核技术利用建设项目

常州市第一人民医院
扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目
环境影响报告表

常州市第一人民医院

2025 年 9 月

生态环境部监制

目 录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 8 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 8 -
表 4　射线装置 ..... - 9 -
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 10 -
表 6　评价依据 ..... - 11 -
表 7　保护目标与评价标准 ..... - 15 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 20 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 27 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 42 -
表 11　环境影响分析 ..... - 55 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 88 -
表 13　结论与建议 ..... - 95 -
表 14　审批 ..... - 103 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">常州市第一人民医院扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">常州市第一人民医院
（统一社会信用代码：　　）</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></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">江苏省常州市局前街 185 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">江苏省常州市局前街 185 号</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="2">/</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>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">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

常州市第一人民医院创建于 1918 年，是一所集医、教、研为一体的三级甲等综合性医院。

常州市第一人民医院位于江苏省常州市局前街 185 号，医院于院区 9 号楼四层~六层建设有核医学科，每层均为独立的非密封性放射性物质工作场所。医院于 9 号楼

四层建设有SPECT诊断中心，于SPECT/CT机房1配备有1台Symbia T16型SPECT/CT（最大管电压为130kV，最大管电流为345mA，为Ⅲ类射线装置），使用^{99m}Tc、^{99}Mo、^{67}Ga放射性核素，开展核素显像诊断项目；于9号楼五层建设有PET/CT中心，于PET/CT机房配备有1台Biograph mCT.S型PET/CT（最大管电压为120kV，最大管电流为300mAs，为Ⅲ类射线装置），使用^{18}F、^{13}N、^{11}C、^{68}Ga放射性核素，开展核素显像诊断项目；于9号楼六层建设有核素治疗病房，使用^{131}I、^{32}P、^{123}I、^{125}I、^{89}Sr、^{103}Pd、^{125}I（粒子源），开展核素治疗、放免分析和粒籽植入项目；医院于9号楼东北侧地下建设六级衰变池。该项目于2012年5月30日取得原江苏省环境保护厅的批复文件（文号：苏环辐（表）审〔2012〕067号）并取得辐射安全许可证。医院核医学科实际投入使用的核素为^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I和^{125}I（粒子源），于2014年2月24日通过竣工环境保护验收，文号：苏环核验〔2014〕003号（见附件6）。因核医学科原有环境影响评价报告编制和辐射安全许可证申领时间较早，已许可的放射性核素的操作量与实际使用存在偏差，故采用现行有效的《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关公式和参数对放射性核素的实际操作量进行修正并重新判断其工作场所等级（详见表1-1）。由表1-1可知，放射性核素的日等效最大操作量和工作场所等级均未超过辐射安全许可证的许可范围。

表1-1 常州市第一人民医院9号楼四层~六层已许可核素实际使用情况一览表

非密封放射性物质

序号	核素名称	已许可		本次修正		工作场所名称	工作场所等级	备注
		日等效最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）			
1	^{99}Mo	1.85E+07	9.25E+11	/	/	9号楼四层SPECT诊断中心	丙级	已许可、拟注销
2	^{67}Ga	3.70E+07	1.11E+10	/	/			已许可、拟注销
3	^{99m}Tc	2.96E+08	2.70E+12	1.85E+07	3.47E+12			已许可、已验收
4	^{18}F	7.41E+07	9.87E+11	1.48E+07	3.70E+12	9号楼五层PET/CT中心	丙级	已许可、拟注销
5	^{13}N	1.11E+07	2.66E+10	/	/			已许可、拟注销

6	^{11}C	1.11E+07	2.66E+10	/	/			已许可、拟注销
7	^{68}Ga	3.70E+06	5.55E+09	/	/			已许可、拟注销
8	^{32}P	7.40E+07	4.44E+10	/	/	9 号楼六层	乙级	已许可、拟注销
9	^{103}Pd	2.22E+06	2.22E+09	/	/			已许可、拟注销
10	^{123}I	2.22E+07	5.55E+11	/	/			已许可、拟注销
11	^{125}I	3.70E+06	1.85E+09	/	/			已许可、拟注销
12	^{131}I	2.96E+09	3.70E+12	2.22E+09	8.33E+11			已许可、已验收
13	^{125}I	3.70E+07	1.85E+11	/	/			已许可、拟注销
14	^{89}Sr	2.96E+07	1.18E+10	/	/			已许可、拟注销
15	^{125}I（粒子源）	4.74E+06	4.74E+11	4.74E+06	4.74E+11	肿瘤科	丙级	已许可、已验收

目前在用的 Symbia T16 型 SPECT/CT 已服役多年、设备老旧，为更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，常州市第一人民医院拟在 9 号楼四层预留 SPECT/CT 机房（SPECT/CT 机房 2）内配备 1 台 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT（最大管电压为 130kV，最大管电流为 345mA，为Ⅲ类射线装置），配合使用 ^{99m}Tc 放射性核素（日等效最大操作量为 1.85E+07Bq）开展核素显像诊断，不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量，为丙级非密封放射性物质工作场所；常州市第一人民医院拟将 2 号楼一层候诊大厅进行改造，新建 1 座 DSA 机房，新增 1 台 Artis icono biplane 型 DSA（双球管，最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。

根据医院诊疗需求，常州市第一人民医院于 2024 年开始对 9 号楼三层放疗科工作场所进行改造，建设成 PET/CT 和 PET/MRI 核医学科工作场所，并新增 1 台 PET/CT（属Ⅲ类射线装置）和 1 台 PET/MRI，配合使用 ^{18}F 放射性核素（日等效最大操作量为 1.036E+07Bq）开展核素显像诊断项目。并于 9 号楼东北侧地下现有六级衰变池南侧新建 1 个有效总容积为 22.5m^3 的三级衰变池。该项目环评文件已于 2024 年 4 月 30

日取得江苏省生态环境厅的批复文件，文号：苏环辐（表）审〔2024〕21号（见附件8）。目前PET/CT和PET/MRI核医学科工作场所和衰变池正在建设中，待该场所和衰变池建设完成，医院计划将9号楼三层~五层产生的含^{99m}Tc、^{18}F放射性核素的废水排至三级衰变池内，原六级衰变池仅用于贮存9号楼六层甲癌病房产生的含^{131}I放射性核素的废水。

常州市第一人民医院扩建核医学诊断项目辐射工作拟由SPECT诊断中心现有辐射工作人员承担，其中医师、技师、护士各2名，此6名辐射工作人员除开展SPECT诊断中心相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。本次扩建核医学诊断项目运行后，相关显像扫描工作将由新增的Symbia Intevo Bold型SPECT/CT为主、现有Symbia T16型SPECT/CT为辅来共同完成，不增加核素用量。目前，SPECT诊断中心日接诊量最大为20人次，日平均接诊量为15人次，年工作250天，故本项目年接诊量为3750人次。

常州市第一人民医院扩建DSA诊疗项目辐射工作拟由脑外科现有辐射工作人员承担，其中医师4名、技师2名、护士2名，此8名辐射工作人员除开展脑外科介入治疗相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。根据医院提供的DSA工作负荷，DSA机房内手术位辐射工作人员（医生、护士）年接触射线时间不超过100h，技师在控制室进行隔室操作设备，包括透视和摄影，隔室操作时间不超过101.67h。本项目辐射工作人员年工作250天，计划分为2组，共同承担脑外科的介入治疗工作，则本项目所致辐射工作人员的年受照时间约为50.84h。

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，常州市第一人民医院扩建核医学诊断和DSA诊疗项目需进行环境影响评价。受常州市第一人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了扩建核医学诊断和DSA诊疗项目的环境影响评价工作（见附件1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第16号，2021年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“丙级非密封放射性物质工作场所、使用II类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司在资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了项目环境影响报告表。常州市第

一人民医院扩建核医学诊断和DSA诊疗项目情况见表1-2：

表1-2 常州市第一人民医院扩建核医学诊断和DSA诊疗项目情况一览表

非密封放射性物质

序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量（Bq）*	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	丙级	^{99m}Tc	1.85E+07	9号楼四层SPECT诊断中心	使用	已许可、已验收	/

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	备注
1	SPECT/CT（Symbia Intevo Bold型）	1	130	345	Ⅲ类	9号楼四层SPECT诊断中心SPECT/CT机房2	使用	本次环评	/
2	DSA（Artis icono biplane型）	1	125	1000	Ⅱ类	2号楼一层DSA机房	使用	本次环评	双球管
			125	1000					

注：本次扩建核医学诊断项目不改变SPECT诊断中心现有工作场所布局和接诊量。SPECT诊断中心使用^{99m}Tc放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大为20人次，单人单次最大用药量为25mCi（9.25E+08Bq），日等效最大操作量按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）进行修正，未超过已许可操作量。

二、项目选址情况

常州市第一人民医院位于江苏省常州市局前街185号，医院东侧为唐家湾路和居民商业混合区、南侧为唐家湾路和迎春花园居民区，西侧为晋陵中路，北侧为局前街。常州市第一人民医院地理位置示意见附图1，院区平面布置和周围环境示意图见附图2。

本次扩建核医学诊断和DSA诊疗项目主要包括：

（一）拟在9号楼四层预留SPECT/CT机房（SPECT/CT机房2）内配备1台Symbia Intevo Bold型SPECT/CT，配合使用^{99m}Tc放射性核素开展核素显像诊断，不改变SPECT诊断中心现有工作场所布局和接诊量，为丙级非密封放射性物质工作场所。9号楼东侧为院内道路和1号楼，南侧为院内道路和3号楼，西侧为院内停车场，北侧为10号楼、院内道路、11号楼和护王府遗址。本项目预留SPECT/CT机房（SPECT/CT机房2）位于9号楼四层SPECT诊断中心西部，SPECT/CT机房2东侧为SPECT/CT

机房 1，南侧为控制室，西侧为楼梯间，北侧为患者通道，上方为 PET/CT 机房、注射室、高活室和患者通道，下方为 PET/MR 机房、设备间、注射室、废物库和患者通道。9 号楼四层 SPECT 诊断中心平面布置及周围环境示意图见附图 3。

（二）拟将 2 号楼一层候诊大厅进行改造，新建 1 座 DSA 机房，新增 1 台 Artis icono biplane 型 DSA，用于开展医疗诊断和介入治疗。2 号楼东侧为院内道路、唐家湾路、天成苑居民区和多宝大厦，南侧为院内道路、唐家湾路和迎春花园居民区，西侧为院内道路和 5 号楼，北侧为院内道路和 6 号楼。本项目 DSA 机房位于 2 号楼一层东部，DSA 机房东侧为洁净走廊和值班室，南侧为等候区，西侧为设备间，北侧为缓冲及术后观察区和控制室，上方为手术准备室、库房、走廊、办公室、示教室和更衣值班室，下方为地下车库。2 号楼一层 DSA 机房平面布置及周围环境示意图见附图 8。

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

本次扩建核医学诊断项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内；扩建 DSA 诊疗项目周围 50m 评价范围内，东侧隔院内道路和唐家湾路为天成苑居民区（最近约 39m）、多宝大厦（最近约 43m），南侧隔院内道路和唐家湾路为迎春花园居民区（最近约 42m），西侧、北侧均位于院区边界内。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、其他医护人员、患者、陪同家属及评价范围内天成苑居民区、多宝大厦、迎春花园居民区处其他公众等。

三、原有核技术利用项目许可情况

常州市第一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[01314]），有效期至：2027 年 6 月 7 日，许可种类和范围为“使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”。医院辐射安全许可证正副本见附件 4。

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。医院现有核技术利用项目情况见附件 5。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊断和介入治疗服务，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，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

表 2　放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 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
1	^{99m}Tc	液态/低毒 $T_{1/2}$=6.02h	/	1.85E+10	1.85E+07	3.47E+12	放射诊断	很简单操作	9 号楼四层 SPECT 诊断中心	按需订购，暂存于手套箱内，核医学科 SPECT 诊断中心门诊使用（已许可，日等效操作量按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）进行修正）。
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	SPECT/CT	Ⅲ类	1	Symbia Intevo Bold 型	130	345	医疗诊断	9 号楼四层 SPECT 诊断中心 SPECT/CT 机房 2	/
2	DSA	Ⅱ类	1	Artis icono biplane 型	125	1000	医用诊断/介入治疗	2 号楼一层 DSA 机房	双球管
					125	1000			
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭纸等	固体	^{99m}Tc	/	约 6.25kg	约 75kg	β表面污染小于 0.8Bq/cm^2	存放于 9 号楼四层 SPECT 诊断中心废物库内。	暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。
手套箱顶壁和工作场所通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭			/	/	约 20kg			
体内含有放射性核素的患者排泄物及工作场所清洗废水等	液态	^{99m}Tc	/	约 4.58m^3	约 55m^3	总β不大于 10Bq/L	流入 9 号楼东北角地下衰变系统中。	暂存时间超过 30 天后可直接解控排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理。
液态放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{99m}Tc	/	微量	微量	/	不暂存	在手套箱中操作，经管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放至大气。
DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	约 37.5kg	约 450kg	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^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》，1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过，2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，中华人民共和国主席令 第九号，2015 年 1 月 1 日起实施； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令 第七十七号，2002 年 10 月 28 日发布，根据 2016 年 7 月 2 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议《关于修改〈中华人民共和国节约能源法〉等六部法律的决定》第一次修正，根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》第二次修正； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003 年 10 月 1 日起实施； （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》，中华人民共和国国务院令 第 253 号，1998 年 11 月 29 日发布，根据 2017 年 7 月 16 日《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（中华人民共和国国务院令 第 682 号）修订，2017 年 10 月 1 日起施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），生态环境部令 第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行； （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）《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；

（10）《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行；

（11）《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；

（12）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第 2 号公告，2018 年 5 月 1 日起实施；

（13）《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；

（14）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 39 号，2019 年 10 月 25 日发布；

（15）《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；

（16）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；

（17）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日发布；

（18）《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版），苏政办函〔2020〕26 号，2020 年 2 月 19 日发布；

（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，2021 年 5 月 28 日发布；

（20）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2025〕1 号，2025 年 9 月 21 日起施行；

（21）《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；

（22）《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；

（23）《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。

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）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； （3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； （4）《医用电气设备 第1-3部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断X射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）； （5）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （6）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （7）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （8）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （9）《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）； （10）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （11）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； （12）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （13）《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）。
其他	**附图：** （1）常州市第一人民医院扩建核医学诊断和DSA诊疗项目地理位置示意图； （2）常州市第一人民医院院区平面布置及周围环境示意图； （3）常州市第一人民医院9号楼四层SPECT诊断中心工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线示意图； （4）常州市第一人民医院9号楼三层平面布置示意图； （5）常州市第一人民医院9号楼五层平面布置示意图； （6）常州市第一人民医院9号楼四层SPECT诊断中心工作场所进、排风管道布设示意图； （7）常州市第一人民医院9号楼四层SPECT诊断中心工作场所放射性废水排水管道布设示意图；

（8）常州市第一人民医院 2 号楼一层 DSA 机房平面布置及分区示意图；

（9）常州市第一人民医院 2 号楼负一层平面布置示意图；

（10）常州市第一人民医院 2 号楼二层平面布置示意图。

附件：

（1）项目委托书；

（2）放射性同位素和射线装置使用承诺书；

（3）工作场所屏蔽设计情况；

（4）辐射安全许可证正副本复印件；

（5）原有核技术利用项目基本情况一览表；

（6）核医学科 SPECT 诊断中心工作场所环保手续文件；

（7）核医学科 SPECT 诊断中心工作场所防护监测报告；

（8）9 号楼三层 PET/CT 和 PET/MRI 核医学科工作场所环评批复文件；

（9）现有辐射工作人员辐射安全与防护考核成绩报告单；

（10）现有辐射工作人员近一年度个人剂量监测报告；

（11）本项目辐射环境现状监测报告；

（12）本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书。

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“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本项目 9 号楼四层 SPECT 诊断中心工作场所控制区、2 号楼一层 DSA 机房实体屏蔽体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本次扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区；不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）要求，本项目建设址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元（详见附件 12）；本项目为核技术利用项目，根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本次扩建核医学诊断项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内；扩建 DSA 诊疗项目周围 50m 评价范围内，东侧隔院内道路和唐家湾路为天成苑居民区（最近约 39m）、多宝大厦（最近约 43m），南侧隔院内道路和唐家湾路为迎春花园居民区（最近约 42m），西侧、北侧均位于院区边界内。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、其他医护人员、患者、陪同家属及评价范围内天成苑居民区、多宝大厦、迎春花园居民区处其他公众等。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

项目	序号	环境保护目标		方位	最近距离	保护对象类别	人口规模	剂量约束值要求
扩建核医学诊断项目	1	9 号楼四层	护士、医师、技师	SPECT 诊断中心工作场所内	/	辐射工作人员	6 人	5mSv/a（职业人员）
	2	9 号楼三层~五层	其他医务人员	SPECT 诊断中心工作场所四周及上、下方	紧邻	公众	约 15 人	0.1mSv/a（公众）
			其他患者、周围公众				流动人员	
		9 号楼负二层~二层、六层	其他医务人员	SPECT 诊断中心工作场所上、下方	约 3m	公众	约 50 人	
			其他患者、周围公众				约 20 张床位，其余为流动人员	
	3	10 号楼（锅炉房、变电所）	工作人员	北侧	约 13m	公众	约 10 人	
			周围公众				流动人员	
	4	11 号楼（实验楼）	工作人员	北侧	约 48m	公众	约 10 人	
			周围公众				流动人员	
	5	1 号楼（门急诊综合楼）	工作人员	东侧	约 36m	公众	约 100 人	
			周围公众				约 100 张床位，其余为流动人员	
	6	院内道路		四周	约 9m	公众	流动人员	
扩建 DSA 诊疗项目	1	2 号楼一层 DSA 机房	操作技师	控制室	紧邻	辐射工作人员	约 2 人	5mSv/a（职业人员）
			医师、护士	机房内	/		约 6 人	
	2	2 号楼负一层、二层	其他医务人员	DSA 机房四周及上、下方	紧邻	公众	约 60 名	0.1mSv/a（公众）
			其他患者、周围公众				流动人员	
		2 号楼三层~十六层	其他医务人员	DSA 机房上方	约 3m	公众	约 300 名	
			其他患者、周围公众				约 500 张床位，其余为流动人员	
	3	6 号楼	工作人员	西侧	约 37m	公众	约 50 人	

		周围公众					流动人员
4	院内道路		东、南、北侧	约 12m	公众	流动人员	
5	天成苑居民区	居民	东侧	约 39m	公众	约 50 人	
		商铺				约 30 人，其余为流动人员	
6	多宝大厦	居民	东侧	约 43m	公众	约 100 人	
		商铺				约 20 人，其余为流动人员	
7	迎春花园居民区	居民	南侧	约 42m	公众	约 120 人	
		商铺				约 50 人，其余为流动人员	
8	唐家湾路		东、南侧	约 30m	公众	流动人员	

评价标准

一、工作人员职业照射和公众照射剂量限值：

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

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	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，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

二、剂量约束值：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，确定扩建核医学诊断项目剂量约束值为：职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B 的要求并结合本项目特点，确定扩建 DSA 诊疗项目剂量约束值为：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

三、工作场所关注点处的周围剂量当量率参考控制水平：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，扩建核医学诊断项目各关注点处的周围剂量当量率参考控制水平要求如下：

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

（二）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 2.5μSv/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 25μSv/h。

（三）非密封放射性物质工作场所控制区边界、机房屏蔽体外 30cm 处剂量率目标控制值为 2.5μSv/h。

（四）固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

（五）每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）“6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：a）具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv”的要求，确定扩建 DSA 诊疗项目 DSA 机房外的周围剂量当量率参考控制水平为：距 DSA 机房墙体、门、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5μSv/h。

四、工作场所放射性表面污染控制水平要求：

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见表 7-3。

表 7-3 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质（Bq/cm²）		β放射性物质（Bq/cm²）
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 a)	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

[a] 该区内的高污染子区除外。

五、辐射环境质量现状检测评价参考值

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

表 7-4 江苏省全省环境天然γ辐射水平调查结果（单位：nGy/h）

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

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

六、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编；

（二）《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强主编。

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

常州市第一人民医院位于江苏省常州市局前街 185 号，医院东侧为唐家湾路和居民商业混合区、南侧为唐家湾路和迎春花园居民区，西侧为晋陵中路，北侧为局前街。

本次扩建核医学诊断项目 SPECT/CT 机房 2 位于 9 号楼四层 SPECT 诊断中心西部，SPECT/CT 机房 2 东侧为 SPECT/CT 机房 1，南侧为控制室，西侧为楼梯间，北侧为患者通道，上方为 PET/CT 机房、注射室、高活室和患者通道，下方为 PET/MR 机房、设备间、注射室、废物库和患者通道。

本次扩建 DSA 诊疗项目 DSA 机房位于 2 号楼一层东部，DSA 机房东侧为洁净走廊和值班室，南侧为等候区，西侧为设备间，北侧为缓冲及术后观察区和控制室，上方为手术准备室、库房、走廊、办公室、示教室和更衣值班室，下方为地下车库。

本次扩建核医学诊断项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内；扩建 DSA 诊疗项目周围 50m 评价范围内，东侧隔院内道路和唐家湾路为天成苑居民区（最近约 39m）、多宝大厦（最近约 43m），南侧隔院内道路和唐家湾路为迎春花园居民区（最近约 42m），西侧、北侧均位于院区边界内。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、其他医护人员、患者、陪同家属及评价范围内天成苑居民区、多宝大厦、迎春花园居民区处其他公众等。本项目拟建址周边环境见图 8-1 至图 8-12。

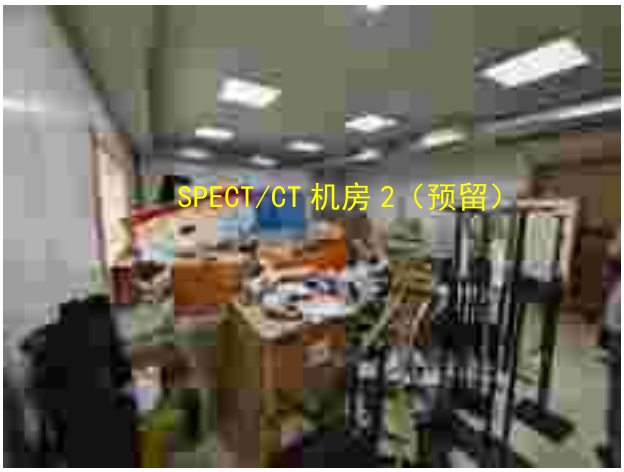


图 8-1 9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2



图 8-2 9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2 东侧



图 8-3 9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2 南侧

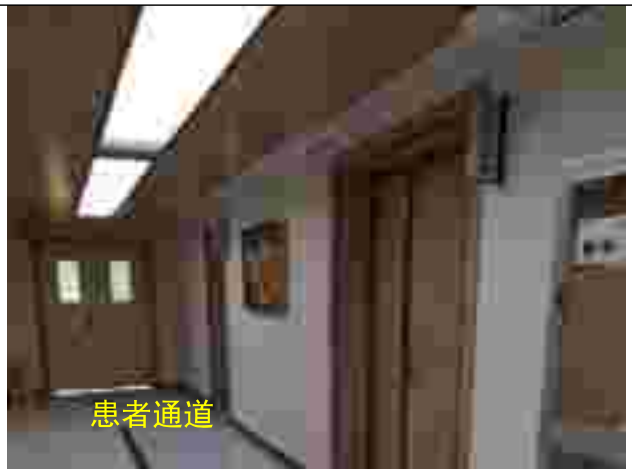


图 8-4 9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2 北侧



图 8-5 9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2 上方



图 8-6 9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2 下方



图 8-7 2 号楼一层 DSA 机房拟建址



图 8-8 2 号楼一层 DSA 机房拟建址上方



图 8-9 2 号楼一层 DSA 机房拟建址下方



图 8-10 院区东侧



图 8-11 院区东侧



图 8-12 院区南侧

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）、《辐射环 境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本项目拟建址周围进行布点，测量γ辐射剂量率及β表面污染水平。监测结果见表 8-1 至表 8-3，监测点位示意图见图 8-13 至图 8-15。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目：γ辐射剂量率、β表面污染水平

监测日期：2025 年 3 月 19 日

天气：晴

温度：13℃

湿度：26%RH

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

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过检验检测机构资质

认定（证书编号：22102034350，检测资质见附件 11），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。

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

数据记录及处理：1、γ空气吸收剂量率：开机预热，手持仪器或将仪器固定在三脚架上。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境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。2、表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小 2s。

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

（一）γ辐射剂量率

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：2024 年 10 月 28 日～2025 年 10 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2024-0107802）

能量响应：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

表 8-1 扩建 DSA 诊疗项目拟建址周围环境γ辐射水平

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	标准差	备注
1	扩建 DSA 诊疗项目拟建址内	68	2	楼房
2	扩建 DSA 诊疗项目拟建址东侧	70	2	楼房
3	扩建 DSA 诊疗项目拟建址南侧	70	1	楼房
4	扩建 DSA 诊疗项目拟建址西侧	70	2	楼房
5	扩建 DSA 诊疗项目拟建址北侧	72	2	楼房

6	扩建 DSA 诊疗项目拟建址上方	78	2	楼房
7	扩建 DSA 诊疗项目拟建址下方	58	2	楼房
8	6 号楼东侧	45	1	道路
9	天成苑居民区 4 号楼西侧	47	1	道路
10	多宝大厦西侧	44	2	道路
11	迎春花园居民区 1 幢北侧	47	1	道路

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

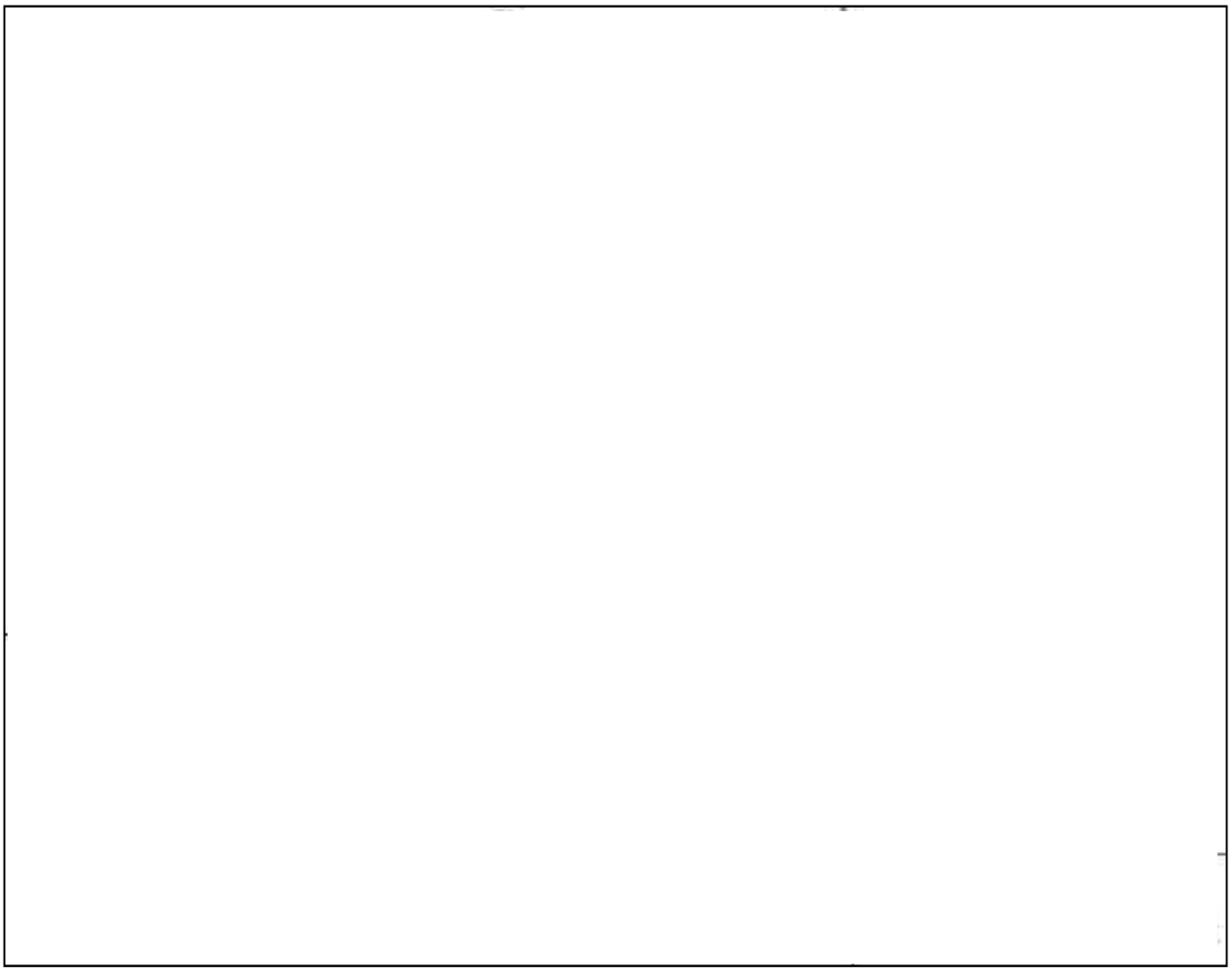


图 8-13 扩建 DSA 诊疗项目拟建址周围环境监测点位示意图

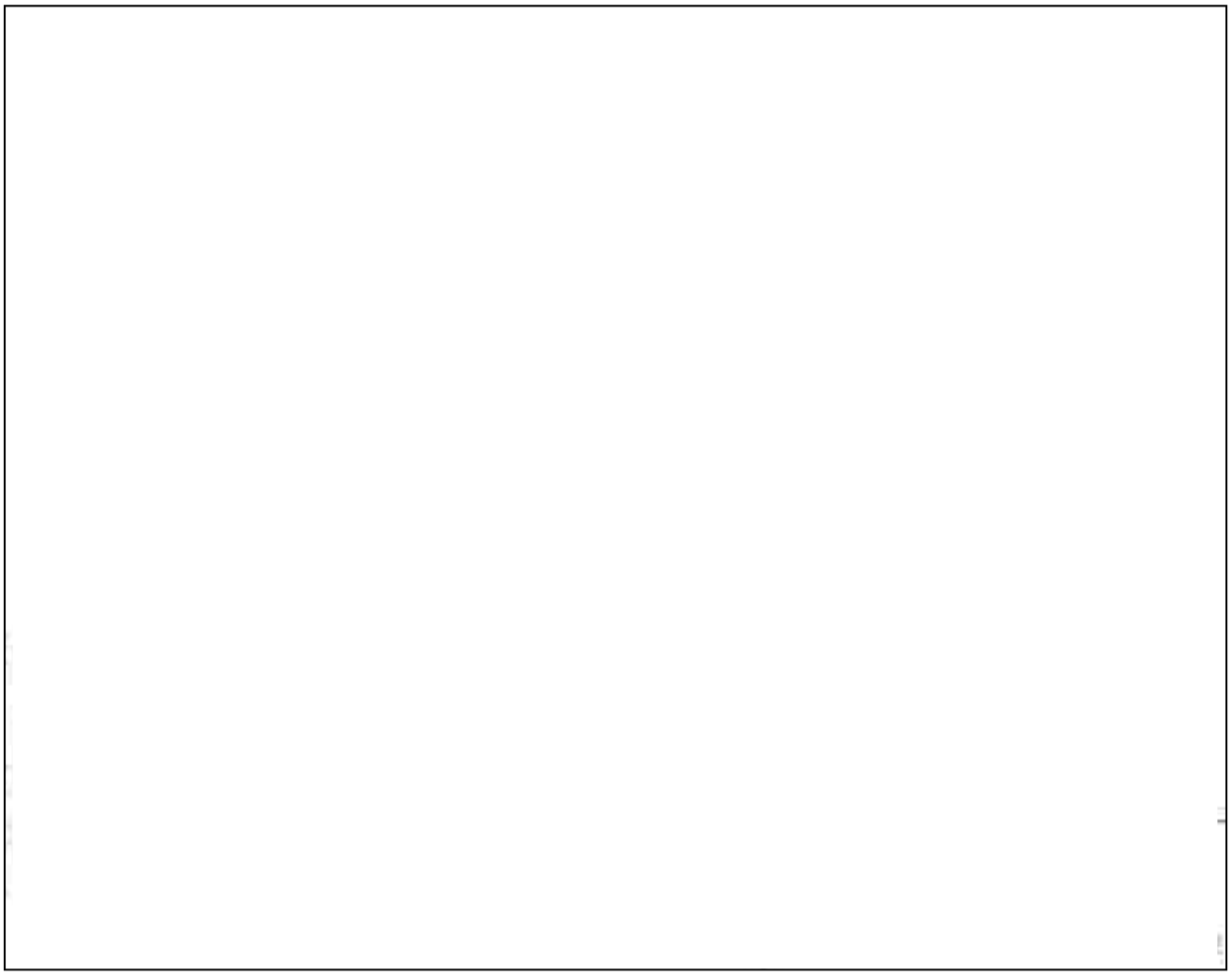


图 8-14 扩建核医学诊断项目拟建址周围环境监测点位示意图

表 8-2 扩建核医学诊断项目拟建址周围环境γ辐射水平

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	标准差	备注
1	SPECT/CT 机房 2 内	68	3	楼房
2	SPECT/CT 机房 2 东侧	70	2	楼房
3	SPECT/CT 机房 2 南侧	68	2	楼房
4	SPECT/CT 机房 2 西侧	64	3	楼房
5	SPECT/CT 机房 2 北侧	69	3	楼房
6	SPECT/CT 机房 2 上方	60	2	楼房
7	SPECT/CT 机房 2 下方	89	3	楼房
8	衰变池拟建址上方	51	3	道路
9	1 号楼西侧	48	2	道路
10	10 号楼西南角	49	2	道路

11	11 号楼南侧	48	2	道路
12	现有 6 级衰变池上方	93	3	道路

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

2、检测时，9 号楼 3 层核医学科工作场所正在建设中，9 号楼 4 层、5 层核医学科现有工作场所内未开展放射诊疗活动。

由表 8-1 至表 8-2 监测结果可知，常州市第一人民医院扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目拟建址室内点位周围环境天然γ辐射剂量率在（58～89）nGy/h，位于江苏省建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7～129.4）nGy/h 范围内；室外点位周围环境γ辐射剂量率为（44~93）nGy/h，位于江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1～102.3）nGy/h 范围内。

（二）β表面污染水平

检测仪器：CoMo 170 型α、β表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效期：2024 年 3 月 28 日～2025 年 3 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2024-0027030）

测量范围：0cps～20000cps

表 8-3 扩建核医学诊断项目拟建址周围β表面污染水平

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm²）
1	SPECT/CT 机房 2 内地面	<0.06
2	SPECT/CT 机房 2 内墙面	<0.06
3	控制室桌面	<0.06
4	控制室地面	<0.06
5	衰变池拟建址表面	<0.06

注：表面β放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.06Bq/cm²。

由表 8-3 监测结果可知，常州市第一人民医院扩建核医学诊断项目拟建址周围β表面污染水平均低于仪器探测下限。

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

（一）扩建核医学诊断项目

常州市第一人民医院拟在 9 号楼四层预留 SPECT/CT 机房（SPECT/CT 机房 2）内配备 1 台 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT（最大管电压为 130kV，最大管电流为 345mA，为Ⅲ类射线装置），配合使用 ^{99m}Tc 放射性核素开展核素显像诊断，不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量，为丙级非密封放射性物质工作场所。

SPECT/CT 的基本结构分 3 部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT/CT 将功能显像的 SPECT 与解剖显像的 CT 图像有机融合，提高信噪比，在获取衰减校正后的核医学影像同时与同机 CT 图像融合，实现 SPECT 的高敏感性优势及 CT 的解剖准确性优势互补，既可显示病变的血液及功能改变，又可显示其解剖学影像，有效提高病灶的检出能力和定位能力，提高疾病诊断的准确率从而大大提高了诊断的效能。本项目拟配备 1 台 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT，主要设备技术参数见表 9-1，SPECT/CT 外观图见图 9-1。

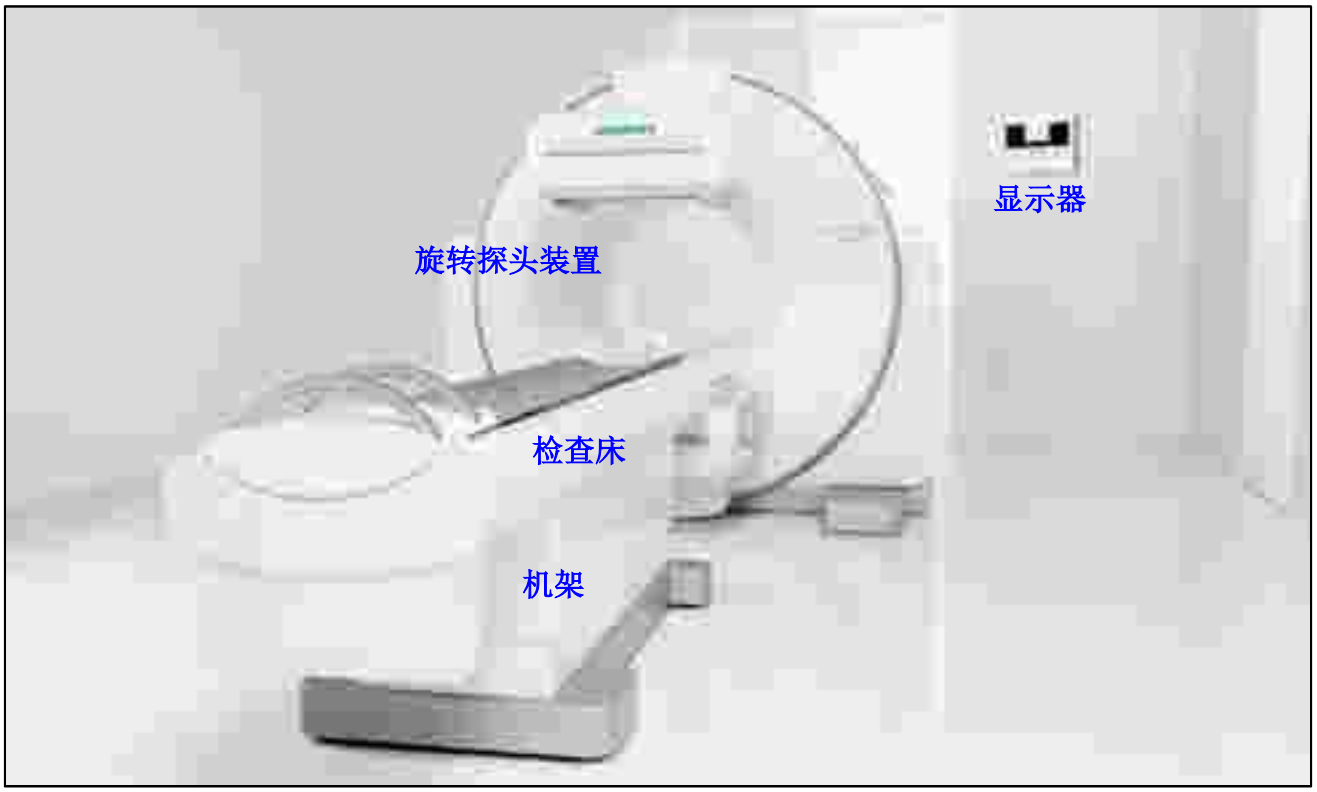


图 9-1 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT 外观示意图

表 9-1 9 号楼四层 SPECT 诊断中心 SPECT/CT 主要设备技术参数

指标	技术参数
型号	Symbia Intevo Bold 型
位置	9 号楼四层 SPECT 诊断中心 SPECT/CT 机房 2
最大管电压	130kV
最大管电流	345mA
过滤片	2.5mmAl
焦皮距	0.6m
距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率	1mGy/h
用途	显像

注：本项目 SPECT/CT 技术参数由供货商提供。本项目设备 X 射线球管滤过条件满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”要求；距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率满足《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 的相应要求。

（二）扩建 DSA 诊疗项目

常州市第一人民医院拟将 2 号楼一层候诊大厅进行改造，新建 1 座 DSA 机房，新增 1 台 Artis icono biplane 型 DSA（双球管，最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 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 形臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置（包括 X 射线球管及其附件、高压发生器、X 射线控制器等）和图像检测系统（包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等）组成。本项目拟配备 DSA 外观图见图 9-2。

本项目拟新增的 Artis icono biplane 型 DSA 为双球管设备，配有一个落地 C 臂和 1 个悬吊 C 臂，落地 C 臂和悬吊 C 臂上分别设置有一套球管和平板探测器，其中落地 C 臂上的称为正位球管，悬吊 C 臂上的称为侧位球管，根据实际工作的需要，工作人员可以控制单球管出束或者是两个球管同时出束（两个球管同时出束曝光时间约占总曝光时间的 30%），正位球管的有用线束向上照射，侧位球管的有用线束朝 DSA 室北侧墙体照射。

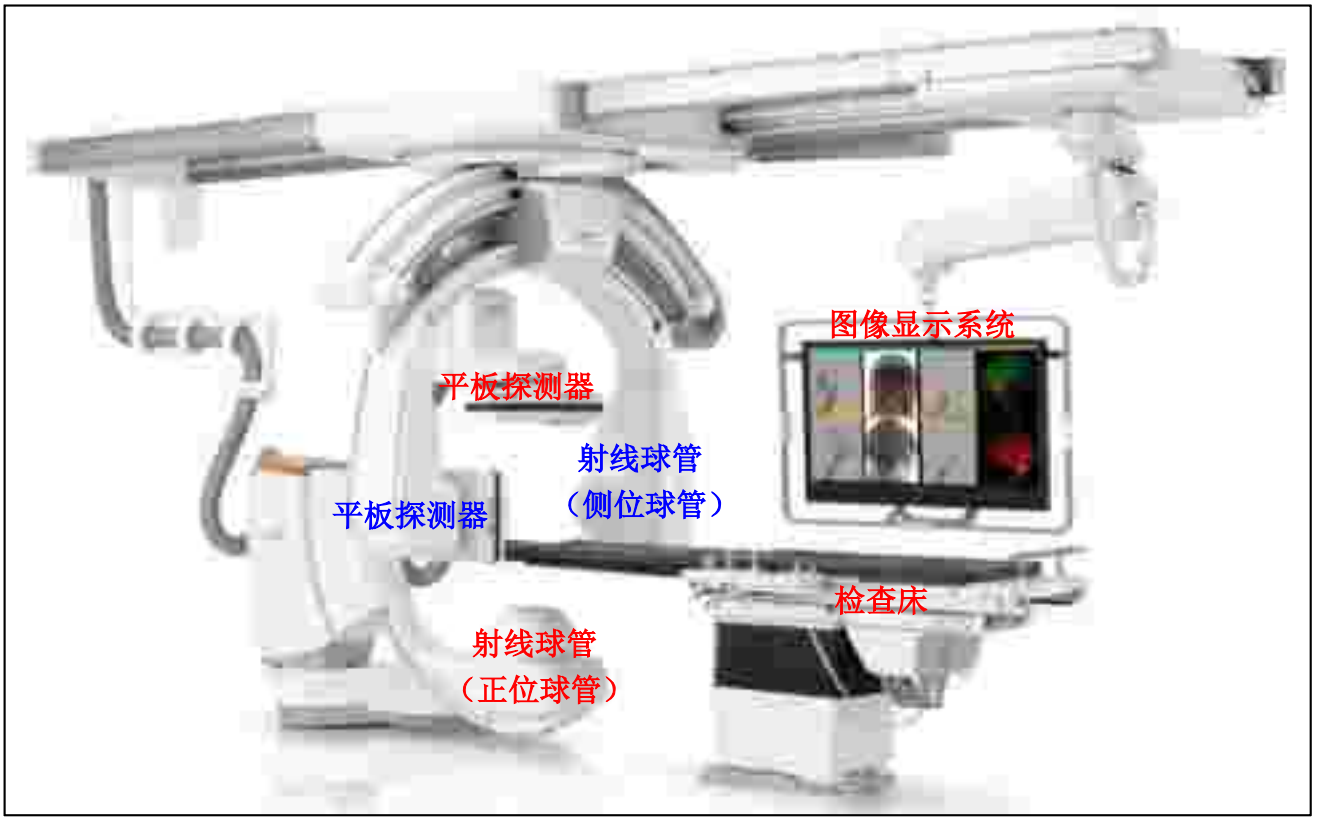


图 9-2 Artis icono biplane 型 DSA 外观图

本项目配备的DSA主要设备技术参数见表9-2，配套设备配置情况见表9-3。

表 9-2 本项目 DSA 主要设备技术参数

项目名称	技术参数*
型号	Artis icono biplane 型（双球管）
位置	2 号楼一层 DSA 机房
最大管电压	125kV（正、侧位球管相同）
最大管电流	1000mA（正、侧位球管相同）
X 射线球管滤过条件	固有滤过 2.5mmAl+附加滤过
距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率	1mGy/h
球管类型	正位球管：向上；侧位球管：向北
焦皮距	正位球管：45cm 侧位球管：45cm
照射野	最小照射野：8cm×8cm 最大照射野：29cm×38cm

注：本项目 DSA 技术参数由供货商提供。本项目设备 X 射线球管滤过条件满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”要求；距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动

能率满足《医用电气设备 第1-3部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断X射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中12.4的相应要求。

表9-3 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	体外循环室
2	高压发生柜	1套	DSA高压装置	体外循环室
3	系统控制柜	1套	设备控制和数据传输	体外循环室
4	控制系统	1套	DSA设备操作	控制室

二、工作原理及工作流程

（一）扩建核医学诊断项目

1、工作原理

SPECT/CT即单光子发射计算机断层扫描。它将发射单光子的核素药物如^{99m}Tc引入生物体，其经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，这些差异通过计算机处理成ECT图像，为肿瘤的诊治提供多方位信息。γ照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的γ光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影（Projection）。各条投影线都垂直于探测器并互相平行，称之为平行束，探测器的法线与X轴的交角θ称为观测角（View）。γ照相机是二维探测器，安装了平行孔准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道生物体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建（Reconstruction）。这种断层成像术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术（Computered Tomography，CT）。CT设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。

SPECT/CT是将SPECT和CT这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系统相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过SPECT/CT图像融合技术，可以将SPECT灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的

变化与CT提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT提供的图像数据还可用于SPECT的衰减校正，有效提高SPECT的图像质量。

本项目SPECT/CT主要使用含放射性同位素^{99m}Tc的药物进行显像。^{99m}Tc为纯γ光子发射体，几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像，是显像检查中最常用的放射性核素。目前全世界应用的显像药物中，^{99m}Tc及其标记的化合物占80%以上，广泛用于心、脑、肾、骨、肺等多种脏器疾患的显像检查。

2、工作流程及产污环节

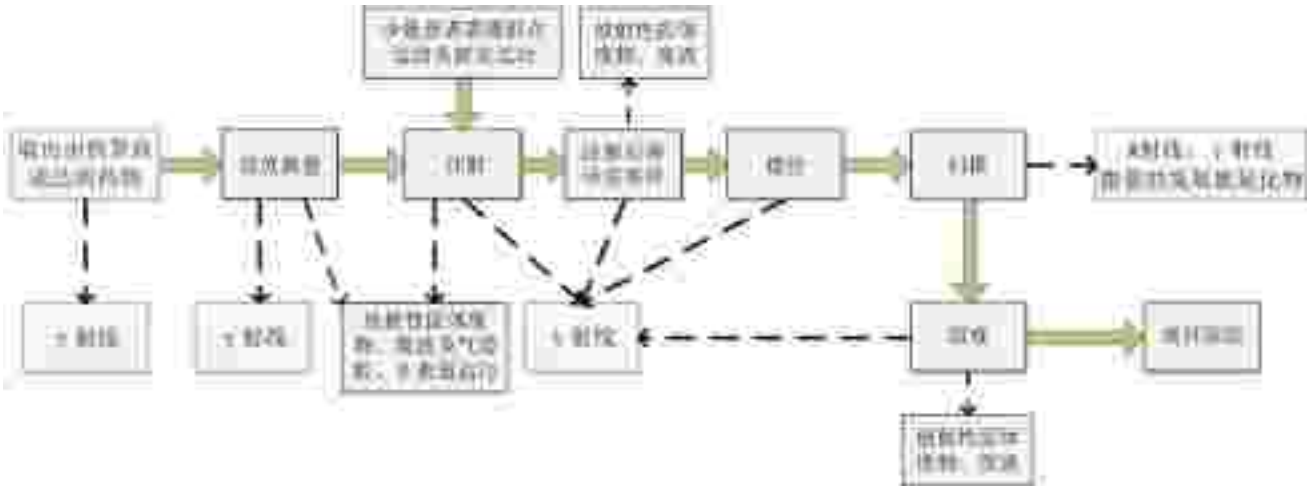


图9-3 扩建核医学诊断项目工作流程及产污环节分析示意图

常州市第一人民医院扩建核医学诊断项目工作流程及产污环节分析见图9-3，工作流程如下：

（1）医院根据患者预约情况提前向专业供应商订购放射性核素，由供应商于患者就诊前直接送至9号楼四层SPECT诊断中心高活室。

（2）^{99m}Tc药物到货时为分装好的成品针剂，医护人员经医护通道进入高活室，将^{99m}Tc药物放入手套箱内，SPECT/CT诊断项目日最大门诊量为20人次，单人单次最大用药量为25mCi（9.25E+08Bq），每天分上下午两批次进行送药，每批次送药量最大为9.25E+09Bq（10人次最大用量），放置于10mmPb的铅罐内。

（3）注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射。注射完毕后，废弃注射器放入专用废物铅桶内。每次活度测量过程中近距离接触^{99m}Tc药物的时间保守按2min、注射过程按1min估算，医院已为SPECT诊断中心配备2名护士（轮岗），负责核素活度测量、注射。医护人员工作结束后原路返回。

（4）患者根据注入的^{99m}Tc药物特性，在注射后候诊室内静坐候诊（等待约

20~30min）。

（5）待药物代谢至靶器官，患者进入 SPECT/CT 机房，经医护人员摆位（每次约 1min）后，接受 SPECT/CT 的扫描，每次扫描约 20min。

（6）扫描完成后，患者留观一段时间（约 10min）后，若无其他情况，从患者专用通道离开。

3、工作场所路线规划

本次扩建核医学诊断项目工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。本项目工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见附图 3。

（1）医护人员路线

1）9 号楼四层 SPECT 诊断中心核素操作人员经医护通道进入高活室，工作结束后原路返回。

2）9 号楼四层 SPECT/CT 设备操作人员经诊断室到达控制室及机房，工作结束后原路返回。

（2）患者路线

9 号楼四层 SPECT 诊断中心患者经注射前候诊区进入患者通道，听从语音指示按就诊流程到达注射室、注射后候诊室、机房，最后由患者专用出口离开。

（3）放射性药物路线

放射性药物由专业供货商当天于患者就诊前经患者通道出口直接送至 9 号楼四层 SPECT 诊断中心高活室，避免放射性药物与患者及其他人员发生交叉，结束后原路返回。

（4）放射性固体废物路线

9 号楼四层 SPECT 诊断中心产生的放射性固体废物从各房间收集后，密封并贴上标签贮存在废物库中的铅桶内，自然衰变超过 30 天达到清洁解控水平推荐值后，经高活室、注射室、患者通道由患者专用出口错峰送出。

本项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序。医护人员与患者有各自独立的通道，控制区内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者随意走动，减少本项目对其他医护人员及患者的辐射影响。医院通过时间管理来控制注射后患者与

放射性药物、放射性固体废物的交叉影响，给药后患者与辐射工作人员空间上不交叉，给药后患者与注射放射性药物前的患者、放射性药物、放射性固体废物时间上不交叉。本项目 SPECT 诊断中心工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求。

（二）扩建 DSA 诊疗项目

1、工作原理

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 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，获得一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其是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 9-4。

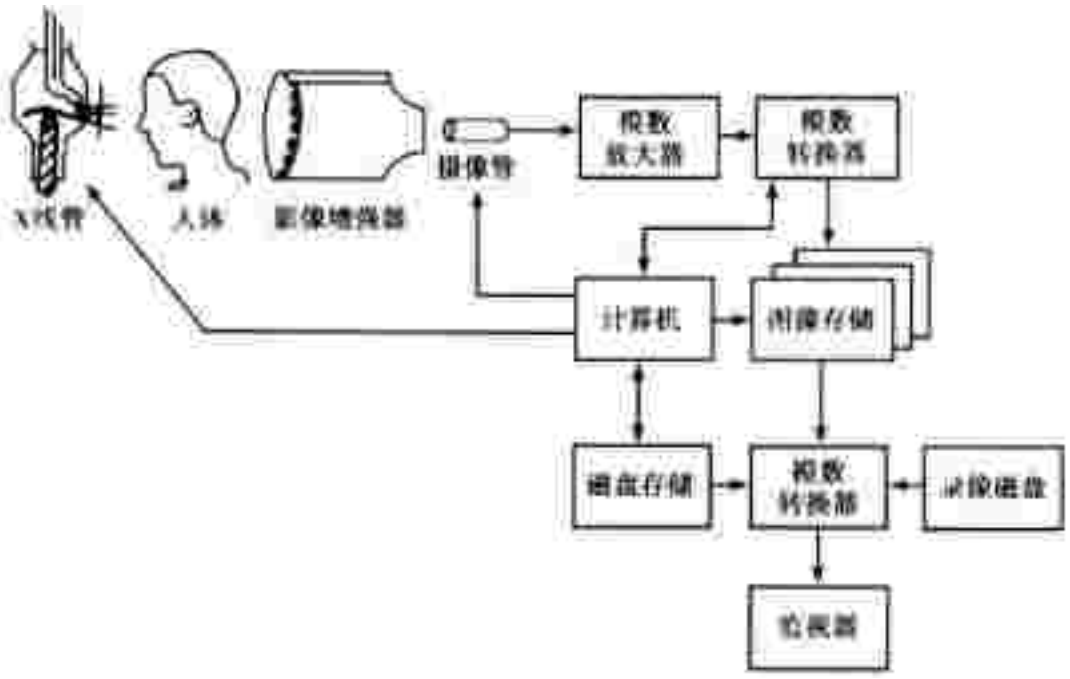


图 9-4 DSA 系统结构图

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

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

2、工作流程及产污环节

本项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

（1）医疗诊断

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

（2）介入治疗

介入治疗是医师、护士在 DSA 出束曝光条件下，根据影像引导，为患者实施如血管扩张、清淤、送入支架等治疗操作。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员指导患者摆位并调整 X 射线球管、人体、影像接收器三者之间的距离，然后进行出束曝光，获取底片；下一步为患者注射造影剂，再次出束曝光，获取样片。计算机将样片信号减去底片信号后，得到仅显示造影剂分布的图像，即血管图像。介入治疗手术过程中，DSA 间歇多次出束透视，获取手术过程中的动态图像，医护人员根据图像引导完成治疗操作。

DSA 的产污环节分析：

本项目采用先进的数字显影技术，电脑成像，不使用显（定）影液，不产生废显影液、废定影液和废胶片，注入的造影剂不含放射性。设备运行过程中产生的污染物主要为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物以及手术过程中产生的医疗废物。扩建 DSA 诊疗项目工作流程及产污环节如图 9-5。

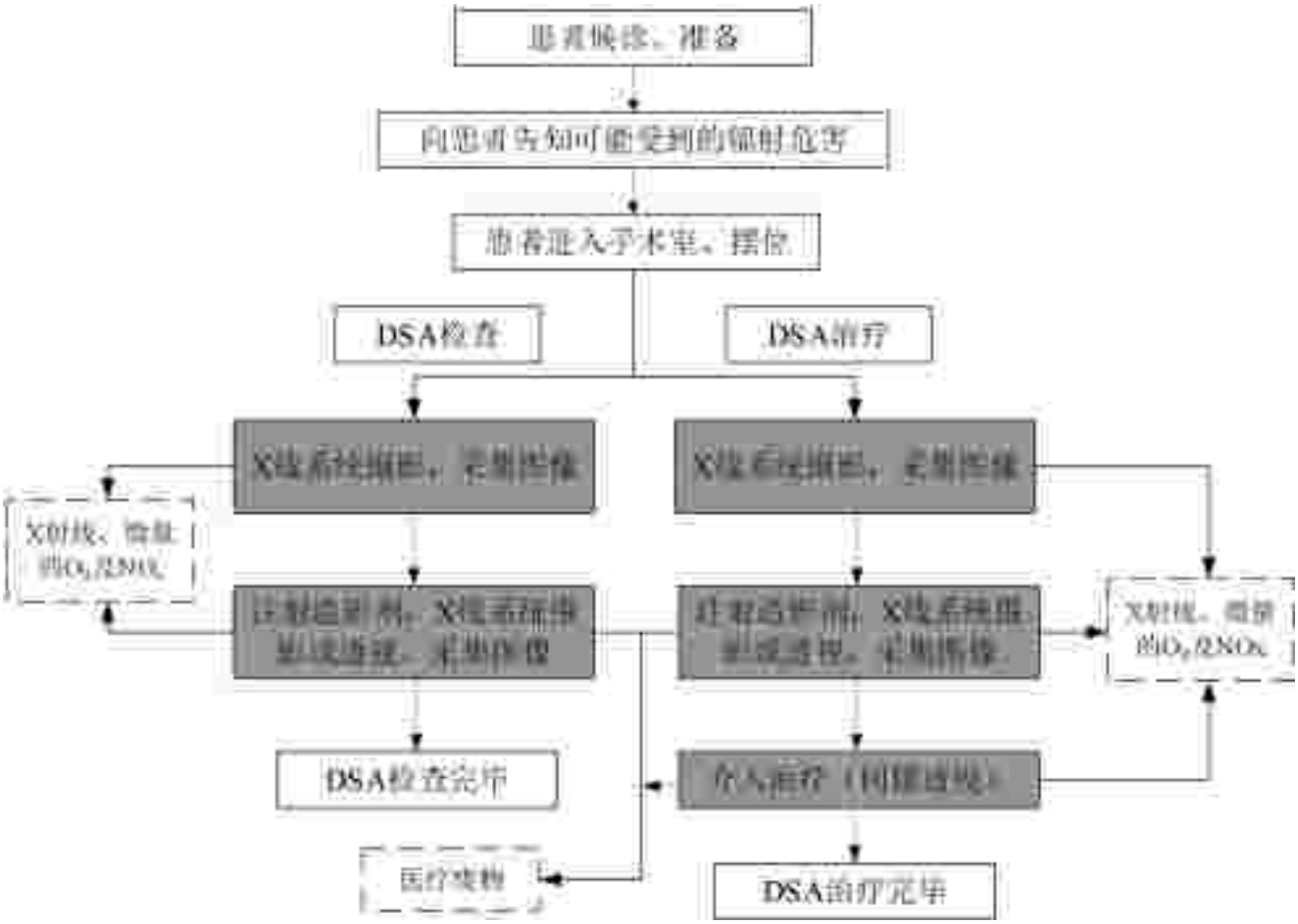


图 9-5 扩建 DSA 诊疗项目工作流程及产污环节示意图

三、原有工艺不足及改进情况

医院现有 1 台 SPECT/CT 和多台 DSA 正常运行，本项目 SPECT/CT 和 DSA 设备工艺流程和原有工艺一致，不存在不足及改进情况，本项目的建设可满足医院日益增长的放射诊疗需求。

本项目 SPECT/CT、DSA 将沿用医院核医学科、脑外科原有辐射安全管理制度，并纳入射线装置使用登记管理中，医院应结合单位具体情况，完善辐射安全管理制度，针对 SPECT/CT、DSA 使其具有较强的针对性和可操作性，将管理制度在日常工作中落实到位。

污染源项描述

一、放射性污染

（一）扩建核医学诊断项目

常州市第一人民医院拟于 9 号楼四层 SPECT 诊断中心预留 SPECT/CT 机房

（SPECT/CT 机房 2）内配备 1 台 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT，配合使用 ^{99m}Tc 放射性核素开展核素显像诊断，不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量。医院 SPECT 诊断中心使用的放射性核素日最大用量及年总用量见表 9-4。

表 9-4 9 号楼四层 SPECT 诊断中心使用的放射性核素日使用量及年使用量

工作场所	核素名称	使用量	
9 号楼四层 SPECT 诊断中心	^{99m}Tc	日最大用量	单次使用最大量 25mCi×日最高峰 20 人=1.85E+10Bq
		年总用量	单次使用最大量 25mCi×日平均 15 人×250 工作日 =3.47E+12Bq

本项目 9 号楼四层 SPECT 诊断中心工作场所具有《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）中：1、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；2、工艺流程连续完整；3、有相对独立的辐射防护措施的特点，人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉。因此，9 号楼四层 SPECT 诊断中心为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录 A 表 A.1、表 A.2，得到该核素的毒性组别及操作方式，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到整个非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

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。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 9-5 和表 9-6。

表 9-5 本项目放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
低毒	^{99m}Tc	0.01

表 9-6 本项目放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
医疗机构使用	^{99m}Tc（液态）	很简单操作	10

本项目 9 号楼四层 SPECT 诊断中心工作场所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-7。

表 9-7 9 号楼四层 SPECT 诊断中心使用的放射性核素日等效最大操作量核算

工作场所	核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量（Bq）
9 号楼四层 SPECT 诊断中心	^{99m}Tc	1.85E+10	低毒，0.01	很简单操作（液体），10	1.85E+07

根据表 9-7 可知，9 号楼四层 SPECT 诊断中心工作场所日等效最大操作量为 1.85E+07Bq。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），确定 9 号楼四层 SPECT 诊断中心工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

常州市第一人民医院扩建核医学诊断项目主要产生以下放射性污染：

1、辐射

SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线能量最大为 130kV，显像诊断用 ^{99m}Tc 放射性核素在扫描等操作过程中会产生能量为 0.140MeV 的γ射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行上述放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。本项目 SPECT/CT 使用的 ^{99m}Tc 放射性核素特性见表 9-8。

表 9-8 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β最大能量（MeV）	光子能量（MeV）	周围剂量率当量率常数（裸源）（μSv·m^2/MBq·h）
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303

注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）。

SPECT/CT 扫描时 CT 发出的 X 射线，其贯穿能力远弱于放射性核素发出的γ射线，在γ射线得到充分屏蔽的条件下，CT 发出的 X 射线也能够得到足够的屏蔽。而放射性核素衰变过程中产生的γ射线穿透能力较强，会对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。故本项目主要考虑放射性核素发出的γ射线的辐射影响。

常州市第一人民医院本次扩建核医学诊断项目运行后，相关显像扫描工作将由新增的 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT 为主、现有 Symbia T16 型 SPECT/CT 为辅来协助完成，不增加核素用量。SPECT 诊断中心使用 ^{99m}Tc 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大为 20 人次，日平均接诊量为 15 人次，年工作 250 天，故本项目年接诊量

为3750人次。本项目辐射工作拟由SPECT诊断中心现有辐射工作人员承担，其中医师、技师、护士各2名，此6名辐射工作人员（名单见表9-9）除开展SPECT诊断中心相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。

表9-9 扩建核医学诊断项目已配备的辐射工作人员名单

序号	姓名	性别	岗位	培训合格证书编号
1	王冬艳	女	医师	FS22JS0300039
2	邱春	女	医师	FS23JS0300204
3	徐梅	女	技师	FS22JS0300040
4	孟宝升	男	技师	FS23JS0300198
5	李小霞	女	护士	FS22JS0300043
6	蒋旦	女	护士	FS23JS0300065

2、放射性废气

放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被辐射工作人员吸入体内造成的内照射影响。本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不小于0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，由9号楼屋顶排放至大气；扩建核医学诊断项目工作场所已设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

3、放射性废水

本项目放射性废水主要为体内含有放射性核素的患者排泄物和工作场所清洗废水等。扩建核医学诊断项目使用^{99m}Tc放射性核素进行显像诊断的年接诊量为3750人次。放射性废水产生量按8L/人计算，工作场所每天的清洗废水约为100L，则9号楼四层SPECT诊断中心放射性废水排放量约为55m^3/年（8L/人×3750人/年+100L/天×250天/年），月排放量约为4.58m^3/月。

4、放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如注

射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物和手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭，可能对周围环境产生一定的危害，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

扩建核医学诊断项目年最大接诊量为3750人次，放射性固体废物产生量按0.02kg/人计算，则放射性固体废物产生量为75kg/年（0.02kg/人×3750人/年）。核医学科SPECT诊断中心手套箱顶壁及通风系统每年更换下来的废活性炭总量约20kg。

（二）扩建DSA诊疗项目

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

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

1、有用线束

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

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

2、散射线

本项目DSA的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线，

其强度与有用线束的X射线能量、X射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

3、泄漏射线

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

工作负荷：根据医院提供的资料，本项目DSA的工作负荷情况见表9-10。

表9-10 本项目配备的Artis icono biplane型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
神经介入	300台	约20min	约100h
小计	/	/	约100h

（2）摄影

手术类别	年开展工作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
神经介入	300台	0.5~1s	10~25次	约20s	约1.67h
小计	/	/	/	/	约1.67h
总计					约101.67h

注：DSA曝光时间中，正位球管单独出束占比约80%，侧位球管单独出束占比约10%，双球管同时出束占比约10%。

常州市第一人民医院扩建DSA诊疗项目辐射工作拟由脑外科现有辐射工作人员承担，其中医师4名、技师2名、护士2名，此8名辐射工作人员（名单见表9-8）除开展脑外科介入治疗相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。辐射工作人员均已参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习及培训，辐射安全与防护考核成绩报告单见附件9。根据医院提供的DSA工作负荷，本项目手术位辐射工作人员（医生、护士）年接触射线时间不超过100h，技师在控制室进行隔室操作设备，包括透视和摄

影，隔室操作时间不超过101.67h。本项目辐射工作人员年工作250天，计划分为2组，共同承担脑外科的介入治疗工作，则本项目所致辐射工作人员的年受照时间约为50.84h。

表9-11 扩建DSA诊疗项目已配备的辐射工作人员名单

序号	姓名	性别	岗位	培训合格证书编号
1	曹洁	男	医师	FS22JS0100368
2	莫仡	男	医师	FS23JS0101337
3	邵华明	男	医师	FS23JS0101392
4	宣井岗	男	医师	FS23JS0102256
5	张俊	男	技师	FS22JS0100291
6	邹芸	女	技师	FS22JS0100266
7	王慧	女	护士	FS22JS0100269
8	张渊	男	护士	FS22JS0100270

二、非放射性污染

（一）废气

SPECT/CT机房2内的空气在γ射线和X射线作用下、DSA机房内的空气在X射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体。

（二）废水

主要是辐射工作人员产生的生活污水。

（三）固体废物

DSA手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶；辐射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、工作场所布局及分区

（一）扩建核医学诊断项目

常州市第一人民医院拟在 9 号楼四层预留 SPECT/CT 机房（SPECT/CT 机房 2）内配备 1 台 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT，配合使用 ^{99m}Tc 放射性核素开展核素显像诊断，不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量，为丙级非密封放射性物质工作场所。本项目 SPECT/CT 机房 2 位于 9 号楼四层 SPECT 诊断中心西部，SPECT/CT 机房 2 东侧为 SPECT/CT 机房 1，南侧为控制室，西侧为楼梯间，北侧为患者通道，上方为 PET/CT 机房、注射室、高活室和患者通道，下方为 PET/MR 机房、设备间、注射室、废物库和患者通道。

9 号楼四层 SPECT 诊断中心设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，不与其他楼层交叉。扩建核医学诊断项目工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，本项目工作场所排风口位于 9 号楼楼顶，排风口位置尽可能远离周边高层建筑，无环境制约因素，本项目选址合理。

9 号楼四层 SPECT 诊断中心工作场所包括以下主要房间：SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2、控制室、高活室、注射室、废物库、负荷试验室/抢救室、注射后候诊室、卫生间/污洗间、患者通道（留观区、缓冲区）、医护通道、卫生通过间等。医院将 SPECT 诊断中心工作场所进行分区管理，将涉及放射性核素操作及带药患者的主要活动区域划分为控制区，主要有 SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2、高活室、注射室、废物库、负荷试验室/抢救室、注射后候诊室、卫生间/污洗间、患者通道（留观区、缓冲区）等。将与辐射剂量率较低、与辐射工作密切相关的区域或与控制区相邻的区域设为监督区，主要有控制室、医护通道、卫生通过间等。9 号楼四层 SPECT 诊断中心工作场所平面布置及分区见附图 3。

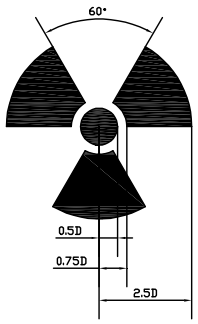
扩建核医学诊断项目放射性废水衰变系统位于 9 号楼东北侧地下衰变间内，医院将衰变间划分为控制区。

表 10-1 扩建核医学诊断项目工作场所的控制区、监督区划分情况一览表

工作场所	控制区	监督区
9 号楼东北侧地下	衰变间	/
9 号楼四层 SPECT 诊断中心	SPECT/CT 机房 1、SPECT/CT 机房 2、高活室、注射室、废物库、负荷试验室/抢救室、注射后候诊室、卫生间/污洗间、患者通道（留观区、缓冲区）	控制室、医护通道、卫生通过间

本项目控制区已采用如下防护手段与安全措施：

（一）控制区的进出口设置电离辐射警告标志，SPECT 诊断中心工作场所内部放射性物质运送配备的贮存、转运等容器表面和收集固体放射性废物的专用废物桶表面设置电离辐射标志（如图 10-1）。



（a）电离辐射标志



（b）电离辐射警告标志

图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

（二）制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

（三）运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

（四）在高活室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

（五）定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

本项目监督区拟采用如下防护手段与安全措施：

（一）采用实体边界或以黄线警示监督区的边界；

（二）在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

（三）定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

扩建核医学诊断项目工作场所的控制区和监督区划分明显，相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者随意走动，减少本项目对其他医护人员及患者的辐射影响；本项目工作场所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，给药后患者与辐射工作人员空间上不交叉，给药后患者与注射放射性药物前的患者、放射性药物、放射性固体废物时间上不交叉，以减少给药后患者对其他人员的照射；控制区的出入口设有卫生缓冲区，为工作人员和患者提供了防护用品、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，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于辐射工作场所的分区规定和核医学工作场所的布局要求，本项目工作场所布局基本合理。

（二）扩建 DSA 诊疗项目

常州市第一人民医院拟将 2 号楼一层候诊大厅进行改造，新建 1 座 DSA 机房，DSA 机房东侧为洁净走廊和值班室，南侧为等候区，西侧为设备间，北侧为缓冲及术后观察区和控制室，上方为手术准备室、库房、走廊、办公室、示教室和更衣值班室，下方为地下车库。

本项目 1 台 DSA 配套独立用房，房间由射线装置机房和控制室组成。DSA 机房控制室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目将 DSA 机房作为辐射防护控制区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志；将与 DSA 机房相邻的控制室、设备间、缓冲及术后观察区、洁净走廊和值班室划为监督区，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。2 号楼一层 DSA 机房平面布置及分区见附图 8。

二、辐射防护屏蔽设计

扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目工作场所的屏蔽防护设计方案见表 10-2。

表 10-2 扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目工作场所屏蔽设计一览表

工作场所名称		屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
9 号楼东北侧地下	衰变间	四周墙体	300mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土（检修口为 300mm 混凝土盖板）
		底部	300mm 混凝土
9 号楼四层 SPECT 诊断中心	SPECT/CT 机房 2	西侧墙体	200mm 混凝土+3mm 铅板（现有）
		东、南、北侧墙体	200mm 实心砖+3mm 铅板（现有）
		顶部	150mm 混凝土+6mm 铅板（现有）
		底部	150mm 混凝土+6mm 铅板（现有）
		北侧防护门	4mm 铅板
		南侧防护门	6mm 铅板
		观察窗	6mm 铅当量铅玻璃
	穿线管道	本项目电缆线布设采用电缆沟，电缆孔处设置 3mm 铅板盖板；通排风管道均于吊顶上方铺设，穿墙方式采用直穿式，管道口接口处采用 3mm 铅板进行包裹。	
2 号楼一层	DSA 机房	四侧墙体	100mm 轻质隔墙+4mm 铅板
		顶部	120mm 混凝土+3mm 铅板
		底部	180mm 混凝土+2mm 铅板
		防护门	4mm 铅板
		观察窗	4mm 铅当量铅玻璃

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

三、辐射安全和防护措施

（一）扩建核医学诊断项目

1、电离辐射警告标志

医院已将扩建核医学诊断项目工作场所划分为控制区和监督区，在控制区、监督区入口处分别设置标明控制区、监督区的标志，在本项目 SPECT/CT 机房 2 门口拟设置有符合规范的电离辐射警告标志；

2、工作状态指示灯

SPECT/CT 机房 2 门口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，且工作状态指示灯与机房门有效关联，用于提示机房内设备的运行状态。防护门拟设有防夹装置和曝光时自动关闭防护门的管理措施。

3、视频监控和对讲装置

医院拟在 SPECT/CT 机房 2 与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，且 SPECT/CT 机房 2 控制台处拟安装观察窗，在诊断过程中医务人员可以及时观察患者情况和与患者交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。

医院在 SPECT 诊断中心工作场所控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备进行叫号，对控制区内用药后患者进行有序管理。

4、对控制区内带药患者的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；在控制区出入口设置带有门禁系统的单向门，患者按照“入口只进不出、出口只出不进”的单向路线活动；加强对控制区内注射放射性药物患者的监督管理，避免其给药后随意走动；同时告知检查完成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。SPECT 诊断中心工作场所地面已设置患者行进路线标识，引导患者行进。

5、安全管理措施规定

SPECT 诊断中心工作场所内不得安排与放射性无关的工作；在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从 SPECT 诊断中心控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。放射性药物送达后存放于 SPECT 诊断中心高活室手套箱内，高活室设置有门禁系统，放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每月核对，确保账物相符。

6、工作场所表面放射性污染控制措施

SPECT 诊断中心工作场所控制区内墙面、地面均采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接做成圆角，且有一定的坡度朝向地漏（如设置地漏）；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。控制区内盥洗水盆、清洗池等均选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的放射性污染。

7、工作人员防护用品

医院已为SPECT诊断中心辐射工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、放射性污染防护服、个人剂量报警仪、个人剂量计等。防护用品防护能力均不低于0.5mm铅当量。

SPECT诊断中心工作场所划分控制区和监督区，实施分区管理，布局基本合理，相关防护安全设施、污染防治措施等符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的标准要求。

（二）扩建DSA诊疗项目

1、电离辐射警告标志

医院拟在DSA机房入口处设置符合规范的电离辐射警告标志；

2、门灯联动

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

3、观察窗、摄像监控装置和对讲装置

医院拟在DSA机房与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，且DSA机房控制台处拟安装观察窗，在诊断过程中医务人员可以及时观察患者情况和与患者交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。

4、急停按钮

医院拟在DSA机房控制室设置1个急停按钮，机房内的治疗床边操作面板自带1个急停按钮，各按钮分别与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。

5、防护用品

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

床侧防护帘等辅助防护设施，其防护能力均不低于0.5mm铅当量。

6、人员监护

医院拟为本项目配备8名辐射工作人员，应为辐射工作人员配备个人剂量计，采用双剂量计监测方法，定期送检且需做好个人剂量档案管理工作。该医院应开展辐射工作人员的职业健康监护，定期安排其在有相应资质医院体检，建立个人剂量档案。

7、规章制度

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

8、其他辐射安全措施

介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，对患者和医务人员来说辐射剂量较高，因此在评估介入治疗的效应和操作时，其辐射损伤必须要加以考虑。由于需要辐射工作人员在机房内，X射线球管工作时产生的散射线对辐射工作人员有较大影响，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，降低患者剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入人员的培训，包括放射防护的培训，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入人员的剂量。

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

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

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

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

（7）临床介入手术时，介入医生需站在DSA床边操作，仅依赖于医务人员身着

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

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

四、监测仪器和防护用品

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

表10-3 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

项目		拟采取措施	备注
扩建核医学诊断项目	安全措施	拟设置门禁系统、视频监控和对讲装置。	设置后满足要求
		SPECT/CT机房2门外表面拟设置电离辐射警告标志，拟设置工作状态指示灯和门灯联动装置。	
	个人防护	辐射工作人员已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。	按要求考核
		已为SPECT诊断中心配备1台辐射巡测仪和1台表面污染测量仪。	按要求配备、送检，并确保正常运行
		已为SPECT诊断中心配备2台个人剂量报警仪，拟再配备个人剂量报警仪1台。	按要求佩戴
		辐射工作人员均需佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测。	按要求佩戴并送检
		已配备6件铅橡胶衣、6件铅橡胶围裙、6件铅橡胶围脖（为0.5mm铅当量）、放射性污染防护服、口罩、手套等。	按需配备
扩建DSA诊疗项目	安全措施	拟设置观察窗、摄像监控装置和对讲装置。	设置后满足要求
		DSA机房门外表面拟设置电离辐射警告标志，拟设置工作状态指示灯和门灯联动装置。	
	个人防护	辐射工作人员需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。	按要求考核

		医院已配备 1 台辐射巡测仪	按要求配备、送检，并确保正常运行
		拟为本项目配备个人剂量报警仪 2 台。	按要求佩戴
		辐射工作人员均需佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测。	按要求佩戴并送检
		拟为辐射工作人员配备 3 件铅橡胶围裙、3 件铅橡胶颈套、2 副铅防护眼镜（为 0.5mm 铅当量）及 2 副介入防护手套（为 0.025mm 铅当量）等个人防护用品；拟为受检者配备 1 件铅橡胶围裙、1 件铅橡胶颈套（为 0.5mm 铅当量）等个人防护用品。	按需配备

常州市第一人民医院已配备有辐射巡测仪 1 台，SPECT 诊断中心已配备有辐射巡测仪 1 台、表面污染测量仪 1 台和个人剂量报警仪 2 台，拟为本次扩建核医学诊断项目再配备个人剂量报警仪 1 台、为本次扩建 DSA 诊疗项目配备个人剂量报警仪 2 台。医院拟为辐射工作人员和受检者配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套等个人防护用品。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并按相关要求建立有辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废的治理

一、放射性“三废”

（一）扩建核医学诊断项目

1、放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本次扩建核医学诊断项目工作场所高活室内设有 1 个手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

医院将排风口设在高于本建筑物（9 号楼）屋脊位置，排风口位于 9 号楼楼顶西部位置，已尽可能远离周边高层建筑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“排气口应高于本建筑物屋顶”

的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换1~2次）并作为放射性固体处理。本项目工作场所设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

2、放射性废水

SPECT诊断中心产生的放射性废水主要包括：体内含有^{99m}Tc放射性核素的患者排泄物和工作场所清洗废水等。

医院于9号楼四层~六层分别建设有SPECT诊断中心、PET/CT中心和甲癌病房，分别使用^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I放射性核素开展核素显像诊断和治疗项目，于9号楼东北侧地下建设有1个有效总容积为96m^{3}的六级衰变池，9号楼四层~六层产生的含^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I核素的放射性废水均接入该衰变池进行贮存衰变。

根据医院诊疗需求，医院于2024年开始对9号楼三层放疗科工作场所进行改造，建设成PET/CT和PET/MRI核医学科工作场所，并于9号楼东北侧地下现有六级衰变池南侧新建1个有效总容积为22.5m^{3}的三级衰变池（结构示意图见图10-2），目前该场所和衰变池正在建设中。待该衰变池建成，医院计划将9号楼三层~五层产生的含^{99m}Tc、^{18}F放射性核素的废水排至三级衰变池内，原六级衰变池仅用于贮存9号楼六层甲癌病房产生的含^{131}I放射性核素的废水。9号楼三层~五层的放射性废水管道已铺设完成，本次无需对其进行改造，仅对接入衰变池进水管道部分进行重新接管。

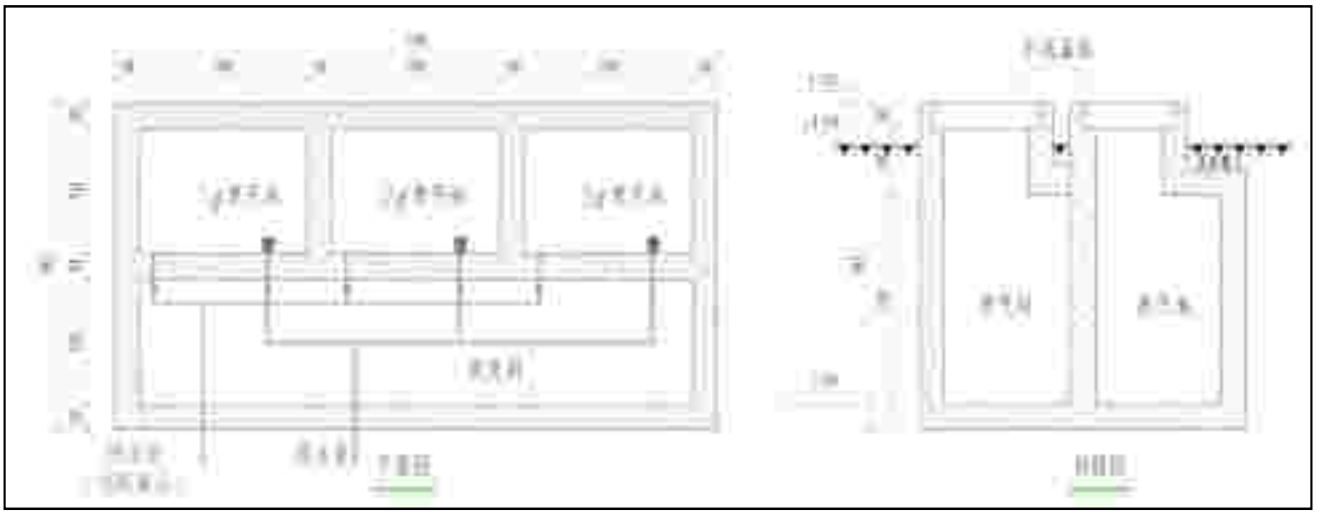


图10-2 衰变系统结构示意图

根据医院提供的资料，本次扩建核医学诊断项目不改变SPECT诊断中心现有工作场所布局和接诊量，放射性废水产生量不发生变化，根据医院的统计，9号楼三层~五层核医学科使用^{99m}Tc、^{18}F放射性核素开展核素显像项目的日平均接诊量分别为15人次、20人次，3个工作场所每天的清洗废水各约100L，年工作250天，则9号楼三层~五层核医学科放射性废水排放量为145m^3/年（250d/年×（8L/人×（15人/d+20人/d）+3×100L/d）），周排放量为2.9m^3/周。

新建的三级衰变池由3个衰变池串联，单个衰变池体积约为2.0m（长）×1.5m（宽）×2.5m（高），有效容积约7.5m^3，总有效容积约22.5m^3。衰变池池体均采用混凝土浇筑，进出水采用电动阀门控制，其工作流程为：9号楼三层~五层产生的放射性废水经降解池后首先进入1#衰变池；当1#衰变池装满废水后封闭，启用2#衰变池，以此类推，2#衰变池装满废水后封闭，启用3#衰变池，待3#衰变池装满废水时，1#衰变池内的废水存放时间已达到36天（7.5m^3×2÷2.9m^3/周×7d/周），可将1#衰变池内废水直接解控排放，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”的要求。2#衰变池与3#衰变池同1#衰变池工作流程类似，交替运行。

本项目三级衰变池为地埋式衰变池，由3个衰变池和管路设备间组成，衰变系统四周墙体、底部和顶部均采用300mm混凝土进行辐射屏蔽，顶板覆土0.3m，管路设备间检修口处设300mm混凝土盖板（高于地面0.5m），能够满足辐射屏蔽要求。本项目三级衰变池建设于9号楼东北侧地下，周围人流量很小，医院拟在衰变系统上方周围使用栅栏设置物理隔断并粘贴电离辐射警告标志和警示标语，提醒无关人员勿靠近和在此逗留。故本项目衰变系统对周边环境的辐射影响很小。

本项目放射性废水的暂存和处理拟安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间等信息，能够满足放射性废水的辐射安全管理要求。

3、放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物和手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭。核医学科高活室、注射后候诊室等房间均设置1～2个放射性废物桶（防护厚度应不低于10mmPb）。

9号楼四层SPECT诊断中心产生的放射性固体废物从各房间收集后密封并贴上标签（标记主要核素类型、收集时间等）集中到废物库（尺寸为2.8m（长）×2.5m（宽）×3.2m（高），容积约为22m^3）内的铅桶中暂存，手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭也暂存在废物库内。

根据医院提供的资料，本次扩建核医学诊断项目不改变SPECT诊断中心现有工作场所布局和接诊量，放射性固体废物产生量不发生变化，根据SPECT诊断中心的接诊量估算放射性固体废物在所需暂存时间内的产生量，含^{99m}Tc核素的放射性固体废物（暂存超过30天）的产生量为6.4kg（0.77m^3），暂存9号楼四层SPECT诊断中心废物库内，该废物库容积约为22m^3，实际可容纳放射性废物约10m^3，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”的要求。

9号楼四层SPECT诊断中心产生的放射性固体废物可在废物库内暂存超过时间要求，经检测合格（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm^2）后，委托有资质单位进行处置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过20kg”“每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h”的标准要求。

医院已安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、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，能够满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

（二）扩建DSA诊疗项目

本次扩建DSA诊疗项目无放射性“三废”产生。

二、非放射性“三废”

（一）废气

SPECT/CT机房2内的空气在γ射线和X射线作用下、DSA机房内的空气在X射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所设置的排风系统及新风系统排至室外，臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（二）废水

辐射工作人员产生的生活污水，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响

较小。

（三）固体废物

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

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次扩建核医学诊断和DSA诊疗项目机房及工作场所建设属于9号楼、2号楼的部分工程，建设时将进行墙体隔断、辐射防护工程施工与内饰装潢，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、辐射防护工程施工等作业，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，如墙体隔断、辐射防护工程与内饰装潢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，委托有资质单位进行清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

四、废水

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

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

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）扩建核医学诊断项目

常州市第一人民医院拟于9号楼四层SPECT诊断中心预留SPECT/CT机房

（SPECT/CT 机房 2）内配备 1 台 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT，配合使用 ^{99m}Tc 放射性核素开展核素显像诊断，不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量。

1、β放射性表面污染影响分析

β放射性表面污染的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响，因此，为了使本项目核医学科的β放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

（1）使用、操作放射性核素的人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；

（2）本项目放射性核素操作均在手套箱中进行；

（3）操作放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

（4）不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

（5）放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污；

（6）做好就诊患者的管理，特别是注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

（7）如β放射性表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学科的相关业务，去污染经检测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

2、γ射线辐射影响分析

常州市第一人民医院 SPECT 诊断中心现有工作场所已通过竣工环境保护验收，根据 SPECT 诊断中心 2024 年度防护检测报告（报告编号：瑞森（综）字（2024）第 1108 号，见附件 7）可知：当 SPECT/CT 机房 1、注射后候诊室、SPECT/CT 机房 1（CT 扫描条件：130kV/200mAs）和患者专用卫生间内均放置 5.33E+08Bq 的 ^{99m}Tc 药物时，工作场所周围的 X-γ周围剂量当量率为（0.12~0.95）μSv/h，控制区边界的 X-γ周围剂量当量率最大为 0.65μSv/h，位于患者专用卫生间东侧楼梯间处，符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的

标准要求。

本次扩建核医学诊断项目运行后，相关显像扫描工作将由新增的 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT 为主、现有 Symbia T16 型 SPECT/CT 为辅来共同完成，不增加核素用量和接诊量。故本项目主要对 SPECT/CT 机房 2 及其周围环境进行辐射环境影响预测。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I，本项目核医学科 SPECT 诊断中心工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times lg(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_P \times r^2}) \qquad (I.1)$$

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，mm；

A—单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，μSv·m^2/MBq·h；

$\dot{H}_P$—屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

R—放射源到考察点的距离，m。

由公式 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \qquad 公式\ 11\text{-}1$$

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 ^{99m}Tc 什值层见表 11-1。

表 11-1 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度（*TVL*）

核素	铅（11.3g/cm^3）	砖（1.65g/cm^3）	混凝土（2.35g/cm^3）
^{99m}Tc	1mm	160mm	110mm

根据工程分析可知，本次扩建核医学诊断项目在患者扫描过程中对 SPECT 诊断中心 SPECT/CT 机房 2 外辐射工作人员及公众产生外照射辐射影响，根据公式 11-1 可估算出项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-1，预测结果见表 11-2。

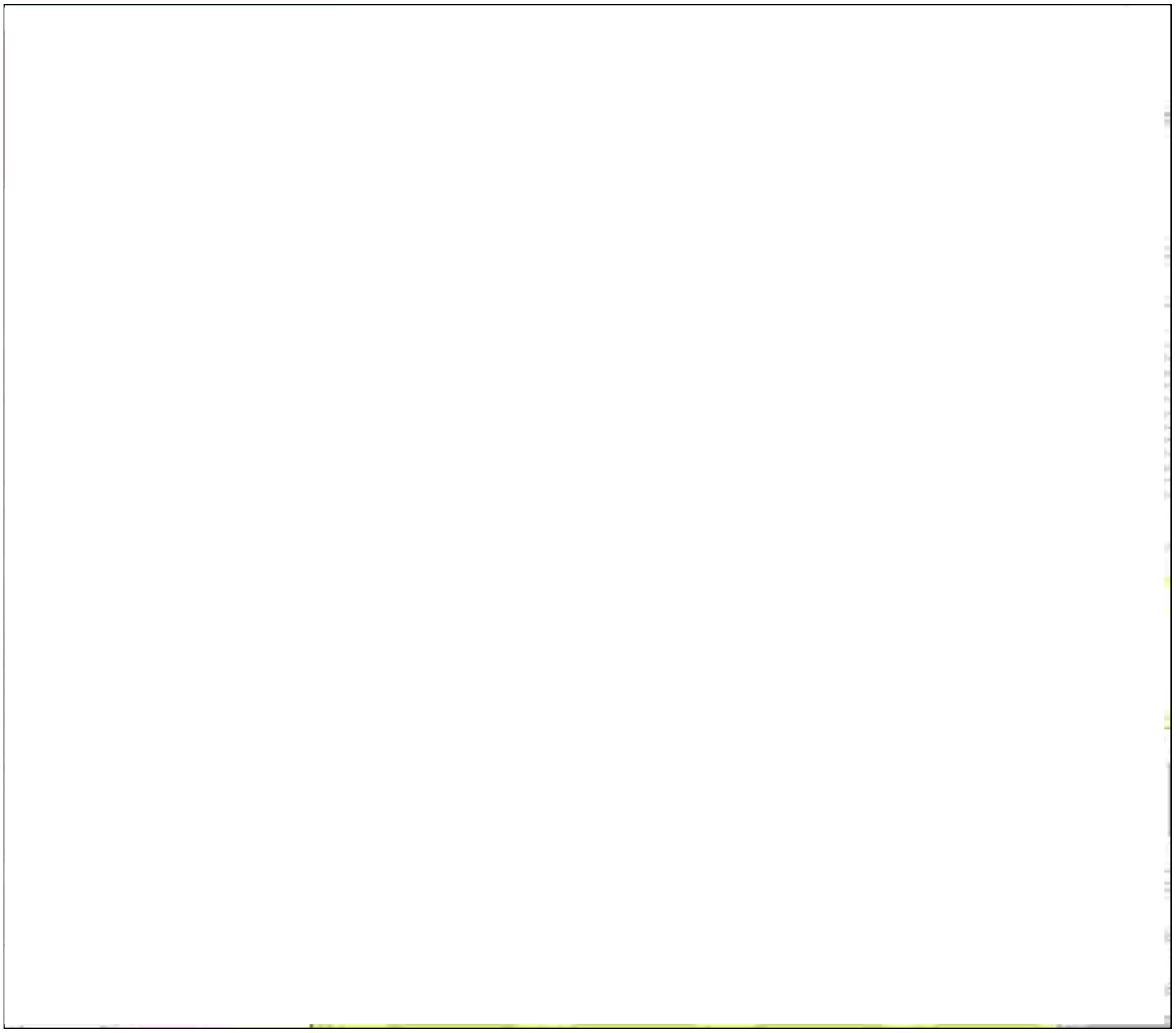


图 11-1 扩建核医学诊断项目估算点位示意图

由表 11-2 的理论估算结果可以看出，患者在就诊过程中对 SPECT/CT 机房 2 外的环境影响较小，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中对于各关注点处的辐射剂量率控制水平要求，SPECT/CT 机房 2 的防护设计能够满足放射性核素的辐射防护要求。

表 11-2 扩建核医学诊断项目工作场所辐射水平估算结果

点位	参考点位置	源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度*	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
1	SPECT/CT 机房 2 东墙外表面 30cm	9.25E+08	4.21	200mm 实心砖+3mm 铅板	5.62E-05	8.89E-05	2.5	假设扫描时患者位于 SPECT/CT 机房 2 诊断床上
2	SPECT/CT 机房 2 南门外表面 30cm	9.25E+08	4.54	6mm 铅板	1.00E-06	1.36E-06	2.5	
3	SPECT/CT 机房 2 南墙外表面 30cm	9.25E+08	3.35	200mm 实心砖+3mm 铅板	5.62E-05	1.40E-04	2.5	
4	SPECT/CT 机房 2 观察窗外表面 30cm	9.25E+08	3.30	6mm 铅当量铅玻璃	1.00E-06	2.57E-06	2.5	
5	SPECT/CT 机房 2 西墙外表面 30cm	9.25E+08	4.19	200mm 混凝土+3mm 铅板	1.52E-05	2.43E-05	2.5	
6	SPECT/CT 机房 2 北墙外表面 30cm	9.25E+08	3.30	200mm 实心砖+3mm 铅板	5.62E-05	1.45E-04	2.5	
7	SPECT/CT 机房 2 北门外表面 30cm	9.25E+08	3.84	4mm 铅板	1.00E-04	1.90E-04	2.5	
8	SPECT/CT 机房 2 上方外表面 30cm	9.25E+08	2.65	150mm 混凝土+6mm 铅板	4.33E-08	1.73E-07	2.5	
9	SPECT/CT 机房 2 下方距地面 170cm	9.25E+08	2.65	150mm 混凝土+6mm 铅板	4.33E-08	1.73E-07	2.5	

注：本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，实心砖密度为 1.65g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.3g/cm^3。

3、CT 环境影响分析

本项目拟配备的 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT，最大管电压为 130kV，保守按照管电压 140kV 的条件核算 SPECT/CT 机房 2 各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

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

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}In\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right)$$ 公式 11-2

式中：X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α、β、γ—相应屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

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：

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

式中：B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α、β、γ—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-3；

X—铅厚度。

表 11-3 铅、混凝土对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.990	0.3420
	混凝土	0.03360	0.01220	0.5190
120kV（CT）	铅	2.246	5.730	0.5470
	混凝土	0.03830	0.01420	0.6580

本项目 SPECT/CT 机房 2 辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-4。

表 11-4 9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2 辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数		设计厚度*	铅当量	屏蔽要求	评价
SPECT/CT 机房 2	西侧墙体	200mm 混凝土+3mm 铅板	5.56mm	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
	东、南、北侧墙体	200mm 实心砖+3mm 铅板	4.44mm		满足
	顶部	150mm 混凝土+6mm 铅板	7.57mm		满足
	底部	150mm 混凝土+6mm 铅板	7.57mm		满足
	北侧防护门	4mm 铅板	4mm		满足
	南侧防护门	6mm 铅板	6mm		满足
	观察窗	6mm 铅当量铅玻璃	6mm		满足
	面积	38.9m^2，最小单边长度为 5.60m		CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，单边长度不小于 4.5m。	满足

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

由上表可知，9 号楼四层 SPECT/CT 机房 2 屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

本项目 SPECT/CT 机房 2 辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 SPECT/CT 设备以 CT 模式，保守按照其管电压 140kV、管电流 200mA 工况下，对 SPECT/CT 机房 2 外各关注点处的辐射剂量率进行计算。

（1）关注点处散射辐射剂量率计算

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

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot K \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：H_s—关注点处散射辐射有效剂量率，μSv/h；

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

I—管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 200mA；

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。本项目保守按照管电压为 140kV，采用内插法查取散射角 90º时 140kV 对应的 a 值为 0.0016；

S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 $314cm^2$；

d_0—源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

d_s—受照体至关注点的距离，m；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-3。根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。再将机房屏蔽体的铅当量厚度、表 11-3 中α、β、γ值代入公式 11-3，计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值；

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

（2）关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

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

式中：H_L—关注点处泄漏辐射有效剂量率，μSv/h；

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

B—机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见公式 11-3；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2，对于本项目 SPECT/CT 设备以 CT 模式管电压保守取 140kV，K 值取 1.65。

表 11-5 设备 CT 出束状态下机房外参考点处及叠加放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	参考点距离（m）	散射辐射		泄漏辐射		核素致参考点辐射水平*（μSv/h）	核素与CT叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）
			B_s	H_s（μSv/h）	B	H_L（μSv/h）			
1	SPECT/CT 机房 2 东墙外表面 30cm	4.21	3.49E-07	0.021	6.56E-07	6.11E-05	8.89E-05	0.021	2.5
2	SPECT/CT 机房 2 南门外表面 30cm	4.54	1.39E-07	0.007	2.45E-07	1.96E-05	1.36E-06	0.007	2.5
3	SPECT/CT 机房 2 南墙外表面 30cm	3.35	3.49E-07	0.032	6.56E-07	9.64E-05	1.40E-04	0.033	2.5
4	SPECT/CT 机房 2 观察窗外表面 30cm	3.3	1.39E-07	0.013	2.45E-07	3.72E-05	2.57E-06	0.013	2.5
5	SPECT/CT 机房 2 西墙外表面 30cm	4.19	3.53E-08	0.002	8.61E-08	8.09E-06	2.43E-05	0.002	2.5
6	SPECT/CT 机房 2 北墙外表面 30cm	3.3	3.49E-07	0.033	6.56E-07	9.94E-05	1.45E-04	0.034	2.5
7	SPECT/CT 机房 2 北门外表面 30cm	3.84	1.25E-05	0.883	1.50E-05	0.002	1.90E-04	0.884	2.5
8	SPECT/CT 机房 2 上方外表面 30cm	2.65	2.77E-10	4.11E-05	9.08E-10	2.13E-07	1.73E-07	4.15E-05	2.5
9	SPECT/CT 机房 2 下方距地面 170cm	2.65	2.77E-10	4.11E-05	9.08E-10	2.13E-07	1.73E-07	4.15E-05	2.5

由表 11-5 计算结果可知，本项目 SPECT/CT 以 CT 模式运行时，叠加放射性药物的辐射影响，SPECT/CT 机房 2 四周墙体、顶部、地面、防护门及观察窗外的辐射剂量率为（4.15E-05~0.884）μSv/h，SPECT/CT 机房 2 外辐射剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

4、保护目标的有效剂量估算

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff}=K_a \cdot t \cdot T \cdot U \qquad \text{公式 11-6}$$

式中：D_{Eff} —参考点人员有效剂量，Sv；

K_{α}—参考点的周围剂量当量率，Sv/h；

t—参考点处受照时间，h；

T—居留因子；

U—使用因子，本项目取 1。

根据各关注点处估算的辐射剂量率，结合工作时间、辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处辐射工作人员及公众的年受照剂量。

扩建核医学诊断项目开展过程中，工作人员主要受照射环节为患者扫描诊断过程。一般情况下，扫描过程约 20 分钟。本项目 SPECT/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s。扩建核医学诊断项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算见表 11-6。

表 11-6 扩建核医学诊断项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算

点位	参考点位置	核素种类/CT 出束	参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受核素或 CT 影响的时间	居留因子	参考点人员有效剂量（mSv/a）		关注对象	位置
1	SPECT/CT 机房 2 东墙外表面 30cm	^{99m}Tc	8.89E-05	扫描 20min×（15 次×250 天）	1/2	5.56E-05	＜0.001	工作人员	SPECT/CT 机房 1
		CT 出束	0.021（0.021+6.11E-05）	扫描 20s×（15 次×250 天）		2.15E-04			
2	SPECT/CT 机房 2 南门外表面 30cm	^{99m}Tc	1.36E-06	扫描 20min×（15 次×250 天）	1/5	3.40E-07	＜0.001	工作人员	控制室
		CT 出束	0.007（0.007+1.96E-05）	扫描 20s×（15 次×250 天）		2.93E-05			
3	SPECT/CT 机房 2 南墙外表面 30cm	^{99m}Tc	1.40E-04	扫描 20min×（15 次×250 天）	1	1.76E-04	0.001	工作人员	控制室
		CT 出束	0.032（0.032+9.64E-05）	扫描 20s×（15 次×250 天）		6.78E-04			
4	SPECT/CT 机房 2 观察窗外表面 30cm	^{99m}Tc	2.57E-06	扫描 20min×（15 次×250 天）	1	3.22E-06	＜0.001	工作人员	控制室
		CT 出束	0.013（0.013+3.72E-05）	扫描 20s×（15 次×250 天）		2.77E-04			
5	SPECT/CT 机房 2 西墙外表面 30cm	^{99m}Tc	2.43E-05	扫描 20min×（15 次×250 天）	1/16	1.90E-06	＜0.001	公众	楼梯间
		CT 出束	0.002（0.002+8.09E-06）	扫描 20s×（15 次×250 天）		2.74E-06			
8	SPECT/CT 机房 2 上方外表面 30cm	^{99m}Tc	1.73E-07	扫描 20min×（15 次×250 天）	1/2	1.08E-07	＜0.001	工作人员	PET/CT 机房/注射室/高活室/患者通道
		CT 出束	4.13E-05（4.11E-05+2.13E-07）	扫描 20s×（15 次×250 天）		4.31E-07			
9	SPECT/CT 机房 2 下方距地面 170cm	^{99m}Tc	1.73E-07	扫描 20min×（15 次×250 天）	1/2	1.08E-07	＜0.001	工作人员	PET/MR 机房/设备间/注射室/废物库/患者通道
		CT 出束	4.13E-05（4.11E-05+2.13E-07）	扫描 20s×（15 次×250 天）		4.31E-07			

注：居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A。

（1）辐射工作人员年有效剂量估算

常州市第一人民医院扩建核医学诊断项目辐射工作拟由SPECT诊断中心现有辐射工作人员承担，其中医师、技师、护士各2名，此6名辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据表11-6估算结果可知，本项目所致2名技师（负责操作设备，轮岗）的平均年有效剂量不超过0.001mSv。

SPECT诊断中心现有年接诊量为3750人次，本次扩建核医学诊断项目不改变SPECT诊断中心现有工作场所布局和接诊量。医院已委托常州市疾病预防控制中心对辐射工作人员进行了个人剂量监测，其在2024年度的个人剂量监测结果见表11-7（常州市疾病预防控制中心，编号：（剂）检字第20240067号、（剂）检字第20240119号、（剂）检字第20240188号、（剂）检字第20250012号，见附件10）。

表11-7 SPECT诊断中心现有辐射工作人员2024年度个人剂量监测结果

编号	姓名	岗位	检测结果（mSv）				年有效剂量（mSv）
			2024年第一季度	2024年第二季度	2024年第三季度	2024年第四季度	
1440	王冬艳	医师	0.091	0.191	0.255	0.242	0.779
1893	邱春	医师	0.065	0.205	0.244	0.163	0.677
701	徐梅	技师	0.092	0.186	0.243	0.215	0.736
3816	孟宝升	技师	0.463	0.391	0.335	0.990	2.179
1394	李小霞	护士	0.058	0.203	0.270	0.206	0.737
1393	蒋旦	护士	0.109	0.275	0.322	0.252	0.958

注：本周期的MDL为0.024mSv。

由表11-7可知，SPECT诊断中心现有辐射工作人员中护士、医师和技师的年有效剂量最大分别为0.958mSv、0.779mSv和2.179mSv。本项目投入运行后，SPECT诊断中心接诊量和辐射工作人员的工作量均未发生变化，故辐射工作人员的年受照剂量不会产生显著变化，保守将SPECT/CT机房2内设备出束和注射后患者对控制室内技师的辐射剂量与技师现有年受照剂量进行叠加，所致2名技师的年有效剂量最大约为2.180mSv。

（2）公众年有效剂量估算

根据表 11-6 估算结果，本项目投入使用后，致周围公众年有效剂量不超过 0.001 mSv。

本次扩建核医学诊断项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，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、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众。由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及本项目工作场所和周围建筑墙体、楼体结构的屏蔽作用，扩建核医学诊断项目周围 50m 评价范围内保护目标处公众年受照剂量不超过 0.001mSv。

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

（二）扩建 DSA 诊疗项目

1、DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

（1）评价标准

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

（2）本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目 Artis icono biplane 型 DSA 为双球管设备，其有用线束投射方向为向上、向北，即使旋转机头，向上/向北的散射线和漏射线的辐射影响要小于主束向上/向北的影响，所以本项目保守将 2 号楼一层 DSA 机房顶部、北侧作为有用线束投射方向。由表 10-2 可知，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及顶面和地面的混凝土、机房北侧的铅玻璃。本项目按额定管电压 125kV 的极端条件核算 DSA 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

1）混凝土的等效铅当量厚度核算：

按照公式 11-2、公式 11-3 计算屏蔽体的屏蔽透射因子、铅当量厚度。

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

辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-8：

表 11-8 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	备注
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386	额定最大管电压
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974	
	实心砖	0.02870	0.06700	1.346	
80kV（主束）	铅	4.040	21.69	0.7187	常用最大管电压
70kV（散射）	铅	5.369	23.49	0.5883	

本项目机房屏蔽部位涉及的 120mm 混凝土、180mm 混凝土，分别按公式 11-3、公式 11-2 计算其屏蔽透射因子 B、铅当量厚度 X，计算结果列于表 11-9。

表 11-9 混凝土屏蔽透射因子 B、铅当量厚度 X 计算结果

管电压	屏蔽材料	屏蔽透射因子 B	铅当量厚度 X（mm）
125kV（主束）	120mm 混凝土	3.21E-03	1.44
	180mm 混凝土	3.78E-04	2.32

2）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：

表 11-10 DSA 机房屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

工作场所	参数	设计厚度	125kV 等效铅当量	屏蔽要求 [1)]	评价
2 号楼一层 DSA 机房	东、南、西墙 [2)]	100mm 轻质隔墙+4mm 铅板	4mm	介入 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm。	满足
	北墙 [3)]	100mm 轻质隔墙+4mm 铅板	4mm		满足
	防护门 [2)]	4mm 铅板	4mm		满足
	观察窗 [2)]	4mm 铅当量铅玻璃	4mm		满足
	顶面 [3)]	120mm 混凝土+3mm 铅板	4.44mm		满足
	地面 [2)]	180mm 混凝土+2mm 铅板	4.32mm		满足

	面积	东西长 10.26m，南北长 5.32m，有效使用面积为 54.58m^2，层高 3.60m。	双管头 X 射线设备机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，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。

由表 11-10 可知，本项目 2 号楼一层 DSA 机房在额定最大管电压为 125kV 工况下屏蔽防护措施均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 C 形臂 X 射线设备机房的相关要求，即：屏蔽铅当量不少于 2mm。本项目 DSA 机房的有效使用面积、最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中双管头 X 射线设备机房的相关要求，即：有效使用面积不少于 30m^2，最小单边长度不少于 4.5m。

2、DSA 机房的辐射影响预测

本项目拟配备的 Artis icono biplane 型 DSA 为双球管（正位球管、侧位球管），正位球管的有用线束方向为顶面，侧位球管的有用线束为北面，两个球管可同时出束。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。介入手术过程中，DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design for Medical Imaging X-ray Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers，P41-45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此本项目 DSA 需要屏蔽的辐射仅考虑泄漏辐射和散射辐射。

本项目 DSA 的辐射影响情况见表 11-11。

表 11-11 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	正位球管	80kV/500mA	机房外公众、控制室操作人员
	侧位球管		
透视模式	正位球管	80kV/20mA	机房外公众、控制室操作人员；机房内介入治疗操作人员
	侧位球管		

于 2 号楼一层 DSA 机房周围共布设 8 个预测点，预测点布设见图 11-2 所示。

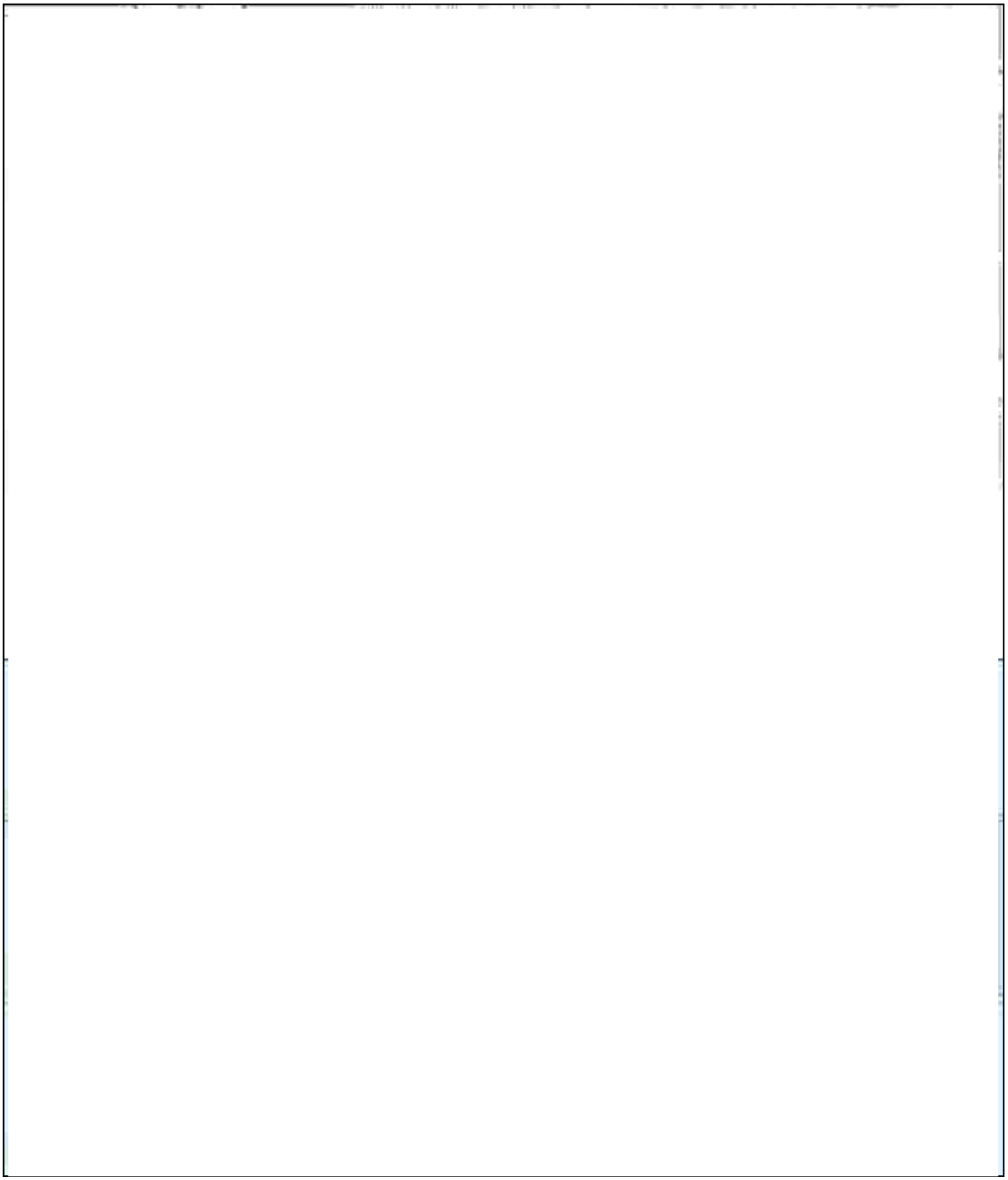


图 11-2 2 号楼一层 DSA 机房预测点布设示意图

2 号楼一层 DSA 机房预测点选取如下：

1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊/值班室；

2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，等候区；

3#-西侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间；

4#-北侧患者防护门外 30cm 处，缓冲及术后观察区；

5#-北侧观察窗外 30cm 处，控制室；

6#-北侧医护防护门外 30cm 处，控制室；

7#-上方，手术准备室/库房/走廊/办公室/示教室/更衣值班室；

8#-下方，地下车库。

（1）关注点处散射辐射剂量率计算

根据公式 11-4 计算关注点处散射辐射有效剂量率：

$$H_s=\frac{H_0\cdot I\cdot a\cdot(s/400)\cdot B_s}{d_0^2\cdot d_s^2}\cdot K \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：H_s—关注点处散射辐射有效剂量率，μSv/h；

H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率），$mGy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$，本项目取 $5mGy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$，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取 20mA、500mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取。本项目常用最大管电压为 80kV，对于散射线向机房四侧墙体（正位球管）或东侧墙体、西侧墙体、顶面、地面（侧位球管）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；对于散射线向机房地面（正位球管）、南侧墙体（侧位球管）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；对于散射线向机房顶面（正位球管）、北侧墙体（侧位球管）投射的情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角 0º的数据，表中所列散射角中以 30º最接近 0º，故从该表中散射角为 0º、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0009；

S—主束在受照人体上的散射面积，根据建设单位提供参数，照射野最小为 8cm×8cm=64cm²，最大为 29cm×38cm=1102cm²，考虑手术需要的最大照射面积约为 16cm×16cm，本项目取 256cm²；

d_0—源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目球管的 d_0 取最小值

0.45m（符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求）；

d_s—受照体至关注点的距离，m；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-2。此处散射线是指本项目常用最大管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角θ=90º）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-cosθ）/0.511]=1/[1+0.08×（1-cos90º）/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 11-8 中α、β、γ值代入公式 11-3，计算响应的散射辐射屏蔽透射因子值，列于表 11-12；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2，按前述 90º方向一次散射线能量对应的 kV 值为 70kV，K 值取 1.60。

将前述有关参数代入公式 11-4，计算 DSA 常用最大工况（管电压 80kV）运行时透视模式、摄影模式下 DSA 机房外公众、控制室操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率，计算结果见表 11-12。

表 11-12 DSA 机房关注点处散射辐射剂量率计算结果

球管位置	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）
正位球管	1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处（洁净走廊/值班室）	透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	6.110	1.76E-08
		摄影模式		500					4.39E-07
	2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处（等候区）	透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	3.640	4.95E-08
		摄影模式		500					1.24E-06
	3#-西侧屏蔽墙外 30cm 处（设备间）	透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	5.910	1.88E-08
		摄影模式		500					4.69E-07
	4#-北侧患者防护门外 30cm 处（缓冲及术后观察区）	透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	5.820	1.94E-08
		摄影模式		500					4.84E-07

	5#-北侧观察窗外30cm处（控制室）		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	3.960	4.18E-08
			摄影模式		500					1.05E-06
	6#-北侧医护防护门外30cm处(控制室)		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	4.270	3.59E-08
			摄影模式		500					8.98E-07
	7#-上方（手术准备室/库房/走廊/办公室/示教室/更衣值班室）		透视模式	300000	20	4.44	2.54E-12	0.45	4.100	4.13E-09
			摄影模式		500					1.03E-07
	8#-下方(地下车库)		透视模式	300000	20	4.32	4.85E-12	0.45	2.400	4.08E-08
			摄影模式		500					1.02E-06
	第一术者	铅衣内	透视模式	300000	20	1	2.84E-04	0.45	0.5	27.54
		铅衣外	透视模式		20	0.5	5.35E-03	0.45	0.5	519.2
	第二术者	铅衣内	透视模式	300000	20	1	2.84E-04	0.45	1.0	6.88
		铅衣外	透视模式		20	0.5	5.35E-03	0.45	1.0	129.8
侧位球管	1#-东侧屏蔽墙外30cm处（洁净走廊/值班室）		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	6.110	1.76E-08
			摄影模式		500					4.39E-07
	2#-南侧屏蔽墙外30cm处（等候区）		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	3.640	9.90E-08
			摄影模式		500					2.47E-06
	3#-西侧屏蔽墙外30cm处（设备间）		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	5.910	1.88E-08
			摄影模式		500					4.69E-07
	4#-北侧患者防护门外30cm处（缓冲及术后观察区）		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	5.820	2.18E-08
			摄影模式		500					5.44E-07
	5#-北侧观察窗外30cm处（控制室）		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	3.960	4.70E-08
			摄影模式		500					1.18E-06
	6#-北侧医护防护门外30cm处(控制室)		透视模式	300000	20	4	2.70E-11	0.45	4.270	4.04E-08
			摄影模式		500					1.01E-06
	7#-上方（手术准备室/库房/走廊/办公		透视模式	300000	20	4.44	2.54E-12	0.45	3.500	5.04E-09

	室/示教室/更衣值班室）		摄影模式		500					1.26E-07
	8#-下方（地下车库）		透视模式	300000	20	4.32	4.85E-12	0.45	3.000	1.31E-08
			摄影模式		500					3.27E-07
	第一术者	铅衣内	透视模式	300000	20	1	2.84E-04	0.45	0.5	27.54
		铅衣外	透视模式		20	0.5	5.35E-03	0.45	0.5	519.2
	第二术者	铅衣内	透视模式	300000	20	1	2.84E-04	0.45	1.0	6.88
		铅衣外	透视模式		20	0.5	5.35E-03	0.45	1.0	129.8

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

（2）关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率H_L采用下式计算：

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

式中：H_L—关注点处泄漏辐射有效剂量率，μSv/h；

H_i—距靶1m处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h。本项目1m处泄漏射线的空气比释动能率取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常用最大工况管电压（80kV）对应下DSA机房屏蔽体及介入操作人员防护用屏蔽物的泄漏射线屏蔽透射因子见表11-13；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表G.2，对于本项目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常用最大工况（管电压80kV）运行时透视模式、摄影模式下DSA机房外公众、控制室操作人员、机房内介入操作人员处泄漏辐射剂量率，计算结果见表11-13。

表 11-13 DSA 机房关注点处漏辐射剂量率计算结果

球管位置	关注点位置		H_i（mGy/h）	X（mm）	r（m）	B	H_L（μSv/h）
正位球管	1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处（洁净走廊/值班室）		1	4	6.110	7.30E-09	3.26E-07
	2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处（等候区）		1	4	3.640	7.30E-09	9.19E-07
	3#-西侧屏蔽墙外 30cm 处（设备间）		1	4	5.910	7.30E-09	3.49E-07
	4#-北侧患者防护门外 30cm 处（缓冲及术后观察区）		1	4	5.820	7.30E-09	3.60E-07
	5#-北侧观察窗外 30cm 处（控制室）		1	4	3.960	7.30E-09	7.77E-07
	6#-北侧医护防护门外 30cm 处（控制室）		1	4	4.270	7.30E-09	6.68E-07
	7#-上方（手术准备室/库房/走廊/办公室/示教室/更衣值班室）		1	4.44	4.600	1.23E-09	9.73E-08
	8#-下方（地下车库）		1	4.32	1.900	2.00E-09	9.26E-07
	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	91.54
	第二术者	铅衣内	1	1	1.0	1.43E-03	2.39
		铅衣外	1	0.5	1.0	1.37E-02	22.88
侧位球管	1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处（洁净走廊/值班室）		1	4	6.110	7.30E-09	3.26E-07
	2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处（等候区）		1	4	3.140	7.30E-09	1.24E-06
	3#-西侧屏蔽墙外 30cm 处（设备间）		1	4	5.910	7.30E-09	3.49E-07
	4#-北侧患者防护门外 30cm 处（缓冲及术后观察区）		1	4	6.170	7.30E-09	3.20E-07
	5#-北侧观察窗外 30cm 处（控制室）		1	4	4.460	7.30E-09	6.12E-07
	6#-北侧医护防护门外 30cm 处（控制室）		1	4	4.740	7.30E-09	5.42E-07

	7#-上方（手术准备室/库房/走廊/办公室/示教室/更衣值班室）		1	4.44	3.500	1.23E-09	1.68E-07
	8#-下方（地下车库）		1	4.32	3.000	2.00E-09	3.72E-07
	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	91.54
	第二术者	铅衣内	1	1	1.0	1.43E-03	2.39
		铅衣外	1	0.5	1.0	1.37E-02	22.88

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

（3）关注点处预测计算结果汇总

综上所述，DSA机房关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表11-14。

表11-14 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）				
		正位球管		侧位球管		合计
		散射线	漏射线	散射线	漏射线	
1#-东侧屏蔽墙外30cm处（洁净走廊/值班室）	透视模式	1.76E-08	3.26E-07	1.76E-08	3.26E-07	6.88E-07
	摄影模式	4.39E-07		4.39E-07		1.53E-06
2#-南侧屏蔽墙外30cm处（等候区）	透视模式	4.95E-08	9.19E-07	9.90E-08	1.24E-06	2.30E-06
	摄影模式	1.24E-06		2.47E-06		5.87E-06
3#-西侧屏蔽墙外30cm处（设备间）	透视模式	1.88E-08	3.49E-07	1.88E-08	3.49E-07	7.35E-07
	摄影模式	4.69E-07		4.69E-07		1.64E-06
4#-北侧患者防护门外30cm处（缓冲及术后观察区）	透视模式	1.94E-08	3.60E-07	2.18E-08	3.20E-07	7.21E-07
	摄影模式	4.84E-07		5.44E-07		1.71E-06
5#-北侧观察窗外30cm处（控制室）	透视模式	4.18E-08	7.77E-07	4.70E-08	6.12E-07	1.48E-06
	摄影模式	1.05E-06		1.18E-06		3.61E-06
6#-北侧医护防护门外30cm处（控制室）	透视模式	3.59E-08	6.68E-07	4.04E-08	5.42E-07	1.29E-06
	摄影模式	8.98E-07		1.01E-06		3.12E-06
7#-上方（手术准备室/库房	透视模式	4.13E-09	9.73E-08	5.04E-09	1.68E-07	2.75E-07

/走廊/办公室/示教室/更衣值班室）		摄影模式	1.03E-07		1.26E-07		4.95E-07
8#-下方（地下车库）		透视模式	4.08E-08	9.26E-07	1.31E-08	3.72E-07	1.35E-06
		摄影模式	1.02E-06		3.27E-07		2.65E-06
第一术者	铅衣内	透视模式	27.54	9.55	27.54	9.55	74.18
	铅衣外	透视模式	519.2	91.54	519.2	91.54	1221
第二术者	铅衣内	透视模式	6.88	2.39	6.88	2.39	18.54
	铅衣外	透视模式	129.8	22.88	129.8	22.88	305.4

由表 11-14 结果分析知，在常用最大工况下，摄影模式的非有用线束在 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率明显大于透视模式；双球管同时出束时关注点处的辐射剂量率大于单个球管出束时的辐射剂量率。保守按照摄影模式下双球管同时出束的情况估算机房外关注点处的辐射剂量率，则机房外辐射工作人员关注点剂量率最大为 3.61E-06μSv/h，出现在北侧观察窗外控制室关注点处；公众关注点剂量率最大为 5.87E-06μSv/h，出现在南侧屏蔽墙外等候区关注点处，本项目 2 号楼一层 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。

3、通风管道辐射影响分析

本项目 DSA 机房通排风管道穿墙方式均为直穿式，为防止 X 射线泄漏，通风及排风管道口均拟设置 4mm 铅板（与墙体、防护门同等屏蔽防护）进行防护（接口处进行包裹），管道系统均避开主射线方向，经过铅板屏蔽后，通排风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

4、保护目标的有效剂量估算

（1）年有效剂量估算模式

DSA 机房周围公众、控制室辐射工作人员年有效剂量采用公式 11-6 进行估算，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：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \qquad \text{公式 11-7}$$

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

H_u—铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），mSv；

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

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

（2）年有效剂量估算

将有关参数代入公式11-6，估算DSA机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见表11-15。

表11-15 DSA机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置	操作模式	t（h）	T	辐射剂量率*（μSv/h）	年有效剂量H_{Er}（mSv/a）	
1#-东侧屏蔽墙外30cm处（洁净走廊/值班室）	透视模式	100	1	6.88E-07	6.88E-08	＜0.001
	摄影模式	1.67		1.53E-06	2.56E-09	
2#-南侧屏蔽墙外30cm处（等候区）	透视模式	100	1	2.30E-06	2.30E-07	＜0.001
	摄影模式	1.67		5.87E-06	9.80E-09	
3#-西侧屏蔽墙外30cm处（设备间）	透视模式	100	1/16	7.35E-07	4.59E-09	＜0.001
	摄影模式	1.67		1.64E-06	1.71E-10	
4#-北侧患者防护门外30cm处（缓冲及术后观察区）	透视模式	100	1/5	7.21E-07	1.44E-08	＜0.001
	摄影模式	1.67		1.71E-06	5.70E-10	
5#-北侧观察窗外30cm处（控制室）	透视模式	100	1	1.48E-06	1.48E-07	＜0.001
	摄影模式	1.67		3.61E-06	6.03E-09	
6#-北侧医护防护门外30cm处（控制室）	透视模式	100	1/5	1.29E-06	2.57E-08	＜0.001
	摄影模式	1.67		3.12E-06	1.04E-09	
7#-上方（手术准备室/库房/走廊/办公室/示教室/更衣值班室）	透视模式	100	1	2.75E-07	2.75E-08	＜0.001
	摄影模式	1.67		4.95E-07	8.26E-10	
8#-下方（地下车库）	透视模式	100	1/16	1.35E-06	8.45E-09	＜0.001
	摄影模式	1.67		2.65E-06	2.76E-10	

注：计算2号楼一层DSA机房四周公众和辐射工作人员的年附加剂量时，保守选取双球管同时出束时关注点处辐射剂量率。

由表11-15，2号楼一层DSA机房四周公众、控制室辐射工作人员的年附加剂量均不超过0.001mSv。

本次扩建DSA诊疗项目周围50m评价范围内，东侧隔院内道路和唐家湾路为天成苑居民区（最近约39m）、多宝大厦（最近约43m），南侧隔院内道路和唐家湾路为迎春花园居民区（最近约42m），西侧、北侧均位于院区边界内，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、其他医护人员、患者、陪同家属及评价范围内天成苑居民区、多宝大厦、迎春花园居民区处其他公众等。由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及本项目工作场所和周围建筑墙体、楼体结构的屏蔽作用，扩建DSA诊疗项目周围50m评价范围内保护目标处公众年受照剂量不超过0.001mSv。

将有关参数代入公式11-7，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表11-16。

表11-16 DSA机房内术者位年有效剂量估算结果

位置	α	β	部位	辐射剂量率（μSv/h）		年照射时间（h）[1)]		年有效剂量（mSv）[2)]
				正位球管	侧位球管	正位球管	侧位球管	
第一术者	0.79	0.051	铅衣内	37.09	37.09	90	20	6.65（5.44+1.21）
			铅衣外	610.8	610.8			
第二术者			铅衣内	9.27	9.27			1.66（1.36+0.30）
			铅衣外	152.7	152.7			

注：1、2号楼一层DSA机房内Artis icono biplane型（双球管）DSA年透视曝光时间为100h，其中，正位球管单独出束占比约80%，侧位球管单独出束占比约10%，双球管同时出束占比约10%；则正位球管透视模式年曝光时间为90h（占比80%+10%），侧位球管透视模式年曝光时间约20h（占比10%+10%）；

2、年有效剂量为第一、第二术者操作位全年受到的累积有效剂量。

由表11-16可知，DSA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6.65mSv、1.66mSv，本项目辐射工作由2组工作人员共同承担，则本项目所致机房内第一、第二术者操作位工作人员年有效剂量分别为3.325mSv、0.830mSv（机房内护士保守参考第二术者操作位估算年有效剂量）。

本次扩建DSA诊疗项目辐射工作拟由脑外科现有辐射工作人员承担，其中医师4名、技师2名、护士2名，此8名辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。医院已委托常州市疾病预防控制中心对辐射工作人员进行了个人剂量监测，其在2024年度的个人剂量监测结果见表11-17（常州市疾病预防控制中

心，编号：（剂）检字第 20240067 号、（剂）检字第 20240119 号、（剂）检字第 20240188 号、（剂）检字第 20250012 号，见附件 10）。

表 11-17 脑外科现有辐射工作人员 2024 年度个人剂量监测结果

编号	姓名	岗位	检测结果（mSv）				年有效剂量（mSv）
			2024 年第一季度	2024 年第二季度	2024 年第三季度	2024 年第四季度	
1547	曹洁	医师	0.046	0.203	0.154	0.140	0.543
4145	莫仡	医师	0.012	0.182	0.180	0.105	0.479
1647	邵华明	医师	0.012	0.259	0.145	0.140	0.556
1085	宣井岗	医师	0.012	0.111	0.110	0.122	0.355
483	张俊	技师	0.012	0.130	0.157	0.115	0.414
1367	邹芸	技师	0.012	0.090	0.137	0.074	0.313
648	王慧	护士	0.012	0.131	0.152	0.098	0.393
4073	张渊	护士	0.012	0.120	0.158	0.122	0.412

注：本周期的 MDL 为 0.024mSv。

根据医院提供的资料，本项目脑外科辐射工作人员 2024 年开展的介入手术约 450 例，由表 11-17 可知，脑外科医师、技师、护士年有效剂量最大分别为 0.556mSv、0.414mSv、0.412mSv，叠加本项目所致辐射工作人员年有效剂量，本项目辐射工作人员的年有效剂量最大为 3.881mSv。

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

本项目 Artis icono biplane 型 DSA 为双球管设备，当两个球管同时出束时，对术者操作位的辐射影响较大，建议医院根据实际情况，在不影响介入辐射工作人员的手术操作条件下，增加铅防护吊帘、床侧防护帘等辅助防护设施的配置数量，并对辅助防护设施的面积和形状进行针对性设计，以降低术者受到的辐射剂量，介入辐射工作人员手术过程中，尽量远离球管位置，避免 X 射线朝术者位置方向照射。

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

二、放射性“三废”影响分析

（一）扩建核医学诊断项目

1、放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本次扩建核医学诊断项目工作场所高活室内设有1个手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

医院将排风口设在高于本建筑物（9号楼）屋脊位置，排风口位置尽可能远离周边高层建筑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换1~2次）并作为放射性固体处理。本项目工作场所设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

（二）放射性废水

SPECT诊断中心产生的放射性废水主要包括：体内含有^{99m}Tc放射性核素的患者

排泄物和工作场所清洗废水等。医院计划于9号楼东北侧地下现有六级衰变池南侧新建1个有效总容积为22.5m³的三级衰变池，待该衰变池建成，医院将9号楼三层~五层产生的含^{99m}Tc、^{18}F放射性核素的废水排至三级衰变池内，原六级衰变池仅用于贮存9号楼六层甲癌病房产生的含^{131}I放射性核素的废水。

根据医院提供的资料，本次扩建核医学诊断项目不改变SPECT诊断中心现有工作场所布局和接诊量，放射性废水产生量不发生变化，根据医院的统计，9号楼三层~五层核医学科使用^{99m}Tc、^{18}F放射性核素开展核素显像项目的日平均接诊量分别为15人次、20人次，3个工作场所每天的清洗废水各约100L，年工作250天，则9号楼三层~五层核医学科放射性废水排放量为145m³/年（250d/年×（8L/人×（15人/d+20人/d）+3×100L/d）），周排放量为2.9m³/周。

新建的三级衰变池由3个衰变池串联，单个衰变池体积约为2.0m（长）×1.5m（宽）×2.5m（高），有效容积约7.5m³，总有效容积约22.5m³。根据衰变系统工作流程，放射性废水可在该衰变系统内衰变约36天（7.5m³×2÷2.9m³/周×7d/周），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”的要求。

本项目三级衰变池为地埋式衰变池，由3个衰变池和管路设备间组成，衰变系统四周墙体、底部和顶部均采用300mm混凝土进行辐射屏蔽，顶板覆土0.3m，管路设备间检修口处设300mm混凝土盖板（高于地面0.5m），衰变间结构示意图见图10-2。

医院9号楼三层~五层核医学科产生的含^{99m}Tc、^{18}F放射性废水排入三级衰变池内，排泄物内核素活度排泄比率均按30%进行计算，根据其接诊量，预计约7.7周可达到衰变系统的最大容积，仅考虑放射性核素随时间进行衰变，此时衰变系统内废水的^{99m}Tc核素总活度约为3.91E+09Bq、^{18}F核素总活度约为1.09E+09Bq。将三级衰变池内放射性废水按照点源进行计算，参照公式11-1计算三级衰变池内废水对衰变间外产生的辐射影响，其预测计算结果见表11-18。

表 11-18 扩建核医学诊断项目衰变系统辐射水平估算结果

点位	参考点位置	核素种类	源强（Bq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度[1)]	透射比[2)]	参考点辐射水平（μSv/h）		控制目标值（μSv/h）
1	衰变间上方外表面 30cm	^{99m}Tc	3.91E+09	2.15	1250mm 水体+300mm 混凝土+300mm 覆土层	6.75E-09	1.73E-07	＜0.001	2.5
		^{18}F	1.09E+09			8.84E-06	2.99E-04		
2	检修口上方外表面 30cm	^{99m}Tc	3.91E+09	2.65	1250mm 水体+300mm 混凝土	1.28E-07	2.15E-06	0.001	2.5
		^{18}F	1.09E+09			5.55E-05	0.001		

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm^3，覆土层密度取 1.1g/cm^3；

2、水的什值层按《辐射防护手册第三分册》表 2.12 使用插值法估算求得。

由表 11-18 计算结果可知，本项目衰变间采用现有屏蔽设计进行辐射防护，衰变间外各关注点的辐射剂量率最大为 0.001μSv/h。由表 8-2 可知，9 号楼东北侧地下现有六级衰变池上方的辐射剂量率与江苏省道路γ辐射剂量率本底水平相当，且其废水中所含核素的活度和种类较本项目新建三级衰变池大，故本项目三级衰变池对环境的影响很小。本项目衰变间建设于 9 号楼东北侧地下，周围人流量很小，医院拟在衰变间上方周围使用栅栏设置物理隔断并粘贴电离辐射警告标志和警示标语，提醒无关人员勿靠近和在此逗留，故本项目放射性废水衰变系统对周围环境及公众产生的辐射影响较小，其周围公众的年有效剂量能够满足 0.1mSv 的剂量限值要求。

（三）放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物和手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭。核医学科高活室、注射后候诊室等房间均设置 1～2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb）。

9 号楼四层 SPECT 诊断中心产生的放射性固体废物从各房间收集后密封并贴上标签（标记主要核素类型、收集时间等）集中到废物库（尺寸为 2.8m（长）×2.5m（宽）×3.2m（高），容积约为 22m^3）内的铅桶中暂存，手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭也暂存在废物库内。

根据医院提供的资料，本次扩建核医学诊断项目不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量，放射性固体废物产生量不发生变化，根据医院的统计，SPECT 诊断中心的放射性固体废物在所需暂存时间内的产生量，含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体

废物（暂存超过30天）的产生量为6.4kg（0.77m³），暂存9号楼四层SPECT诊断中心废物库内，该废物库容积约为22m³，实际可容纳放射性废物约10m³，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”的要求。

9号楼四层SPECT诊断中心产生的放射性固体废物可在废物库内暂存超过时间要求，经检测合格（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm²）后，委托有资质单位进行处置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过20kg”“每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h”的标准要求。

（二）扩建DSA诊疗项目

本次扩建DSA诊疗项目无放射性“三废”产生。

三、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

SPECT/CT机房2内的空气在γ射线和X射线作用下、DSA机房内的空气在X射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所设置的排风系统及新风系统排至室外，臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（二）废水

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

（三）固体废物

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

事故影响分析

本次扩建核医学诊断和DSA诊疗项目拟配置的SPECT/CT为Ⅲ类射线装置、DSA为Ⅱ类射线装置。医院在开展辐射工作过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）扩建核医学诊断项目

1、在放射性核素操作或SPECT/CT工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

2、辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

3、由于保管或管理工作不到位，导致放射性药物的丢失、被盗，对公众造成误照射。

4、辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

5、放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染。

6、给药后患者未按要求在相应的注射后候诊室内留观，在注射后候诊室以外的区域随意走动，导致公众受到照射。

（二）扩建DSA诊疗项目

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

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

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

二、事故预防和处理措施

（一）扩建核医学诊断项目

1、建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

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

3、辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

4、制定放射性药物安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物的

管理，做好日常检查，防止放射性药物丢失、被盗。

5、加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性“三废”的处理制度，设置放射性废物专职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理，并做好相应的记录。

6、给药前，医生对患者进行健康教育，加强对给药后患者的管理，避免给药后患者在注射后候诊室外随意走动。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

1、发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房闭门装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即停止辐射操作，误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。

2、对可能受到大剂量照射的人员，迅速安排其接受医学检查和救治；

3、当发生放射性药物丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物。

4、当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

5、对发生事故的工作场所，请相关检测部门进行检测，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

（二）扩建 DSA 诊疗项目

医院可采取以下事故预防措施：

1、建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

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

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

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

1、当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保 DSA 停止工作；

2、对工作人员造成额外照射时，应及时检测个人剂量计，剂量超标则人员应及

时就医检查并调岗；

3、对发生事故的DSA或其他设备故障，请设备厂家或相关单位进行检测或维修，分析事故发生原因，不得擅自进行维修。

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

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12　辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

目前，常州市第一人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，指定专人（需参加“辐射安全管理”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗，已安排培训考核）专职负责辐射安全与环境保护管理工作，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目修订相关文件，明确医院本项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。本项目辐射工作人员拟由常州市第一人民医院内部调配，不兼职其他放射工作，SPECT 诊断中心现有 6 名辐射工作人员、脑外科现有 8 名辐射工作人员均已分别通过“核医学”“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训（辐射安全与防护考核成绩报告单见附件 9）。医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫

制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，如《核医学科操作规程》《DSA 操作规程》《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检修维护保养制度》《放射性核素安全防护管理制度》《射线装置使用登记、台账管理制度》《辐射工作人员培训计划》《辐射工作人员职业健康管理制度》《个人剂量监测方案》《辐射环境监测方案》《辐射事故应急预案》等。医院现有管理制度内容较为全面，具有一定的针对性和可操作性，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院已开展核医学科核素显像诊断项目和 DSA 介入治疗项目，相关辐射安全管理规章制度较完善，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

一、操作规程

医院已制定《核医学科操作规程》《DSA 操作规程》，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

（一）提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

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

（三）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（四）在工作场所严禁吸烟、进食；

（五）放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

二、岗位职责

医院已制定《岗位职责》，应针对本项目进行完善，明确射线装置、放射性药品使用工作人员、台账管理人员、药物注射人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度

根据射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的《辐射防护和安全保卫制度》，重点是：

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

（二）工作人员定期开展个人剂量监测和职业健康监护；

（三）放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

（四）放射性药物的贮存、医院内转运时的安全保卫工作。

四、设备维修制度

医院已制定《设备检修维护保养制度》，应针对本项目进行完善，明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保非密封放射性物质工作场所内的安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、放射性同位素使用登记制

医院已制定《放射性核素安全防护管理制度》，建立放射性同位素台账，重点是：放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每月核对，确保账物相符。

六、人员培训计划和健康管理制度

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

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

七、监测方案

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

（一）明确监测项目和频次；

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

门调查处理；

（三）对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

（四）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；

（五）委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，常州市第一人民医院已配备有辐射巡测仪 1 台，SPECT 诊断中心已配备有辐射巡测仪 1 台、表面污染测量仪 1 台和个人剂量报警仪 2 台，拟为本次扩建核医学诊断项目、扩建 DSA 诊疗项目分别再配备个人剂量报警仪 1 台、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工作场所周围环境 X-γ辐射剂量率及表面污染水平进行监测，周期：1～2 次/年；

二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，包括控制室工作位置和周围毗邻区域人员居留处，并保留自检记录；

四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

五、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
SPECT诊断中心工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率、β表面污染	请有资质单位监测，建设项目竣工后3个月内	**辐射水平：**控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位、控制区上方及下方人员可达处、手套箱及放射性固体废物铅桶表面；**表面污染：**核医学科放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；工作场所内床、座椅、墙壁和地面；放射性废物铅桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ辐射剂量率、β表面污染	请有资质单位监测，不少于1～2次/年		
	日常监测	X-γ辐射剂量率、β表面污染	X-γ辐射剂量率自主监测不少于1次/月，β表面污染自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		
DSA机房工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，建设项目竣工后3个月内	距墙体、门、窗表面30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面100cm、机房地面下方（楼下）距楼下地面170cm、操作位、电缆口外	见评价标准中辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ辐射剂量率	请有资质单位监测，不少于1～2次/年		
	日常监测	X-γ辐射剂量率	自主监测，不少于1次/月		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于1次/三个月	/	年有效剂量≤5mSv

常州市第一人民医院已根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目，定期（不少于1次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境X-γ辐射剂量率、表面污染水平进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。2024年度医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司开展了辐射工作场所的辐射安全与防护年度监测，监测结果均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等国家相关标准要求，均未出现剂量率

超标的情况。

常州市第一人民医院已为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/3 个月）和职业健康体检（1 次/2 年），公共卫生处负责全医院辐射工作人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放保管。2024 年度医院已委托常州市疾病预防控制中心完成了辐射工作人员的个人剂量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等国家相关标准要求，均未出现异常。

常州市第一人民医院每年编写射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

根据医院《2024 年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2024 年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

辐射事故应急

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

一、应急机构和职责分工；

二、应急的具体人员和联系电话；

三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

五、辐射事故调查、报告和处理程序。

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效地采取以下应急措施：

一、一旦发现有其他无关人员误入机房内，辐射工作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的辐射事故应急处理领导小组及上级领导报告。

辐射事故应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

二、对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境部门、卫生健康行政部门等主管部门。

三、迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，组织专业技术人员，尽快排除故障。

四、事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

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

常州市第一人民医院已经制定了《辐射事故应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关科室，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

常州市第一人民医院拟在 9 号楼四层预留 SPECT/CT 机房（SPECT/CT 机房 2）内配备 1 台 Symbia Intevo Bold 型 SPECT/CT（最大管电压为 130kV，最大管电流为 345mA，为Ⅲ类射线装置），配合使用 ^{99m}Tc 放射性核素开展核素显像诊断，不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量，为丙级非密封放射性物质工作场所；常州市第一人民医院拟将 2 号楼一层候诊大厅进行改造，新建 1 座 DSA 机房，新增 1 台 Artis icono biplane 型 DSA（双球管，最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。

二、项目建设的必要性

本项目的建设，可为医院提供多种诊疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断和介入治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。

三、实践正当性

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

四、项目产业政策符合性分析

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修改）中“限制类”“淘汰类”项目，项目符合国家产业政策。

五、选址合理性

常州市第一人民医院位于江苏省常州市局前街 185 号，医院东侧为唐家湾路和居民商业混合区、南侧为唐家湾路和迎春花园居民区，西侧为晋陵中路，北侧为局前街。

本次扩建核医学诊断项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内；扩建 DSA 诊疗项目周围 50m 评价范围内，东侧隔院内道路和唐家湾路为天成苑居民区（最近约 39m）、多宝大厦（最近约 43m），南侧隔院内道路和唐家湾路为迎春花园居民区（最近约 42m），西侧、北侧均位于院区边界内。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、其他医护人员、患者、陪同家属及评价范围内天成苑居民区、多宝大厦、迎春花园居民区处其他公众等。

9 号楼四层 SPECT 诊断中心设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，不与其他楼层交叉。扩建核医学诊断项目工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，本项目工作场所排风口位于 9 号楼楼顶，排风口位置尽可能远离周边高层建筑，无环境制约因素，本项目选址合理。本项目核医学科 SPECT 诊断中心工作场所均划分了控制区及监督区，控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，相关配套布局能够保证工作程序沿着相关房间开展，能够有效防止交叉污染，核医学科 SPECT 诊断中心工作场所控制区内设置有患者专用卫生间，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，布局合理。

扩建 DSA 诊疗项目 1 台 DSA 配套独立用房，房间由射线装置机房和控制室组成。DSA 机房控制室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理

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

六、辐射环境现状评价

常州市第一人民医院扩建核医学诊断和 DSA 诊疗项目拟建址室内点位周围环境天然γ辐射剂量率在（58～89）nGy/h，位于江苏省建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7～129.4）nGy/h 范围内；室外点位周围环境γ辐射剂量率为（44~93）nGy/h，位于江苏省道路γ辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1～102.3）nGy/h 范

围内。

常州市第一人民医院扩建核医学诊断项目拟建址周围β表面污染水平均低于仪器探测下限（0.06Bq/cm^2）。

七、环境影响评价

常州市第一人民医院扩建核医学诊断和DSA诊疗项目建设阶段影响可控制在医院院内局部区域，对周围环境影响较小。

根据理论估算结果，常州市第一人民医院扩建核医学诊断和DSA诊疗项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

八、“三废”的处理处置

本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不小于0.5m/s，排风口高于9号楼屋顶），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置,能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响。来自9号楼四层SPECT诊断中心的放射性废水，由独立下水管道统一集中到衰变系统中，满足暂存时间要求且监测结果经审管部门认可后可解控排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理。9号楼四层SPECT诊断中心产生的放射性固体废物集中到废物库内的铅桶中，满足暂存时间要求且经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理。符合辐射环境保护管理要求。

SPECT/CT机房2内的空气在γ射线和X射线作用下、DSA机房内的空气在X射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，臭氧在常温下约50分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小；辐射工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小；DSA手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，由医院统一委托有资质单位进行处置；辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

本次扩建核医学诊断项目不改变 SPECT 诊断中心现有工作场所布局和接诊量，为丙级非密封放射性物质工作场所。SPECT/CT、DSA 扫描时产生的 X 射线；放射性核素在操作过程中产生的γ射线会造成医务人员和公众的外照射。

本项目核医学科 SPECT 诊断中心工作场所控制区出入口设置“当心电离辐射”警告标志；SPECT/CT 机房 2 入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯；防护门拟设有防夹装置和曝光时自动关闭防护门的管理措施；SPECT/CT 机房 2 内外均拟设置有急停按钮，核医学科 SPECT 诊断中心控制区出入口设置单向门禁系统；医院已为 SPECT 诊断中心辐射工作人员配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖（为 0.5mm 铅当量）、放射性污染防护服等个人防护用品，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

本项目 DSA 机房入口处设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明；防护门均为电动推拉式机房门，设有防夹装置和曝光时关闭机房门的管理措施，防护门上方拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；控制室和机房内的治疗床边均设置急停按钮；控制室墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态防护门开闭情况；控制室设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流；医院拟为本项目辐射工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜（为 0.5mm 铅当量）及介入防护手套（为 0.025mm 铅当量）等个人防护用品，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

十、辐射安全管理评价

常州市第一人民医院已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院已制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，增补相应内容，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

本项目辐射工作人员拟由常州市第一人民医院内部调配，不兼职其他放射工作，SPECT 诊断中心现有 6 名辐射工作人员、脑外科现有 8 名辐射工作人员均已分别通过“核医学”“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。医院已建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。常州市第一人民医院

已配备有辐射巡测仪1台，SPECT诊断中心已配备有辐射巡测仪1台、表面污染测量仪1台和个人剂量报警仪2台，拟为本次扩建核医学诊断项目、扩建DSA诊疗项目分别再配备个人剂量报警仪1台、2台，用于辐射防护监测和报警。此外，医院应根据相关标准要求，为扩建核医学诊断和DSA诊疗项目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，常州市第一人民医院扩建核医学诊断和DSA诊疗项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

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

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

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

四、医院取得本项目环评批复后，应及时重新申领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过3个月，最长不超过12个月。