核技术利用建设项目

无锡市人民医院
改建复合手术室项目
环境影响报告表

无锡市人民医院

2023 年 8 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

无锡市人民医院
改建复合手术室项目
环境影响报告表

建设单位名称：无锡市人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号

邮政编码：　　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 ..... - 5 -
表 3 非密封放射性物质 ..... - 5 -
表 4 射线装置 ..... - 6 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 7 -
表 6 评价依据 ..... - 8 -
表 7 保护目标与评价标准 ..... - 11 -
表 8 环境质量和辐射现状 ..... - 16 -
表 9 项目工程分析与源项 ..... - 21 -
表 10 辐射安全与防护 ..... - 28 -
表 11 环境影响分析 ..... - 33 -
表 12 辐射安全管理 ..... - 52 -
表 13 结论与建议 ..... - 56 -
表 14 审批 ..... - 60 -
附图 1 无锡市人民医院改建复合手术室项目地理位置示意图 ..... - 61 -
附图 2 无锡市人民医院周围环境及总平面示意图 62
附图 3 无锡市人民医院 E 区急诊中心 3 楼 DSA 机房平面布置示意图 63
附图 4 无锡市人民医院 E 区急诊中心 2 楼 DSA 机房下方平面布置示意图 ..... - 64 -
附图 5 无锡市人民 E 区急诊中心设备层 DSA 机房上方平面布置示意图 ..... - 65 -
附图 6 无锡市人民医院 E 区急诊中心 3 楼现状平面布置示意示意图 66
附图 7 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系示意图 ..... - 67 -
附件 1 项目委托书 ..... - 68 -
附件 2 射线装置使用承诺书 ..... - 69 -
附件 3 工作场所屏蔽设计说明 ..... - 70 -
附件 4 辐射安全许可证 ..... - 71 -
附件 5 原有核技术利用项目基本情况一览表 ..... - 84 -
附件 6 辐射环境本底监测报告 ..... - 87 -
附件 7 检测机构资质认定证书 ..... - 92 -

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">无锡市人民医院改建复合手术室项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">无锡市人民医院
（统一社会信用代码：123202004663068618）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td colspan="2"></td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">无锡市清扬路与金城路交界口</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号
（E 区急诊中心 3 楼复合手术室）</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☐新建 ☑改建 ☐扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>不新增占地</td></tr>
<tr><td rowspan="8">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="6">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐Ⅰ类（医疗使用） ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐乙 ☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

无锡市人民医院（南京医科大学附属无锡人民医院）位于市梁溪区清扬路 299 号（金城路与清扬路交界处东南隅），是根据无锡市区域卫生资源整合的总体规划，由原无锡市一院、儿童医院和市五院于 2007 年 11 月整建制组合而成。医院院区分别位于城区、无锡新区、太湖新城（无锡经济开发区）几何三角中心，编制床位

1800张，职工近3000人，是一所集医疗、教学、科研、保健、康复于一体的三级甲等现代化综合医院。

为改善医疗条件，优化布局，方便患者就医，无锡市人民医院拟将E区急诊中心3楼原来的部分手术室、示教室、辅房及部分洁净走廊改造为1间复合手术室、1间CT手术室及相关辅房。复合手术室为CT和DSA复合手术使用，复合手术室和CT手术室之间安装移动防护门和滑轨，CT设备通过滑轨移动至复合手术室使用，DSA设备仅在复合手术室使用。医院拟在复合手术室内新增1台数字减影血管造影机（Digital Subtraction Angiography，以下简称“DSA”，型号为ARTIS Pheno，最大管电压125kV，最大管电流1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗；CT手术室中新增1台SOMATOM confidence型CT，最大管电压140kV，最大管电流1000mA，用于影像诊断。针对CT移动至复合手术室的使用情况，医院已履行备案登记手续。本项目拟从医院内部调配4名工作人员，具体人员名单尚未确定，工作人员年工作250天。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第16号，2021年版），本项目新增1台DSA，属于“172核技术利用建设项目”中的“使用II类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。受无锡市人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位改建复合手术室项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。该医院改建复合手术室项目情况见下表：

表1-1 无锡市人民医院改建复合手术室项目情况一览表

射线装置

序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况及审批时间	备注
1	ARTIS Pheno	1	125	1000	II类	E区急诊中心复合手术室	使用	本次环评	/

二、项目选址情况

无锡市人民医院位于江苏省无锡市梁溪区清扬路299号（医院位于清扬路、金

城路交界处东南隅，为简化描述，以下方向描述均以医院北侧金城路为正东西方向）。医院东侧为通扬路和向阳新村，南侧为清南路，西侧为清扬路，北侧为金城路。

医院拟将E区急诊中心3楼原来的部分手术室、示教室、辅房及部分洁净走廊改造为1间复合手术室、1间CT手术室及相关辅房，其中拟在复合手术室内新增1台DSA。E区急诊中心共四层（无地下建筑），E区急诊中心东侧隔院内道路为高氧治疗中心，南侧为D区住院部，西侧隔院内道路和绿化为核医学楼，北侧隔院内道路无锡市疾病预防控制中心。本项目地理位置示意见附图1，无锡市人民医院平面布置和周围环境示意图见附图2。

本项目复合手术室东侧和北侧为污物走廊，南侧为CT停放间、操作间和前室，西侧为设备间，楼上为设备层，楼下为男更衣和干库房。本项目DSA机房所在楼层及其相邻楼层平面布置示意图见附图3~附图5，DSA机房拟建址所在楼层现状平面布置图见附图6。

本项目DSA机房周围50m评价范围（见附图2）除北侧外均位于院区内，北侧至无锡市疾病预防控制中心（最近处约30m），项目运行后的环境保护目标主要为本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患、院内公众和无锡市疾病预防控制中心内公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题，根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图7。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供医疗诊断和介入治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

无锡市人民医院持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证[00907]），有效期至：2025 年 12 月 10 日，许可种类和范围为“使用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、丙级非密封放射性物质工作场所。医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。医院辐射安全许可证正副本见附件 4，原有核技术利用项目情况见附件 5。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	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	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	ARTIS Pheno	125	1000	医用诊断/介入治疗	E 区急诊中心 3 楼复合手术室	/
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气
介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料	固态	/	/	约 10kg	约 120kg	/	暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集	委托有资质单位进行处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015年1月1日起实施； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日发布施行； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施； （4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； （5）《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行； （10）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议，2018年5月1日起实施； （11）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告2019年 第38号，2019年10月25日发布； （12）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年 第39号，2019年10月25日发布； （13）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年 第57号，2019年12月24日发布，2020年1月1日起施行； （14）《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改，国家发展和改革委员会2021年令第49号）2021年12月30日起施行；

	（15）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行； （16）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布； （17）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布； （18）《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布； （19）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，江苏省生态环境厅办公室，2021年5月31日印发。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （3）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （4）《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）； （5）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （6）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （7）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （8）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （9）《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）。
其他	**附图：** （1）无锡市人民医院改建复合手术室项目地理位置示意图； （2）无锡市人民医院平面布置和周围环境示意图； （3）无锡市人民医院E区急诊中心3楼DSA机房平面布置示意图； （4）无锡市人民医院E区急诊中心2楼DSA机房下方平面布置示意图； （5）无锡市人民医院E区急诊中心设备层DSA机房上方平面布置示意图；

	（6）无锡市人民医院E区急诊中心3楼现状平面布置及周围环境示意图； （7）本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系示意图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）射线装置使用承诺书； （3）工作场所屏蔽设计说明； （4）辐射安全许可证； （5）原有核技术利用项目基本情况一览表； （6）检测报告； （7）检测机构资质认定证书。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的要求，以及本项目的特点，本项目的评价范围确定为无锡市人民医院改建复合手术室项目所在机房实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目主要考虑 DSA 工作时可能对周围环境产生的辐射影响。本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围（见附图 2）除北侧外均位于院区内，北侧至无锡市疾病预防控制中心（最近处约 30m），项目运行后的环境保护目标主要为本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患、院内公众和无锡市疾病预防控制中心内公众等，详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

编号	周边点位描述	环境保护目标	方位	距离	人口规模
1	E 区急诊中心 3 楼复合手术室	辐射工作人员	操作间	紧邻	4 人
			机房内	/	
2	E 区急诊中心设备层	公众（其他患者、患者家属、医护人员及其他人员）	DSA 机房上方	0~10m	约 2 人
3	男更衣和干库房		DSA 机房下方	0~10m	约 10 人
4	污物走廊		DSA 机房东侧、北侧	0~10m	约 4 人
5	CT 停放间、操作间和前室		DSA 机房南侧	0~10m	约 4 人
6	设备间		DSA 机房西侧	0~10m	约 2 人
7	E 区急诊中心		项目所在楼	0~50m	约 100 人
8	院内道路		西侧和南侧	45~50m	流动人员若干
9	无锡市疾病预防控制中心	周围公众	北侧	30~50m	约 50 人

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自

然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图7。

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射剂量限值	实践使公众中有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，lmSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过lmSv，则某一单一年的有效剂量可提高到5mSv。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%～30%（即0.1mSv/a～0.3 mSv/a）的范围之内。	

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

2、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

5 X射线设备防护性能的技术要求

5.8 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备防护性能的专用要求

5.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

5.8.3 X射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和

多次曝光剂量记录。

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

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 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	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]（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 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

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a）具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 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。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 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；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 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；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2 mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

6.5.6 对于移动式 X 射线设备使用频繁的场所（如：重症监护、危重病人救治、骨科复位等场所），应配备足够数量的移动铅防护屏风。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射操作	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	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	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 配：铅橡胶帽子	—

注 1：“—”表示不做要求。

注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

7 X 射线设备操作的防护安全要求

7.8 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备操作的防护安全要求。

7.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

7.8.2 介入放射学用 X 射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

7.8.3 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ 128 的规定。

3、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）：

5.3 佩戴

5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位

置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。

5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射性药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。

5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

4、项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；

（1）剂量约束值：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，四肢或皮肤的年当量剂量不超过 50mSv，眼晶体的年当量剂量不超过 15mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv；

（2）辐射剂量率控制水平：距 DSA 机房墙体、门、窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5μSv/h。

5、参考资料：

（1）《辐射防护导论》，方杰主编。

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

江苏省环境天然γ辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测量范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0
均值±3s	29.4~71.4	10.2~84.0	47.2~131.2

*：评价时采用“均值±3s”作为辐射现状评价的参考数值。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

无锡市人民医院位于江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号。医院东侧为通扬路和向阳新村，南侧为清南路，西侧为清扬路，北侧为金城路。

医院拟将 E 区急诊中心 3 楼原来的部分手术室、示教室、辅房及部分洁净走廊改造为 1 间复合手术室、1 间 CT 手术室及相关辅房，其中拟在复合手术室内新增 1 台 DSA。E 区急诊中心东侧隔院内道路为高氧治疗中心，南侧为 D 区住院部，西侧隔院内道路和绿化为核医学楼，北侧隔院内道路无锡市疾病预防控制中心。本项目复合手术室东侧和北侧为污物走廊，南侧为 CT 停放间、操作间和前室，西侧为设备间，楼上为设备层，楼下为男更衣和干库房。CT 手术室东侧东侧为污物走廊，南侧为手术室，西侧为操作间和洁净走廊，北侧为 CT 停放间。

本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围（见附图 2）除北侧外均位于院区内，北侧至无锡市疾病预防控制中心（最近处约 30m），项目运行后的环境保护目标主要为本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患、院内公众和无锡市疾病预防控制中心内公众等。本项目 1 间 DSA 机房拟建址现状及周围环境见图 8-1~图 8-7。



图 8-1 本项目 DSA 机房拟建址
（现状为手术室）



图 8-2 本项目 DSA 机房拟建址南侧
（现状为手术室，
改建后为 CT 存放间和 CT 手术室）

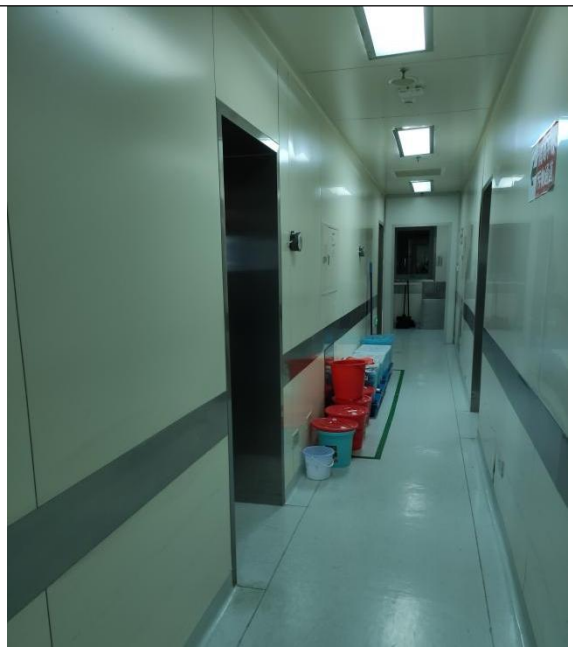


图 8-3 本项目 DSA 机房拟建址东侧（污物走廊）

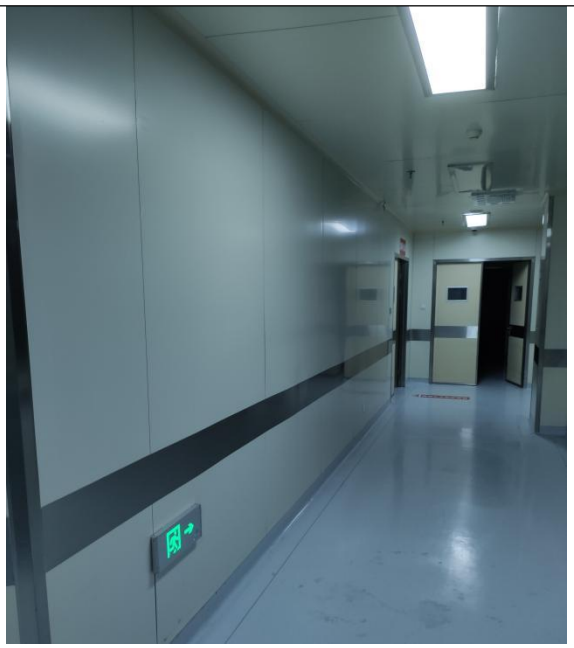


图 8-4 本项目 DSA 机房拟建址北侧（走廊）



图 8-5 本项目 DSA 机房拟建址西侧（现状为走廊）



图 8-6 本项目 DSA 机房拟建址楼下（干库房）



图 8-7 本项目 DSA 机房拟建址楼上（设备层）

二、辐射环境现状调查

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于E区急诊中心3楼DSA机房拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表8-1，监测点位示意图见图8-8。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

检测仪器：6150 AD 6/H+6150AD-b/H型X-γ辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2022年11月14日～2023年11月13日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量响应：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

监测日期：2023年2月17日

监测因子：γ辐射剂量率

天气：晴

温度：12℃

湿度：53%RH

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

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件6），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器或将仪器固定在三脚架上。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为1m。仪器读数稳定后，每个点位读取10个数据，读取间隔不小于10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用^{137}Cs作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取1.20Sv/Gy。

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

评价方法：参照江苏省原野、道路、建筑物内γ辐射（空气吸收）剂量率水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

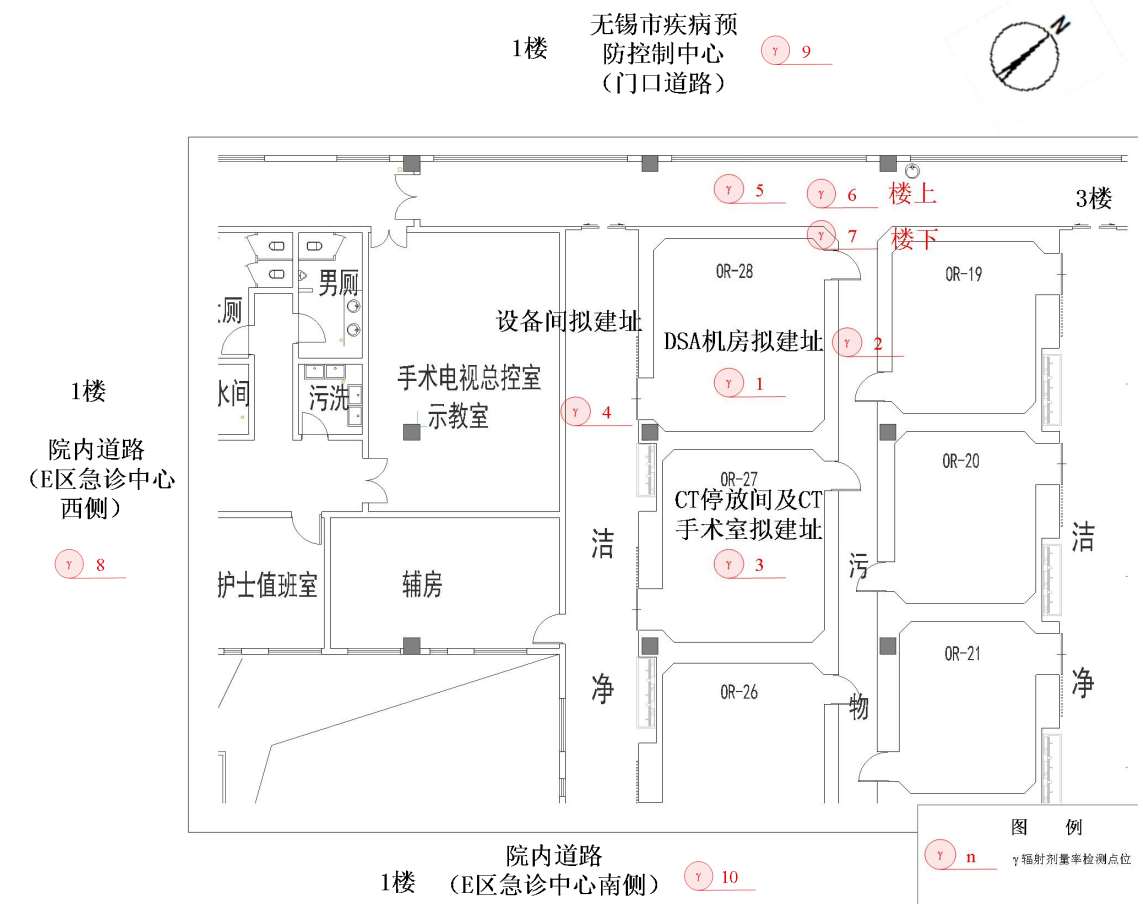


图 8-8 无锡市人民医院改建复合手术室项目拟建址周围γ辐射监测点位示意图

表 8-1 无锡市人民医院改建复合手术室项目拟建址周围 γ 辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）
1	DSA 机房拟建址	92
2	DSA 机房拟建址东侧	95
3	DSA 机房拟建址西侧（拟建设备间）	90
4	DSA 机房拟建址南侧（拟建 CT 停放间及 CT 手术室）	97
5	DSA 机房拟建址北侧	89
6	DSA 机房拟建址楼上（设备层）	91
7	DSA 机房拟建址楼下（干库房）	92
8	院内道路（E 区急诊中心西侧）	77

9	院内道路（E区急诊中心南侧）	75
10	无锡市疾病预防控制中心（门口道路）	76

注：1.测量数据已扣除宇宙射线响应值。

2.监测期间本项目拟建址周围无其他辐射工作场所，不对本项目监测结果有附加影响。

由表8-1监测结果可知，无锡市人民医院改建复合手术室项目拟建址周围室内γ辐射剂量率在89nGy/h～97nGy/h之间，位于江苏省环境天然γ辐射室内剂量率本底水平47.2~131.2nGy/h涨落之间，拟建址所在建筑物周围道路γ辐射剂量率在75nGy/h～77nGy/h之间，位于江苏省环境天然γ辐射道路剂量率本底水平10.2~84.0nGy/h涨落之间。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

医院拟将 E 区急诊中心 3 楼原来的部分手术室、示教室、辅房及部分洁净走廊改造为 1 间复合手术室、1 间 CT 手术室及相关辅房，其中拟在复合手术室内新增 1 台 DSA（型号为 ARTIS Pheno，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置，包括 X 线球管及其附件、高压发生器、X 线控制器等，和图像检测系统，包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等部件组成。本项目 DSA 外观示意图见图 9-1。



图 9-1 本项目 DSA 外观图

本项目拟新增 1 台 DSA 主要设备技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目 DSA 主要设备技术参数

指 标	技 术 参 数*
场所	E 区急诊中心 3 楼复合手术室

型 号	ARTIS Pheno
球管类型	单球管
焦皮距	≥45cm
额定管电压	125kV
额定管电流	1000mA
滤过	2.5mmAl 固有过滤+其他附加过滤
照射野	最大：30cm×38cm 最小：8cm×8cm
主射线方向	由下至上
C 形臂旋转角度	360°或 180°

注：*设备型号、技术参数由建设单位及供货商提供。

配套设备：

本项目拟新增 1 台 DSA 配套设备配置情况见表 9-2。

表 9-2 本项目 DSA 配套设备一览表

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

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规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。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。DSA 系统结构图见图 9-2。

DSA 是介入治疗的重要医学影像设备，通过置入体内的各种导管（约 1.5-2 毫米

粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

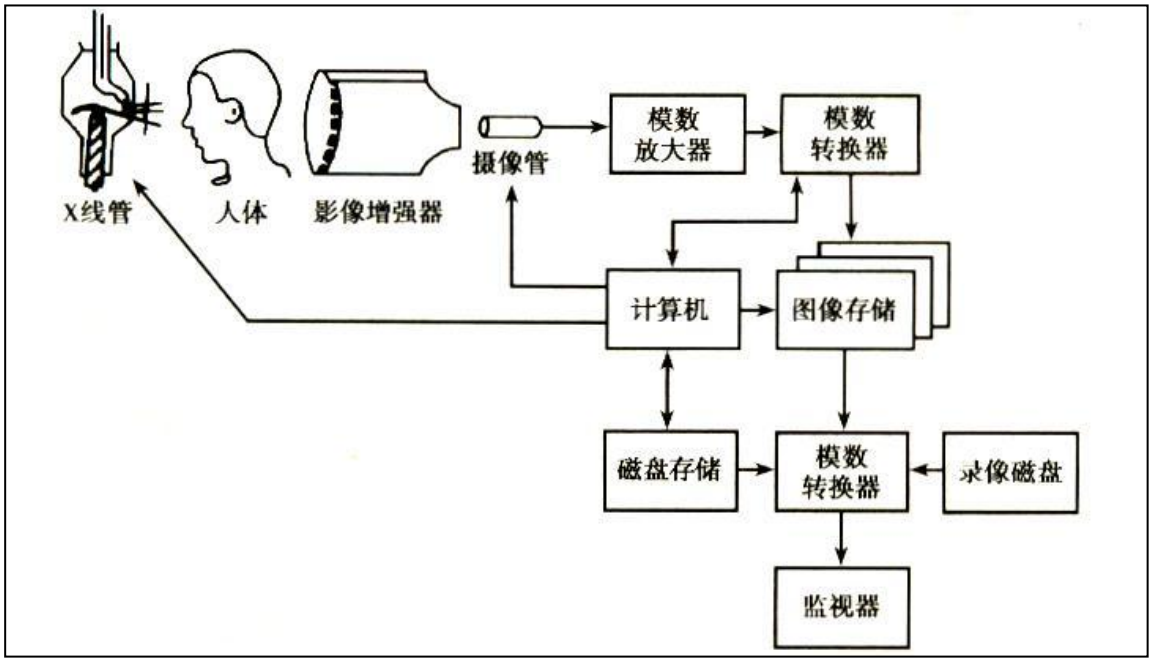


图 9-2 DSA 系统结构图

（二）工作流程及产污环节分析

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

本项目复合手术室 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况：血管减影检查。操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在操作台对病人进行曝光），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：复合手术治疗。复合手术室为 CT 与 DSA 复合手术使用。复合手术室南侧设有 CT 停间，复合手术室与 CT 停放间之间安装三叠套防辐射自动移门和轨道。DSA 设备仅在 DSA 复合手术室内安装使用，进行复合手术时，防护门打开，CT 设备通过轨道由 CT 停放间移动至复合手术室，采用隔室操作的方式运行，CT 设备在

复合手术室内使用时，不与 DSA 同时运行。

a）介入手术进行时，医护人员在复合手术室内同室操作；

b）需要 CT 曝光时，打开复合手术室和 CT 停放间之间的防辐射自动移门，CT 主机沿着轨道向复合手术室移动；

c）CT 移动到复合手术室内后，防辐射自动移门关闭，按照 CT 的专用和操作方式进行隔室曝光，此时医护人员均退出手术室。在 CT 和 DSA 手术复合使用期间，不可能出现 CT 和 DSA 同室、同时曝光。

d）CT 诊断完成后，通过轨道退回至 CT 存放间，并关闭两室中间的防护门。扫描结束介入手术人员才会进入手术室继续开展介入治疗。

e）当不需要进行复合手术时，复合手术室与 CT 存放间之间的防辐射自动移门关闭。因此复合手术室必须同时满足 CT 和 DSA 的防护要求。复合手术室在一些复杂的手术作业中具有重大意义，由于在一些重大复杂的手术中，有时候需要通过 CT 诊断、DSA、手术分多次才能完成，而在复合手术室中，医生可以将三者相结合起来，发挥各自优势。原本需要多次才能完成的手术，现在一次手术中就能完成，避免患者在手术室和影像科之间多次转运，减少了多次麻醉和转运可能带来的风险，提高了手术效率和手术的安全性

本项目 DSA 工作流程及产污环节如下图 9-3：

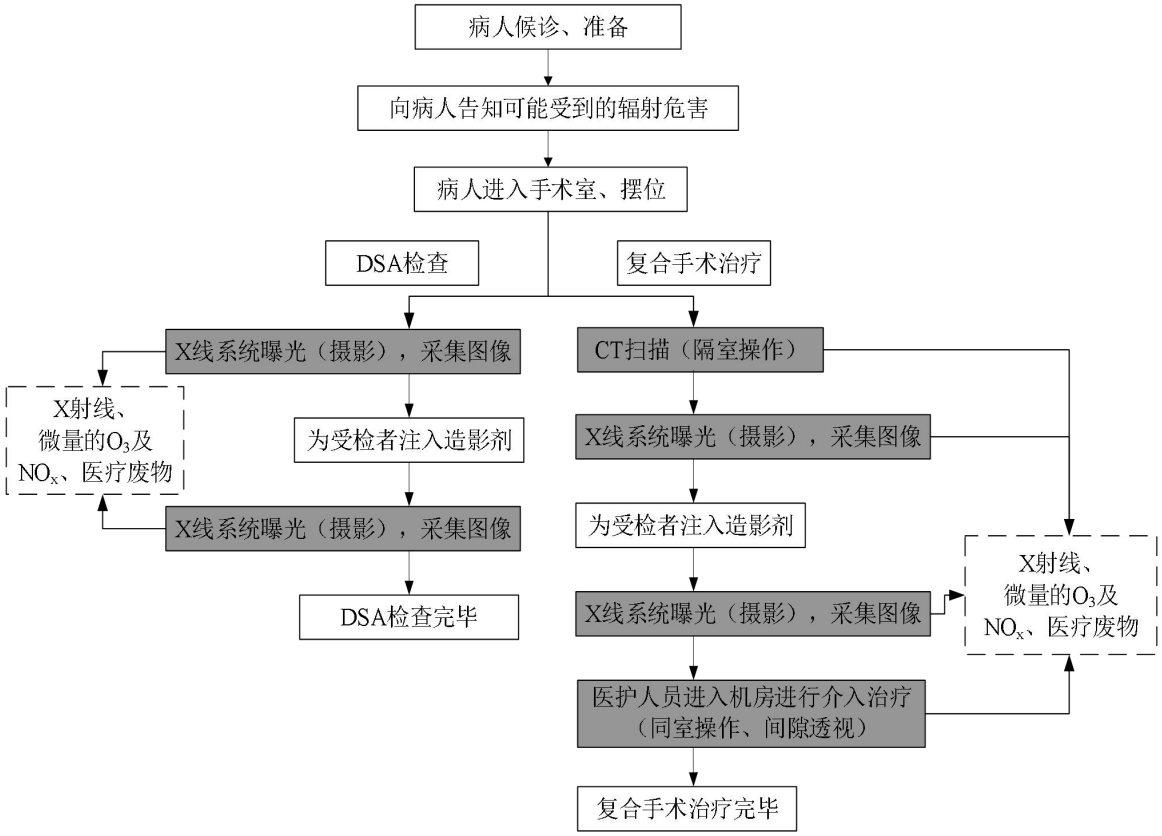


图 9-3 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、放射性污染

DSA 在工作状态下会发出X射线，本项目拟配备的 DSA 最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA，其主要用作血管造影检查及配合介入治疗。由于在荧光影像与视频影像之间有影像增强器，从而降低了造影所需的 X 射线能量，再加上一次血管造影检查需要时间很短，因此血管造影检查的辐射影响较小。而介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，对病人和医务人员有一定的附加辐射剂量。

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

（一）有用线束

本项目 DSA 的有用线束透射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），

摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。根据医院提供资料，DSA正常运行时，透视模式的工况为（60～80）kV/（5～20）mA，摄影模式的工况为（60～80）kV/（100～500）mA。

DSA运行时离靶1米处的X射线发射率根据运行时管电压和DSA的X射线管的过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图3中查取。本项目DSA过滤装置采用束光器自带2.5mmAl过滤器+附加过滤器，按照过滤材料为2.5mmAl滤片进行剂量预测，查《辐射防护导论》附图3，本项目正常运行时最大电压为80kV，离靶1米处的发射率约为5mGy·m^2/mA·min。

（二）泄漏射线

根据国际放射防护委员会第33号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个X射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的X射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点1m处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过1 mGy/h”（在距离源1m处不超过100cm^2的面积上或者在离管或源壳5cm处的10cm^2面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第1-3部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断X射线设备辐射防护》（GB9706.103-2020）中12.4的相应要求，取本项目DSA离焦点1m处的泄漏辐射空气比释动能率为1.0mGy/h。

（三）散射线

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

工作负荷：根据医院提供的资料，预估DSA的工作负荷情况见表9-3。

表9-3 预估每台DSA工作负荷

（1）透视

手术类别	年开展工作量	每台手术 透视曝光时间	年透视 曝光时间
心脏介入	100台	约12min	约20h
神经介入	200台	约15min	约50h
骨科介入	150台	约10min	约25h
综合介入	120台	约15min	约30h

小计	/	/		约 125h

（2）摄影

手术类别	年开展工量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
心脏介入	100 台	0.5~1 s	6～10 次	约 0.17min	约 17min
神经介入	200 台	0.5~1 s	7～11 次	约 0.18min	约 36min
骨科介入	150 台	0.5~1 s	7～11 次	约 0.18min	约 27min
综合介入	120 台	0.5~1 s	3～10 次	约 0.17min	约 20min
小计	/	/	/	/	约 1.7h
总 计					约 126.7h

本项目拟在医院内部调配人员，劳动定员 4 人，具体工作人员名单尚未确定。项目开展后，DSA 机房内和机房外辐射工作不进行轮换，且不兼职其它辐射工作。根据医院提供的 DSA 工作负荷，医生、护士年接触射线时间不超过 125h，技师在操作台进行隔室操作设备，包括透视及摄影，其年接触射线时间不超过 126.7h，辐射工作人员年工作 250 天。

二、非放射性污染

（一）废气：DSA 在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

（二）废水：主要是工作人员产生的生活污水（年产生量约 500L）。

（三）固体废物：DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物（年产生量约 120kg）暂存在机房内的废物桶，手术结束后分类集中收集；工作人员产生的生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局合理性

本项目 1 间 DSA 机房拟建址位于医院 E 区急诊中心 3 楼复合手术室，复合手术室东侧和北侧为污物走廊，南侧为 CT 停放间、操作间和前室，西侧为设备间，楼上为设备层，楼下为男更衣和干库房。DSA 配套设备与 CT 配套设备共用复合手术室西侧设备间，DSA 机房操作间与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，平面和空间布局合理，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中关于选址与布局的规定。

本项目 DSA 所在机房（复合手术室）、CT 停放间和 CT 手术室作为辐射防护控制区，与机房相邻的操作间、设备间、前室和缓冲划为监督区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目 DSA 机房周围布置及分区示意图见图 10-1。

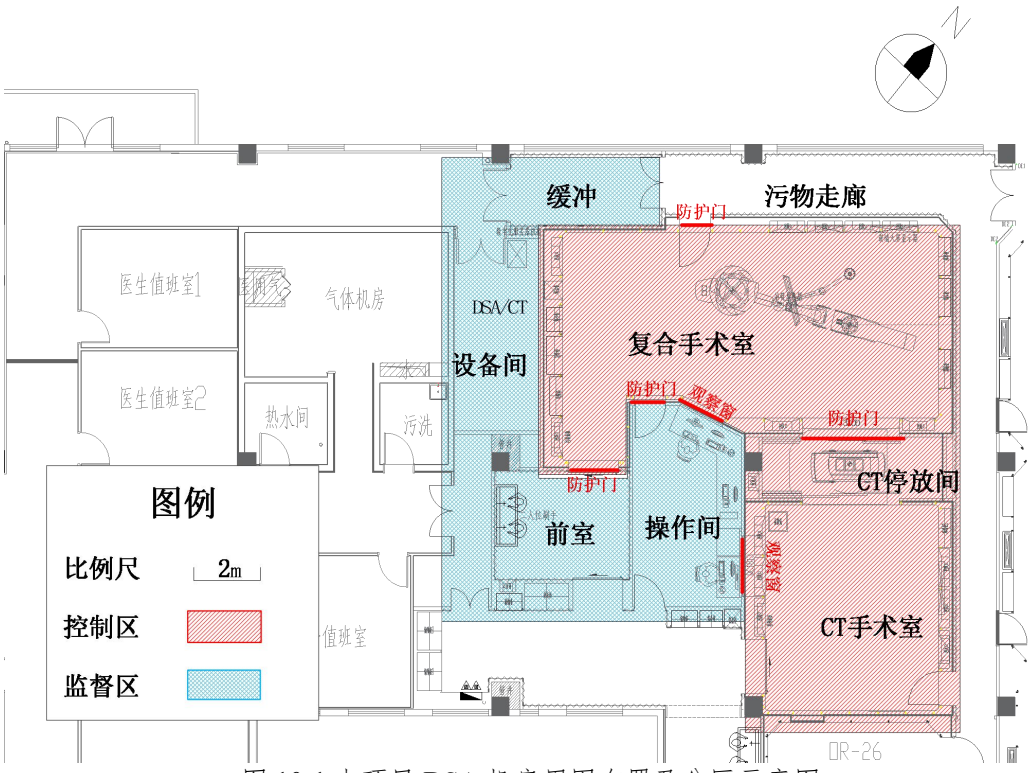


图 10-1 本项目 DSA 机房周围布置及分区示意图

二、辐射防护屏蔽设计

本项目 DSA 机房辐射防护设计见表 10-1。

表 10-1 本项目 DSA 机房屏蔽设计一览表

屏蔽体	屏蔽设计
场所	复合手术室
四周墙体	4mm 铅当量铅板
顶棚	4mm 铅当量铅板
地面	120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥
防护门（4 扇）	4mm 铅当量铅板
观察窗	4mm 铅当量铅玻璃

注：1.铅密度为 11.3g/cm^3，铅玻璃密度为 4.0g/cm^3，混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，硫酸钡水泥密度约为 4.6g/cm^3；

2.顶棚和四周墙体除铅板外为钢制成品拼装结构板。

三、辐射安全措施

（一）电线电缆布设

DSA 机房电缆线穿墙方式拟采用“U”型穿墙管道，电缆沟不会破坏机房墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

（二）通风装置

DSA 机房拟设置动力通风装置，通风口位于机房内顶面。机房排风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，通风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

（三）电离辐射警告标志

DSA 机房防护门拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

（四）门灯联动

DSA 机房患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。平开机房门应设有自动闭门装置，推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施。

（五）急停按钮

DSA 操作台拟设置一个急停按钮，机房内的治疗床边操作面板自带一个急停按钮，各按钮分别与 X 射线系统连接，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止 X 射线系统出束。

（六）观察窗或摄像监控装置

DSA 机房墙上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态及防护门开闭情况。操作台上设置视频监控及对讲装置。

（七）防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、剂量报警仪、个人剂量计等，拟购置的各类防护用品除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

（八）人员监护

医院拟为本项目配备 4 名辐射工作人员，并为辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检且做好个人剂量档案管理工作。该医院已开展辐射工作人员的职业健康监护，定期安排其在有相应资质医院体检，建立个人剂量档案。

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

（十）其他辐射安全措施

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

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

2、一般说来，降低病人剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入人员的培训，包括放射防护的培训，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速，以减少病人和介入人员的剂量。

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

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

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

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

7、临床介入手术时，介入医生需站在DSA床边操作，仅依赖于医务人员身着铅衣、机器自带的铅吊帘等防护设备被动防护。一般来说，床下球管机对医务人员的辐射剂量，由头、颈、胸至腹部呈现剂量逐渐上升的趋势，故操作人员除个人防护用品（铅衣、铅围脖、铅帽及铅眼镜等）外，应着重考虑X射线机操作侧的屏蔽，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，且能消毒。本项目DSA设备自带床侧竖屏、床下吊帘及床上防护屏，以上组合屏蔽防护措施的设置，能够有效降低介入手术医务人员的吸收剂量。

四、监测仪器和防护用品

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

医院拟为本项目配备辐射巡测仪1台、个人剂量报警仪4台。医院拟为辐射工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜及介入防护手套等个人防护用品（具体配备情况见表10-2）。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，开展DSA介入治疗的辐射工作人员采用双剂量计监测方法，以监测累积受照情况。医院已定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表10-2 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

设备名称	分项		《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求	本项目拟采取措施
DSA	工作	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套	3件0.5mmPb铅橡胶围裙、3件0.5mmPb铅橡胶颈套、

	人员		选配：铅橡胶帽子	3 顶 0.5mmPb 铅橡胶帽子、 3 副 0.5mmPb 铅防护眼镜、 3 副 0.025mmPb 介入防护手套
		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	1 个 0.25mmPb 床侧防护帘、 1 扇 2mmPb 移动铅防护屏风
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	1 件 0.5mmPb 铅橡胶围脖、 1 顶 0.5mmPb 铅橡胶帽子、 1 件 0.5mmPb 铅方巾
		辅助防护设施	/	/

三废治理

（一）废水：工作人员和部分病人产生的生活污水（年产生量约 500L），由院内污水处理站统一处理达标后排放至市政污水管网。

（二）废气：DSA 机房空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力通风装置排入大气，常温下臭氧 50min 左右可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。机房拟设置动力通风装置，排风口设置于机房吊顶上，安装位置距离机房地面 2m 以上，避开有用线束照射。

（三）固体废物：本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物（年产生量约 120kg）暂存在机房内的废物桶，手术结束后统一集中分类收集，作为医疗废物委托有资质单位进行处置。生活垃圾分类收集后交市政环卫部门处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

无锡市人民医院改建复合手术室项目拟建址位于医院 E 区急诊中心 3 楼，建设时主要工作为墙体隔断与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体隔断等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

二、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体拆除、墙体连接等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

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

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

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院区内部，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）DSA 机房屏蔽设计

1、评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 规定，主束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均应不小于 2.0mmPb；CT 机房屏蔽体的铅当量应不小于 2.5mm 铅当量。

2、本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

由表 10-2 可知，本项目机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及地面的混凝土和硫酸钡水泥及观察窗的铅玻璃。本项目按额定管电压 125kV 和常用最大管电压 80kV 条件核算 DSA 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

（1）混凝土的等效铅当量厚度核算：

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

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

式中：*X*—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

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

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

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \text{公式 11-2}$$

式中：*B*—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α、*β*、*γ*—铅对对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X—铅厚度。

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

表 11-1 不同管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974
80kV（主束）	铅	4.040	21.69	0.7187
70kV（散射）	铅	5.369	23.49	0.5883

本项目机房屏蔽部位涉及的120mm混凝土按公式11-2、公式11-1计算其屏蔽透射因子B、铅当量厚度，计算结果列于表11-2。

表11-2 混凝土屏蔽透射因子*B*、铅当量厚度计算结果

管电压	屏蔽材料	屏蔽透射因子*B*	铅当量厚度*X*（mm）
125kV（主束）	120mm混凝土	6.70E-03	1.44

（2）硫酸钡水泥防护材料的等效铅当量厚度：

本项目机房地面屏蔽材料使用了硫酸钡水泥，但GBZ 130-2020表C.4～表C.7中缺相应数据，需采用以下方法估算相应的等效铅当量厚度：

首先按《辐射防护导论》（方杰著）P88给出的相应公式估算硫酸钡水泥的等效混凝土厚度：

$$d_1/d_2=\rho_2/\rho_1 \qquad \text{公式 11-3}$$

式中：d_1—硫酸钡水泥厚度（mm）；

d_2—硫酸钡水泥的等效混凝土厚度（mm）；

ρ_1—硫酸钡水泥密度，经资料查询，本项目取4.6g/cm^3；

ρ_2—混凝土密度，取2.35g/cm^3。

本项目机房地面涉及的50mm硫酸钡水泥厚度计算结果列于表11-3。

表11-3 硫酸钡水泥的等效砖（普通砖）厚度计算结果

材料	密度（g/cm^3）	混凝土密度（g/cm^3）	材料厚度（mm）	等效混凝土厚度（mm）
硫酸钡水泥	4.6	2.35	50	98

然后再根据硫酸钡水泥等效混凝土厚度分别按公式11-2、公式11-1计算其在120kV下屏蔽透射因子B、铅当量厚度，计算结果列于表11-4。

表11-4 相应屏蔽材料蔽透射因子B、铅当量厚度计算结果

管电压	屏蔽体	屏蔽透射因子*B*	等效铅当量厚度*X*（mm）
120kV（主束）	50mm硫酸钡水泥	7.22E-03	1.14

3、DSA机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

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

无锡市人民医院E急诊中心3楼DSA机房辐射防护设计见表11-5

表 11-5 无锡市人民医院 E 急诊中心 3 楼 DSA 机房辐射防护设计一览表

参数		设计厚度	等效铅当量	屏蔽要求[1]	评价
复合手术室	四侧墙体[2]	4mm 铅当量铅板	4.0mm	C 形臂 X 射线设备机房：有用线束方向 2.0mm 铅当量，非有用线束方向 2.0mm 铅当量。CT 机房：2.5mm 铅当量[4]。	满足
	顶面[3]	4mm 铅当量铅板	4.0mm		满足
	地面[2]	120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥	2.6mm		满足
	防护门[2]	4mm 铅当量铅板	4.0mm		满足
	观察窗[2]	4mm 铅当量铅玻璃	4.0mm		满足
	机房面积	南北长 4.8（最小单边长度），东西长 12.0m，有效使用面积为 57.6m^2，层高 4.5m		单管头 X 射线机机房内最小有效新建面积不小于 20m^2，单边长度不小于 3.5m。CT 机房内最小有效使用面积不小于 30m^2，最小单边长度不小于 4.5m。	满足

注：1、屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3；
2、为非有用线束方向；
3、为有用线束方向；
4、考虑复合手术室同时作为 CT 机房使用，还应满足 CT 机房屏蔽要求。

由上表可知，无锡市人民医院 E 急诊中心 3 楼 DSA 机房在额定最大管电压 125kV 和常用最大工况 80kV 下屏蔽防护措施均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

（二）DSA 机房的辐射影响预测

本项目 DSA 的辐射影响构成情况见表 11-6。

表 11-6 本项目 DSA 的辐射影响情况

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

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。预测点选取如下：

1#-复合手术室东侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊；

2#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，CT 停放间；

3#-复合手术室南侧观察窗外 30cm 处，操作间；

4#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，操作间；

5#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，前室；

6#-复合手术室西侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间；

7#-复合手术室北侧防护门外 30cm 处，污物走廊；

8#-复合手术室北侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊；

9#-复合手术室上方距顶棚地面 100cm 处，设备层；

10#-复合手术室下方距楼下地面 170cm 处，男更衣和干库房。

在 DSA 机房周围共布设 10 个预测点，预测点布设见图 11-1 所示。

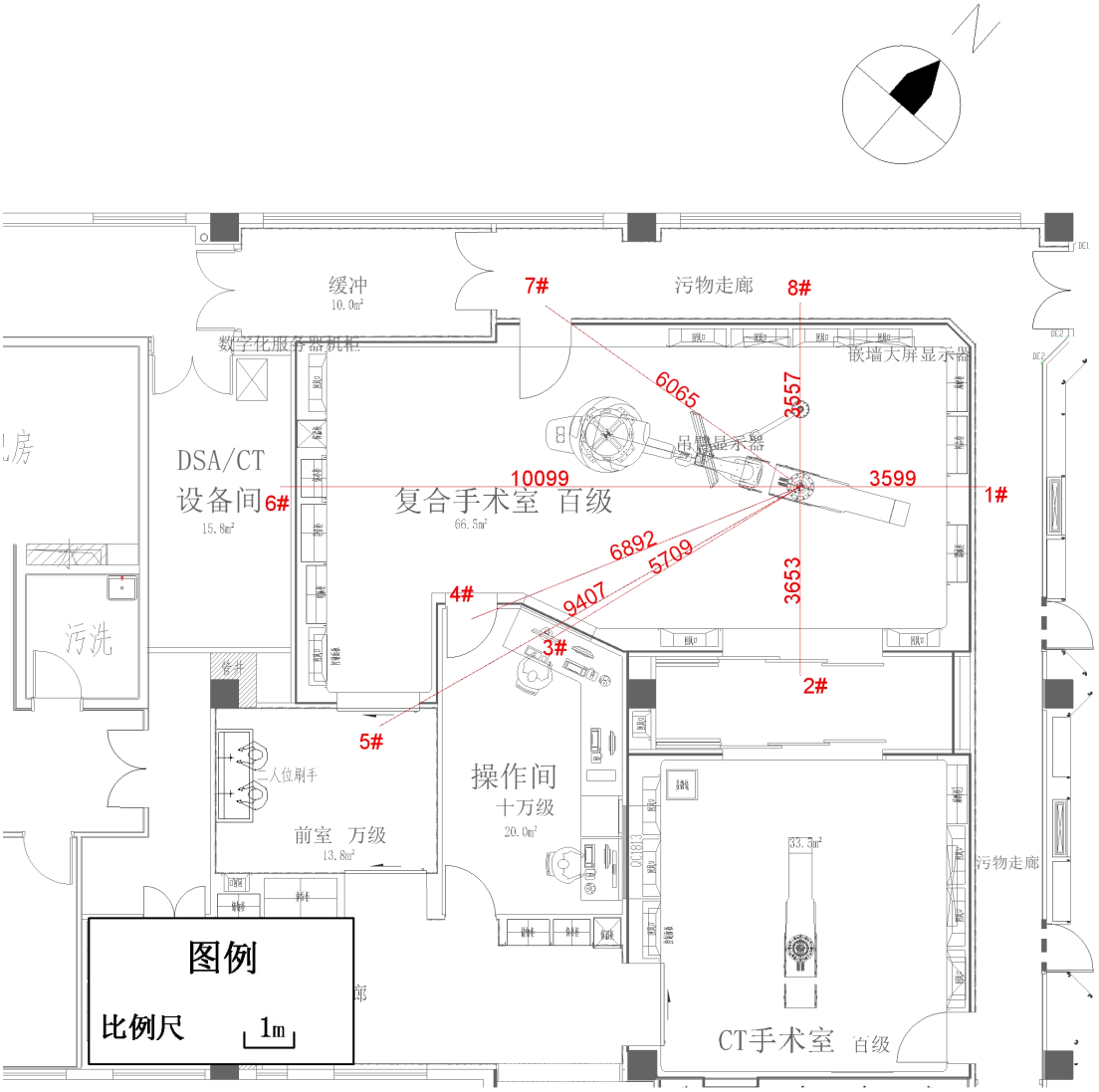


图 11-1 DSA 机房周围预测点布设示意图

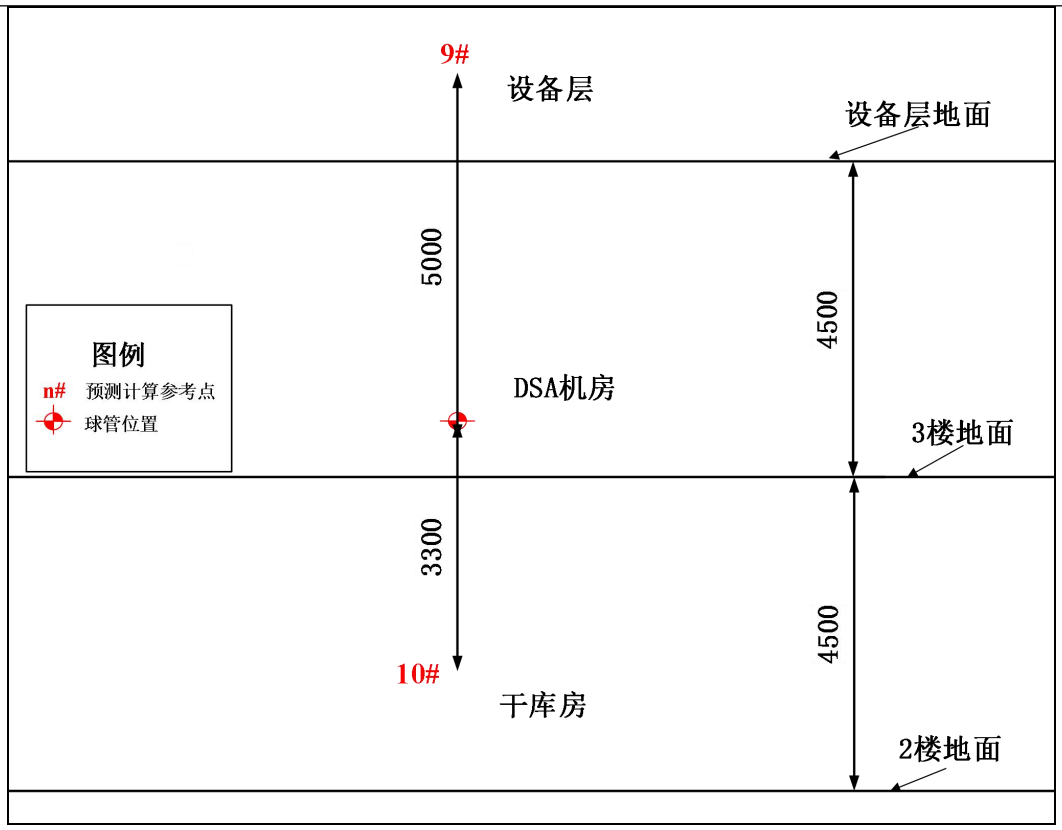


图 11-2 DSA 机房预测点布设剖面示意图

1、DSA 有用线束辐射影响预测

（1）关注点处有用线束辐射水平计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.8）进行推导，得到有用线束在关注点处的比释动能率的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）继而在式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到有用线束有效剂量计算公式：

$$H = \frac{H_0 \cdot I \cdot B}{d^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1 m 处由主束产生的比释动能率），$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$；具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目正常使用的最大管电压为 80kV、过滤片保守取 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 $5mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $300000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目透视、摄影模式下正常使用的最大管电流分别

取 20mA、500mA；

d—关注点至 X 射线源的距离；

B—机房各屏蔽体的屏蔽透射因子，无量纲，按公式 11-2 计算；

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

（2）关注点处剂量率计算结果

鉴于本项目 DSA 运行时最大常用管电压为 80kV，从 NCRP147 报告 TABLE A.1 中查取铅对 80kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数α、β、γ值，见表 11-1。

将 DSA 机房顶部屏蔽体的铅当量厚度 X（见表 11-5），将表 11-1 中的α、β、γ值代入公式 11-2，计算响应的屏蔽透射因子 B 值。

将前述有关参数代入公式 11-4，计算 DSA 机房屋顶关注点处有用线束辐射影响水平，计算结果见表 11-7。

表 11-7 DSA 机房顶部上方关注点处有用线束辐射剂量率计算结果

关注点位置	操作模式	H_0（μGy·m²/（mA·h））	I（mA）	X*（mm）	B	d（m）	H（μGy/h）
9#-复合手术室上方距顶棚地面 100cm 处，设备层	透视	300000	20	4	7.30E-9	5.0	2.92E-03
	摄影		500				7.31E-02

2、DSA 非有用线束的辐射影响预测

（1）关注点处泄漏辐射水平计算

泄漏辐射存在于透视操作和摄影操作过程。

泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-5}$$

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

B—机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，本项目 DSA 管电压为 80kV（本项目正常运行最大管电压）工况下机房四周屏蔽墙及地面屏蔽体的铅当量厚度 X（表 11-3）及表 11-1 中的α、β、γ值代入公式 11-2，计算相应的屏蔽透射因子 B 值。

r—关注点至 X 射线源的距离。

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

将有关参数代入公式 11-5，计算 DSA 机房周围关注点处、机房内介入操作人员操作位关注点处的泄漏辐射剂量率，计算结果见表 11-8。

表 11-8 DSA 机房关注点处漏辐射剂量率计算结果

关注点位置		H_i（mGy/h）	X*（mm）	r（m）	B	$\dot{H}_L$（μSv/h）
1#-复合手术室东侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		1	4.0	3.6	7.30E-09	9.40E-07
2#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，CT 停放间		1	4.0	3.6	7.30E-09	9.40E-07
3#-复合手术室南侧观察窗外 30cm 处，操作间		1	4.0	5.7	7.30E-09	3.75E-07
4#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，操作间		1	4.0	6.9	7.30E-09	2.56E-07
5#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，前室		1	4.0	9.4	7.30E-09	1.38E-07
6#-复合手术室西侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间		1	4.0	10.1	7.30E-09	1.19E-07
7#-复合手术室北侧防护门外 30cm 处，污物走廊		1	4.0	6.1	7.30E-09	3.27E-07
8#-复合手术室北侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		1	4.0	3.6	7.30E-09	9.40E-07
10#-复合手术室下方距楼下地面 170cm 处，男更衣和干库房		1	2.6	3.3	2.09E-06	3.20E-04
第一术者	铅衣内	1	1	0.5	1.43E-03	9.55
	铅衣外	1	0.5	0.5	1.37E-02	91.52
第二术者	铅衣内	1	1	1	1.43E-03	2.39
	铅衣外	1	0.5	1	1.37E-02	22.88

注：*X 为 125kV 时屏蔽物质等效铅厚度。

（2）关注点处散射辐射水平计算

散射辐射存在于透视操作和摄影操作过程。

关注点处散射辐射剂量率率计算公式：

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平、潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的

比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为1），继而在公式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到散射辐射有效剂量率计算公式：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-6}$$

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

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

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

S—主束在受照人体上的散射面积，考虑手术需要的最大照射面积，本项目常用最大照射面积取 $16\times16=256cm^2$；

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

d_s—受照体至关注点的距离，本项目受照体至关注点的距离同 r（关注点至 X 射线源的距离）列于表 11-8；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防

护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，按前述 90º方向一次散射线能量对应的 kV 值为 70kV，*K* 值取 1.60。

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，按公式 11-2 计算。此处散射线是指本项目最大常用管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，器能量偏保守取有用线束侧向（散射角θ=90°）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08(1-\cos90°)/0.511]=0.865$，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 80kV×0.865=69.2kV，近似取为 70kV，再利用 NCRP147 报告 TABLE C.1 查取散射线 70kV 下铅的α、β、γ拟合参数（见表 11-1）；将机房屏蔽体和介入操作人员防护用屏蔽物的铅当量厚度、表 11-1 中α、β、γ值代入公式 11-2，计算响应的散射辐射屏蔽透射因子值，列于表 11-9。

将前述有关参数代入公式 11-6，计算透视模式、摄影模式下 DSA 机房外公众、操作台操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率，计算结果见表 11-9。

表 11-9 DSA 机房外关注点处散射辐射剂量率计算结果

关注点位置	操作模式	H_0（μGy·m²/（mA·h））	I（mA）	X*（mm）	B_s	d_0（m）	d_s（m）	H_s（μSv/h）
1#-复合手术室东侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊	透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	3.6	5.06E-08
	摄影		500					1.26E-06
2#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，CT 停放间	透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	3.6	5.06E-08
	摄影		500					1.26E-06
3#-复合手术室南侧观察窗外 30cm 处，操作间	透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	5.7	2.02E-08
	摄影		500					5.05E-07
4#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，操作间	透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	6.9	1.38E-08
	摄影		500					3.44E-07
5#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，前室	透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	9.4	7.42E-09
	摄影		500					1.86E-07
6#-复合手术室西侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间	透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	10.1	6.43E-09
	摄影		500					1.61E-07
7#-复合手术室北侧防护门外 30cm 处，污物走廊	透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	6.1	1.76E-08
	摄影		500					4.41E-07

8#-复合手术室北侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		透视	300000	20	4.0	2.70E-11	0.45	3.6	5.06E-08
		摄影		500					1.26E-06
10#-复合手术室下方距楼下地面 170cm 处，男更衣和干库房		透视	300000	20	2.6	4.97E-08	0.45	3.3	2.21E-04
		摄影		500					5.54E-03
第一术者	铅衣内	透视	300000	20	1	2.84E-04	0.45	0.5	27.57
	铅衣外	透视	300000	20	0.5	5.35E-03	0.45	0.5	519.43
第二术者	铅衣内	透视	300000	20	1	2.84E-04	0.45	1	6.89
	铅衣外	透视	300000	20	0.5	5.35E-03	0.45	1	129.86

注：*X 为 125kV 时屏蔽物质等效铅厚度。

（3）关注点处预测计算结果汇总

综上所述，DSA 机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-10。

表 11-10 DSA 机房关注点处辐射剂量率计算统计结果

关注点位置	操作模式	X 射线辐射剂量率（μSv/h）			
		主射线	散射线	漏射线	合计
1#-复合手术室东侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊	透视	/	5.06E-08	9.40E-07	9.91E-07
	摄影	/	1.26E-06		2.20E-06
2#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，CT 停放间	透视	/	5.06E-08	9.40E-07	9.91E-07
	摄影	/	1.26E-06		2.20E-06
3#-复合手术室南侧观察窗外 30cm 处，操作间	透视	/	2.02E-08	3.75E-07	3.95E-07
	摄影	/	5.05E-07		8.79E-07
4#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，操作间	透视	/	1.38E-08	2.56E-07	2.70E-07
	摄影	/	3.44E-07		6.00E-07
5#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，前室	透视	/	7.42E-09	1.38E-07	1.45E-07
	摄影	/	1.86E-07		3.23E-07
6#-复合手术室西侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间	透视	/	6.43E-09	1.19E-07	1.26E-07
	摄影	/	1.61E-07		2.80E-07
7#-复合手术室北侧防护门外 30cm 处，污物走廊	透视	/	1.76E-08	3.27E-07	3.45E-07
	摄影	/	4.41E-07		7.68E-07
8#-复合手术室北侧	透视	/	5.06E-08	9.40E-07	9.91E-07

屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		摄影	/	1.26E-06		2.20E-06
9#-复合手术室上方距顶棚地面 100cm 处，设备层		透视	2.92E-03	/	/	2.92E-03
		摄影	7.31E-02	/		7.31E-02
10#-复合手术室下方距楼下地面 170cm 处，男更衣和干库房		透视	/	2.21E-04	3.20E-04	5.42E-04
		摄影	/	5.54E-03		5.86E-03
第一术者	铅衣内	透视	/	27.57	9.55	37.13
	铅衣外	透视	/	519.43	91.54	610.95
第二术者	铅衣内	透视	/	6.89	2.39	9.28
	铅衣外	透视	/	129.86	22.88	152.74

根据表 11-8 计算统计结果分析知，摄影模式的非有用线束在 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率明显大于透视模式；机房外辐射工作人员关注点剂量率最大为 2.20E-06μSv/h，出现在机房东侧屏蔽墙、北侧屏蔽墙和南侧防护门外关注点；公众关注点剂量率最大为 7.31E-02μSv/h，出现在机房上方关注点处，本项目 DSA 机房屏蔽设计能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

（三）周围公众及辐射工作人员年有效剂量估算

1、年有效剂量估算模式

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

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \qquad \text{公式 11-7}$$

式中：H_{Er}—X射线外照射年有效剂量，mSv/a；

H_r—关注点处剂量率，μSv/h；

T—居留因子；

t—年照射时间，h。

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

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \qquad \text{公式 11-8}$$

式中：α—系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_u—铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），单位为毫希沃特

（mSv）；

β—系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

H_o—铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），单位为毫希沃特（mSv）。

2、年有效剂量估算

将有关参数代入公式 11-7，估算 DSA 机房四周公众及操作台辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-11。

表 11-11 DSA 机房四周公众及操作台辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置	操作模式	t（h）	T	辐射剂量率（μSv/h）	年有效剂量 H_{Er}*（mSv/a）	
1#-复合手术室东侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊	透视	125	1/4	9.91E-07	3.1E-08	3.19E-08
	摄影	1.7		2.20E-06	9.4E-10	
2#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，CT 停放间	透视	125	1/4	9.91E-07	3.1E-08	3.19E-08
	摄影	1.7		2.20E-06	9.4E-10	
3#-复合手术室南侧观察窗外 30cm 处，操作间	透视	125	1	3.95E-07	4.9E-08	5.09E-08
	摄影	1.7		8.79E-07	1.5E-09	
4#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，操作间	透视	125	1	2.70E-07	3.4E-08	3.47E-08
	摄影	1.7		6.00E-07	1.0E-09	
5#-复合手术室南侧防护门外 30cm 处，前室	透视	125	1/4	1.45E-07	4.5E-09	4.68E-09
	摄影	1.7		3.23E-07	1.4E-10	
6#-复合手术室西侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间	透视	125	1/16	1.26E-07	9.8E-10	1.01E-09
	摄影	1.7		2.80E-07	3.0E-11	
7#-复合手术室北侧防护门外 30cm 处，污物走廊	透视	125	1/4	3.45E-07	1.1E-08	1.11E-08
	摄影	1.7		7.68E-07	3.3E-10	
8#-复合手术室北侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊	透视	125	1/4	9.91E-07	3.1E-08	3.19E-08
	摄影	1.7		2.20E-06	9.4E-10	
9#-复合手术室上方距顶棚地面 100cm 处，设备层	透视	125	1/16	2.92E-03	2.3E-05	3.06E-05
	摄影	1.7		7.31E-02	7.8E-06	
10#-复合手术室下方距楼下地面 170cm 处，男更衣和干库房	透视	125	1/16	5.42E-04	4.2E-06	4.85E-06
	摄影	1.7		5.86E-03	6.2E-07	

由表 11-11，本项目机房四周公众的年附加剂量最大为 3.06E-05mSv，操作间辐射工作人员的年附加剂量最大为 5.09E-08mSv；考虑到复合手术治疗过程中，机房内外可能受到 CT 设备出束的叠加辐射影响（保守按照 2.5μSv/h 估算，曝光时间 20s/台，年曝光时间约 3.2h，则机房周围公众和工作人员年有效剂量为 8E-03mSv），本项目机房四周公众和操作间辐射工作人员年有效剂量最大为 8E-03mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

将有关参数代入公式 11-8，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-12。

表 11-12 介入操作人员年有效剂量估算结果

位置	α	β	部位	空气比释动能率（μSv/h）			年照射时间（h）	年有效剂量 E^*（mSv）
				散射线	漏射线	合计		
第一术者	0.79	0.051	铅衣内	27.57	9.55	37.13	125	7.56
			铅衣外	519.43	91.52	610.95		
第二术者			铅衣内	6.89	2.39	9.28		1.89
			铅衣外	129.86	22.88	152.74		

由表 11-12，本项目机房内的介入操作第一、第二术者操作位的年有效剂量分别为 7.56mSv、1.89mSv；第一术者操作位由 2 名人员轮流承担、第二术者操作位由 1 人承担，能满足工作人员项目管理目标 5mSv 的要求；

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

（四）保护目标年有效剂量估算

本项目 1 间 DSA 机房周围 50m 评价范围（见附图 2）除北侧外均位于院区内，北侧至无锡市疾病预防控制中心（最近处约 30m），项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患、院内公众和无锡市疾病预防控制中心内公众等。根据计算结果，1 间 DSA 机房周围公众可达处（取机房屏蔽墙外 30cm 处参考点）最大年附加剂量为 0.008mSv，其他保护目标位置由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及墙体、楼体结构的屏蔽作用，最大年附加剂量小于 0.008mSv。因此本项目周围保护目标的年有效剂量能够满足 0.1mSv 的剂量限值要求。

（五）四肢（手和足）或皮肤年剂量当量估算

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T 244-2017），估算 X 射线所致手部皮肤吸收剂量公式如下：

$$D_s = C_{ks}（\dot{k} \cdot t）\cdot 10^{-3} \quad 公式\ 11\text{-}9$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}^*_{(10)}}{C_{KH}} \cdots\cdots 公式\ 11\text{-}10$$

式中：D_s——皮肤吸收剂量，mGy；

$\dot{k}$——X 辐射场的空气比释动能率，μGy/h；

t——人员累积受照时间，h；

C_{ks}——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数，mGy/mGy，根据 GBZ/T 244-2017 表 A.4 及表 A.5 可查得男性及女性的 C_{ks} 分别为 1.134mGy/mGy 及 1.156mGy/mGy；

$\dot{H}^*_{(10)}$——X 辐射场的周围剂量当量率，μSv/h；

C_{kH}——空气比释动能到周围剂量当量的转换系数，Sv/Gy，查《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T 244-2017）中的附录 A 表 A.9 可得，本项目取 1.72。

本项目 DSA 床旁透视常用工况为 80kV/20mA，床旁透视时入射方式可近似地视为垂直入射，是 AP 入射方式。医生操作时腕部距非主射束的距离取 0.5m，且考虑介入防护手套铅当量为 0.25mmPb 的屏蔽防护，医生手术位腕部皮肤约 1/5 的时间（12.5h）处于受照位置。根据 GBZ/T 244-2017 附录 B 中 B.1.2 内容：在进行皮肤当量剂量评价时，对不均匀照射的皮肤，应用 1cm^2 面积上的平均皮肤吸收剂量来代表

该处的皮肤吸收剂量，根据公式 11-5、11-6 及公式 11-10 可计算出手术时腕部位置处的空气比释动能率为 2075μGy/h。

由上述数据估算可得，本项目 DSA 机房内第一术者位手术医生腕部皮肤受到最大剂量为 29.4mSv/a（男性）及 30.0mSv/a（女性），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定四肢（手和足）或皮肤剂量限值（500mSv/a）和本报告执行的四肢（手和足）或皮肤剂量限值（50mSv/a）。

（六）眼晶体年剂量当量估算

根据《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017），估算 X 射线所致眼晶体吸收剂量公式如下：

$$D_L = C_{kL}（\dot{k} \cdot t）\cdot 10^{-3} \quad 公式\ 11\text{-}11$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}^*_{(10)}}{C_{KH}} \cdots\cdots 公式\ 11\text{-}12$$

式中：D_s——眼晶体吸收剂量，mGy；

$\dot{k}$——X 辐射场的空气比释动能率，μGy/h；

t——人员累积受照时间，h，医生手术位眼晶体约 1/5 的时间（12.5h）处于受照位置；

C_{kL}——空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数，mGy/mGy，根据 GBZ/T301-2017 表 A.4 查得 C_{kL} 分别为 1.55mGy/mGy；

$\dot{H}^*_{(10)}$——X 辐射场的周围剂量当量率，μSv/h，根据公式 11-5 和 11-6 可计算出手术时眼晶体位置处的周围剂量当量率，医生操作时眼晶体距非主射束的距离取 0.5m，且考虑介入防护眼镜铅当量为 0.5mmPb 的屏蔽防护，通过计算 $\dot{H}^*_{(10)}$ 为 611μSv/h；

C_{kH}——空气比释动能到周围剂量当量的转换系数，Sv/Gy，查《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）中的附录 A 表 A.7 可得，本项目取 1.72。

由上述数据估算可得，本项目 DSA 机房内第一术者位手术医生眼晶体受到最大剂量为 6.9mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的眼晶体剂量限值（150mSv/a）和本报告执行的眼晶体剂量限值（15mSv/a）。

（七）DSA 机房门缝、排风口及电缆沟辐射防护评价

本项目防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围

墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

本项目机房排风管道穿墙处均采用铅板防护层包裹，未破坏机房墙体的整体屏蔽效果，射线经多次散射后，管道进出口处辐射剂量率将在控制范围内。

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，同时墙角拟增设一道 4mm 铅板，穿墙处埋地深度为 0.3m，未破坏机房墙体的整体屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

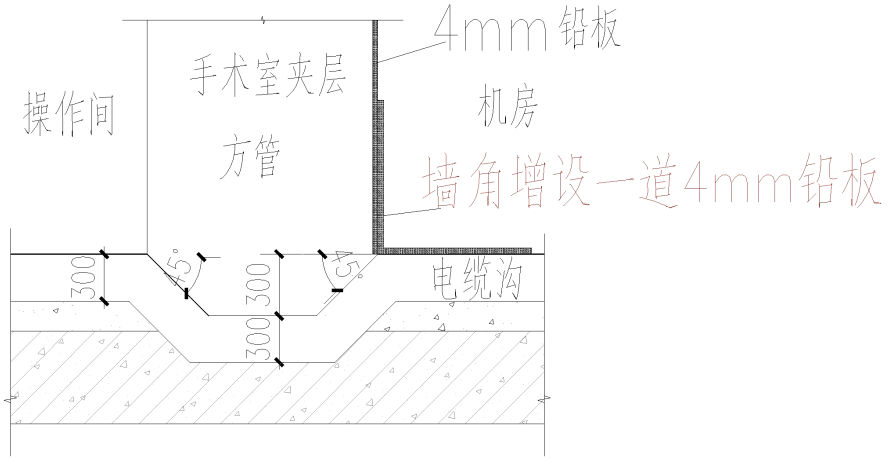


图 11-3 预留电缆管道示意图

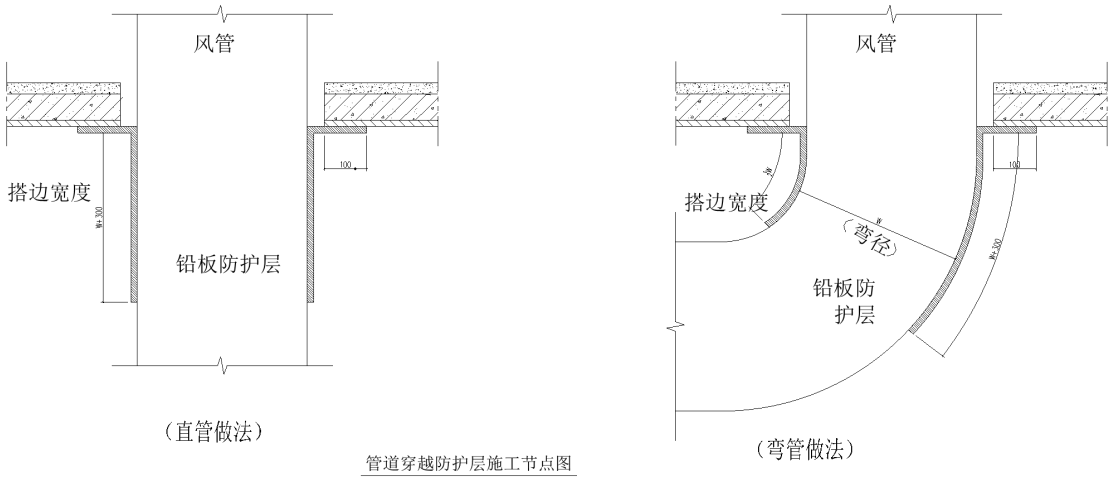


图 11-4 预留风管示意图

综上所述，根据上述理论估算结果，本项目 1 间 DSA 机房在经实体屏蔽后，对机房外辐射工作人员和周围公众的环境影响较小，同时在开展介入工作时，在采取有效的辐射防护措施和医院良好的管理情况下，辐射工作人员的年有效剂量可以满足标准限值要求。

二、三废的治理评价

（一）废水

工作人员和部分病人产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理。

（二）废气

DSA 机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。DSA 机房内拟设置动力通风装置，通风口位于机房内顶面。少量的臭氧、氮氧化物可通过动力通风装置排入大气，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

工作人员产生的生活垃圾，经分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物（月产生量约 10kg）暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

事故影响分析

本项目新增的DSA为II类射线装置，CT为III类射线装置，在运行时会产生X射线，项目环境风险因子为X射线，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）医务人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

（二）工作人员操作失误、未规范使用个人防护用品和防护辅助设施；

（三）CT或DSA控制系统失灵或球管外包壳受损，致使受检者剂量过大；

（四）CT或DSA维修时，若发生联锁失效或强制出束等情况时，导致维修人员可能受到不必要的照射；

（五）医务人员由于缺乏操作经验和防护知识，安全观念淡薄等，违反操作规程和有关规定，在手术期间未采取穿戴个人防护用品等必要的防护措施，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

二、事故处理方法及预防措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

（一）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。

（二）在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用X射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。

（三）制定和完善安全管理制度，设专人负责，做好使用登记工作。

（四）严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

三、应急措施

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

（一）立即按下设备操作台或室内的急停按钮，切断装置的电源，组织人员保护现场，迅速报告单位管理部门进行事故处理，并上报生态环境等部门；

（二）迅速安排受照人员接受医学检查和救治；

（三）事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作；

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

医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发〔2006〕145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境行政主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康行政主管部门报告；并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境行政主管部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政主管部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

无锡市人民医院拟将 E 区急诊中心 3 楼原来的部分手术室、示教室、辅房及部分洁净走廊改造为 1 间复合手术室、1 间 CT 手术室及相关辅房，其中拟在复合手术室内新增 1 台 DSA，用于血管造影检查及介入手术治疗。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用II类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作管理和辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，无锡市人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次改建复合手术室项目修订管理机构文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟为本项目配备 4 名辐射工作人员（医院原有辐射工作人员，调配至本项目后不兼职其它辐射工作）。辐射安全管理人员与辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，辐射安全管理人员应参加“辐射安全管理”辐射防护上岗考核。核医学科的辐射工作人员“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗；如有辐射培训证书到期人员或新增辐射工作人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前医院已有 DSA 相关辐射安全与防护管理制度，如《辐射事故应急处理预案》《射线装置操作规程》《岗位职责》《个人剂量和环境辐射监测方

案》、《辐射安全和防护专业知识及相关法律法规培训计划》等。医院现有管理制度内容较为全面，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，建议医院根据本次改建复合手术室项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

一、操作规程：针对本项目 DSA 和 CT 复合使用制定操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

二、岗位职责：明确与复合手术室相关的管理人员、射线装置操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

三、辐射防护和安全保卫制度：根据单位的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，规定专人负责改建复合手术室项目防护与安全保卫工作，定期对辐射防护与安全保卫相关的用品、仪器进行检查。

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

五、人员培训计划和健康管理制度：明确本项目的培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。辐射工作人员应定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

六、监测方案：制订辐射工作人员剂量监测工作制度和工作场所定期监测制度。对辐射工作人员进行个人剂量监测并建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的环境保护、卫生部门

调查处理；医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

辐射监测

根据辐射管理要求，无锡市人民医院拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台和个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

一、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率进行监测，周期：1～2 次/年；

二、辐射工作人员开展个人剂量监测（周期：每 1 至 3 个月 1 次），建立个人剂量档案；

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录。

无锡市人民医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。发现工作场所及周围环境监测结果异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，使用放射源和射线装置的单位，应当对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

无锡市人民医院已为全院辐射工作人员配备个人剂量计并建立个人剂量档案，已委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率进行监测。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急预案应明确以下几个方面：

一、应急机构和职责分工；

二、应急的具体人员和联系电话；

三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

五、辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康行政管理部门报告；并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

无锡市人民医院已经制定了《辐射事故应急处理预案》。该预案主要包括成立应急预案领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查。医院已根据应急预案及时组织演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均已加以落实。医院开展核技术利用项目至今未发生辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

医院拟将 E 区急诊中心 3 楼原来的部分手术室、示教室、辅房及部分洁净走廊改造为 1 间复合手术室、1 间 CT 手术室及相关辅房，其中拟在复合手术室内新增 1 台 DSA（型号为 ARTIS Pheno，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。用于开展医疗诊断和介入治疗。

二、项目建设的必要性及产业政策符合性

本项目的建设，可为医院提供多种诊断、治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断及介入治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

三、实践正当性

本项目的运行，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、选址合理性

无锡市人民医院位于江苏省无锡市梁溪区清扬路 299 号。医院东侧为通扬路和向阳新村，南侧为清南路，西侧为清扬路，北侧为金城路。

医院拟将 E 区急诊中心 3 楼原来的部分手术室、示教室、辅房及部分洁净走廊改造为 1 间复合手术室、1 间 CT 手术室及相关辅房，其中拟在复合手术室内新增 1 台 DSA。E 区急诊中心东侧隔院内道路为高氧治疗中心，南侧为 D 区住院部，西侧隔院内道路和绿化为核医学楼，北侧隔院内道路无锡市疾病预防控制中心。

本项目复合手术室东侧和北侧为污物走廊，南侧为 CT 停放间、操作间和前室，西侧为设备间，楼上为设备层，楼下为更衣室和干库房。本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围（见附图 2）除北侧外均位于院区内，北侧至无锡市疾病预防控制中心（最近处约 30m），项目运行后的环境保护目标主要为本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患、院内公众和无锡市疾病预防控制中心内公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元。

本项目射线装置机房与控制室分开，区域划分明确，选址及布局合理。

五、辐射环境现状

无锡市人民医院改建复合手术室项目拟建址周围室内γ辐射剂量率在89nGy/h～97nGy/h之间，位于江苏省环境天然γ辐射室内剂量率本底水平47.2~131.2nGy/h涨落之间，拟建址所在建筑物周围道路γ辐射剂量率在75nGy/h～77nGy/h之间，位于江苏省环境天然γ辐射道路剂量率本底水平10.2~84.0nGy/h涨落之间。

六、环境影响评价

根据预测结果，无锡市人民医院改建复合手术室项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下：

辐射防护影响预测：DSA机房屏蔽体、门、观察窗表面外30cm处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面100cm处、地面下方（楼下）距楼下地面170cm处的辐射剂量率目标控制值均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

剂量约束值：本项目辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，四肢或皮肤的年当量剂量不超过50mSv，眼晶体的年当量剂量不超过15mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

七、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

DSA开机期间，产生的X射线为主要辐射环境污染因子。本项目机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯；机房平开机房门拟设有自动闭门装置，电动推拉门设有防挤压装置，射线装置机房内外均设置有急停按钮，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。

八、辐射安全管理评价

无锡市人民医院已设定专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院已制定较为完善的辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，修订相关文件，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

无锡市人民医院需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。无锡市人民医院拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、个人剂量报警仪 2 台。此外，医院应根据 GBZ 130-2020 的要求，为辐射工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，无锡市人民医院改建复合手术室项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

一、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

二、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、医院在取得本项目环评批复，且具备辐射安全许可证申请条件后，应及时申请辐射安全许可证，并按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）第十二条“除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。”的规定时限要求开展竣工环境保护验收工作。

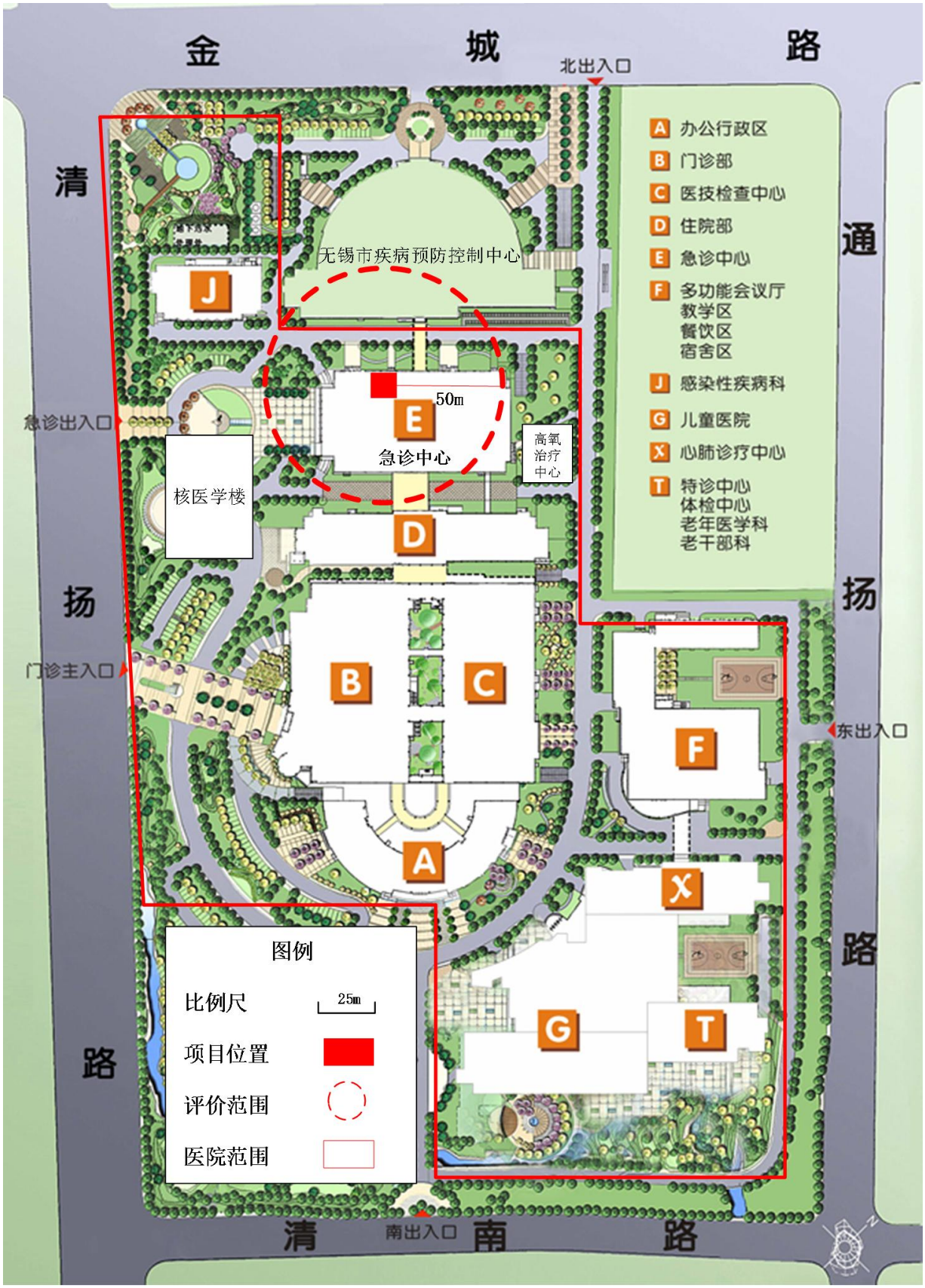
辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：本项目机房四侧墙体：4mm铅当量铅板；顶面；4mm铅当量铅板；地面：120mm混凝土+50mm硫酸钡水泥；防护门（4扇）：4mm铅当量铅板；铅玻璃窗：4mm铅当量铅玻璃。工作人员和周围公众的年有效剂量符合项目剂量约束值要求。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	
	安全措施（警示标志、工作状态指示灯等）：本项目DSA机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯；平开机房门拟设有自动闭门装置，电动推拉门设有防挤压装置；射线装置机房内外均设置有急停按钮；通风装置设置于机房吊顶上。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。	
人员配备	拟配置4名辐射工作人员	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过3个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	拟配备辐射巡测仪1台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	
	拟配备个人剂量报警仪2台。		
	DSA介入治疗医生配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、介入防护手套等，同时设置铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
辐射安全管理制度	操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	已满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	
总计	/	/	

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：   公 章 经办人　　年　月　日
审批意见   公 章 经办人　　年　月　日



附图 2 无锡市人民医院周围环境及总平面示意图