰变。

医院应加强管理，用来收集放射性固体废弃物的专用铅废物桶应贴上电离辐射标志，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，且放射性废物每袋重量不超过20kg，注意含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。要求固体放射性废物收集桶外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

参照HJ1188-2021的要求，医院拟采取暂存衰变后清洁解控处置。即在专用贮存衰变箱内存放衰变，拟暂存30天（大于 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两者最长半衰期的10倍），经监测剂量率满足本底水平，且 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

表 11 环境影响分析

11.1 建设、调试阶段对环境的影响

11.1.1 建设阶段

本核技术应用项目在《建设项目环境影响评价分类管理名录》中属于使用II类射线装置项目，活动种类为“使用”。对于本项目而言，主要的建设阶段是在现有建筑内进行室内辐射防护施工及设备安装活动，对室外环境和周围人群的影响较小。在项目建设期间无放射性影响，主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物。

(1) 噪声

施工期噪声主要来自于机房建造及装修,通过合理安排施工时间等措施大大减轻施工对机房周边科室的噪声影响。

(2) 扬尘

施工期扬尘主要为 DSA 机房建造、装修时的钻洞、敲打等产生的粉尘。为减小施工期间扬尘对外界环境的影响，在施工时采取了施工区域围挡、现场洒水等措施，并加强施工现场管理，避免无关人员进入施工区。施工期间几乎对机房周边科室没有扬尘影响。

(3) 废水

施工期间产生的废水主要为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的污水处理系统，经院内处理后进入市政管网。

(4) 固体废物及防治措施

施工期固体废物主要为装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的固体废物由相关单位统一收集后处理。

11.1.2 调试阶段

DSA 只有在曝光过程中才会产生辐射，其产生的射线是随机器的开、关而产生和消失的。在设备调试阶段，虽会产生射线，但调试时间很短。而且，此时 DSA 机房等屏蔽设施已建好，因此不会对调试人员及周围公众产生明显的辐射影响。DSA 的安装调试应由厂家专业人员进行，该活动属于厂家辐射安全管理范围，不纳入本项目影响范围。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 DSA 介入手术运行阶段对环境的影响

11.2.1.1 DSA 辐射环境影响分析

1、场所辐射水平分析

DSA 设备在手术中分透视和摄影两种模式。DSA 摄影（拍片）模式是指 DSA 的 X 射线系统曝光时，工作人员位于控制室，即为隔室操作方式。DSA 透视模式是指在透视条件下，医护人员近台同室进行介入操作。本次评价分别对摄影、透视两种工况下机房周围的辐射水平进行了预测。

在介入手术过程中，机头有用线束直接照向患者，根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》（NCRP147 号出版物）第 4.1.6 节指出，在血管造影术中将使用图像增强器，可阻挡主射线，初级辐射的强度会大幅度地被患者、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱，因此 DSA 屏蔽估算时可不考虑主束照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

2、辐射源强

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），介入设备等总滤过不小于 2.5mmAl，本项目购置正规生产厂家生产的设备，滤过参数满足标准要求，本次计算总滤过取 2.5mmAl 保守读数。根据《辐射防护手册》（第三分册）图 3.1 可查知离靶 1m 处空气中的空气比释动能值（mGy/mA·s），根据《辐射防护手册》第一分册公式（4.4）， $\dot{X} = I \cdot \dot{X}_0 \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^2$ （R/min）式中 \dot{X}_0 为 X 射线机的输出量，可用 R/mA·min 表示，即在距 X 射线管焦斑某一固定距离 r_0 米处每毫安管电流产生的 X 射线的照射量率， I 为管电流（mA）。

得出距靶 1m 处 X 射线照射量率可按下式计算：

$$\dot{X} = I \cdot \dot{X}_0 \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

\dot{X}_0 ----X 射线机的输出量，mGy/（mA·s）；

I ----管电流，mA；

其中 1mGy=10³μGy。

参照 GBZ/T 201.1-2007 的第 4.8.3 款，为了 DSA 机房屏蔽剂量估算和评价的方便

及统一，在辐射屏蔽及其设计范畴内，不进行诸物理量（周围剂量当量 S_v 、空气比释动能 G_y 、有效剂量 S_v ）之间的转换系数修正。以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）可知源项及屏蔽透射因子 B 拟合参数具体见表 11-1。

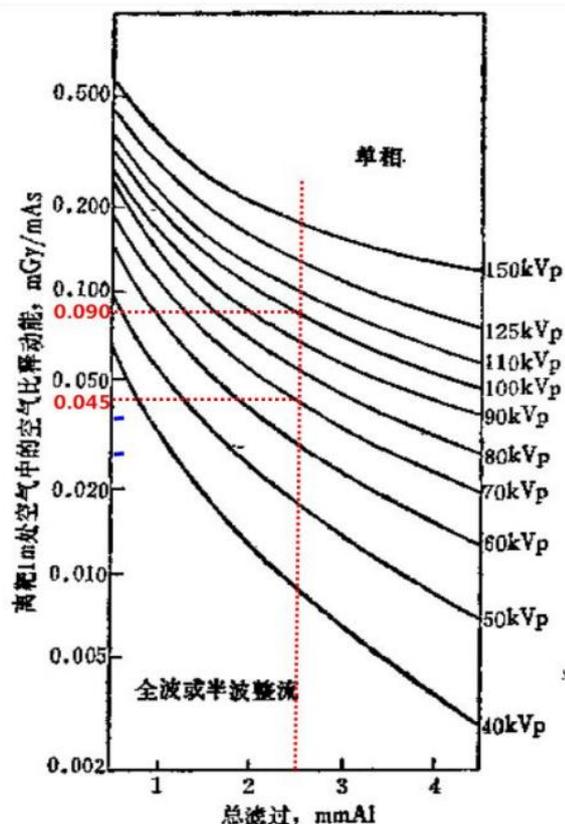


图 11-1 距 X 射线 1m 处的照射量率随管电压及总过滤厚度变化的情况

本项目 DSA 的最大管电压均为 125kV、最大管电流为 1000mA。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余量。

经医院核实，透视模式下 DSA 的管电压在 50~70kV 范围内、管电流在 5~60mA 范围内；摄影模式下 DSA 的管电压在 70~100kV 范围内、管电流在 50~500mA 范围内。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），DSA 的等效总滤过不小于 2.5mmAl，本项目 DSA 为正规厂家的合格产品，因此满足此项要求，此处该 DSA 的等效总滤过按 2.5mmAl 考虑；根据《辐射防护手册》（第三分册）图 3.1（本评价中图 9-4）以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）可知源项及屏蔽透射因子 B 拟合参数具体见表 11-1。

本项目 DSA 运行工况按照保守情况下进行计算，具体工况见表 11-1。

表 11-1 源项大小及屏蔽透射因子 B 拟合参数

| 运行模式 | 运行管电压 (kV) | 运行管电流 (mA) | 距靶 1m 处输出量 (mGy/(mA·s)) | H_0 ($\mu\text{Gy/h}$) | α | β | γ | 备注 |
|------|------------|------------|-------------------------|----------------------------|----------|---------|----------|----|
| 摄影 | 100 | 500 | 0.090 | 1.62×10^8 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 主束 |
| | | | | | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 散射 |
| 透视 | 70 | 60 | 0.045 | 9.72×10^6 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | / |

3、关注点情况

由医院提供的设计可知，并结合场所布局，选取 DSA 机房屏蔽体外 30cm 处为关注点，DSA 机房正上方地面 1m 及 DSA 机房正下方地面 1.7m 分别为楼上楼下关注点；手术床离地距离按 1m、球管（射线源点）与病人（散射体）距离按 0.5m。DSA 机房各关注点距射线装置出束点距离详见表 11-2，关注点分布情况详见图 11-2、图 11-3。

表 11-2 DSA 机房周围各关注点位情况

| 关注点 | 关注点位置描述 | 与射线出束点距离 (m) | 屏蔽设计 | 总等效铅当量 X(mmPb) | 备注 |
|-----|-----------------------|--------------|----------------|----------------|------|
| 1# | 控制室观察窗外 30cm (控制室) | 4.81 | 4.5mmPb 铅玻璃观察窗 | 4.5 | 职业照射 |
| 2# | DSA 机房西侧墙外 30cm (控制室) | 4.85 | 钢结构+3mmPb 铅板 | 3 | |
| 3# | DSA 机房控制室防护门外 30cm | 5.11 | 4mmPb 铅防护门 | 4 | |
| 4# | 洁净通道防护门外 30cm | 4.42 | 4mmPb 铅防护门 | 4 | 公众照射 |
| 5# | DSA 机房北侧墙外 30cm (设备间) | 3.41 | 钢结构+3mmPb 铅板 | 3 | |
| 6# | DSA 机房北侧墙外 30cm (污物间) | 4.26 | 钢结构+3mmPb 铅板 | 3 | |
| 7# | 污物间防护门外 30cm | 4.03 | 4mmPb 铅防护门 | 4 | |
| 8# | DSA 机房东侧墙外 30cm (楼梯间) | 3.28 | 钢结构+3mmPb 铅板 | 3 | |

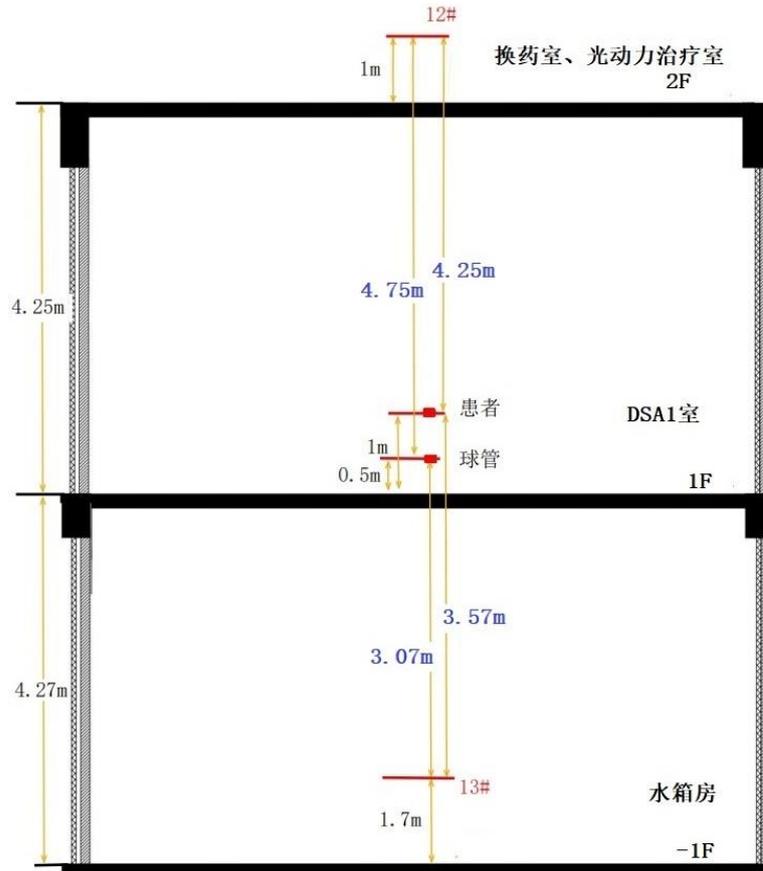


图 11-3 DSA1 室立面关注点示意图

(1) 泄漏辐射

泄漏辐射剂量率计算，参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编）中给出的公式计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B \cdot f}{d^2} \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

H_L ——关注点漏射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

f ——设备射线泄漏率，0.1%；

H_0 ——距焦点 1m 处剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

d ——关注点至靶点距离，m；

B ——透射因子。

透射因子 B 按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中给出的公式计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

B ——透射因子；

X ——屏蔽材料铅当量厚度，mm；

α 、 β 、 γ ——对不同管电压 X 射线辐射衰减拟合参数（取自 GBZ 130-2020 附录 C）。

根据公式计算各关注点处泄漏辐射 X- γ 辐射剂量率见表 11-3。

表 11-3 各关注点处泄漏辐射 X- γ 辐射剂量率估算结果

| 运行模式 | 关注点 | H_0 | f | d | X | B | α | β | γ | H_L ($\mu\text{Gy/h}$) |
|------|-----|----------|------|------|-----|----------|----------|---------|----------|-------------------------------|
| 透视模式 | 1# | 9.72E+06 | 0.1% | 4.81 | 4.5 | 1.84E-12 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 7.74E-10 |
| | 2# | 9.72E+06 | 0.1% | 4.85 | 3 | 5.79E-09 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 2.39E-06 |
| | 3# | 9.72E+06 | 0.1% | 5.11 | 4 | 2.70E-11 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.00E-08 |
| | 4# | 9.72E+06 | 0.1% | 4.42 | 4 | 2.70E-11 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.34E-08 |
| | 5# | 9.72E+06 | 0.1% | 3.41 | 3 | 5.79E-09 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 4.84E-06 |
| | 6# | 9.72E+06 | 0.1% | 4.26 | 3 | 5.79E-09 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 3.10E-06 |
| | 7# | 9.72E+06 | 0.1% | 4.03 | 4 | 2.70E-11 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.62E-08 |
| | 8# | 9.72E+06 | 0.1% | 3.28 | 3 | 5.79E-09 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 5.23E-06 |
| | 9# | 9.72E+06 | 0.1% | 5.38 | 4 | 2.70E-11 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 9.06E-09 |
| | 10# | 9.72E+06 | 0.1% | 5.53 | 3 | 5.79E-09 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.84E-06 |
| | 11# | 9.72E+06 | 0.1% | 5.31 | 3 | 5.79E-09 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 2.00E-06 |
| | 12# | 9.72E+06 | 0.1% | 4.75 | 3.5 | 3.95E-10 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.70E-07 |
| | 13# | 9.72E+06 | 0.1% | 3.07 | 4 | 2.70E-11 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 2.78E-08 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-----|----------|------|------|-----|----------|-------|-------|--------|----------|
| 摄影模式 | 1# | 1.62E+08 | 0.1% | 4.81 | 4.5 | 9.70E-07 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 6.79E-03 |
| | 2# | 1.62E+08 | 0.1% | 4.85 | 3 | 4.14E-05 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 2.85E-01 |
| | 3# | 1.62E+08 | 0.1% | 5.11 | 4 | 3.39E-06 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 2.10E-02 |
| | 4# | 1.62E+08 | 0.1% | 4.42 | 4 | 3.39E-06 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 2.81E-02 |
| | 5# | 1.62E+08 | 0.1% | 3.41 | 3 | 4.14E-05 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 5.77E-01 |
| | 6# | 1.62E+08 | 0.1% | 4.26 | 3 | 4.14E-05 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 3.70E-01 |
| | 7# | 1.62E+08 | 0.1% | 4.03 | 4 | 3.39E-06 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 3.38E-02 |
| | 8# | 1.62E+08 | 0.1% | 3.28 | 3 | 4.14E-05 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 6.24E-01 |
| | 9# | 1.62E+08 | 0.1% | 5.38 | 4 | 3.39E-06 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 1.90E-02 |
| | 10# | 1.62E+08 | 0.1% | 5.53 | 3 | 4.14E-05 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 2.19E-01 |
| | 11# | 1.62E+08 | 0.1% | 5.31 | 3 | 4.14E-05 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 2.38E-01 |
| | 12# | 1.62E+08 | 0.1% | 4.75 | 3.5 | 1.18E-05 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 8.50E-02 |
| | 13# | 1.62E+08 | 0.1% | 3.07 | 4 | 3.39E-06 | 2.500 | 15.28 | 0.7557 | 5.82E-02 |

(2) 散射辐射

散射辐射剂量率计算，参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编）中给出的公式计算。

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \delta \cdot S \cdot B}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

H_s ——关注点散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 ——距焦点 1m 处剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

δ ——患者对 X 射线的散射比，本项目设备透视模式下 DSA 的最大管电压为 70kV，查《辐射防护基础》表 5-12，a 取值为 0.0005（90°散射）， $\delta = a/400 = 1.25 \times 10^{-6}$ ；摄影模式下 DSA 的最大管电压为 100kV，查《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1，a 取值

为 0.0013 (90°散射), $\delta=a/400=3.25\times 10^{-6}$;

S ——散射面积, 取典型值 100cm^2 ;

d_0 ——源与病人的距离, 取 0.5m ;

d_s ——病人与预测点的距离, m ;

B ——透射因子, 按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)附录 C 中给出的公式 (C.1) 计算;

X ——铅屏蔽厚度, mm ;

α 、 β 、 γ ——针对不同管电压 X 射线辐射衰减拟合参数 (取自 GBZ 130-2020 附录 C)。

根据公式计算各关注点处散射辐射 X- γ 辐射剂量率见表 11-4。

表 11-4 各关注点处散射辐射 X- γ 辐射剂量率估算结果

| 运行模式 | 关注点 | H_0 | δ | S | B | d_0 | d_s | α | β | γ | H_s ($\mu\text{Gy/h}$) |
|------|-----|----------|----------|-----|----------|-------|-------|----------|---------|----------|-------------------------------|
| 透视模式 | 1# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 1.84E-12 | 0.5 | 4.81 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 3.87E-10 |
| | 2# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 5.79E-09 | 0.5 | 4.85 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.20E-06 |
| | 3# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 2.70E-11 | 0.5 | 5.11 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 5.02E-09 |
| | 4# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 2.70E-11 | 0.5 | 4.42 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 6.71E-09 |
| | 5# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 5.79E-09 | 0.5 | 3.41 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 2.42E-06 |
| | 6# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 5.79E-09 | 0.5 | 4.26 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.55E-06 |
| | 7# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 2.70E-11 | 0.5 | 4.03 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 8.08E-09 |
| | 8# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 5.79E-09 | 0.5 | 3.28 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 2.62E-06 |
| | 9# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 2.70E-11 | 0.5 | 5.38 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 4.53E-09 |
| | 10# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 5.79E-09 | 0.5 | 5.53 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 9.21E-07 |
| | 11# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 5.79E-09 | 0.5 | 5.31 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 9.99E-07 |
| | 12# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 3.95E-10 | 0.5 | 4.25 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.06E-07 |
| | 13# | 9.72E+06 | 1.25E-06 | 100 | 2.70E-11 | 0.5 | 3.57 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.03E-08 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-----|----------|----------|-----|----------|-----|------|-------|-------|--------|----------|
| 摄影模式 | 1# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 1.47E-06 | 0.5 | 4.81 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 1.34E-02 |
| | 2# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 6.31E-05 | 0.5 | 4.85 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 5.65E-01 |
| | 3# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 5.14E-06 | 0.5 | 5.11 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 4.15E-02 |
| | 4# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 5.14E-06 | 0.5 | 4.42 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 5.54E-02 |
| | 5# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 6.31E-05 | 0.5 | 3.41 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 1.14E+00 |
| | 6# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 6.31E-05 | 0.5 | 4.26 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 7.32E-01 |
| | 7# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 5.14E-06 | 0.5 | 4.03 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 6.67E-02 |
| | 8# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 6.31E-05 | 0.5 | 3.28 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 1.24E+00 |
| | 9# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 5.14E-06 | 0.5 | 5.38 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 3.74E-02 |
| | 10# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 6.31E-05 | 0.5 | 5.53 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 4.35E-01 |
| | 11# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 6.31E-05 | 0.5 | 5.31 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 4.71E-01 |
| | 12# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 1.80E-05 | 0.5 | 4.25 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 2.10E-01 |
| | 13# | 1.62E+08 | 3.25E-06 | 100 | 5.14E-06 | 0.5 | 3.57 | 2.507 | 15.33 | 0.9124 | 8.49E-02 |

(3) 辐射环境影响预测结果分析

分析预测结果，拟建 DSA 工作场所各关注点处辐射剂量率见表 11-5 所示。

表 11-5 拟建 DSA 工作场所各关注点处 X-γ 辐射剂量率

| 运行模式 | 关注点 | 关注点描述 | 泄漏辐射剂量率 H _L (μSv/h) | 散射辐射剂量率 H _s (μSv/h) | 总附加剂量率 H _r (μSv/h) |
|------|-----|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 透视模式 | 1# | 控制室观察窗外 30cm (控制室) | 7.74E-10 | 3.87E-10 | 1.16E-09 |
| | 2# | DSA 机房西侧墙外 30cm (控制室) | 2.39E-06 | 1.20E-06 | 3.59E-06 |
| | 3# | DSA 机房控制室防护 门外 30cm | 1.00E-08 | 5.02E-09 | 1.51E-08 |
| | 4# | 洁净通道防护门外 30cm | 1.34E-08 | 6.71E-09 | 2.01E-08 |
| | 5# | DSA 机房北侧墙外 30cm (设备间) | 4.84E-06 | 2.42E-06 | 7.26E-06 |
| | 6# | DSA 机房北侧墙外 30cm (污物间) | 3.10E-06 | 1.55E-06 | 4.65E-06 |
| | 7# | 污物间防护门外 30cm | 1.62E-08 | 8.08E-09 | 2.42E-08 |
| | 8# | DSA 机房东侧墙外 30cm (楼梯间) | 5.23E-06 | 2.62E-06 | 7.85E-06 |

| | | | | | |
|----------|-----|------------------------------|----------|----------|-----------------|
| | 9# | 设备间 1 防护门外 30cm | 9.06E-09 | 4.53E-09 | 1.36E-08 |
| | 10# | DSA 机房南侧墙外 30cm (配电室) | 1.84E-06 | 9.21E-07 | 2.76E-06 |
| | 11# | DSA 机房南侧墙外 30cm (男更衣室) | 2.00E-06 | 9.99E-07 | 3.00E-06 |
| | 12# | DSA 机房正上方 (2F) 地面 1m 处 | 1.70E-07 | 1.06E-07 | 2.77E-07 |
| | 13# | DSA 机房正下方 (-1F) 地面 1.7m 处 | 2.78E-08 | 1.03E-08 | 3.81E-08 |
| 摄影 模式 | 1# | 控制室观察窗外 30cm (控制室) | 6.79E-03 | 1.34E-02 | 2.02E-02 |
| | 2# | DSA 机房西侧墙外 30cm (控制室) | 2.85E-01 | 5.65E-01 | 8.50E-01 |
| | 3# | DSA 机房控制室防护 门外 30cm | 2.10E-02 | 4.15E-02 | 6.25E-02 |
| | 4# | 洁净通道防护门外 30cm | 2.81E-02 | 5.54E-02 | 8.35E-02 |
| | 5# | DSA 机房北侧墙外 30cm (设备间) | 5.77E-01 | 1.14E+00 | 1.72E+00 |
| | 6# | DSA 机房北侧墙外 30cm (污物间) | 3.70E-01 | 7.32E-01 | 1.10E+00 |
| | 7# | 污物间防护门外 30cm | 3.38E-02 | 6.67E-02 | 1.00E-01 |
| | 8# | DSA 机房东侧墙外 30cm (楼梯间) | 6.24E-01 | 1.24E+00 | 1.86E+00 |
| | 9# | 设备间 1 防护门外 30cm | 1.90E-02 | 3.74E-02 | 5.64E-02 |
| | 10# | DSA 机房南侧墙外 30cm (配电室) | 2.19E-01 | 4.35E-01 | 6.54E-01 |
| | 11# | DSA 机房南侧墙外 30cm (男更衣室) | 2.38E-01 | 4.71E-01 | 7.09E-01 |
| | 12# | DSA 机房正上方 (2F) 地面 1m 处 | 8.50E-02 | 2.10E-01 | 2.95E-01 |
| | 13# | DSA 机房正下方 (-1F) 地面 1.7m 处 | 5.82E-02 | 8.49E-02 | 1.43E-01 |

由表 11-5 可知, 本项目在正常运行期间, 透视模式下 DSA 机房外各关注点处 X- γ 辐射剂量率最大为 $7.85E-06\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中规定的透视模式下屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求; 摄影模式下 DSA 机房外各关注点处 X- γ 辐射剂量率最大为 $1.86\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中规定的“短时、高剂量率曝光的摄影程序”下屏蔽体外表面 30cm

处剂量率不大于 25 μ Sv/h 的要求。

11.2.1.2 DSA 介入手术项目工作人员和公众剂量估算及评价

1、剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，X- γ 射线产生的外照射致人年有效剂量计算公式如下：

X- γ 射线产生的外照射致人年有效剂量计算公式如下：

$$E_r = H_r \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-5})$$

式中：

E_r ——X- γ 射线外照射年有效剂量，mSv；

H_r ——X- γ 辐射周围剂量当量率， μ Sv/h；

t ——X- γ 照射时间，h；

T ——居留因子；

2、个人剂量估算结果分析

根据医院提供实际工作安排，本项目共计配备介入操作医生10名、医技人员2名、护士4名，实行轮流制，每台手术需医师1-3人，护士1人，配备1名医技人员在控制室操作，平均每台手术中使用医用血管造影X射线系统（DSA）装置出束时间：透视约为30min/台，摄影约为2min/台。医院预计完成年介入手术量最大为3000台，则介入手术室全年操作出束时间：透视约为1500h/年，摄影约为100h/年。

依据表 11-5 估算结果以及公式 11-5 来估算项目运行对机房周围环境人员受照射剂量，DSA 机房周围环境人员受照射剂量估算结果详见表 11-6。

表 11-6 DSA 机房周围关注点个人剂量估算结果

| 关注点 | 透视模式 | | 摄影模式 | | 居留因子 | 年有效剂量(mSv/a) | 照射类型 |
|-----|---------------------|-------|---------------------|-------|------|--------------|------|
| | 总附加剂量率(μ Sv/h) | 时间(h) | 总附加剂量率(μ Sv/h) | 时间(h) | | | |
| 1# | 1.16E-09 | 1500 | 2.02E-02 | 100 | 1 | 2.02E-03 | 职业照射 |
| 2# | 3.59E-06 | 1500 | 8.50E-01 | 100 | 1 | 8.50E-02 | |
| 3# | 1.51E-08 | 1500 | 6.25E-02 | 100 | 1 | 6.25E-03 | |
| 4# | 2.01E-08 | 1500 | 8.35E-02 | 100 | 1/4 | 2.09E-03 | 公众照射 |
| 5# | 7.26E-06 | 1500 | 1.72E+00 | 100 | 1/8 | 2.15E-02 | |
| 6# | 4.65E-06 | 1500 | 1.10E+00 | 100 | 1/8 | 1.38E-02 | |

| | | | | | | |
|-----|----------|------|----------|-----|------|----------|
| 7# | 2.42E-08 | 1500 | 1.00E-01 | 100 | 1/8 | 8.17E-03 |
| 8# | 7.85E-06 | 1500 | 1.86E+00 | 100 | 1/8 | 2.32E-02 |
| 9# | 1.36E-08 | 1500 | 5.64E-02 | 100 | 1/8 | 7.04E-04 |
| 10# | 2.76E-06 | 1500 | 6.54E-01 | 100 | 1/8 | 1.79E-03 |
| 11# | 3.00E-06 | 1500 | 7.09E-01 | 100 | 1/4 | 1.77E-02 |
| 12# | 2.77E-07 | 1500 | 2.95E-01 | 100 | 1/2 | 1.47E-02 |
| 13# | 3.81E-08 | 1500 | 1.43E-01 | 100 | 1/16 | 8.95E-04 |

由表 11-6 可知，DSA 介入手术项目运行后控制室职业人员最大年剂量为 8.50E-02mSv/a，远低于职业人员年剂量管理约束值（5mSv）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员剂量限值（20mSv）的要求；公众受照年剂量最大为 2.32E-02mSv/a，远低于公众成员年剂量管理约束值（0.10mSv）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众成员剂量限值（1mSv）的要求。

因此，本项目 DSA 工作场所的防护设计满足要求，正常运行后产生的辐射影响满足标准要求，对机房外周围环境人员产生的辐射影响较小。

3、DSA 机房内工作人员辐射影响分析

（1）预测模式

年有效剂量根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）中计算公式：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (\text{式 11-6})$$

式中：

E——有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特（mSv）；

α ——系数，取 0.79；

H_u ——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为毫希沃特（mSv），本次估算通过计算职业人员铅衣内的受照剂量获得；

β ——系数，取 0.051；

H_o ——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为毫希沃特（mSv），本次估算通过计算职业人员铅衣外的受照剂量获得。

（2）预测参数

根据医院提供的信息，本项目正常运行后，预计每年最多完成介入手术约 3000 台，其中单名介入手术医生年最大介入手术台数不超过 400 台，单名护士最大不超过 750 台，每台手术出束时间：透视状态平均 30min/台、摄影状态平均 2min/台；则单名介入手术医生、护士年手术量 DSA 出束时间透视 200h、摄影 13.3h。单名介入手术护士年手术量 DSA 出束时间透视 375h、摄影 25h。

经医院核实，手术中医生如需透视则在室内直接操作，如需摄片（减影）则移步到控制室内，由控制室技师隔室操作曝光。DSA 机房内操作曝光透视。设备系统自带床旁射线防护帘和悬吊式射线防护屏不少于 0.5mm 铅当量，医生所穿铅服为 0.5mmPb，第一术者胸部位置距离球管为 1m、距离病人距离为 0.5m，第二术者位距离球管 1.5m、距离病人距离为 1m。主刀医生及其助手仅在透视模式下在手术室内，采集模式为隔室操作。

(3) 预测结果

根据上述参数及公式计算室内第一术者位置处泄漏 X-γ 辐射剂量率见表 11-7。

表 11-7 透视模式下手术位置处泄漏辐射 X-γ 辐射剂量率估算结果

| 防护情况 | $H_0(\mu\text{Sv/h})$ | f | d | X | B | α | β | γ | $H_L(\mu\text{Sv/h})$ |
|-------|-----------------------|------|-----|-----|----------|----------|---------|----------|-----------------------|
| 第一术者位 | | | | | | | | | |
| 有铅服 | 9.72×10^6 | 0.1% | 1 | 1 | 2.83E-04 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 2.75 |
| 无铅服 | 9.72×10^6 | 0.1% | 1 | 0.5 | 5.34E-03 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 51.91 |
| 第二术者位 | | | | | | | | | |
| 有铅服 | 9.72×10^6 | 0.1% | 1.5 | 1 | 2.83E-04 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.22 |
| 无铅服 | 9.72×10^6 | 0.1% | 1.5 | 0.5 | 5.34E-03 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 23.09 |

根据上述参数及公式计算室内第一术者位置处散射 X-γ 辐射剂量率见表 11-8。

表 11-8 透视模式下手术位置处散射辐射 X-γ 辐射剂量率估算结果

| 防护情况 | H_0 | δ | S | B | d_0 | ds | X | α | β | γ | Hs ($\mu\text{Sv/h}$) |
|-------|--------------------|-----------------------|--------|----------|-------|-----|-----|----------|---------|----------|----------------------------|
| 第一术者位 | | | | | | | | | | | |
| 有铅服 | 9.72×10^6 | 1.25×10^{-6} | 10^2 | 2.83E-04 | 0.5 | 0.5 | 1 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 5.50 |
| 无铅服 | 9.72×10^6 | 1.25×10^{-6} | 10^2 | 5.34E-03 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 103.8 |
| 第二术者位 | | | | | | | | | | | |
| 有铅服 | 9.72×10^6 | 1.25×10^{-6} | 10^2 | 2.83E-04 | 0.5 | 1.0 | 1 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 1.38 |
| 无铅服 | 9.72×10^6 | 1.25×10^{-6} | 10^2 | 5.34E-03 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 5.369 | 23.49 | 0.5881 | 25.97 |

综上所述，室内第一术者位置处总辐射剂量率见表 11-9 所示。

表 11-9 室内手术位置处总 X-γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

| 工作模式 | 总附加剂量率 (有铅服) | 总附加剂量率 (无铅服) |
|--------------|------------------|----------------------|
| 透视模式 (第一术者位) | $2.75+5.50=8.25$ | $51.91+103.8=155.71$ |
| 透视模式 (第二术者位) | $1.22+1.38=2.6$ | $23.09+25.97=49.06$ |

根据表 11-9 剂量率结果及公式 5，可估算出以第一术者位为代表的一名手术医生因本项目运行受照剂量： $(0.79 \times 8.25 \mu\text{Sv/h} \times 200\text{h} + 0.051 \times 155.71 \mu\text{Sv/h} \times 200\text{h}) \div 1000 = 2.89$ (mSv)，即年受照剂量为 2.89mSv。以第二术者位为代表的一名手术护士因本项目运行受照剂量： $(0.79 \times 2.6 \mu\text{Sv/h} \times 375\text{h} + 0.051 \times 49.06 \mu\text{Sv/h} \times 375\text{h}) \div 1000 = 1.71$ (mSv)，即年受照剂量为 1.71mSv。

由于该项目大部分工作人员均为原有人员调配，为在原有辐射工作基础上增加操作本次项目。因此，需叠加考虑工作人员原有项目辐射照射剂量，原有项目辐射照射剂量主要依据医院提供的最近一年度个人剂量监测报告结果（表 1-8），本项目工作人员最终受照剂量具体见表 11-10。

表 11-10 DSA 介入手术项目辐射工作人员年受照剂量估算结果

| 序号 | 姓名 | 本项目工作内容累加 (mSv) | 原工作实践个人剂量监测 (mSv) | 总年有效剂量估算 (mSv) |
|----|----|-------------------|-------------------|----------------|
| 1 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.46 | 3.35 |
| 2 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.16 | 3.05 |
| 3 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.35 | 3.24 |
| 4 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.04 | 2.93 |
| 5 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.04 | 2.93 |
| 6 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.20 | 3.09 |
| 7 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.97 | 3.86 |
| 8 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.04 | 2.93 |
| 9 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.04 | 2.93 |
| 10 | ■ | 第一术者位手术医师: (2.89) | 0.04 | 2.93 |
| 11 | ■ | 操作室内操作技师: (0.07) | 0.04 | 0.05 |
| 12 | ■ | 操作室内操作技师: (0.07) | 0.04 | 0.05 |
| 13 | ■ | 第二术者位护士: (1.71) | 0.11 | 1.82 |
| 14 | ■ | 第二术者位护士: (1.71) | 0.01 | 1.72 |
| 15 | ■ | 第二术者位护士: (1.71) | 0.04 | 1.75 |
| 16 | ■ | 第二术者位护士: (1.71) | 0.03 | 1.74 |

注: 1.本项目年剂量估算结果仅根据一些检测点位检测结果得出的理论值, 估算结果为工作岗位轮换人数的平均值, 实际情况受多种因素影响, 放射工作人员的实际受照剂量以个人剂量监测为准;

2.总年有效剂量=本项目工作+原工作实践。

由上表可知, 本项目工作人员年受照剂量低于本项目职业人员年有效剂量管理约束值 (5mSv) 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 对职业人员剂量限值 (20mSv) 的要求。

11.2.1.3 DSA 介入手术项目废气环境影响分析

本项目运行时, DSA 在开机出束过程中发射的 X 射线接触空气, 会产生微量臭氧及氮氧化物等有害气体 (主要为臭氧), 本项目拟在 DSA 机房设置动力排风系统, 可保证机房内良好的通风效果, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 关于通

风的要求。

11.2.2 ⁹⁰Y 微球治疗运行阶段对环境的影响。

本项目运行过程中使用^{99m}Tc和⁹⁰Y，同时配套使用 DSA和SPECT，本项目使用^{99m}Tc核素放射141keV的 γ 射线；⁹⁰Y为纯 β 核素，高能 β 射线与物质会发生韧致辐射，因此，本项目主要考虑核素^{99m}Tc衰变产生的 γ 射线、⁹⁰Y衰变放出的 β 射线及其韧致辐射，以及DSA运行时产生的X射线影响。因为^{99m}Tc药物在核医学科环评已做，这里仅做简要分析，重点分析^{99m}Tc在DSA1机房对环境的影响。⁹⁰Y微球不具备挥发性，密度比空气大，且在分装柜中操作，可以认为其不会对工作人员产生内照射。主要分析预测核素操作过程中对主要工作场所（分装、DSA机房、SPECT机房）的贯穿辐射水平。以及工作人员和周围公众的受照剂量。

剂量估算中，将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的容器近似作为点源，依照剂量率和距离成平方反比衰减的关系，同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用，估算场所等有代表性场所周围的辐射剂量率和对职业人员、公众的附加照射剂量，以及职业人员在患者摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

11.2.2.1 工作场所的射线屏蔽

11.2.2.1.1 ^{99m}Tc 辐射环境影响分析

^{99m}Tc 放射性核素衰变方式为同质异能跃迁，伴随发射 0.14MeV 的 γ 射线，因此需要考虑在 ^{99m}Tc 药物注射过程、注射后病人候诊、扫描过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。

剂量估算中，将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的容器近似作为点源依照剂量率和距离成平方反比衰减的关系，同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用，估算场所等有代表性场所周围的辐射剂量率和对职业人员、公众的附加照射剂量，以及职业人员在患者摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

本项目 ^{99m}Tc 放射性核素单人次最大使用量为 5mCi，^{99m}Tc-MAA 的注射在 DSA1 室内进行，在核医学科 ECT 检查室进行 SPECT 扫描。本次评价仅对涉及 ^{99m}Tc 新增工作场所屏蔽体外关注点辐射剂量率进行计算。

1、计算公式

$$H_p = A \times \Gamma \times r^{-2} \times 10^{-X/TVL} \quad (\text{公式11-7})$$

式中： H_p —屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

X —屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

A —放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq），患者使用 ^{99m}Tc 的最大用量为 185MBq；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，对于裸源 ^{99m}Tc 单位放射性活度所致 1m 处的周围剂量当量 ^{99m}Tc 取值 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，患者体内 ^{99m}Tc 单位放射性活度所致体外 1m 的周围剂量当量率 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

r —参考点与放射源间的距离，单位为米（m）；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）；根据 GBZ120-2020 得到 ^{99m}Tc ： TVL 铅=1mm， TVL 混凝土=110mm， TVL 实心砖=160mm。根据硫酸钡涂料的 TVL 值参考《辐射安全手册》图 6.4 中的 0.140MeV 插值法 TVL 硫酸钡=40mm。

（1）分装工作场所

在钼锝分装室分装柜内进行，分装后的药物放入 5mmPb 防护盒中，根据广西壮族自治区疾病预防控制中心对本项目所依托的核医学科 ^{99m}Tc 放射工作场所检测报告(样品受理编号为放 20230042)，详见附件 7，分装柜的周围剂量当量率检测结果剂量率为 0.096~0.140 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，该剂量率较低，基本处于本底水平，可忽略不计。因此本项目 ^{99m}Tc 分装时，基本不对职业人员造成影响。分装室外另有墙体防护，因此，本项目对分装室外造成的剂量率也可忽略不计。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

（2）DSA 机房工作场所

DSA 介入手术过程产生的辐射影响还应考虑设备 X 射线的影响， ^{99m}Tc 辐射计算参数及工作场所屏蔽体外关注点辐射剂量率计算结果如下表所示。

表 11-11 ^{99m}Tc 模拟输注过程屏蔽体外关注点辐射剂量率计算结果表

| 参考点 | $\Gamma(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h})$ | $A(\text{MBq})$ | 屏蔽参数 | | | $R(\text{m})$ | $H_p(\mu\text{Sv}/\text{h})$ | DSA 剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ | 总剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ | |
|--------|---|-----------------|----------|--------|------------|---------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------|
| | | | 混凝土 (mm) | 铅 (mm) | 硫酸钡涂料 (mm) | | | | | |
| DSA1 室 | 控制室观察窗外 30cm (控制室) | 0.0303 | 185 | 0 | 4.5 | 0 | 4.81 | 7.66E-06 | 2.02E-02 | 2.02E-02 |
| | DSA 机房西侧墙外 30cm (控制室) | 0.0303 | 185 | 0 | 3 | 0 | 4.85 | 2.38E-04 | 8.50E-01 | 8.50E-01 |
| | DSA 机房控制室防护门外 30cm | 0.0303 | 185 | 0 | 4 | 0 | 5.11 | 2.15E-05 | 6.25E-02 | 6.25E-02 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------|-----|-----|---|----|------|----------|----------|----------|
| 洁净通道防护门外 30cm | 0.0303 | 185 | 0 | 4 | 0 | 4.42 | 2.87E-05 | 8.35E-02 | 8.35E-02 |
| DSA 机房北侧墙外 30cm (设备间) | 0.0303 | 185 | 0 | 3 | 0 | 3.41 | 4.82E-04 | 1.72E+00 | 1.72E+00 |
| DSA 机房北侧墙外 30cm (污物间) | 0.0303 | 185 | 0 | 3 | 0 | 4.26 | 3.09E-04 | 1.10E+00 | 1.10E+00 |
| 污物间防护门外 30cm | 0.0303 | 185 | 0 | 4 | 0 | 4.03 | 3.45E-05 | 1.00E-01 | 1.00E-01 |
| DSA 机房东侧墙外 30cm (楼梯间) | 0.0303 | 185 | 0 | 3 | 0 | 3.28 | 5.21E-04 | 1.86E+00 | 1.86E+00 |
| 设备间 1 防护门外 30cm | 0.0303 | 185 | 0 | 4 | 0 | 5.38 | 1.94E-05 | 5.64E-02 | 5.64E-02 |
| DSA 机房南侧墙外 30cm (配电室) | 0.0303 | 185 | 0 | 3 | 0 | 5.53 | 1.83E-04 | 6.54E-01 | 6.54E-01 |
| DSA 机房南侧墙外 30cm (男更衣室) | 0.0303 | 185 | 0 | 3 | 0 | 5.31 | 1.99E-04 | 7.09E-01 | 7.09E-01 |
| DSA 机房正上方 (2F) 地面 1m 处 | 0.0303 | 185 | 120 | 2 | 0 | 4.25 | 2.52E-04 | 2.95E-01 | 2.95E-01 |
| DSA 机房正下方 (-1F) 地面 1.7m 处 | 0.0303 | 185 | 180 | 0 | 30 | 3.57 | 1.81E-03 | 1.43E-01 | 1.45E-01 |

注：DSA 剂量率保守选取上文摄影模式下剂量率估算结果。

根据表 11-11 估算结果可知，在 DSA1 室进行 ^{99m}Tc 药物注射开展过程中手术室外剂量当量率最大为 $1.86\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(3) SPECT 机房工作场所

根据广西壮族自治区疾病预防控制中心对本项目所依托的核医学科 SPECT 机房放射工作场所检测报告(样品受理编号为放 20230041)，详见附件 7，检测条件为扫描床上放置 $352.2\text{MBq}^{99m}\text{Tc}$ 药物，检测结果为机房外剂量率为 $65\sim 82\text{nSv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标值。因此，从辐射防护的可靠性考虑，本项目 ^{99m}Tc 药液活度仅为 185MBq ，依托于 SPECT 机房的辐射防护能力是可行的。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

11.2.2.1.2 ^{90}Y 辐射环境影响分析

本次 ^{90}Y 微球治疗项目涉及的 ^{90}Y 放射性核素为 β 衰变，衰变时仅产生 β 射线， β 射线

与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑β射线和韧致辐射

一、β射线辐射环境影响分析

β射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册（第三分册）》（P23式2.6），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：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\rho\max} \quad (\text{公式11-8})$$

式中： $E_{\rho\max}$ —β射线的最大能量，MeV；

ρ —物质的密度，g/cm³；

d —与最大射程对应的防护厚度，cm。

核素⁹⁰Y在衰变的过程中主要释放β射线，分支比为99.984%，其β射线的能量最大为2.284MeV。β粒子在几种常见物质中的最大射程见下表。

表 11-12 β射线（⁹⁰Y）在不同物质中的最大射程表

| 序号 | 材料 | β射线能量 (MeV) | 有效原子序数Z | 密度ρ (g/cm ³) | 最大射程 (cm) |
|----|------|-------------|---------|--------------------------|-----------|
| 1 | 人体组织 | 2.284 | 6.66 | 1.0 | 1.14 |
| 2 | 空气 | 2.284 | 7.36 | 1.293×10 ⁻³ | 883.22 |
| 3 | 铝 | 2.284 | 13 | 2.7 | 0.42 |
| 4 | 有机玻璃 | 2.284 | 5.85 | 1.18 | 0.97 |
| 5 | 铅 | 2.284 | 82 | 11.3 | 0.10 |
| 6 | 塑料 | 2.284 | / | 1.4 | 0.82 |

由上表可知，β粒子能被体外的空气、衣物消滅、阻挡或一张几毫米厚的铝箔完全阻挡。本项目职业工作人员不会直接接触放射性核素，在操作时会佩戴医用手套与使用专用防护用具，因此β射线对本项目辐射工作人员的影响可以忽略。

但β射线被辐射源本身以及源周围的其他物质阻止时会产生韧致辐射，故本项目主要考虑⁹⁰Y的韧致辐射影响。

二、β射线所致韧致辐射辐射影响分析

β射线与物质相互作用会产生韧致辐射，在进行韧致辐射环境影响预测时，将⁹⁰Y微球及已输注⁹⁰Y微球的患者简化成点源，其周围空气比释动能率可近似按照点源模式计算。

1、计算公式

(1) 韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式(参考《辐射防护导论》P133式4.20):

$$D = 4.58 \times 10^{-14} AZ (E_b / r)^2 (\mu_{en} / \rho) \quad (\text{公式11-9})$$

式中: D —屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在 r (m) 处空气中吸收剂量率, Gy/h;

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数, m^2/kg , 由《辐射防护导论》附表1查得, 本项目空气质量能量吸收系数为 2.8×10^{-3} (m^2/kg);

A —放射源活度, Bq;

Z —吸收 β 粒子的屏蔽材料(或靶核)的有效原子序数, 由《辐射防护导论》表4.4查得; 本项目保守取空气的有效原子序数7.36。

E_b — β 粒子的平均能量, MeV;

r —放射源到考察点的距离, m。

表11-13 ^{90}Y 在空气屏蔽材料1m处韧致辐射的吸收剂量率

| 核素名称 | 源活度 A | 有效原子序数 Z | 平均能量 E_b | 空气质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ | 空气中吸收剂量率 D |
|-----------------|-----------------------------|----------|------------|----------------------------|------------|
| ^{90}Y | $3 \times 10^9 \text{Bq}$ | 7.36 | 0.9337 | 2.8×10^{-3} | 2.47 |
| ^{90}Y | $2.5 \times 10^9 \text{Bq}$ | 7.36 | 0.9337 | 2.8×10^{-3} | 2.06 |

注: 因分装注射导致的韧致辐射的屏蔽材料主要是有机玻璃 ($Z=5.85$), 而注射到人体内最大活度导致的韧致辐射是人体组织 ($Z=6.66$), 这两种介质的 Z 值均小于空气 ($Z=7.36$), 因此本项目保守估算取空气 Z 值。

注: 保守取 $1 \mu\text{Gy}/\text{h} = 1 \mu\text{Sv}/\text{h}$

(2) 有辐射屏蔽时, 随距离变化的空气吸收剂量率计算公式:

$$H = H_0 \times K^{-1} \quad (\text{公式11-10})$$

式中: H —屏蔽减弱系数为 K^{-1} 时, 在距源 r (m) 处的空气中吸收剂量率, Gy/h;

H_0 —无辐射屏蔽时, 在距源 r (m) 处的空气中吸收剂量率, Gy/h;

K^{-1} —屏蔽减弱系数, 无量纲。

(3) 屏蔽减弱系数计算公式:

$$K^{-1} = 10^{-dp/TVL} \quad (\text{公式11-11})$$

式中: K^{-1} —屏蔽减弱系数, 无量纲;

dp —屏蔽层厚度, mm;

TVL—什层值厚度，mm；本评价将放射性同位素⁹⁰Y简化成点源进行核算，且其韧致辐射平均能量为0.9337MeV，*TVL*值参考《辐射安全手册》图6.4中的平均能量0.9337MeV插值法，则铅的什值层为3.78cm（37.8mm），混凝土的什值层为30.1cm（301mm），硫酸钡涂料什值层为14cm（140mm），实心砖墙的什值层为42.9cm（429mm）（砖的什值层按与混凝土的密度比值近似取值）。

2、计算参数及预测结果分析

（1）分装工作场所

药品分装核医学科人员完成，在核素治疗室内原有的¹³¹I分装柜通风橱内进行，分装柜防护能力为25mmPb，⁹⁰Y规格为3×10⁹Bq/瓶。分装过程中，药物置于分装柜中，工作人员操作位为分装柜外30cm，药物与操作位的预测距离取0.5m。分装柜外操作位剂量率为2.47/(0.5²×10^{25/37.8})=2.15μSv/h。分装室外另有墙体和距离防护，因此分装室外的剂量率小于2.5μSv/h剂量率控制值。

（2）DSA机房工作场所

每剂⁹⁰Y微球在西林瓶中，一般每位患者仅需注射2.5×10⁹Bq即可满足治疗需求，每位患者对应1瓶⁹⁰Y微球，本次评价以每位患者最大注射量2.5×10⁹Bq计。DSA介入手术过程产生的辐射影响还应考虑设备X射线的影响，⁹⁰Y输注过程所致病房外周围剂量率如下表所示。

表 11-14 ⁹⁰Y 输注过程韧致辐射计算参数及结果表

| 参考点 | H ₀ (μSv/h) | A (MBq) | 屏蔽参数 | | | R (m) | H (μSv/h) | DSA 剂量率 μSv/h | 总剂量 率μSv/h | |
|-----------|---------------------------|------------|-------------|-----------|-------------------|----------|--------------|---------------------|---------------|----------|
| | | | 混凝土 (mm) | 铅 (mm) | 硫酸钡 涂料 (mm) | | | | | |
| DSA1 室 | 控制室观察窗外 30cm（控制室） | 2.06 | 2500 | 0 | 4.5 | 0 | 4.81 | 6.77E-02 | 2.02E-02 | 8.79E-02 |
| | DSA 机房西侧墙 外 30cm（控制室） | 2.06 | 2500 | 0 | 3 | 0 | 4.85 | 7.29E-02 | 8.50E-01 | 9.23E-01 |
| | DSA 机房控制室 防护门外 30cm | 2.06 | 2500 | 0 | 4 | 0 | 5.11 | 6.18E-02 | 6.25E-02 | 1.24E-01 |
| | 洁净通道防护门 外 30cm | 2.06 | 2500 | 0 | 4 | 0 | 4.42 | 8.26E-02 | 8.35E-02 | 1.66E-01 |
| | DSA 机房北侧墙 外 30cm（设备间） | 2.06 | 2500 | 0 | 3 | 0 | 3.41 | 1.48E-01 | 1.72E+00 | 1.87E+00 |
| | DSA 机房北侧墙 外 30cm（污物间） | 2.06 | 2500 | 0 | 3 | 0 | 4.26 | 9.46E-02 | 1.10E+00 | 1.19E+00 |
| | 污物间防护门外 30cm | 2.06 | 2500 | 0 | 4 | 0 | 4.03 | 9.94E-02 | 1.00E-01 | 1.99E-01 |
| | DSA 机房东侧墙 外 30cm（楼梯间） | 2.06 | 2500 | 0 | 3 | 0 | 3.28 | 1.59E-01 | 1.86E+00 | 2.02E+00 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|-----|---|----|------|----------|----------|----------|
| 设备间1防护门外30cm | 2.06 | 2500 | 0 | 4 | 0 | 5.38 | 5.58E-02 | 5.64E-02 | 1.12E-01 |
| DSA 机房南侧墙外30cm（配电室） | 2.06 | 2500 | 0 | 3 | 0 | 5.53 | 5.61E-02 | 6.54E-01 | 7.10E-01 |
| DSA 机房南侧墙外30cm（男更衣室） | 2.06 | 2500 | 0 | 3 | 0 | 5.31 | 6.77E-02 | 7.09E-01 | 7.77E-01 |
| DSA 机房正上方（2F）地面1m处 | 2.06 | 2500 | 120 | 2 | 0 | 4.25 | 4.03E-02 | 2.95E-01 | 3.35E-01 |
| DSA 机房正下方（-1F）地面1.7m处 | 2.06 | 2500 | 180 | 0 | 30 | 3.57 | 2.49E-02 | 1.43E-01 | 1.68E-01 |

注：DSA 剂量率保守选取上文摄影模式下剂量率估算结果。

由上表可得，本项目 2.5GBq 的 ^{90}Y 在 DSA1 室内使用，机房外估算的最大剂量率为 $2.02\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（2）SPECT 机房工作场所

本次评价保守以每位患者最大注射量 $2.5 \times 10^9\text{Bq}$ 裸源进行核算。SPECT 扫描过程所致机房外周围剂量率如下表所示。

表 11-15 ^{90}Y SPECT 扫描过程韧致辐射计算参数及结果表

| 参考点 | H_0 ($\mu\text{Sv/h}$) | 屏蔽参数 | | | R (m) | H $\mu\text{Sv/h}$ | |
|----------|-------------------------------|-----------|---------|----------|----------|-----------------------|----------|
| | | 混凝土 mm | 铅 mm | 砖墙 mm | | | |
| SPECT 机房 | 机房控制室观察窗外30cm（控制室） | 2.06 | 0 | 4 | 0 | 2.5 | 2.58E-01 |
| | 机房控制室防护门外30cm（控制室） | 2.06 | 0 | 4 | 0 | 3.0 | 1.79E-01 |
| | 机房东侧墙外30cm（控制室） | 2.06 | 240 | 0 | 0 | 2.5 | 5.26E-02 |
| | 机房南侧墙外30cm（医生通道） | 2.06 | 240 | 0 | 0 | 3.0 | 3.65E-02 |
| | 机房西侧墙外30cm（患者通道） | 2.06 | 240 | 0 | 0 | 3.0 | 3.65E-02 |
| | 机房北侧墙外30cm（甲功检查室） | 2.06 | 240 | 0 | 0 | 2.5 | 5.26E-02 |
| | 机房西侧防护门外30cm（患者通道） | 2.06 | 0 | 4 | 0 | 3.0 | 1.79E-01 |
| | 机房楼上100cm（天台） | 2.06 | 300 | 0 | 0 | 3.1 | 2.16E-02 |
| | 机房楼下距地面170cm（PET/CT 机房） | 2.06 | 300 | 0 | 0 | 2.9 | 2.47E-02 |

由上表可得，本项目 2.5GBq 的 ^{90}Y 在 SPECT 机房内使用，机房外估算的最大剂量率为 $2.58\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，不会对 DSA1 室外周围剂量率造成明显的辐射影响。

11.2.2.2 ^{90}Y 微球治疗项目工作人员和公众剂量估算及评价

1、剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，X- γ 射线产生的外照射致人年有效剂量计算公式如下：

X- γ 射线产生的外照射致人年有效剂量计算公式如下：

$$E_r = H_r \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

E_r ——X- γ 射线外照射年有效剂量，mSv；

H_r ——X- γ 辐射周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——X- γ 照射时间，h；

T ——居留因子；

2、辐射工作人员剂量估算及评价

本项目 ^{90}Y 微球辐射工作人员由于工种的不同，所受的职业照射剂量也不同。根据本项目的工作流程、安排，对本项目相关工作人员受照剂量进行估算。本项目辐射人员分工详见表 9-2。

① DSA 介入条件下插管

按每位患者 DSA 透视条件下插管需要约 20min，每年最大病人数 200 人，插管人员每年位于机房内受照时间为 66.67 小时，根据前文 11.2 估算出的 DSA 术者位辐射剂量率的可知所知，算出医生 DSA 介入条件下插管总受照剂量为 $(0.79 \times 8.25 \times 66.67 + 0.051 \times 155.71 \times 66.67) \div 1000 = 0.96\text{mSv/a}$ 。本环节拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 0.48mSv/a 。

② $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期模拟输注检验（包括 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 运输、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注入、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者摆位与 SPECT/CT 检查等）：

a) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装：根据附件 7 广西壮族自治区疾病预防控制中心对本项目所依托的核医学科 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射工作场所检测报告(样品受理编号为放 20230042)可知，分装柜柜体外

剂量率为 $0.104\mu\text{Sv/h}$ （柜体腹部检测值）与本底水平相当，可忽略不计，故该过程工作人员的年受照剂量可忽略不计（小于 0.01mSv/a ）。

b) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物运输及患者转运： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物转运时，药物外有 5mmPb 转运防护盒，每次最多转运 1 支药物，根据式 11-7，则防护盒外 30cm 处剂量率约为 $185 \times 0.0303 / (0.3^2 \times 10^5) = 6.23\text{E-}04\mu\text{Sv/h}$ ，防护盒外 1m 处剂量率约为 $185 \times 0.0303 / (1^2 \times 10^5) = 5.61\text{E-}05\mu\text{Sv/h}$ ，辐射影响可忽略不计，所以 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物运输人员所受剂量可忽略不计（小于 0.01mSv/a ）。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射后将病人转移至核医学科 ECT 检查室，为保守估算，工作人员距离患者约 50cm ，工作人员与患者均穿戴 0.5mmPb 防护用品，根据式 11-7，则工作人员受到剂量率约为 $185 \times 0.0303 / (0.5^2 \times 10^1) = 2.24\mu\text{Sv/h}$ ，从 DSA 室 1 转移病人至核医学科 ECT 检查室约 10min ，每年转移 200 名患者，该过程工作人员的年受照剂量为 0.075mSv 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者转运拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名工作人员受照剂量约为 0.038mSv 。

c) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注入： ^{90}Y 治疗前期先用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 输注，以判断是否适合治疗，注射时使用输液管，工作人员与药物之间的距离约为 70cm ，穿戴 0.5mmPb 防护用品，根据式 11-7，则工作人员受到剂量率约为 $185 \times 0.0303 / (0.7^2 \times 10^{0.5}) = 3.62\mu\text{Sv/h}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物输注 1 个病人包括导管的拆卸等流程需要约 20min ，每年最大病人数 200 人。该过程工作人员的年受照剂量约为 0.24mSv 。本环节拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名工作人员受照剂量约为 0.12mSv 。

d) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者摆位与 SPECT/CT 检查： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者摆位，为保守估算，工作人员距离患者约 50cm ，工作人员穿戴 0.5mmPb 防护用品，根据式 11-7，则工作人员受到剂量率约为 $185 \times 0.0303 / (0.5^2 \times 10^{0.5}) = 7.09\mu\text{Sv/h}$ ，摆位时间 1min ，每年摆位 200 名患者，该过程工作人员的年受照剂量为 0.02mSv 。本环节拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 0.01mSv/a 。

SPECT/CT 检查：SPECT/CT 进行扫描时，工作人员在控制室操作，根据附件 7 广西壮族自治区疾病预防控制中心对本项目所依托的核医学科 SPECT 机房放射工作场所检测报告(样品受理编号为放 20230041)可知，操作位剂量率 65nSv/h （本底水平相当），此过程工作人员受到的累积剂量可忽略不计（小于 0.01mSv/a ）。

③⁹⁰Y 微球注射过程（包括 ⁹⁰Y 分装、⁹⁰Y 运输、⁹⁰Y 输注注射、⁹⁰Y 患者摆位与 SPECT/CT 剂量评估等）

a)⁹⁰Y 药物分装：根据医院提供的资料，分装一次最大操作药量为 3000MBq，由前文计算可知，3.0GBq⁹⁰Y 因韧致辐射所致的所致 1m 处的周围剂量当量率为 2.47 μ Sv/h，工作人员通过 25mmPb 通风橱进行操作，工作人员穿戴 0.5mm 铅防护衣，分装柜外操作位预测距离取 50cm。工作人员受到剂量率约为 $2.47/(0.5^2 \times 10^{25.5/37.8})=2.09\mu\text{Sv/h}$ 。药物准备及活度测量需要 5min/次，每年最大病人数 200 人。该过程工作人员的年受照剂量约为 0.035mSv。本环节拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 **0.018mSv**。

b)⁹⁰Y 药物运输及患者转运与过程：⁹⁰Y 放射性药物转运时，将分装好的 2.5GBq ⁹⁰Y 置于 V 瓶，药物外有 5mmPb 铅转运盒防护，每次最多转运 1 支药物，由前文计算可知，2.5GBq ⁹⁰Y 因韧致辐射所致的所致 1m 处的周围剂量当量率为 2.06 μ Sv/h，为保守估算，药物距离工作人员约 50cm，工作人员穿戴 0.5mm 铅防护衣，转运工作人员受到剂量率约为 $2.06/(0.5^2 \times 10^{5.5/37.8})=5.89\mu\text{Sv/h}$ ，转运约 10min/次，每年转运约 200 次，该过程工作人员的年受照剂量为 0.20mSv，⁹⁰Y 药物运输拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 **0.10mSv**。

注射 ⁹⁰Y 微球药物后的患者，在患者身体肝脏部位覆盖 0.5mmPb 铅方巾，转运工作人员穿戴 0.5mmPb 防护服，为保守估算，工作人员距离患者约 50cm，转运工作人员受到剂量率约为 $2.06/(0.5^2 \times 10^{1/37.8})=7.75\mu\text{Sv/h}$ ，从 DSA1 室转移病人至核医学科 ECT 检查室约 10min，从 ECT 检查室转移至病房约 10min，每年转移 200 名患者，该过程工作人员的年受照剂量为 0.52mSv。⁹⁰Y 患者转运拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 **0.26mSv/a**。

c)⁹⁰Y 注入手术过程工作人员所受年有效剂量：按每人最大注射量 2.5GBq 进行预测，注射时使用输液管与输液箱，工作人员与药物之间的距离约为 70cm，穿戴 0.5mmPb 防护用品，工作人员受到剂量率约为 $2.06/(0.7^2 \times 10^{0.5/37.8})=4.08\mu\text{Sv/h}$ ，⁹⁰Y 药物输注 1 个病人包括导管的拆卸等流程需要约 30min，每年最大病人数 200 人。该过程工作人员的年受照剂量约为 0.408mSv。本环节拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 **0.204mSv**。

d)⁹⁰Y 患者摆位与 SPECT 剂量评估：⁹⁰Y 患者摆位，为保守估算，距离患者约 50cm，摆位工作人员穿戴 0.5mmPb 防护服，摆位工作人员受到剂量率约为 $2.06/(0.5^2 \times 10^{0.5/37.8}) = 7.99 \mu\text{Sv/h}$ ，摆位时间 1min，每年摆位 200 名 ⁹⁰Y 患者，该过程工作人员的年受照剂量为 0.03mSv。⁹⁰Y 患者摆位拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 **0.015mSv/a**。

SPECT 进行扫描剂量评估时，工作人员在控制室操作，根据由表 11-15 可知，SPECT 机房观察窗剂量率 0.258 $\mu\text{Sv/h}$ ，一次扫描时间 20min，一年扫描 200 人计算，此过程工作人员受到的累积剂量为 0.02mSv。本环节拟配备 2 组工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 **0.01mSv/a**。

f)⁹⁰Y 患者留观查房：全年规划治疗 200 人次，每次留观期间查房问询过程时间约 10min。则工作人员全年因留观期间查房问询需时 33.3 小时。该过程按距离患者约 100cm，工作人员穿戴 0.5mmPb 防护服，工作人员受到剂量率约为 $2.06/(1^2 \times 10^{0.5/37.8}) = 2.0 \mu\text{Sv/h}$ 。可估算得工作人员因留观期间查房接受的年有效剂量为 0.07mSv。本环节拟配备 2 名工作人员进行轮换，则每名所受剂量约为 **0.035mSv**。

由于该项目大部分工作人员均为原有人员调配，为在原有辐射工作基础上增加操作本次项目。因此，需叠加考虑工作人员原有项目辐射照射剂量，原有项目辐射照射剂量主要依据医院提供的最近一年度个人剂量监测报告结果（表 1-9），本项目工作人员最终受照剂量具体见表 11-16。

表 11-16 ⁹⁰Y 微球治疗项目辐射工作人员年受照剂量估算结果

| 序号 | 姓名 | 本项目工作内容累加 (mSv) | 原工作实践个人剂量监测 (mSv) | 总年有效剂量估算 (mSv) |
|----|----|--|-------------------|----------------|
| 1 | ■ | DSA 介入条件下插管 (0.48) + ^{99m} Tc 注入 (0.12) + ⁹⁰ Y 分装 (0.018) + ⁹⁰ Y 转运 (0.10) + ⁹⁰ Y 注入 (0.204) | 0.68 | 1.602 |
| 2 | ■ | DSA 介入条件下插管 (0.48) + ^{99m} Tc 注入 (0.12) + ⁹⁰ Y 分装 (0.018) + ⁹⁰ Y 转运 (0.10) + ⁹⁰ Y 注入 (0.204) | 0.57 | 1.492 |
| 3 | ■ | ^{99m} Tc 分装 (<0.01) + ^{99m} Tc 运输 (<0.01) +SPECT 剂量评估 (<0.01) | 0.12 | 0.15 |
| 4 | ■ | ^{99m} Tc 分装 (<0.01) + ^{99m} Tc 运输 (<0.01) +SPECT 剂量评估 (<0.01) | 0.21 | 0.24 |
| 5 | ■ | ^{99m} Tc 患者摆位 (0.01) +SPECT 检查 (<0.01) + ⁹⁰ Y 患者摆位 (0.015) +SPECT 剂量评估 (0.01) | 0.05 | 0.095 |

| | | | | |
|--|---|---|------|-------|
| 6 | ■ | ^{99m} Tc 患者摆位 (0.01) +SPECT 检查 (<0.01) + ⁹⁰ Y 患者摆位 (0.015) +SPECT 剂量评估 (0.01) | 0.06 | 0.105 |
| 7 | ■ | ^{99m} Tc 患者转运 (0.038) + ⁹⁰ Y 患者转运 (0.26) + ⁹⁰ Y 患者查房 (0.035) | 0.01 | 0.343 |
| 8 | ■ | ^{99m} Tc 患者转运 (0.038) + ⁹⁰ Y 患者转运 (0.26) + ⁹⁰ Y 患者查房 (0.035) | 0.07 | 0.403 |
| <p>注：1.本项目年剂量估算结果仅根据一些检测点位检测结果得出的理论值，估算结果为工作岗位轮换人数的平均值，实际情况受多种因素影响，放射工作人员的实际受照剂量以个人剂量监测为准； 2.总年有效剂量=本项目工作+原工作实践，<0.01 保守按 0.01 计。</p> | | | | |

4、公众受照剂量估算及评价

^{99m}Tc 药物运输对公众的影响：^{99m}Tc 放射性药物转运时，保守以药物距离公众成员 1m 计，药物外有 5mmPb 转运防护盒，每次最多转运 1 支药物，根据式 11-7，则防护盒外 1m 处剂量率约为 $185 \times 0.0303 / (1^2 \times 10^5) = 5.61E-05 \mu\text{Sv/h}$ ，辐射影响可忽略不计，保守取运输过程中公众居留因子取 1/8，所以 ^{99m}Tc 药物过程中公众人员所受剂量可忽略不计，低于公众附加剂量约束值 0.1mSva。

^{99m}Tc 病人转运对公众的影响：^{99m}Tc 病人转运，保守以病人距离公众成员 1m 计，转运期间患者披戴 0.5mmPb 防护用品，根据式 11-7，则公众成员受到剂量率约为 $185 \times 0.0303 / (1^2 \times 10^{0.5}) = 1.77 \mu\text{Sv/h}$ ，从 DSA 室 1 转移病人至核医学科 ECT 检查室约 10min，每年转移 200 名患者，转运期间公众居留因子取 1/8，该过程公众人员的年受照剂量为 $7.38E-03 \text{mSv/a}$ ，低于公众附加剂量约束值 0.1mSva。

⁹⁰Y 微球药物运输对公众的影响：⁹⁰Y 放射性药物转运时，将分装好的 2.5GBq ⁹⁰Y 置于 V 瓶，药物外有 5mmPb 铅转运盒防护，每次最多转运 1 支药物，由前文计算可知，2.5GBq ⁹⁰Y 因韧致辐射所致的所致 1m 处的周围剂量当量率为 $2.06 \mu\text{Sv/h}$ ，保守以药物距离公众成员 1m 计，公众成员受到剂量率约为 $2.06 / (1^2 \times 10^{5/37.8}) = 1.52 \mu\text{Sv/h}$ ，转运约 10min/次，每年转运约 200 次，转运期间公众居留因子取 1/8，该过程公众成员的年受照剂量为 $6.33E-03 \text{mSv/a}$ ，低于公众附加剂量约束值 0.1mSva。

⁹⁰Y 病人转运对公众的影响：注射 ⁹⁰Y 微球药物后的患者，在患者身体肝脏部位覆盖 0.5mmPb 铅方巾，保守以药物距离公众成员 1m 计，转运工作人员受到剂量率约为 $2.06 / (1^2 \times 10^{0.5/37.8}) = 2.0 \mu\text{Sv/h}$ ，由 DSA1 室送至 ECT 检查室，然后护送至专用病房的时间为 20min，每年 200 例病人，转运期间公众居留因子取 1/8，该过程公众人员的年受照剂量为 0.02mSv/a ，低于公众附加剂量约束值 0.1mSva。

核医学科辐射用房与 DSA1 室布置是相对独立、相对封闭的区域，科室有严格的“三

区”管理制度，出入口均设有警示标语，一般情况下公众成员不会进入控制区区域。根据场所布局，核素操作期间选取屏蔽墙外最大的剂量率点与公众可能居留的点为进行剂量估算，详见表 11-17。

表 11-17 ^{90}Y 微球治疗项目核素操作场所周围公众人员年有效剂量估算

| 关注点位置 | | 关注点剂量率($\mu\text{Sv/h}$) | 辐射时间 (h) | 居留因子 | 年有效剂量(mSv/a) | |
|----------|-------------------------------------|---------------------------------|----------|-------|-------------------------|----------|
| DSA1室 | DSA 机房东侧墙外 30cm (楼梯间) | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期验证阶段 | 1.86 | 66.67 | 1/8 | 4.08E-02 |
| | | ^{90}Y 微球治疗阶段 | 2.02 | 100 | | |
| | DSA 机房正上方 (2F) 地面 1m 处 (光动力治疗室、换药室) | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期验证阶段 | 2.95E-01 | 66.67 | 1/2 | 2.66E-02 |
| | | ^{90}Y 微球治疗阶段 | 3.35E-01 | 100 | | |
| | DSA 机房正下方 (-1F)地面 1.7m 处 (水箱房) | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期验证阶段 | 1.45E-01 | 66.67 | 1/16 | 1.65E-03 |
| | | ^{90}Y 微球治疗阶段 | 1.68E-01 | 100 | | |
| SPECT 机房 | 机房西侧防护门外 30cm (患者通道) | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期验证阶段 | 忽略不计 | 66.67 | 1/4 | 2.98E-03 |
| | | ^{90}Y 微球治疗阶段 | 1.79E-01 | 66.67 | | |
| | 机房楼上 100cm (天台) | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期验证阶段 | 忽略不计 | 66.67 | 1/16 | 9.0E-05 |
| | | ^{90}Y 微球治疗阶段 | 2.16E-02 | 66.67 | | |
| | 机房楼下距地面 170cm (PET/CT 机房) | $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 前期验证阶段 | 忽略不计 | 66.67 | 1 | 1.65E-03 |
| | | ^{90}Y 微球治疗阶段 | 2.47E-02 | 66.67 | | |

注：本 ^{90}Y 微球治疗项目涉及分装时间较短，且经过分装柜与房间屏蔽后，分装操作期间对外环境公众的影响可忽略不计。

从表 11-17 估算结果可知，本项目核素操作场所周边（含上下层）逗留或活动的公众成员因为该项目运行受到的年有效剂量最大为 $4.08\text{E}-02\text{mSv/a}$ ，低于公众成员年剂量管理约束值 (0.1mSv/a)。

注射 ^{90}Y 患者留观和出院后周围辐射影响：本项目病人输注的 ^{90}Y 的最大活度为 2.5GBq ，即 2500MBq ，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中要求的患者出院时体内 ^{90}Y 放射性核素活度要求($\leq 2500\text{MBq}$)，因此病人可以不住院。为了满足临床管理需求，本项目患者一般住院 1~2 天。

^{90}Y 的 β 射线在人体组织中的最大射程为 11mm，患者体表基本检测不到 β 射线。患者周围主要考虑 β 射线被患者身体组织阻止时产生的韧致辐射。

基于美国使用的 ^{90}Y 树脂微球相关说明书，给出了使用剂量为 3GBq 的患者在注射后约 5~6 小时内距患者腹部以下不同距离处的辐射水平监测数据，本评价计算出使用 2.5GBq 患者相应处的剂量率如下表所示。

表 11-18 距离 ^{90}Y 患者腹部不同距离发射的韧致辐射剂量率

| 距离 (m) | 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | |
|--------|----------------------------|--------|
| | 3GBq | 2.5GBq |
| 0.25 | 26.86 | 22.38 |
| 0.5 | 13.14 | 10.95 |
| 1 | 2.14 | 1.78 |
| 2 | 0.57 | 0.48 |
| 4 | <0.1 | <0.08 |

根据上表结果，患者（药量约 2.5GBq）注射后 6 小时后，距离患者 1m 处的辐射剂量率为 1.78 $\mu\text{Sv/h}$ ，2m 处辐射剂量率为 0.48 $\mu\text{Sv/h}$ ，4m 基本处于本底水平，因此，患者留观或住院专用病房无需专门防护。因距离患者 0.5m 以内剂量率比较大，因此，本评价建议患者住院期间采取的管理措施如下：

(1) 本项目设置了 2 间专用防护病房，防护病房均拟设置铅门屏蔽，住院留观期间，患者仅在专用病房内活动，尽量不外出，如确需外出，则穿铅衣。

(2) 陪护人员尽量不近距离接触患者，建议距离 1m 以上。在病房中合理利用铅屏风和铅衣进行防护。

(3) 医院应给予出院患者辐射防护书面指导：出院一周内，尽量减少外出。与周围人员接触距离尽量保持在 1m 以上。应避免近距离接触孕妇及 3 岁以下儿童。

11.2.2.3 ^{90}Y 微球治疗项目放射性“三废”影响分析

11.2.2.3.1 放射性废水影响分析

正常工况下，DSA1室无放射性废水产生。DSA1室发生放射性物质撒泼事故时，可能造成地面、台面或墙面表面污染。DSA1室的手术台以及附近地面铺设一次性防水铺巾，即使发生放射性物质撒泼，大部分的放射性药物均在一次性防水铺巾上，收集后直接作为放射性废物处理。其他区域用脱脂棉花、吸水纸等将撒泼液滴吸干，擦拭时应由

外向内进行，避免污染扩散，再用清洗剂擦洗去污，使表面放射性物质转移到棉花、吸水纸，全部作为放射性固体废物处理。手术医护人员均穿戴一次性手术服且佩戴双层手套，不会沾染放射性药物，一次性手术服、手套直接作为放射性固废处理。

因此，DSA1室不会出现大量放射性废液直接排入普通污水管道的情况，本项目放射性废水主要考虑注射药物后患者的排泄物。其中注射^{99m}Tc放射性药物后产生的含^{99m}Tc放射性废水依托现有核医学科现有的衰变池处理。医院在核医学科建有足够容量的放射性废水衰变池，根据2014年改扩建核医学科核技术应用的建设项目竣工保护验收报告可知，核医学科原建有一个总容积为60m³的衰变池，衰变池由三级小衰变池组成，主要收集核医学科产生的放射性废水，原衰变池运行良好，且本项目注射的^{99m}Tc量较小，即使患者在核医学科排泄大小便，也不会影响废水衰变池处理能力及排放的水质。

本评价主要考虑⁹⁰Y留观病人产生的废水。

①放射性废液单次排放限值

Oliver.S.Grosser等人通过对进行了⁹⁰Y树脂微球核素治疗的患者（共计51例手术）进行术后48小时的排泄物收集、监测和数据研究，并在2017年发表的《钇-90标记树脂基微球放射栓塞后的尿排泄》中列出的患者尿液中⁹⁰Y核素含量见表11-18：

表11-19 注入⁹⁰Y树脂微球后患者48小时内尿液中⁹⁰Y核素含量

| 术后时间段 | 0-24h | 24-48h |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| 排尿量（mL） | 平均：1100 范围：300-2600 | 平均：1225 范围：450-3500 |
| 尿液中总活度（kBq） | 平均：72.5 范围：13.2-311.0 | 平均：22.1 范围：2.3-103.9 |
| 每注入1GBq ⁹⁰ Y树脂微球的患者尿液中 ⁹⁰ Y核素的活度浓度（kBq·L ⁻¹ ·GBq ⁻¹ ） | 平均：58.5 范围：3.5-590.9 | 平均：17.8 范围：1.8-58.8 |
| 尿液中 ⁹⁰ Y核素活度占注入总量的比重（%） | 平均：0.0116 范围：0.0011-0.0450 | 平均：0.0050 范围：0.0011-0.0174 |

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第8.6.2，单次放射性废水排放总活度应小于核素对应的 ALI_{min} ，月排放总量不得超过 $10ALI_{min}$ 。根据GB18871-2002附录B，对于职业照射，在一定的假设下可将 $I_{j,L}$ 用作 ALI 。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素j的年摄入量限值 $I_{j,L}$ ，计算公式如下：

$$I_{j,L} = DL/e_j \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

DL——相应的有效剂量的年剂量限值，取 5mSv/a；

e_j ——GB18871-2002 中表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素 i 的单位摄入量所致待积有效剂量的响应值，根据 GB18871-2002 附录 B 取值：

表 11-20 放射性废水中核素总活度排放情况一览表

| 项目 | 单位 | 参数 |
|-----------------------|-------|----------|
| e_j | Sv/Bq | 2.7E-09 |
| DL | Sv/a | 0.005 |
| $I_{j,L}$ | Bq/a | 1.85E+06 |
| 每月总排放限值 $10ALI_{min}$ | Bq | 1.85E+07 |
| 单次排放限值 ALI_{min} | Bq | 1.85E+06 |

患者在接受 ^{90}Y 微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为 $3.11\text{E}+05\text{Bq}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中单次放射性废水排放总活度 $1.85\text{E}+06\text{Bq}$ 的相关要求。本项目每月最多 20 例 ^{90}Y 微球治疗手术，则每月排放总活度限值也为 $6.22\text{E}+06\text{Bq}$ ，低于 GB18871-2002 中每月排放总活度限值 $1.85\text{E}+07\text{Bq}$ 的相关要求。

②放射性废液活度浓度值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附表 A 中对 ^{90}Y 核素的豁免比活度进行了规定，该值为 $1.0\text{E}+3\text{Bq/g}$ ，假设患者尿液的密度为 1g/cm^3 (参考水的密度)，则豁免活度浓度为 $1.0\text{E}+6\text{Bq}$ 。

根据表 11-18 中列出的数据，每注入 $1\text{GBq}^{90}\text{Y}$ 微球，患者尿液中 ^{90}Y 核素最大活度浓度 $5.91\text{E}+05\text{Bq/L}$ ，假设患者最大注射活度为 2.5GBq ，24 小时排尿量 1100mL ，24 小时排泄 6 次，每次冲水 6L，则 24 小时排出的含 ^{90}Y 核素放射性废液的最大活度浓度为 $3.98\text{E}+04\text{Bq/L}$ ，低于豁免活度浓度为 $1.0\text{E}+6\text{Bq/L}$ 。

根据上述分析，患者产生的尿液可以直接排放。

11.2.2.3.2 放射性废气影响分析

^{90}Y 微球药品中，绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量 (0.04~0.4%) ^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中，参照《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险分析研究报告》，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇 ($^{90}\text{YCl}_3$) 形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

本项目使用的 ^{99m}Tc 无挥发性，药物装入针剂在负压的通风橱内操作，无开放液面，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

11.2.2.3.3 放射性固废影响分析

^{90}Y 微球抽取过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等放射性固体废物；注射 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物。综上，开展一次 ^{90}Y 微球介入治疗产生放射性固体废物约 0.5kg，每月大约产生 10kg。本项目产生的放射性固废统一暂存于核医学科放射性固体废物储存间内，根据《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，贮存 30 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

医疗废物密度国家统计局结果平均值是 $488.85\text{kg}/\text{m}^3$ ，考虑到器皿体积等附加因素，保守按照平均密度 $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，每月大概产生 10kg 固体废物，即 $0.02\text{m}^3(20\text{L})$ ，本项目拟设置有 2 个（20L）铅屏蔽废物桶。储存空间能满足本项目新增的放射性废物暂存的工作要求。放射性固体废物均得到妥善处置，不会对环境造成影响。

11.3 事故影响分析

11.3.1 DSA 介入手术项目事故影响分析

11.3.1.1 辐射事故情况

X 射线诊疗项目可能发生的辐射事故主要是在管理上出问题，辐射工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的手术室。

DSA 射线装置可能发生的辐射事故情况如下：

DSA 安装调试阶段，可能由于设备参数设置不当、误操作、设备尚未具备正常运行的条件，或者人员未进行恰当的防护造成在场辐射工作人员受到过量照射。

DSA 投入运行后，由于 DSA 设备故障、操作不当、没有穿戴防护用品等情况下，医生在同室操作时可能受到超剂量的 X 射线照射。

手术室内无关人员未全部撤出手术室，操作间人员操作失误启动射线装置，造成人员误照射。

(4) 门灯联锁装置和闭门装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的 X 射线装置机房受到外照射。

(5) 检查或维修状态下，维修人员违反操作规程或误操作，造成人员误照射。

11.3.1.2 辐射事故应急处理

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急处置预案，并向当地生态环境主管部门和公安部门报告，若造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

一旦发生辐射事故，应按以下基本原则进行处理：

(1) 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止 X 射线的产生。

(2) 及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

(3) 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理，可缩小事故影响，减少事故损失。

(4) 事故处理后应整理资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

11.3.1.3 辐射事故防范措施

(1) 认真组织辐射工作人员参加辐射防护培训及专业技术的知识学习，使用射线装置的工作人员必须在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗；

(2) 定期对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

(3) 定期检查门灯联锁装置，确保正常运行；定期对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换；

(4) 定期组织辐射工作人员进行职业健康检查，工作人员职业照射个人剂量监测档案应终生保存；

(5) 辐射工作人员配备符合标准要求的个人防护用品，并正确指导受检者穿戴；

(6) 调试和维修时，应保证切断射线装置出束状态；

(7) 加强控制区和监督区管理。

11.3.2 ⁹⁰Y 微球治疗项目可能造成环境影响事故的分析

11.3.2.1 可能发生辐射事故

(1) 在操作非密封放射性物质的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

(2) 由于管理不善，放射性药物丢失或被盗，造成放射性事故。

(3) 放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

(4) 工作人员没有经过专业知识培训，有不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射后一次性手套等乱扔乱放，使室内受到污染，辐射水平增高。

(5) 注射 ⁹⁰Y 微球患者管理不善，对周围人员造成意外照射。

11.3.2.2 事故处理措施

(1) 放射性液体溢出或洒漏

①立即通知辐射防护负责人，并由其直接监督清除。

②用吸收垫覆盖溢出区以阻止污染的扩散，然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止，擦拭的操作台的抹布应统一收集在污物桶内。

③当离开现场时，与溢漏事件有关并可能受到沾污的辐射工作人员都应进行污染监测。

④如果衣服被污染，应该脱下并放进有“放射性”标志的塑料袋里。

⑤如果皮肤发生污染，应该立刻清洗污染区域，如果眼睛发生污染，应该用大量水清洗。

(2) 放射性药品丢失

①加强管理，定期盘存最新放射源库存及台账；

②立即报告科室领导和应急小组，同时向医院主管领导汇报；

③封锁现场，积极协助相关部门调查；

④检查并确保其他源的安全和控制；

⑤排查医院的所有可能性，积极查找，全力追回；

⑥如果没有找到，则按照监管机构的规定报告丢失材料。

(3) 工作人员没有经过专业知识培训，有不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射后一次性手套等乱扔乱放，使室内受到污染，辐射水平增高等。

①医院应加强辐射工作场所的现场管理，辐射管理人员加强日常的巡逻，加强防护知识培训，加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度。

②管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(4) 注射⁹⁰Y 微球患者管理不善

① 设置专用病房设置门禁，限制注射后患者活动区域；

② 明晰治疗流程和病房管理规定。

11.3.2.3 事故预防措施

(1) 制定并落实放射性核素管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作

(2) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

(3) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确了解需配备的防护用品及存放位置。

(4) 加强对药后患者的管理，安排其在患者专用病房住院，治疗期间病人在专用病房内活动，特殊情况需离开时，需对病人穿戴个人防护用品进行整体屏蔽，并对出院的药后患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面的指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。

(5) 放射性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

(6) 定期开展个人剂量检测和职业健康体检，妥善保管个人剂量和职业健康体检结果，出现异常情况时，分析原因，并采取相应措施，可有效降低辐射对人员身体造成的危害。

(7) 发生辐射事故时，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。事故后应对事故影响人员进行医学检查，确定其所受到的剂量水平，并在第一时间将事故通报环保、卫生等主管部门。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为做好工作过程中的辐射安全与防护管理工作，防止辐射污染环境，保障公众的健康，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相应的规定，遵照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，建设单位需制定相应的辐射安全管理制度。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当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；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

柳州市工人医院成立了放射防护管理委员会，由院领导、职能科室负责人和相关工作人员组成，负责制定放射、放疗、核医学诊疗工作质量保证方案及安全防护管理制度，（具体见附件8）。

（一）放射防护管理委员会成员：

主任委员：凌宙贵

副主任委员：侯培勇 易新平

委员：李涛 温中薇 黎国栋 刘雷 朱亚东 孙莘 许太福 廖明壮

王占宇 邓燕云 滕才钧 曾四平 蒙元劲 罗俊青 唐开奖 宾怀有 刘泉

放射防护管理委员会办公室设在预防保健科，办公室主任：温中薇（兼）。

（二）放射防护管理委员会职责

（1）根据国家相关法律法规政策，制定我院的放射防护安全管理规章制度并组织实施。

（2）研究完善放射工作人员培训、健康监护、个人和患者安全防护措施并组织实施，建立完善放射工作管理档案。

（3）对医院新建、改建、扩建有关放射防护工程进行前期可行性研究，并报批卫生行政部门和环保部门。

(4) 制定放射事故预防措施与应急预案并组织演练。如发生放射性医疗事故，应及时按有关规定逐级上报。

(5) 对放射防护监管指标进行监督管理，发现存在问题提出整改要求，持续改进做好放射防护工作。

(6) 各科室主要负责人为本科室放射防护安全工作第一责任人，负责督促和监督本科室医院放射防护安全管理制度的落实。

(7) 定期召开放射防护管理委员会会议，对加强和完善本院的放射防护安全工作提出合理化建议。

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

根据生态环境部《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》（2019年，第57号）的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。医院应及时安排本项目未参加培训并考核合格的辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训，考核合格后方可上岗（考核成绩合格有效期五年）。

医院安排本项目工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台进行培训，考核合格（考核成绩合格有效期五年，详见附件5），对于培训已到有效期工作人员应尽快安排新一轮培训考试。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环境保护部2008年第3号令），使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

医院已制定了《辐射安全与防护培训制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射监测方案》、《辐射工作人员剂量监测流程图》、《放射性废物及放射源退役处置方

案》、《医用放射性同位素管理制度》、《放射安全防护工作制度》、《放射安全防护与质量保证制度》、《放射工作人员健康管理制度》、《放射工作人员岗位职责》、《放射性药物管理制度》、《放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》、《放射性药物管理制度》、《核医学科放射性废物储存管理制度》、《钇 90 放射性溢出应急处理流程》、《放射防护操作规程》以及《DSA 操作规程》等一系列基本规章制度，并严格按照规章制度执行。

本次项目为新增射线装置与核素的应用，与原有核技术利用项目为同种类型，可将本项目的相关内容纳入原有管理制度体系中。只要在日常工作中严格落实，即能够满足核技术利用项目的管理。

医院的辐射安全相关制度是依据相关法律法规的要求结合了医院本身实际情况制定的，内容上明确了辐射安全与防护工作委员会及相关科室、人员的工作职责，分工明确；辐射监测计划符合医院实际情况内容全面，辐射事故应急措施针对性强，可行性强。

医院应在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。应根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。如，针对本项目新增核素，应增加专项操作规程等制度。

12.3 辐射监测

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其设备性能、工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。建设单位需根据要求制定以下辐射监测计划。

12.3.1 个人剂量监测

建设单位应定期委托有资质的单位定期对辐射工作人员个人剂量计进行监测（监测周期一般为 30 天，最长不应超过 90 天），并按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》的要求建立个人剂量记录及监测档案管理制度，并对职业照射个人监测档案终生保存。

12.3.2 工作场所和周围环境监测

对 DSA 工作场所与 ^{90}Y 微球准备和治疗场所进行周围辐射剂量和表面污染监测，监测项目、布点要求和频次等见表 12-1，所有辐射监测记录应建档保存，监测中发现异常，及时查找原因并报告；工作场所的年度监测委托有资质单位进行。

表12-1 监测计划及方案要求一览表

| 监测对象 | 监测项目 | 监测点 | 监测周期 | 监测方式 |
|-------|----------|--|-------------|-----------------|
| DSA1室 | β 表面沾污 | 地面、座椅、台面、洗手池、床面、放射性废物桶及可能污染的位置等；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等 | 每次工作结束或意外情况 | 自主监测 表面沾污仪 |
| | | | 1次/年 | 委托资质单位监测 |
| | X-γ辐射剂量率 | DSA1室四周、楼上及楼下墙体外、防护门缝隙和中央、操作位、通风口外、电缆口外等 | 1次/月 | 自主监测 辐射巡测检测仪 |
| | | | 1次/年 | 委托有资质单位监测 |
| 核医学科 | β 表面沾污 | 工作台面、设备表面、墙壁、地面、床面、放射性废物桶及可能污染的位置等；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等 | 每次工作结束或意外情况 | 自主监测 表面沾污仪 |
| | | | 1次/年 | 委托资质单位监测 |
| | X-γ辐射剂量率 | 控制区防护墙外、控制区房间楼上区域人员可达处、防护门缝隙和中央、操作位、通风橱表面等 | 1次/月 | 自主监测 辐射巡测检测仪 |
| | | | 1次/年 | 委托资质单位监测 |
| 留观病房 | β 表面沾污 | 墙壁、地面、床面 | 每次工作结束或意外情况 | 自主监测 表面沾污仪 |

医院现已配备有辐射剂量率测量仪和表面污染监测仪对辐射工作场所进行日常监测。并将监测结果存档备案，可满足相关法律法规和标准要求。

12.3.3 年度监测

根据《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）的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

医院每年委托有资质单位对放射源、射线装置和非密封放射性物质工作场所进行 1 次场所辐射水平监测。年度监测数据将作为本单位辐射安全和防护状况年度评估报告的一部分，每年 1 月 31 日前上报环保行政主管部门。

12.3.4 竣工环保验收

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项

目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。本项目环保设施验收期限一般不超过3个月，需要对该类环保设施进行调试或者整改的，验收期限可适当延期，但最长不超过12个月。

12.3.5 年度安全评估报告

每年1月31日之前，医院应向辐射安全许可证发证机关及当地生态环境主管部门提交上一年度的本单位辐射安全和防护状况年度评估报告。

12.4 辐射事故应急

柳州市工人医院结合医院的实际情况制定了《突发性放射事故应急预案》，详见附件8，成立医院突发性放射事故应急领导小组成员如下：

组 长：黄海欣

副组长：凌宙贵 侯培勇 易新平 谢湘涛 孟晓燕

成 员：余柳君 赵海波 刘小春 温中薇 黎国栋 刘 雷 朱亚东 彭小忠 张延卓 许太福 王占宇 李涛 廖明壮 邓燕云

突发性放射事故应急领导小组办公室设在预防保健科，主任由温中薇兼任，秘书由张利兼任，具体负责放射防护日常管理及放射事故应急处置工作。

领导小组职责：

- (1) 负责制定医院突发性放射事故应急处理相关制度、处置流程。
- (2) 迅速判断放射事故性质，负责向上级卫生行政主管部门、公安部门、生态环境行政主管部门报告。
- (3) 负责组织应急救援工作，协调安排受照、受污染或放射损伤人员接受医学检查和救治。
- (4) 负责协调组织对危险源采取应急安全处理措施，保护现场，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展。
- (5) 负责根据事故调查处置情况决定是否恢复正常诊疗秩序。
- (6) 负责组织人员参加上级相关部门开展的应急监测与处置技术培训。

实行放射事故防范处置科室主任负责制放射源、放射性同位素和射线装置使用科室主任是本科室放射事故防范处置第一责任人，负责监管科室人员严格遵守管理规定和操作规程，一旦发生或发现放射事故须立即向医院突发性放射事故应急领导小组报告，启

动应急预案采取相应处置措施。

该事故预案包括了辐射事故应急组织机构及职责、应急预防措施、应急报告、应急处理流程、后续的调查总结等内容，建设单位根据本单位可能发生的辐射事故类型分别给出了具体的预防措施、应急处理程序以及救援行动，符合辐射事故应急预案内容的要求。医院现有应急预案可涵盖本项目新增射线装置、放射性核素和新增非密封放射性物质工作场所。为使事故发生时能有效应对，建议医院每年至少须进行一次应急人员的演习培训，模拟事故发生时应进行的流程和应采取的措施，当辐射事故发生时能熟练、沉着、有效应对，将事故的危害降到最低。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为了医院的业务发展，满足广大患者就医的需要，柳州市工人医院拟在医院 5 号楼 1 楼新建介入治疗室 DSA1 室，安装 1 台医用血管造影 X 射线机（最大管电压：125kV，最大管电流：1000mA，属于 II 类射线装置），用于开展介入诊疗业务。拟扩建使用核素钇-90（⁹⁰Y）微球，用于开展 ⁹⁰Y 微球介入治疗肝癌项目。

①新建医用血管造影 X 射线机（DSA）应用项目：医院拟在鱼峰山院区 5 号楼 1 楼新建介入治疗室 DSA1 室，包括其控制室、辅助配套设施等，新增配备 1 台 DSA。本项目 DSA 建成后，预计每年完成约 3000 台介入手术。

②扩建核素 ⁹⁰Y 微球治疗应用项目：拟依托鱼峰山院区现有的 8 号楼核医学科 2 楼储源室储存 ⁹⁰Y、依托核医学科 3 楼核素治疗室里面的原 ¹³¹I 分装柜进行 ⁹⁰Y 分装测活、依托核医学科 3 楼 ECT 检查室的 SPECT 进行扫描与剂量学评估、依托核医学科 3 楼放射性固体废物储存室进行固体废物储存，以及 5 号楼 1 楼新建介入治疗室 DSA1 室新增开展 ⁹⁰Y 微球手术，5 号楼 7 楼、8 楼专用病房作为 ⁹⁰Y 留观病房，⁹⁰Y 微球手术每天最多治疗 2 个病人，每年最多治疗 200 例。

13.1.2 实践的正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的社会危害时，该实践才是正当的。本项目的建设有利于提高周边的医疗水平，更好的服务周边群众，具有明显的社会效益，项目建成运行后，将为柳州市及周边地区提供一个更加优越的就医环境，同时将提高医院的整体医疗服务水平，保障病人健康。各屏蔽和防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。符合《电离辐射防护与辐射源基本标准》（GB18871-2002）中实践的内容：“源的生产和辐射或放射性物质在医学、工业、农业或教学与科研中的应用，包括与涉及或可能涉及辐射或放射性物质照射的应用有关的各种活动”，数字减影血管造影技术是一种新的 X 线成像系统，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，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 手段在医疗诊断方面有其他技术无法替代的特点，而 ^{90}Y 微球治疗对于肝癌病人，可显著延长其生存时间，提升生存质量，减少痛苦等，考虑此项目开展后的社会效益。带来的利益远大于其受到的辐射危害，项目对周围环境的影响也在可接受范围内，因此符合“实践正当性”要求。

13.1.3 产业政策符合性

本项目使用的射线装置、放射性核素属于国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令《产业结构调整指导目录(2024 年本)》“鼓励类”中第六项“核能”中第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”以及第十三项“医药”中第 4 款“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”，均属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.1.4 选址合理性分析

项目拟建的介入治疗室 DSA1 室所处位置相对独立，非工作人员引导不能随意进入，采取了有效的物理屏蔽，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。运行期间建筑物内辐射水平维持在当地天然本底范围，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于“源的选址与定位”规定，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本项目 DSA 选址合理。

项目依托核医学科高活区用房均设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，且将其场所划分为控制区，无关人员不得进入。以上场所均独立，且采取划分区域等措施后，本项目不会产生交叉污染。核医学科已通过环境影响评价，选址合理。

本项目介入治疗室 DSA1 室作为新增的乙级非密封源场所，DSA1 室位于 5 号楼 1 楼西侧，所处位置相对独立，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。DSA 机房均采取了有效的物理屏蔽，与周围非放射性工作场所分开，且医生通道、病人通道和污物通道均独立设置。专用病房设置于相应楼层的东北角，对周围环境影响较小，也有利于病人留观期间的隔离管理。因此，本项目涉及场所的选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）有关要求。

13.1.5 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射工作场所功能分区

医院将辐射工作场所分为控制区和监督区进行监督管理。监督区、控制区划分明确满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求。控制区设置了防护门、电离辐射警示标志及门禁等设施,限制无关人员随意进入,以便控制正常照射或防止污染扩散,以及防止潜在照射:在监督区边界处设置电离辐射警示标志,地面设置指示标识,以防止无关人员受到不必要的照射,定期检查辐射剂量水平,进行经常性监督和评价。

(2) 辐射屏蔽措施

本项目涉及的核医学科、DSA1室等均采用了足够厚的屏蔽材料进行屏蔽,根据预测,本项目辐射工作场所的屏蔽防护设计能够满足辐射防护要求。

(3) 安全防护设施

核医学科设置有专门的放射性药品铅罐、储源室、放射性固体废物储存间专人运输放射性废物。放射源、放射性药物、废物由专人运输,确保其运输过程的辐射安全。配置有分装柜、转运罐、注射器防护套、储源铅罐等设施设备以及托盘、镊子、钳子、放射性废物桶等辅助用品及个人防护用品。

(1) 放射性“三废”处理

本项目营运期产生的放射性废水、废气、固体废物等均可得到有效治理,做到达标排放,不会对环境造成影响。

13.1.6 环境影响分析结论

(1) 辐射环境影响现状评价

根据项目环境现状监测报告,本项目涉及场址周围环境的辐射水平未见异常。

(2) 辐射环境影响分析与预测

根据本报告表 9、表 10、表 11 对本次核技术利用项目运行过程中,对周边环境及人员的辐射影响分析可知,在正常情况下,辐射工作场所周围辐射剂量率水平满足相关标准的要求,在运行工程中对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值的要求,即工作人员有效剂量控制值不超过 5mSv/a,公众有效剂量控制值不超过 0.10mSv/a,同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

13.1.7 辐射环境管理制度

(1) 医院为了加强医院环境保护工作领导，规范医院放射性同位素及射线装置辐射安全及管理成立了辐射防护管理委员会。

(2) 医院为了加强以对放射性同位素、射线装置安全和防护的管理，促进放射性同位素、射线装置的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立了相应的管理制度。

(3) 为应对医院出现的辐射突发事件，医院成立了成立放射事件应急处理领导小组。

13.1.8 安全培训及健康管理

1) 对所有从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识教育培训，培训考核合格方能上岗，使工作人员熟练掌握操作技能，减少操作时间，从而达到减少受照剂量。

2) 所有辐射工作人员均应进行个人累积剂量的监测并建立个人档案，每两年进行一次健康体检。

13.1.9 综合性结论

本次评价项目建设方案按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程如能严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求时，并且落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，则本评价项目正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该建设项目可行。

13.2 建议与承诺

根据项目情况，本评价提出以下建议：

- (1) 建议制定专用病房管理制度，患者住院期间制定相应的管理措施，比如：
 - a) 患者在进行治疗后，安排其在患者专用病房住院，治疗期间病人在专用病房内活动，特殊情况需离开时，需对病人穿戴个人防护用品进行整体屏蔽。
 - b) 对患者及家属（陪护）人员进行注意事项告知，陪护人员尽量不近距离接触患者，建议距离 1m 以上。在病房中合理利用铅屏风和铅衣进行防护。
 - c) 控制区内，任何物品在搬离病房之前应进行监测，被污染物品按放射性废物处理。

d) 给予出院患者辐射防护书面指导：出院一周内，尽量减少外出。与周围人员接触距离尽量保持在 1m 以上。应避免近距离接触孕妇及 3 岁以下儿童。

(2) 环评批复后，及时向生态环境部门申请重新办理辐射安全许可证。

(3) 辐射工作人员如从现有项目调配的，分配工作须考虑剂量当量的叠加。

(4) 根据工作实际，不断完善辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

(5) 落实辐射防护设施定期检查制度。

为保护环境，保障人员健康，医院承诺：

(1) 继续做好辐射防护工作档案，对放射工作人员的辐射防护培训、个人剂量检测、健康查体和辐射防护检测等资料要分类保管并长期保存，严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(2) 做好职业工作人员的个人剂量监测和健康管理：做好辐射工作人员培训和再培训。按照辐射事故应急预案和报告制度的要求，定期进行熟练演习。

(3) 按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的评估报告。

(4) 接受生态环境部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题。。

(5) 项目建成后，按要求及时组织竣工环境保护验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公 章

年 月 日

审批意见：

经办人

公 章

年 月 日