核技术利用建设项目

江苏省人民医院宿迁医院
扩建放射诊疗项目环境影响报告表

江苏省人民医院宿迁医院

2025 年 2 月

生态环境部监制

目　录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 9 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 9 -
表 4　射线装置 ..... - 10 -
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 14 -
表 6　评价依据 ..... - 16 -
表 7　保护目标与评价标准 ..... - 20 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 34 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 40 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 82 -
表 11　环境影响分析 ..... - 116 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 185 -
表 13　结论与建议 ..... - 190 -
表 14　审批 ..... - 200 -
附图 1 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目地理位置示意图 ..... - 201 -
附图 2 江苏省人民医院宿迁医院平面布置和周围环境示意图 ..... - 202 -
附图 3 江苏省人民医院宿迁医院负二楼平面布局示意图 ..... - 203 -
附图 4 江苏省人民医院宿迁医院负一楼平面布局示意图 ..... - 204 -
附图 5 江苏省人民医院宿迁医院综合楼一楼平面布局示意图 ..... - 205 -
附图 6 江苏省人民医院宿迁医院综合楼二楼平面布局示意图 ..... - 206 -
附图 7 江苏省人民医院宿迁医院综合楼三楼平面布局示意图 ..... - 207 -
附图 8 江苏省人民医院宿迁医院综合楼四楼平面布局示意图 ..... - 208 -
附图 9 江苏省人民医院宿迁医院综合楼设备层平面布局示意图 ..... - 209 -
附图 10 江苏省人民医院宿迁医院核医学科平面布置及两区划分示意图 ..... - 210 -
附图 11 江苏省人民医院宿迁医院核医学科放射性废水下水管道布设示意图 ..... - 211 -
附图 12 江苏省人民医院宿迁医院核医学科通风系统布设示意图 ..... - 212 -
附图 13 江苏省人民医院宿迁医院放疗机房屏蔽设计平面示意图 ..... - 213 -
附图 14 江苏省人民医院宿迁医院放疗机房屏蔽设计立面示意图 ..... - 214 -

附件 1 项目委托书 ..... - 215 -
附件 2 非密封放射性物质、射线装置使用承诺书 ..... - 216 -
附件 3 辐射安全许可证 ..... - 219 -
附件 4 项目可行性研究报告批复 ..... - 225 -
附件 5 江苏省人民医院宿迁医院项目（南院区）环评批复 ..... - 227 -
附件 6 医院现有核技术利用项目情况一览表 ..... - 231 -
附件 7 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书 ..... - 235 -
附件 8 辐射环境现状监测报告 ..... - 236 -
附件 9 废旧放射源处置承诺书 ..... - 246 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">江苏省人民医院宿迁医院
（统一社会信用代码：12321300595589060D）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td colspan="2">刘强晖</td><td>联系人</td><td>徐**</td><td>联系电话</td><td colspan="2">132****6721</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">宿迁市宿城区宿支路 120 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">江苏省宿迁市经济技术开发区，东至规划绿地、南至上海路、西至世纪大道、北至广州路地块</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">宿迁市发展和改革委员会</td><td>批准文号</td><td colspan="3">宿发改投资发〔2024〕127 号</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="5">☐新建 ☐改建 ☑扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>2226</td></tr>
<tr><td rowspan="8">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☐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="7">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☑乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐Ⅱ类　☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅱ类　☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☑Ⅱ类　☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="8">/</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

江苏省人民医院宿迁医院（暨宿迁市第一人民医院，以下简称“医院”）是宿迁唯一一所公立三级甲等综合医院，是江苏省人民医院宿迁分院，南京医科大学附属宿迁第一人民医院，现有院区（即北院区）地址位于江苏省宿迁市宿城区宿支路 120 号。医院于 2023 年 7 月被国家发改委、国家卫健委确定为国家区域医疗中心项目建设单

位，按照“一院两区，总体托管”的方式全权交由江苏省人民医院运营。

根据医院“一院两区”的规划，医院在宿迁经济技术开发区上海路以北、广州路以南、世纪大道以东地块建设新院区（即南院区），由宿迁市卫生健康委员会出资***万元人民币，占地 126202m^2（折合约 189.3 亩），规划编制床位 1000 张，总建筑面积 213100 平方米，其中地上建筑面积 143100 平方米，地下建筑面积 70000 平方米；主要建设门/急诊医技综合楼（以下简称“综合楼”）、住院楼、科研楼、保障系统用房、地下停车库等及相关配套工程。江苏省人民医院宿迁医院项目（南院区）于 2024 年 5 月 14 日取得宿迁市发展和改革委员会的可行性研究报告批复，文号：宿发改投资发〔2024〕127 号，项目代码：2211-321300-04-01-921435，详见附件 4；2024年 9 月 27 日该项目取得宿迁经济技术开发区行政审批局的环评批复文件，文号：宿开审批环审〔2024〕26 号，详见附件 5。

医院拟在南院区的综合楼开展放射诊疗项目，主要包括：

1、放射治疗项目：于综合楼负二楼放疗中心新建 2 座加速器机房（1#、2#）、1 座螺旋断层放射治疗系统（简称“TOMO”）机房、1 座 CT 模拟定位机机房、1 座 MR 模拟机机房，拟于 1#加速器机房配备 1 台医用直线加速器（瓦里安 VitalBeam，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量≤20MeV）用于开展放射治疗，拟于 2#加速器机房配备 1 台医用直线加速器（医科达 Infinity，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量≤15MeV)用于开展放射治疗,拟于 TOMO 机房配备 1 台 TOMO(中核安科锐 TomoH，X 射线能量为 6MV）用于开展放射治疗；拟于 CT 模拟定位机机房配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA）、拟于 MR 模拟机配备 1 台 MR 模拟机（不属于射线装置）用于配合开展放射治疗。2 台医用直线加速器共配备 6 名辐射工作人员，1 台 TOMO 配备 5 名辐射工作人员，1 台 CT 模拟定位机配备 2 名辐射工作人员，辐射工作人员年工作时间均为 250 工作日，医用直线加速器、TOMO 年出束时间约为 1000h/台；

2、核医学项目：于综合楼负一楼新建核医学科，配备 1 台 PET/CT 及 1 台 PET/MR（不属于射线装置）配合使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 开展核素显像诊断；配备 1 台 SPECT/CT 配合使用 ^{99m}Tc 开展核素显像诊断，使用 ^{89}Sr 开展核素治疗；使用 2 枚 ^{68}Ge 放射源进行质控校准。核医学科使用 ^{18}F 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊断日最大接诊量分别为 20 人次、10 人次；使用 ^{68}Ga 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊断日最大接诊量均为 2 人次；使用 ^{64}Cu 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊

断日最大接诊量均为 2 人次；使用 ^{89}Zr 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊断日最大接诊量均为 2 人次；使用 ^{99m}Tc 配合 SPECT/CT 开展核素显像诊断日最大接诊量为 30 人次；使用使用 ^{89}Sr 开展核素治疗日最大接诊量为 2 人次。核医学科核素日等效最大操作量为 $2.41\times10^{8}Bq$，属乙级非密封放射物质工作场所。核医学科拟配备 10名辐射工作人员，年开诊 250 工作日；

3、介入放射学项目：于综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房（1#手术室、22#手术室、23#手术室），并配备 3 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA），用于开展医疗诊断和介入治疗；于综合楼四楼新建杂交手术室（19#+20#+21#手术室），配备 2 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA)和 1 台 CT(型号未定,最大管电压 150kV,最大管电流 1000mA)，用于开展医疗诊断和介入治疗；于综合楼三楼新建 1 座 ERCP 机房，配备 1 台 ERCP（型号未定，最大管电压 120kV，最大管电流 150mA），用于开展医疗诊断和介入治疗。1#手术室、22#手术室、23#手术室各配置 5 名辐射工作人员，年工作 250 工作日，每台 DSA 年出束时间约为 136.5h；杂交手术室配备 10 名辐射工作人员，年工作 250 工作日，每台 DSA 年出束时间约为 136.5h；ERCP 配备 5 名辐射工作人员，年工作 250 工作日，ERCP 年出束时间约为 70h；

4、其他医学影像诊断项目：于综合楼一楼新建 4 间 CT 机房，配备 4 台 CT（型号未定）；于综合楼一楼新建 1 间骨密度机房，配备 1 台骨密度仪（型号未定）；于综合楼一楼新建 4 间 DR 机房，配备 4 台 DR（型号未定）；于综合楼一楼新建 1 间数字胃肠机机房，配备 1 台数字胃肠机（型号未定）；于综合楼二楼新建 1 间 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定）；其他医学影像诊断项目工作人员根据项目实际建设情况配置，工作人员年工作时间不超过 250 工作日。

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，该项目需进行环境影响评价工作。

受江苏省人民医院宿迁医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位扩建放射诊疗项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部部令第 16 号），本项目新增医用直线加速器、TOMO、核医学科、DSA、ERCP 等项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用Ⅱ类射线装置的；乙级非

密封放射性物质工作场所”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。

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目情况见下表：

表 1-1 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目情况一览表

放射源

序号	放射源名称	数量	活度	类别	活动种类	用途	贮存方式与地点
1	^{68}Ge	1	9.25×10^{7}	Ⅴ类	使用	PET/CT、PET/MR质控校准	核医学科校准源库
2	^{68}Ge	2	4.60×10^{7}	Ⅴ类	使用		
3	^{22}Na	1	3.70×10^{8}	Ⅴ类	使用		

非密封放射性物质

序号	工作场所等级	核素名称	用途	日最大用量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）
1	乙级	^{18}F	PET/CT、PET/MR核素显像	1.11×10^{10}	1.11×10^{7}	2.78×10^{12}
2		^{99m}Tc	SPECT/CT核素显像	2.22×10^{10}	2.22×10^{7}	5.55×10^{12}
3		^{68}Ga	PET/CT、PET/MR核素显像	1.48×10^{9}	1.48×10^{7}	3.70×10^{11}
4		^{64}Cu	PET/CT、PET/MR核素显像	1.48×10^{9}	1.48×10^{7}	3.70×10^{11}
5		^{89}Zr	PET/CT、PET/MR核素显像	1.48×10^{9}	1.48×10^{7}	3.70×10^{11}
6		^{89}Sr	核素治疗	2.96×10^{8}	2.96×10^{7}	7.40×10^{9}
合计				3.80×10^{10}	2.41×10^{8}	9.44×10^{12}

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	使用情况	环评及审批情况	备注
1	医用直线加速器（瓦里安VitalBeam）	1	X射线：6、10MV 电子线：≤20MeV CBCT：150kV/1000mA		Ⅱ	放疗中心1#加速器机房	未使用	本次环评	拟购
2	医用直线加速器（医科达Infinity）	1	X射线：6、10MV 电子线：≤15MeV CBCT：150kV/1000mA		Ⅱ	放疗中心2#加速器机房	未使用	本次环评	拟购

3	TOMO（中核安科锐 TomoH）	1	X 射线：6MV（CT 成像：3.5MV）		II	放疗中心 TOMO 机房	未使用	本次环评	拟购
4	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	II	综合楼四楼 1#手术室	未使用	本次环评	拟购
5	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	II	综合楼四楼 22#手术室	未使用	本次环评	拟购
6	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	II	综合楼四楼 23#手术室	未使用	本次环评	拟购
7	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	II	综合楼四楼 19#手术室	未使用	本次环评	拟购
8	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	II	综合楼四楼 21#手术室	未使用	本次环评	拟购
9	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼四楼 19#、21#手术室	未使用	本次环评	拟购
10	PET/CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼负一楼核医学科 PET/CT 机房	未使用	本次环评	拟购
11	SPECT/CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房	未使用	本次环评	拟购
12	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼影像中心 CT1 室	未使用	本次环评	拟购
13	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼影像中心 CT2 室	未使用	本次环评	拟购
14	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼影像中心 CT3 室	未使用	本次环评	拟购
15	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼急诊科 CT 室	未使用	本次环评	拟购
16	DR（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼影像中心 DR1 室	未使用	本次环评	拟购
17	DR（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼影像中心 DR2 室	未使用	本次环评	拟购
18	DR（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼影像中心 DR3 室	未使用	本次环评	拟购

19	DR（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼急诊科 DR 室	未使用	本次环评	拟购
20	骨密度仪（型号未定）	1	≤120	≤20	III	综合楼一楼影像中心骨密度机房	未使用	本次环评	拟购
21	数字胃肠机（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼一楼影像中心数字胃肠机房	未使用	本次环评	拟购
22	DR（型号未定）	1	≤150	≤1000	III	综合楼二楼 DR 机房	未使用	本次环评	拟购
23	ERCP（型号未定）	1	≤120	≤150	II	综合楼三楼 ERCP 机房	未使用	本次环评	拟购
24	CT 模拟定位机	1	≤150	≤1000	III	综合楼负二楼 CT 模拟定位机机房	未使用	本次环评	拟购

二、项目选址情况

江苏省人民医院宿迁医院南院区位于宿迁经济技术开发区，东至规划绿地、南至上海路、西至世纪大道、北至广州路。本项目地理位置见附图 1，江苏省人民医院宿迁医院平面布置和周围环境示意图见附图 2。

医院本次扩建放射诊疗项目主要包括：

1、于综合楼负二楼放疗中心新建 2 座加速器机房、1 座 TOMO 机房及配套设施用房并配置 2 台医用直线加速器、1 台 TOMO、1 台 CT 模拟定位机。放疗中心四周均为土层，下方为土层，楼上为核医学科。加速器及 TOMO 机房位于放疗中心东部，3 座机房南北并列设置，由北向南依次为 1#加速器机房、2#加速器机房、TOMO 机房；3 座机房东侧、南侧、北侧均为土层，西侧为控制室、水冷机房及准备间，机房顶部高出负一楼室内地面 4.6m，机房上方为空置区域（负一楼层高 6.6m），对应一楼位置为室外道路及绿化，机房下方为土层；CT 模拟定位机位于放疗中心西部，机房东侧为控制室及过道，南侧为设备间，西侧为土层，北侧为制模室，楼上为核医学科，下方为土层。

2、于综合楼负一楼东南部新建核医学科，核医学科东侧为加速器机房上空及停车位，南侧为停车位，西侧为停车位及楼梯间，北侧为下沉庭院，下方为放疗中心，楼上为肿瘤中心的分诊大厅、化疗大厅、配置室、治疗室、值班室、过道等。

3、于综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房并配置 3 台 DSA（1#、22#、23#手术室），于综合楼四楼新建杂交手术室，并配置 2 台 DSA 和 1 台 CT（19#+20#+21#手术室），

于综合楼三楼新建 1 座 ERCP 机房并配备 1 台 ERCP。1#手术室东侧为 2#手术室（体外循环手术室），南侧为预麻间、缓冲区，西侧为控制室、UPS 间，北侧为污物通道，楼上为设备层，下方为示教室、过道；22#、23#手术室东西并列设置（东侧为 23#，西侧为 22#），手术室东侧为 24#手术室及污洗间，南侧为控制室、过道，西侧为导管室、设备间，北侧为污物通道，楼上为设备层，楼下为示教室、医生办公室、值班室、过道、耗材库、雾化治疗室等；杂交手术室东侧为缓冲间及过道，南侧、西侧为过道，北侧为控制室及过道，楼上为设备层，下方为会议室/示教室、诊断室、公共走道；ERCP 机房东侧为内镜超声室，南侧为过道，西侧为麻醉准备/复苏室，北侧为控制室，楼上为更衣室、过道、配血室等，楼下为治疗室、被服库、值班室、护士站等。

4、其他医学影像诊断项目中，3 台 CT、3 台 DR、1 台骨密度仪、1 台数字胃肠机位于综合楼一楼影像中心，1 台 CT、1 台 DR 位于综合楼一楼急诊科，1 台 DR 位于综合楼二楼 DR 机房。

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目 50m 评价范围东侧至院外空地、绿化区域，南侧、西侧、北侧均位于本院区范围内，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、周围其他医务人员、患者、患者家属以及其他公众等，无居民区、学校等环境敏感目标。本项目其他医学影像诊断项目涉及的Ⅲ类射线装置分散布置在综合楼的不同楼层、不同科室，即使保守以整个综合楼周围 50m 为参考范围，范围内主要院内区域及院区东西两侧道路及绿化等，无学校、居民区等环境敏感目标。

本项目 3 座放疗机房集中设置于综合楼最底层的东端，治疗室与控制室分开设置，避开了儿科病房、产房等特殊人群，放疗机房的选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；核医学科设置在负一楼，与四周的地下车库有明确边界隔离，位置相对独立，不邻接产科、儿科、食堂等部门，出入口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域，核医学人员、物流通道均相对独立，核医学的选址符合《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；DSA、ERCP 及其他Ⅲ类射线装置均设置独立机房，机房满足使用设备的布局要求，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，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

江苏省人民医院宿迁医院（暨宿迁市第一人民医院）现持有江苏省生态环境厅2024年3月25日颁发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[01329]，有效期至2026年9月25日，许可种类和范围为：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，详见附件3。

医院现有的核技术利用项目均已履行环保手续，无历史遗留环保问题，详见附件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
1	^{68}Ge	$9.25\times10^{7}\times1$	Ⅴ类	使用	质控校准	核医学科	核医学科校准源库	/
2	^{68}Ge	$4.60\times10^{7}\times2$	Ⅴ类	使用	质控校准	核医学科	核医学科校准源库	/
3	^{22}Na	$3.70\times10^{8}\times1$	Ⅴ类	使用	质控校准	核医学科	核医学科校准源库	/

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	^{18}F	液态/低毒	使用	7.40×10^{9}	7.40×10^{6}	1.85×10^{12}	PET/CT 显像诊断	注射， 很简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
2	^{18}F	液态/低毒	使用	3.70×10^{9}	3.70×10^{6}	9.25×10^{11}	PET/MR 显像诊断	注射， 很简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
3	^{99m}Tc	液态/低毒	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^{7}	5.55×10^{12}	SPECT/CT 显像诊断	注射， 很简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
4	^{68}Ga	液态/低毒	使用	7.40×10^{8}	7.40×10^{6}	1.85×10^{11}	PET/CT 显像诊断	注射， 简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
5	^{68}Ga	液态/低毒	使用	7.40×10^{8}	7.40×10^{6}	1.85×10^{11}	PET/MR 显像诊断	注射， 简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用

6	^{64}Cu	液态/低毒	使用	7.40×10^{8}	7.40×10^{6}	1.85×10^{11}	PET/CT 显像诊断	注射， 简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
7	^{64}Cu	液态/低毒	使用	7.40×10^{8}	7.40×10^{6}	1.85×10^{11}	PET/MR 显像诊断	注射， 简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
8	^{89}Zr	液态/低毒	使用	7.40×10^{8}	7.40×10^{7}	1.85×10^{11}	PET/CT 显像诊断	注射， 简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
9	^{89}Zr	液态/低毒	使用	7.40×10^{8}	7.40×10^{7}	1.85×10^{11}	PET/MR 显像诊断	注射， 简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用
10	^{89}Sr	液态/低毒	使用	2.96×10^{8}	2.96×10^{7}	7.40×10^{9}	核素治疗	注射， 简单操作	核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科门诊使用

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
1	医用直线加速器	II	1	瓦里安 VitalBeam	电子	X 射线：6，10MV 电子线：≤20MeV CBCT：150kV	X 射线最高剂量率： 6MV（3F）：1400cGy/min 10MV：600cGy/min 电子线最高剂量率：1000cGy/min CBCT：1000mA	放射治疗	放疗中心 1#加速器机房	新购
2	医用直线加速器	II	1	医科达 Infinity	电子	X 射线：6，10MV 电子线：≤15MeV CBCT：150kV	X 射线最高剂量率： 6MV：1400cGy/min 10MV：2200cGy/min 电子线最高剂量率：1000cGy/min CBCT：1000mA	放射治疗	放疗中心 2#加速器机房	新购

3	TOMO	Ⅱ	1	中核安科锐 TomoH	电子	X 射线：6MV CT 成像：3.5MV	治疗：860cGy/min 成像：45cGy/min	放射治疗	TOMO 机房	新购

（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	未定	150	1250	医疗诊断，介入治疗	综合楼四楼 1#手术室	新购
2	DSA	Ⅱ	1	未定	150	1250	医疗诊断，介入治疗	综合楼四楼 22#手术室	新购
3	DSA	Ⅱ	1	未定	150	1250	医疗诊断，介入治疗	综合楼四楼 23#手术室	新购
4	ERCP	Ⅱ	1	未定	120	150	医疗诊断，介入治疗	综合楼三楼 RECP 机房	新购
5	DSA	Ⅱ	1	未定	150	1250	医疗诊断，介入治疗	综合楼四楼 19#手术室	新购
6	DSA	Ⅱ	1	未定	150	1250	医疗诊断，介入治疗	综合楼四楼 21#手术室	新购
7	CT	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼四楼 19#、21#手术室	新购
8	PET/CT	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼负一楼核医学科 PET/CT 机房	新购
9	SPECT/CT	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房	新购
10	CT	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼影像科 CT1 室	新购

11	CT	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼影像科 CT2 室	新购
12	CT	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼影像科 CT3 室	新购
13	CT	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼急诊科 CT 室	新购
14	DR	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼影像科 DR1 室	新购
15	DR	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼影像科 DR2 室	新购
16	DR	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼影像科 DR3 室	新购
17	DR	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼急诊科 DR 室	新购
18	骨密度仪	Ⅲ	1	未定	120	20	医疗诊断	综合楼一楼影像中心骨密度机房	新购
19	数字胃肠机	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼一楼影像中心数字胃肠机机房	新购
20	DR	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼二楼 DR 机房	新购
21	CT 模拟定位机	Ⅲ	1	未定	150	1000	医疗诊断	综合楼负二楼 CT 模拟定位机机房	新购

（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、擦拭废纸等，通风系统更换下来的废活性炭	固体	^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr	/	平均约 31.75kg	约 381kg	/	存放于核医学科专用铅桶与放射性废物间内	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，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、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交由有资质单位处理。
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc	/	平均约 17.08m^3	约 205m^3	/	流入衰变池中暂存	所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L。满足排放条件的放射性废水再经医院污水处理站处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理。
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放

		^{89}Sr						
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约50分钟后可自然分解为氧气
退役放射源	固态	^{68}Ge	/	/	/	/	核医学科校准源库	原生产厂家回收

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），中华人民共和国主席令第9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》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，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》，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》（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）《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； （11）《放射性物品道路运输管理规定》（2016年修正本），交通运输部令2016年第71号公布，2016年9月2日起施行； （12）《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行； （13）《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；

	（14）《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，2016年3月7日起施行； （15）《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； （16）《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； （17）《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； （18）《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； （19）《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； （20）《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； （21）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布； （22）《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2018年6月9日发布，2022年8月16日发布； （23）《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》，苏自然资函〔2023〕880号，2023年10月10日发布； （24）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； （25）《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； （26）《产业结构调整指导目录（2024年本）》，国家发展和改革委员会令第7号，2023年12月27日发布，2024年2月1日起施行； （27）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，国家核安全局，辐射函〔2023〕

	20号，2023年9月13日发布； （28）《生态环境分区管控管理暂行规定》，生态环境部，环环评〔2024〕41号，2024年7月8日发布，自公布之日起施行。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； （3）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （4）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； （5）《医疗机构污水处理工程技术标准》（GB 51459-2024）； （6）《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和α发射体》（GB 14056.1-2008）； （7）《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）； （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）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； （11）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； （12）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （13）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （14）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； （15）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （16）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （17）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （18）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）； （19）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）。
其他	**附图：** （1）江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目地理位置示意图；

	（2）江苏省人民医院宿迁医院平面布置和周围环境示意图； （3）江苏省人民医院宿迁医院负二楼平面布局示意图； （4）江苏省人民医院宿迁医院负一楼平面布局示意图； （5）江苏省人民医院宿迁医院综合楼一楼平面布局示意图； （6）江苏省人民医院宿迁医院综合楼二楼平面布局示意图； （7）江苏省人民医院宿迁医院综合楼三楼平面布局示意图； （8）江苏省人民医院宿迁医院综合楼四楼平面布局示意图； （9）江苏省人民医院宿迁医院综合楼设备层平面布局示意图； （10）江苏省人民医院宿迁医院核医学科平面布局及两区划分示意图； （11）江苏省人民医院宿迁医院核医学科放射性废水下水管道布设示意图； （12）江苏省人民医院宿迁医院核医学科通风系统布设示意图； （13）江苏省人民医院宿迁医院放疗机房屏蔽设计平面示意图； （14）江苏省人民医院宿迁医院放疗机房屏蔽设计立面示意图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）非密封放射性物质、射线装置使用承诺书； （3）辐射安全许可证； （4）项目可行性研究报告批复； （5）江苏省人民医院宿迁医院项目（南院区）环评批复； （6）医院现有核技术利用项目情况一览表； （7）江苏省生态环境分区管控综合查询报告书； （8）辐射环境现状监测报告。

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，甲级取半径 500m 的范围，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次扩建放射诊疗项目工作场所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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于重点管控单元“宿迁市中心城区（宿城区）”（编码：ZH32130220176）内，不在生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内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。

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目 50m 评价范围东侧至院外空地、绿化区域，南侧、西侧、北侧均位于本院区范围内，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、周围其他医务人员、患者、患者家属以及其他公众等，无居民区、学校等环境敏感目标。本项目其他医学影像诊断项目涉及的Ⅲ类射线装置分散布置在综合楼的不同楼层、不同科室，即使保守以整个综合楼周围 50m 为参考范围，范围内主要院内区域及院区东西两侧道路及绿化等，无学校、居民区等环境敏感目标。

本项目保护目标详见表 7-1 至表 7-5。

表 7-1 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目医用直线加速器、TOMO 保护目标一览表

保护对象类型	场所	保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	放疗中心 1#加速器、2#加速器、TOMO	医师、技师、物理师、护士	西侧，控制室	毗邻	6 人	5mSv/a
公众	综合楼负一楼地下车库	其他工作人员、病患、患者家属、其他公众等	东侧、南侧、北侧	约 1m	流动人员	0.1mSv/a
	核医学科		西侧	约 2m	约 15 人	
	诊室、值班室、放疗中心大厅、等候区、卫生间		西侧	约 3m	约 18 人	
	综合楼外道路、绿化		上方	约 7m	流动人员	

表 7-2 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目核医学科保护目标一览表

保护对象类型	场所	保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	核医学科	医师、技师、护士	控制室、分装室等	核医学科内开展工作	10 人	5mSv/a
公众	地下车库	其他工作人员、病患、患者家属、其他公众等	东侧、南侧、西侧、北侧	约 1m	流动人员	0.1mSv/a
	放疗中心		楼下	毗邻	约 15 人	
	肿瘤中心		楼上	毗邻	约 15 人	

表 7-3 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目 1#手术室 DSA 保护目标一览表

保护对象类型	场所	保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	1#手术室	医师、护士	DSA 机房内	同室操作	4 人	5mSv/a
		技师	西侧，控制室	毗邻	1 人	
公众	体外循环手术室、过道、电梯厅等	其他工作人员、病患、患者家属、其他公众等	东侧	毗邻	约 20 人	0.1mSv/a
	预麻间、过道、药品库等		南侧	毗邻	约 15 人	
	UPS 间、过道等		西侧	毗邻	约 15 人	

	休息区兼避难间、住院楼病房		北侧	约 2m	约 25 人	
	设备层		楼上	毗邻	/	
	示教室、过道		楼下	毗邻	约 10 人	

表 7-4 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目 22#、23#手术室 DSA 保护目标一览表

保护对象类型	场所	保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	22#、22#手术室	医师、护士	DSA 机房内	同室操作	8 人	5mSv/a
		技师	南侧，控制室	毗邻	2 人	
公众	24#手术室、过道等	其他工作人员、病患、患者家属、其他公众等	东侧	毗邻	约 5 人	0.1mSv/a
	急救电梯、缓冲间、26#手术室、过道等		南侧	约 3m	约 15 人	
	麻醉复苏间、药品储藏间、过道、卫生间、护士站等		西侧	约 3m	约 20 人	
	办公室、过道、更衣室、配血室		北侧	约 10m	约 25 人	
	设备层		楼上	毗邻	/	
	办公室、示教室、值班室		楼下	毗邻	约 20 人	

表 7-5 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目杂交手术室保护目标一览表

保护对象类型	场所	保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	杂交手术室（19#、20#、19#手术室）	医师、护士	DSA 机房内	同室操作	7 人	5mSv/a
		技师	北侧，控制室	毗邻	3 人	
公众	库房、楼梯间、交流室	其他工作人员、病患、患者家属、其他公众等	东侧	约 2m	约 12 人	0.1mSv/a
	UPS 间、排烟机房、净化监控中心机房、科研中心		南侧	约 1.5m	约 30 人	

	电梯厅、过道		西侧	约 1.5m	约 10 人	
	过道、库房、16#~18#手术室		北侧	约 6m	约 22 人	
	设备层		楼上	毗邻	/	
	会诊室、示教室、过道		楼下	毗邻	约 20 人	

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。

评价标准

一、《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	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	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； ③眼晶体的年当量剂量，15mSv； ④皮肤的年当量剂量，50mSv。

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。

1.2 非密封源工作场所的分级

级　别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^9$
乙	2×10^7～4×10^9
丙	豁免活度值以上～2×10^7

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。

表 B11 工作场所放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm^2

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

二、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）：

4.2 治疗机房布置要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。γ刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

三、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

4 一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-02002 中剂量限值相关规定。

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

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

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼

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

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

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

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

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

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

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

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

四、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

6.1 屏蔽要求

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

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

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向

控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、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：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

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

8.2 工作场所监测

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
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和存有放射性物质的装置/设	不少于 1次/月

	备的表面	
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

五、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

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。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

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
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
双管头或多管头 X 射线设备 [a]（含 C 形臂）	30	4.5
单管头 X 射线设备 [b]（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔 CBCT 坐位扫描/站位扫描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5

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
口腔 CBCT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2.0	1.0
透射机房、骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、碎石机房、模拟定位机房、乳腺摄影机房、乳腺 CBCT 机房	1.0	1.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

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。

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。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

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2mmPb。

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。

六、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号）

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第6.1.5节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。本条规定的具体含义为：

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

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

七、本项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《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）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号）并考虑本项目实际情况确定：

（一）剂量约束值

职业人员年有效剂量不超过**5mSv**，公众年有效剂量不超**0.1mSv**。

（二）周围剂量当量率控制水平

1、DSA机房、ERCP机房屏蔽墙体、防护门、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处的周围剂量当量率应不大于**2.5μSv/h**；Ⅲ类射线装置机房外周围剂量当量率控制水平应满足GBZ 130-2020中6.3条要求；

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

3、本项目放疗机房位于负二楼，放疗机房顶高出负一楼室内地面 4.6m，对应一楼地面位置为综合楼东侧道路及绿化。放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c 需考虑负二楼、负一楼、机房顶及一楼地面等位置。

负二楼放疗机房周围及机房顶周围剂量当量率参考控制水平 H_c 见下表：

参考点		居留因子 T	使用因子 U	周剂量控制值（μSv/周）	周工作时间（h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）		
						$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	**H_c**
1#加速器机房	东墙屏蔽区（土层）	/	/	/	20	/	/	**/**
	南墙主屏蔽（2#加速器机房）	1/2	1/4	100		40	10	**10**
	南墙次屏蔽（2#加速器机房）	1/2	1/4	100		40	10	**10**
	西侧迷路墙外（水冷机房）	1/16	1	100		80	10	**10**
	西侧迷路墙外（控制室）	1	1	100		5	2.5	**2.5**
	迷路入口防护门	1/8	1	100		40	10	**10**
	北侧屏蔽区（土层）	/	/	/		/	/	**/**
	屋顶主屏蔽（机房上空）	/	/	/		/	/	**100**
	屋顶次屏蔽（机房上空）	/	/	/		/	/	**100**
2#加速器	东墙屏蔽区（土层）	/	/	/	20	/	/	**/**
	南墙主屏蔽（TOMO 机	1/2	1/4	100		40	10	**10**

机房	房）							
	南墙次屏蔽（TOMO 机房）	1/2	1/4	100		40	10	**10**
	西侧迷路墙外（水冷机房）	1/16	1	100		80	10	**10**
	西侧迷路墙外（控制室）	1	1	100		5	2.5	**2.5**
	迷路入口防护门	1/8	1	100		40	10	**10**
	北侧屏蔽区（1#加速器机房）	1/2	1/4	100		40	10	**10**
	屋顶主屏蔽（机房上空）	/	/	/		/	/	**100**
	屋顶次屏蔽（机房上空）	/	/	/		/	/	**100**
TOMO 机房	东墙屏蔽区（土层）	/	/	/	20	/	/	/
	南墙主屏蔽（土层）	/	/	/		/	/	/
	南墙次屏蔽（土层）	/	/	/		/	/	/
	西侧迷路墙外（水冷机房）	1/16	1	100		80	10	**10**
	西侧迷路墙外（控制室）	1	1	100		5	2.5	**2.5**
	迷路入口防护门	1/8	1	100		40	10	**10**
	北侧屏蔽区（2#加速器机房）	1/2	1/4	100		40	10	**10**
	屋顶主屏蔽（机房上空）	/	/	/		/	/	**100**
	屋顶次屏蔽（机房上空）	/	/	/		/	/	**100**

注：放疗机房顶部为封闭区域，人员不可达。

负一楼放疗机房周围及机房上方地面周围剂量当量率参考控制水平 H_c 见下表：

参考点		居留因子 T	使用因子 U	周剂量控制值（μSv/周）	周工作时间（h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）		
						$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	**H_c**
1#加速器	东墙外（地下车库）	1/40	1	5	20	10	10	**10**
	西墙外（人员不可达区域）	1/40	1	5		10	10	**10**

机房	北墙外（过道）	1/5	1/4	5		5	10	**5**
	楼上地面（道路、绿化）	1/40	1/4	5		40	10	**10**
2#加速器机房	东墙外（地下车库）	1/40	1	5	20	10	10	**10**
	西墙外（人员不可达区域）	1/40	1	5		10	10	**10**
	楼上地面（道路、绿化）	1/40	1/4	5		40	10	**10**
TOMO机房	东墙外（地下车库）	1/40	1	5	20	10	10	**10**
	南墙外（地下车库）	1/40	1/4	5		40	10	**10**
	西墙外（人员不可达区域）	1/40	1	5		10	10	**10**
	楼上地面（道路、绿化）	1/40	1/4	5		40	10	**10**

注：负一楼核医学科与加速器机房之间留有隔振缓冲区，该区域封闭，人员不可达。

（三）表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见下表：

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

八、参考资料：

（1）《辐射防护导论》，方杰主编。

（2）《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强著。

（3） ICRP103 号出版物，2007 年，国际放射防护委员会。

（4）《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。

江苏省原野、道路、建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内

测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

注：1、根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，上表数据不含宇宙射线电离成分；
2、辐射现状评价时采用“测值范围”作为辐射环境本底水平范围进行评价。

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

江苏省人民医院宿迁医院南院区位于宿迁经济技术开发区，东至规划绿地、南至上海路、西至世纪大道、北至广州路。

医院本次扩建放射诊疗项目主要包括：

1、于综合楼负二楼放疗中心新建 2 座加速器机房、1 座 TOMO 机房及配套设施用房并配置 2 台医用直线加速器、1 台 TOMO、1 台 CT 模拟定位机。放疗中心四周均为土层，下方为土层，楼上为核医学科。加速器及 TOMO 机房位于放疗中心东部，3 座机房南北并列设置，由北向南依次为 1#加速器机房、2#加速器机房、TOMO 机房；3 座机房东侧、南侧、北侧均为土层，西侧为控制室、水冷机房及准备间，上方为机房上空，下方为土层；CT 模拟定位机位于放疗中心西部，机房东侧为控制室及过道，南侧为设备间，西侧为土层，北侧为制模室，楼上为核医学科，下方为土层。

2、于综合楼负一楼东南部新建核医学科，核医学科东侧为加速器机房上空及停车位，南侧为停车位，西侧为停车位及楼梯间，北侧为下沉庭院，下方为放疗中心，楼上为肿瘤中心的分诊大厅、化疗大厅、配置室、治疗室、值班室、过道等。

3、于综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房并配置 3 台 DSA（1#、22#、23#手术室），于综合楼四楼新建杂交手术室，并配置 2 台 DSA 和 1 台 CT（19#+20#+21#手术室），于综合楼三楼新建 1 座 ERCP 机房并配备 1 台 ERCP。1#手术室东侧为 2#手术室，南侧为预麻间、缓冲区，西侧为控制室、UPS 间，北侧为污物通道，楼上为设备层，下方为示教室；22#、23#手术室东西并列设置（东侧为 23#，西侧为 22#），手术室东侧为 24#手术室及污洗间，南侧为过道，西侧为导管室、设备间，北侧为污物通道，楼上为设备层，楼下为示教室、医生办公室、值班室、过道、耗材库、雾化治疗室等；杂交手术室东侧为缓冲间及过道，南侧、西侧为过道，北侧为控制室及过道，楼上为设备层，下方为会议室/示教室、诊断室、公共走道；ERCP 机房东侧为内镜超声室，南侧为过道，西侧为麻醉准备/复苏室，北侧为控制室，楼上为更衣室、过道、配血室等，楼下为治疗室、被服库、值班室、护士站等。

4、其他医学影像诊断项目中，3 台 CT、3 台 DR、1 台骨密度仪、1 台数字胃肠

机位于综合楼一楼影像中心，1 台 CT、1 台 DR 位于综合楼一楼急诊科，1 台 DR 位于综合楼二楼 DR 机房。

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目 50m 评价范围均位于本院区范围内，评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、周围其他医务人员、患者、患者家属以及其他公众等。

本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-2。



图 8-1 江苏省人民医院宿迁医院（南院区）现状



图 8-2 江苏省人民医院宿迁医院（南院区）综合楼拟建址

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）和《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，于医院扩建放射诊疗项目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、表 8-5，监测点位示意图见图 8-3。

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

监测日期及监测条件见表 8-1。

表 8-1 检测日期及监测条件

检测日期	天气	温度	湿度
2024 年 10 月 15 日	多云	25℃	51%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 8），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。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m，仪器读数稳定后读取数据。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，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

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。

1、γ辐射剂量率

γ辐射剂量率检测仪器见表 8-2。

表 8-2 γ辐射剂量率检测仪器

检测日期	仪器设备名称	设备型号	设备编号	设备信息
2024 年 10 月 15 日	X-γ辐射监测仪	6150 AD 6/H+6150 AD-b/H	NJRS-126	能量响应：20keV～7MeV 测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h 检定单位：江苏省计量科学研究院 检定证书：Y2023-0173796 检定有效期：2023.10.30~2024.10.29

γ辐射剂量率检测结果见表 8-3。

表 8-3 扩建放射诊疗项目拟建址及其周围γ辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	备注
1	综合楼拟建址北部	74±2	室外道路
2	综合楼拟建址中部	74±3	室外道路
3	综合楼拟建址南部	75±2	室外道路
4	综合楼拟建址东侧（北部）	74±2	室外道路
5	综合楼拟建址东侧（中间）	76±3	室外道路
6	综合楼拟建址东侧（南部）	74±2	室外道路
7	综合楼拟建址南侧	75±1	室外道路
8	综合楼拟建址西侧（南部）	74±1	室外道路
9	综合楼拟建址西侧（中间）	74±3	室外道路
10	综合楼拟建址西侧（北部）	74±2	室外道路
11	综合楼拟建址北侧	77±3	室外道路

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值；

2、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 $\dot{D}=C_f(E_f\dot{X}-\mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中，C_f 为仪器量程检定/校准因子；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（n≥10）；μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房室内取 0.8；$\dot{X}_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值（30nGy/h）。

由表 8-3 监测结果可知，江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目拟建址及其周围环境γ辐射剂量率在 74nGy/h～77nGy/h 之间，处于江苏省道路环境天然γ辐射剂量率水平 18.1nGy/h~102.3nGy/h 范围内，属江苏省环境天然γ辐射剂量率本底水平。

2、β表面污染水平

检测仪器见表 8-4。

表 8-4 β表面污染水平检测仪器

检测日期	仪器设备名称	设备型号	设备编号	设备信息
2024 年 10 月 15 日	α、β表面污染测量仪	CoMo 170	NJRS-043	测量范围：0cps～20000cps 检定单位：江苏省计量科学研究院 检定证书：Y2024-0097398 检定有效期：2024.9.24~2025.9.23

β表面污染水平检测结果见表 8-5。

表 8-5 扩建放射诊疗项目拟建址及其周围β表面污染水平检测结果

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm²）
1	综合楼拟建址北部	＜LLD
2	综合楼拟建址中部	＜LLD
3	综合楼拟建址南部	＜LLD
4	综合楼拟建址东侧	＜LLD
5	综合楼拟建址东侧	＜LLD
6	综合楼拟建址东侧	＜LLD
7	综合楼拟建址南侧	＜LLD
8	综合楼拟建址西侧	＜LLD
9	综合楼拟建址西侧	＜LLD
10	综合楼拟建址西侧	＜LLD
11	综合楼拟建址北侧	＜LLD

注：β表面放射性污染水平仪器探测下限（LLD）为 0.08Bq/cm^2。

由表 8-5 监测结果可知，江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目拟建址及其周围环境β表面污染水平均小于 0.08Bq/cm^2。

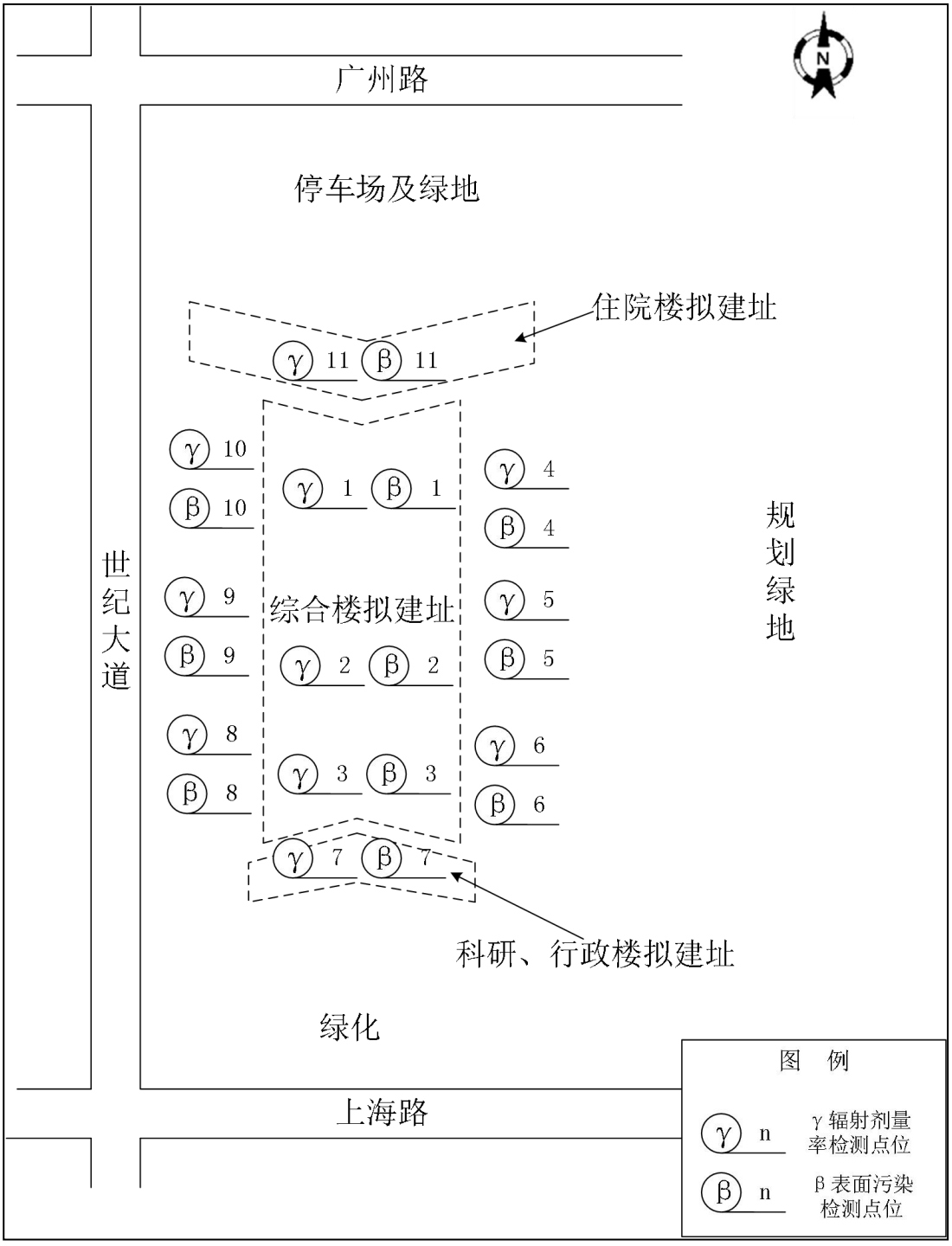

图 8-3 江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目拟建址及其周围环境γ辐射剂量率、β表面污染检测点位示意图

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

江苏省人民医院宿迁医院拟在综合楼负二楼放疗中心新建 2 座加速器机房（1#、2#）、1 座 TOMO 机房、1 座 CT 模拟定位机机房，拟于 1#加速器机房配备 1 台医用直线加速器（瓦里安 VitalBeam，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量≤20MeV）用于开展放射治疗，拟于 2#加速器机房配备 1 台医用直线加速器（医科达 Infinity，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量≤15MeV）用于开展放射治疗，拟于 TOMO 机房配备 1 台 TOMO（中核安科锐，X 射线能量为 6MV）用于开展放射治疗；拟于 CT 模拟定位机机房配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA）用于配合开展放射治疗；拟于综合楼负一楼新建核医学科，配备 1 台 PET/CT 及 1 台 PET/MR（不属于射线装置）配合使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 开展核素显像诊断，配备 1 台 SPECT/CT 配合使用 ^{99m}Tc 开展核素显像诊断，使用 ^{89}Sr 开展核素治疗；拟于综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房（1#手术室、22#手术室、23#手术室），并配备 3 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA），用于开展医疗诊断和介入治疗；拟于综合楼四楼新建杂交手术室（19#+20#+21#手术室），配备 2 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA）和 1 台 CT（型号未定，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA），用于开展医疗诊断和介入治疗；于综合楼三楼新建 1 座 ERCP 机房，配备 1 台 ERCP（型号未定，最大管电压 120kV，最大管电流 150mA），用于开展医疗诊断和介入治疗；拟于综合楼一楼新建 4 间 CT 机房，配备 4 台 CT（型号未定）；于综合楼一楼新建 1 间骨密度机房，配备 1 台骨密度仪（型号未定）；于综合楼一楼新建 4 间 DR 机房，配备 4 台 DR（型号未定）；于综合楼一楼新建 1 间数字胃肠机机房，配备 1 台数字胃肠机（型号未定）；于综合楼二楼新建 1 间 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定）。医用直线加速器、TOMO、DSA、ERCP 均属于Ⅱ类射线装置，PET/CT、SPECT/CT、CT、DR、骨密度仪、数字胃肠机均属于Ⅲ类射线装置，核医学所用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr 等核素药物均属于非密封放射性物质，2 枚 ^{68}Ge 校准源均为Ⅴ类放射源，核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（一）放射治疗项目

1、医用直线加速器

江苏省人民医院宿迁医院拟在新院区综合楼负二楼放疗中心新建 2 座加速器机房，配置 2 台医用直线加速器，用于开展放射治疗。常见医用直线加速器外观见图 9-1、图 9-2，综合楼负二楼放疗中心的医用电子直线加速器机房平面布置及周围环境示意图详见附图 3。

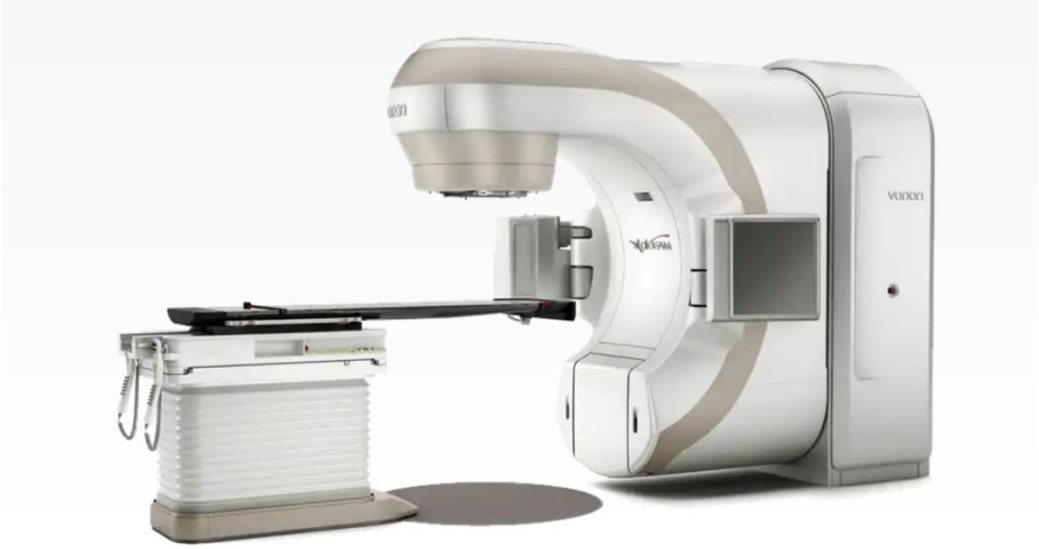

图 9-1 瓦里安 VitalBeam 型医用直线加速器外观示意图

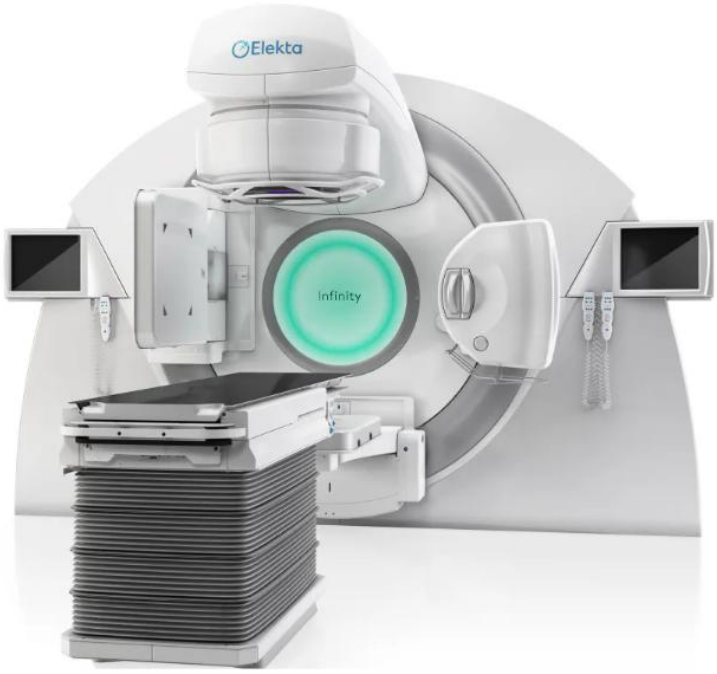

图 9-2 医科达 Infinity 型医用直线加速器外观示意图

电子直线加速器至少要包括一个加速场所（加速管）、一个大功率微波源和波导系统、控制系统、射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。医用电子直线加速器系统结构示意图见图 9-3。

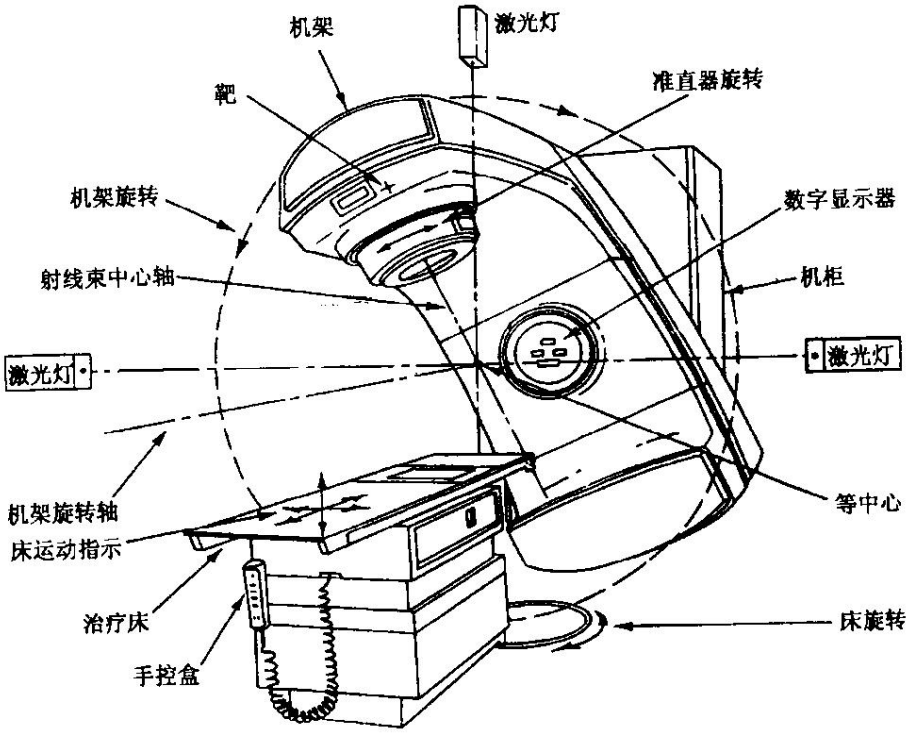

图 9-3 医用电子直线加速器基本结构示意图

医院拟引进的医用电子直线加速器将具备两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，本项目拟购医用电子直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用电子直线加速器技术参数情况一览表

编　号	1#	2#
型　号	瓦里安 VitalBeam	医科达 Infinity
数　量	1 台	1 台
位　置	综合楼负二楼放疗中心 1#加速器机房	综合楼负二楼放疗中心 2#加速器机房

主要技术指标	X 射线能量：6、10MV 电子线能量：≤20MeV CBCT：150kV/1000mA	X 射线能量：6、10MV 电子线能量：≤15MeV CBCT：150kV/1000mA
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.25m	1.25m
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	6MV（3F）：1400cGy/min 10MV：600cGy/min	6MV：1400cGy/min 10MV：2200cGy/min
距靶 1m 处电子线最大剂量率	1000cGy/min	1000cGy/min
最大照射野大小	40cm×40cm	40cm×40cm
机架旋转	360°	360°
靶材料	钨合金	钨合金
用　途	放射治疗	放射治疗

2、TOMO

江苏省人民医院宿迁医院拟在综合楼负二楼放疗中心新建 1 座 TOMO 机房，并配备 1 台 TOMO 用于开展放射治疗。常见 TOMO 外观见图 9-4，综合楼负二楼放疗中心的 TOMO 机房平面布置及周围环境示意图详见附图 3。

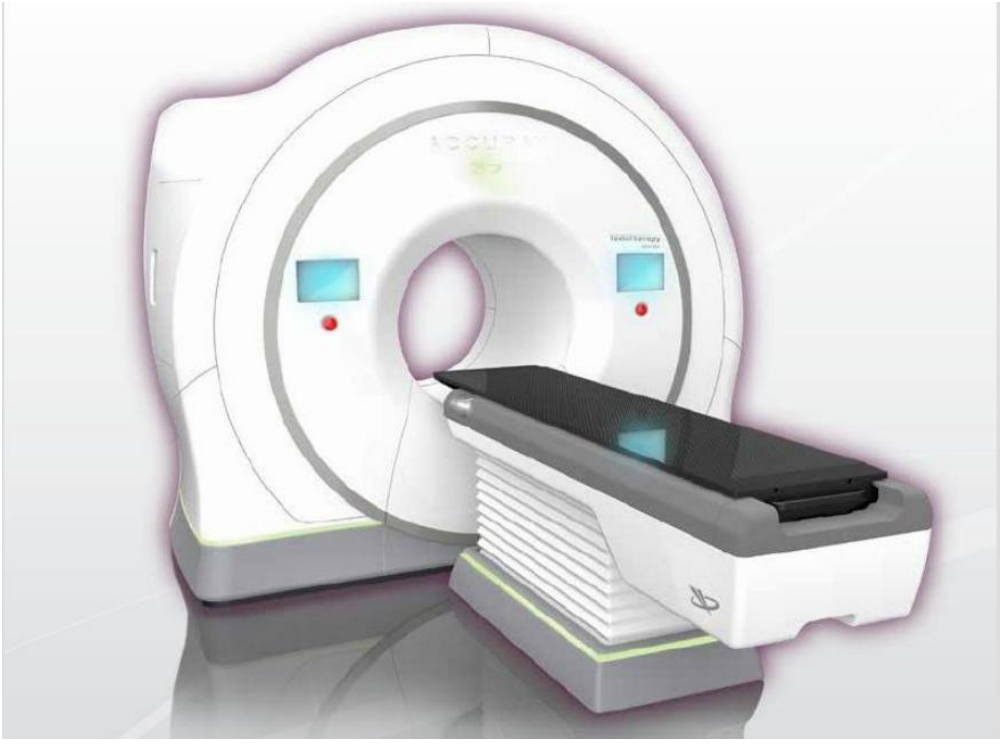

图 9-4 中核安科锐 TomoH 型 TOMO 外观示意图

螺旋断层放射治疗系统（TOMO）包括以下部分：

（1）旋转机架：直线加速器部分、CT 探测器子系统、温控系统安装在旋转机架上；

（2）患者治疗床：带有复合材料的平板床面，用于支撑患者和旋转孔内移动患者；

（3）激光定位系统：有利于确定床上患者的初始位置，在断层图像匹配后也可实现修正患者位置；

（4）操作台工作站：控制室内，操作人员可控制和监视断层图像的采集、患者定位和治疗情况；

（5）状态控制台：配有选择步骤类型的钥匙开关，开始、停止出束、紧急停止按钮及其状态指示灯；

（6）计划系统工作站：用于治疗 CT 图像采集和组织定义，评估及保存优化治疗计划；

（7）共享数据库服务器：包含整个系统所使用的忠者和机器数据；

（8）最优化引擎：采用剂量优化和剂量计算，该设备采用专用硬件来加速优化和剂量计算过程。

TOMO 系统结构示意图见图 9-5。

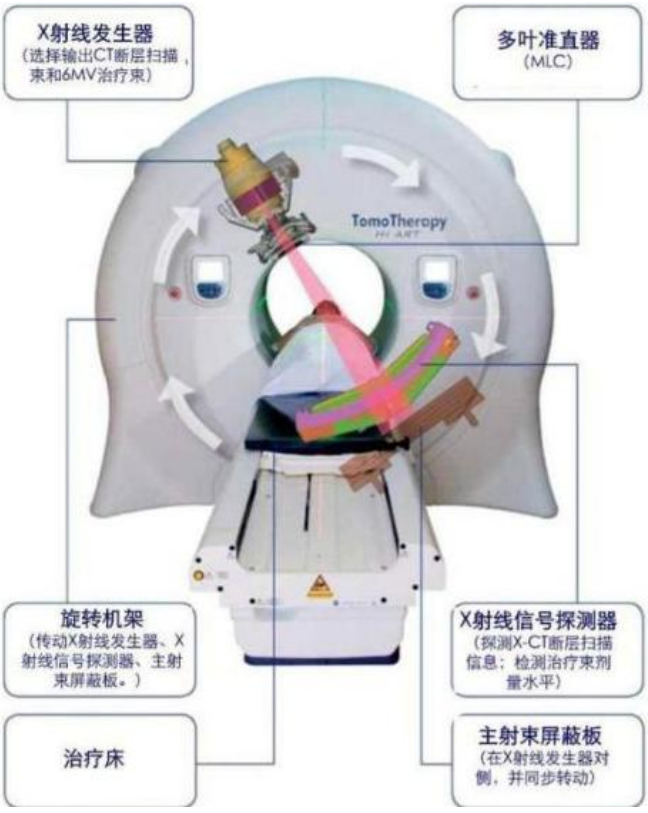

图 9-5 TOMO 系统结构示意图

本项目拟引进的中核安科锐 TomoH 型 TOMO 主要技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目 TOMO 主要技术参数一览表

项目名称	技术参数
型号	中核安科锐 TomoH 型
位置	综合楼负二楼放疗中心 TOMO 机房
主要技术指标	X 射线治疗能量：6MV CT 成像能量：3.5MV
源轴距 SAD	0.85m
等中心点至机房地坪的高度	1.13m
距靶 0.85m 处 X 辐射剂量率	治疗：860cGy/min 成像：45cGy/min
泄漏辐射比率	0.1%
最大照射野大小	5cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
主射束屏蔽板	12.7cm 铅
用途	放射治疗

3、CT 模拟定位机

江苏省人民医院宿迁医院拟于综合楼负二楼放疗中心新增 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压≤150kV，最大管电流≤1000mA）用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。常见的 CT 模拟定位机外观如图 9-6 所示。



图 9-6 常见 CT 模拟定位机外观示意图

CT 模拟定位机是肿瘤放射治疗过程中用到的重要设备之一，在放射治疗中担负着模拟定位、等中心（位置）验证等重要工作，是整个放射治疗中重要的一环，实际上是一台特殊的 X 射线机。

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

本项目拟配备的模拟定位机主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 本项目模拟定位机技术参数情况一览表

项目	技术参数
设备	CT 模拟定位机
型号	未定
位置	综合楼负二楼放疗中心 CT 模拟定位机机房
额定管电压	≤150kV
额定管电流	≤1000mA

（二）核医学科项目

江苏省人民医院宿迁医院拟在综合楼负一楼新建核医学科，新增 1 台 PET/CT 和 1 台 PET/MR（不属于射线装置）配合使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 开展核素显像诊断，新增 1 台 SPECT/CT 配合使用 ^{99m}Tc 开展核素显像诊断，使用 ^{89}Sr 开展核素治疗。

1、PET/CT 诊断项目

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要有扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 结构示意图见图 9-7。

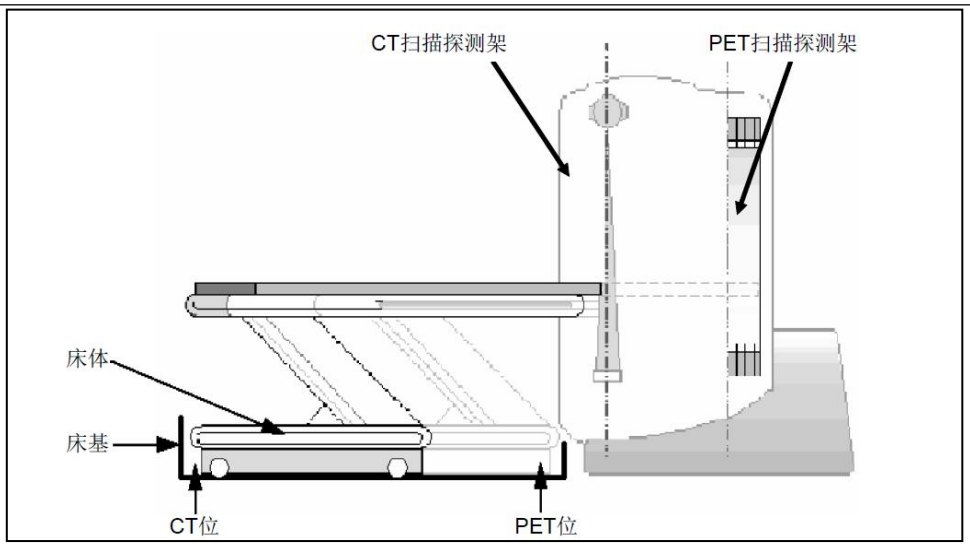

图 9-7 PET/CT 结构示意图

本项目拟新增的 1 台 PET/CT 主要技术参数如下：

表 9-4 PET/CT 主要技术参数一览表

项　目	参　数
型号	未定
位置	综合楼负一楼核医学科 PET/CT 机房
额定管电压	≤150kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
用途	显像

注：设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

2、SPECT/CT 诊断项目

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。常见的 SPECT/CT 外观图见图 9-8。



图 9-8 常见 SPECT/CT 外观示意图

本项目拟新增的 1 台 SPECT/CT 主要设备技术参数见表 9-5。

表 9-5 核医学科 SPECT/CT 主要设备技术参数

项　目	参　数
型号	未定
位置	综合楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房
额定管电压	≤150kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
用途	显像

注：设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

本项目核医学科使用放射性同位素 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 配合 PET/CT 和 PET/MR 开展核素显像诊断；使用 ^{99m}Tc 配合 SPECT/CT 开展核素显像诊断；使用 ^{89}Sr 开展核素治疗。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，详见表 9-6。

表 9-6 本项目新建核医学科放射性核素使用情况一览表

非密封放射性物质		
^{18}F	日最大用量	平均单次使用量 10mCi×日最高峰 20 人=7.4×10^{9}Bq

（PET/CT 显像）	年总用量	日最大用量 7.4×10^{9}Bq×250 工作日=1.85×10^{12}Bq
^{18}F（PET/MR 显像）	日最大用量	平均单次使用量 10mCi×日最高峰 10 人=3.70×10^{9}Bq
	年总用量	日最大用量 3.70×10^{9}Bq×250 工作日=9.25×10^{11}Bq
^{99m}Tc（SPECT/CT 显像）	日最大用量	单次使用平均量 20mCi×日最高峰 30 人=2.22×10^{10}Bq
	年总用量	日最大用量 2.22×10^{10}Bq×250 工作日=5.55×10^{12}Bq
^{68}Ga（PET/CT 显像）	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 2 人=7.40×10^{8}Bq
	年总用量	日最大用量 7.40×10^{8}Bq×250 工作日=1.85×10^{11}Bq
^{68}Ga（PET/MR 显像）	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 2 人=7.40×10^{8}Bq
	年总用量	日最大用量 7.40×10^{8}Bq×250 工作日=1.85×10^{11}Bq
^{64}Cu（PET/CT 显像）	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 2 人=7.40×10^{8}Bq
	年总用量	日最大用量 7.40×10^{8}Bq×250 工作日=1.85×10^{11}Bq
^{64}Cu（PET/MR 显像）	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 2 人=7.40×10^{8}Bq
	年总用量	日最大用量 7.40×10^{8}Bq×250 工作日=1.85×10^{11}Bq
^{89}Zr（PET/CT 显像）	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 2 人=7.40×10^{8}Bq
	年总用量	日最大用量 7.40×10^{8}Bq×250 工作日=1.85×10^{11}Bq
^{89}Zr（PET/MR 显像）	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 2 人=7.40×10^{8}Bq
	年总用量	日最大用量 7.40×10^{8}Bq×250 工作日=1.85×10^{11}Bq
^{89}Sr（核素治疗）	日最大用量	单次使用平均量 4mCi×日最高峰 2 人=2.96×10^{8}Bq
	年总用量	单次使用平均量 4mCi×年最多治疗 50 例患者=7.40×10^{9}Bq

参考《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社，1990 年版）中对于非密封放射性物质的不同操作方式给出的说明（P143）（其中很简单的操作会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止撒漏，例如少量稀释溶液合并、分装或稀释，污染不太严重的器皿和工具的洗涤等；简单的操作可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染出现）以及《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）中的相关内容（医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 相关活动视为“很简单操作”），本项目除 ^{18}F、^{99m}Tc 操作方式界定为“很简单的操作”外，^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{89}Sr 放射性核素操作方式均保守界定为“简单操作”；同

时查阅 GB 18871-2002、HJ 1188-2021 得到 ^{18}F、^{99m}Tc、^{68}Ga、^{64}Cu 核素的毒性组别为“低毒”，^{89}Zr、^{89}Sr 核素的毒性组别为“中毒”。根据医院提供的核素日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到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 9-7 和表 9-8。江苏省人民医院宿迁医院核医学科所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-9。

表 9-7 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 9-8 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体，溶液，悬浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

表 9-9 核医学科使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
^{18}F	液态/低毒	很简单操作（PET/CT 显像）	日最大操作量（7.4×10^{9}Bq）×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=7.4×10^{6}Bq
		很简单操作（PET/MR 显像）	日最大操作量（3.70×10^{9}Bq）×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=3.70×10^{6}Bq

^{99m}Tc	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量（2.22×10^{10}Bq）×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=2.22×10^{7}Bq
^{68}Ga	液态/低毒	简单操作（PET/CT 显像）	日最大操作量（7.40×10^{8}Bq）×0.01（低毒）/1（液态/简单操作）=7.40×10^{6}Bq
		简单操作（PET/MR 显像）	日最大操作量（7.40×10^{8}Bq）×0.01（低毒）/1（液态/简单操作）=7.40×10^{6}Bq
^{64}Cu	液态/低毒	简单操作（PET/CT 显像）	日最大操作量（7.40×10^{8}Bq）×0.01（低毒）/1（液态/简单操作）=7.40×10^{6}Bq
		简单操作（PET/MR 显像）	日最大操作量（7.40×10^{8}Bq）×0.01（低毒）/1（液态/简单操作）=7.40×10^{6}Bq
^{89}Zr	液态/中毒	简单操作（PET/CT 显像）	日最大操作量（7.40×10^{8}Bq）×0.1（低毒）/1（液态/简单操作）=7.40×10^{7}Bq
		简单操作（PET/MR 显像）	日最大操作量（7.40×10^{8}Bq）×0.1（中毒）/1（液态/简单操作）=7.40×10^{7}Bq
^{89}Sr	液态/中毒	简单操作（核素治疗）	日最大操作量（2.96×10^{8}Bq）×0.1（中毒）/1（液态/简单操作）=2.96×10^{7}Bq
合计			2.41×10^{8}Bq

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-9 计算结果可知本项目核医学科工作场所日等效最大操作量为 2.41×10^{8}Bq，属于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq 范围，确定本次新增的核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

（三）介入放射学项目

江苏省人民医院宿迁医院拟在综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房（1#手术室、22#手术室、23#手术室），并配备 3 台 DSA（新购，型号未定，最大管电压均为 150kV，最大管电流 1250mA）；拟在综合楼四楼新建杂交手术室（19#+20#+21#手术室），并配备 2 台 DSA（新购，型号未定，最大管电压均为 150kV，最大管电流 1250mA）和 1 台 CT（新购，型号未定，最大管电压为 150kV，最大管电流 1000mA）；拟在综合楼三楼新建 ERCP 机房，并配备 1 台 ERCP（新购，型号未定，最大管电压为 120kV，最大管电流 150mA）。

1、DSA

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 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。

常见 DSA 外观如图 9-9 所示，DSA 主要设备技术参数见表 9-10。

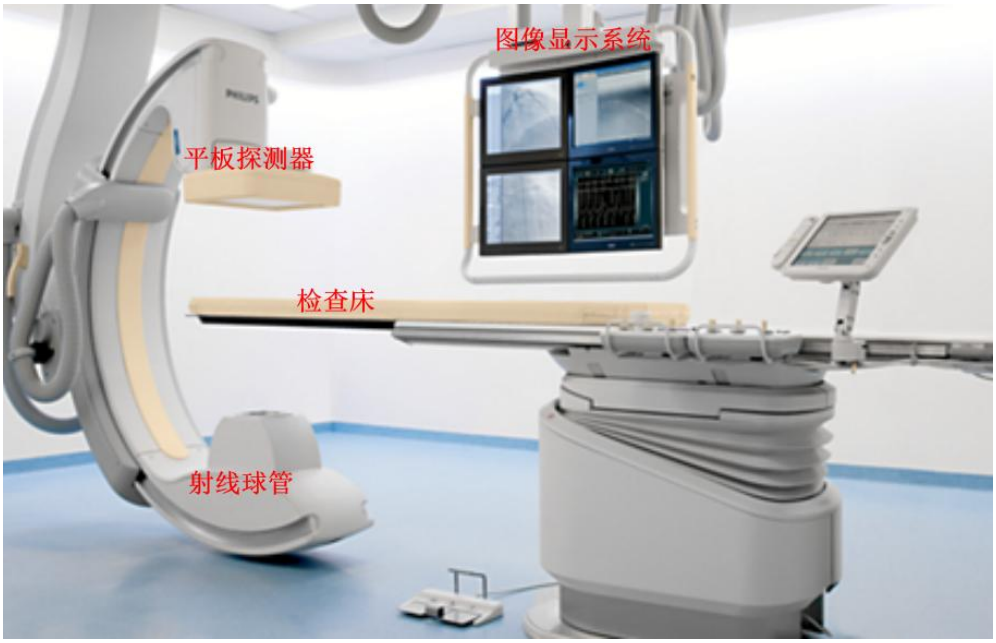

图 9-9 常见 DSA 外观示意图

表 9-10 本项目 DSA 设备主要技术参数

指　标	技 术 参 数				
型　号	未定	未定	未定	未定	未定
使用场所	1#手术室	22#手术室	23#手术室	杂交手术室	
				19#手术室	21#手术室
设备来源	新购	新购	新购	新购	新购
球管类型	单管头	单管头	单管头	单管头	单管头
额定管电压	≤150kV				
额定管电流	≤1250mA				
X 射线球管固有滤过	≥2.5mmAl				
主射线方向	向上及机房长边所在面				
焦皮距	≥45cm				
照射野	最大：30cm×30cm 最小：12cm×12cm				

注：设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备参数不大于表列参数。

配套设备：

本项目 DSA 配套设备配置情况见表 9-11。

表 9-11 每台 DSA 配套设备一览表

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

2、ERCP

ERCP 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 形臂 X 光机。ERCP 由 C 形臂架，包括 X 射线箱、高压发生器准直器、C 形臂、C 形臂架触摸屏等，和可移动观察站，包括检查监视器、参考监视器等部件组成。

常见 ERCP 外观示意图见图 9-10，ERCP 主要设备技术参数见表 9-12。



图 9-10 常见 ERCP 外观示意图

表 9-12 本项目 ERCP 主要技术参数一览表

指　标	技 术 参 数
型号	未定
球管类型	下球管/栅控球管
额定管电压	120kV

额定管电流	125mA
滤过	不小于 2.5mmAl
照射野	最大：26cm×28cm 最小：11cm×11cm
主射线方向	向上
C 形臂旋转角度	0°

注：设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备参数不大于表列参数。

配套设备：

本项目拟新增 1 台 ERCP 配套设备配置情况见表 9-13。

表 9-13 本项目 ERCP 配套设备一览表

序号	名　称	数量	用　途	位置
1	电源柜	1 套	ERCP 配电	设备间
2	高压发生柜	1 套	ERCP 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	ERCP 设备操作	控制室

（四）其他医学影像诊断项目

本项目其他医学影像诊断项目配备的 X 射线装置其基本结构和系统组成是一致的，主要由电源系统、控制系统、X 射线发生系统、影像接收系统以及其他辅助装置构成。其系统组成如图 9-11 所示，常见设备外观示意图见图 9-12 至 9-14。

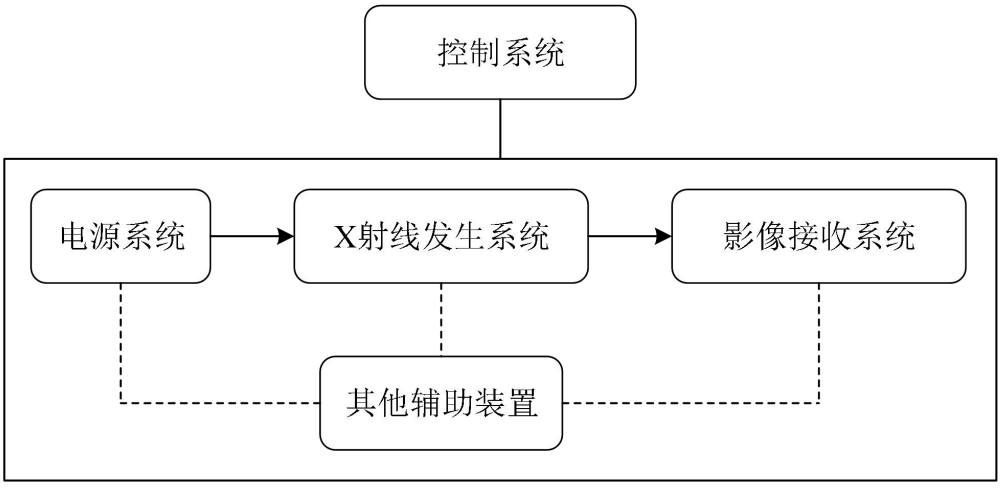

图 9-11 医用 X 射线装置基本系统组成示意图



图 9-12 DR 外观示意图



图 9-13 骨密度仪外观示意图



图 9-14 数字胃肠机外观示意图

二、工作原理及工作流程

江苏省人民医院宿迁医院现有院区位于宿迁市宿城区宿支路 120 号（即北院区），医院在宿迁经济技术开发区上海路以北、广州路以南、世纪大道以东地块建设新院区（即南院区），并在南院区开展本次扩建放射诊疗项目。医院现有核技术利用项目均在北院区开展，本项目不涉及原有项目的工艺改进。

本项目主要工作原理及工作流程如下：

（一）放射治疗项目

◆ 医用直线加速器

1、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少

受或免受不必要的照射。

电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，电子直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶,产生韧致辐射发射 X 射线,作 X 线治疗。医用电子直线加速器系统示意图见图 9-15。

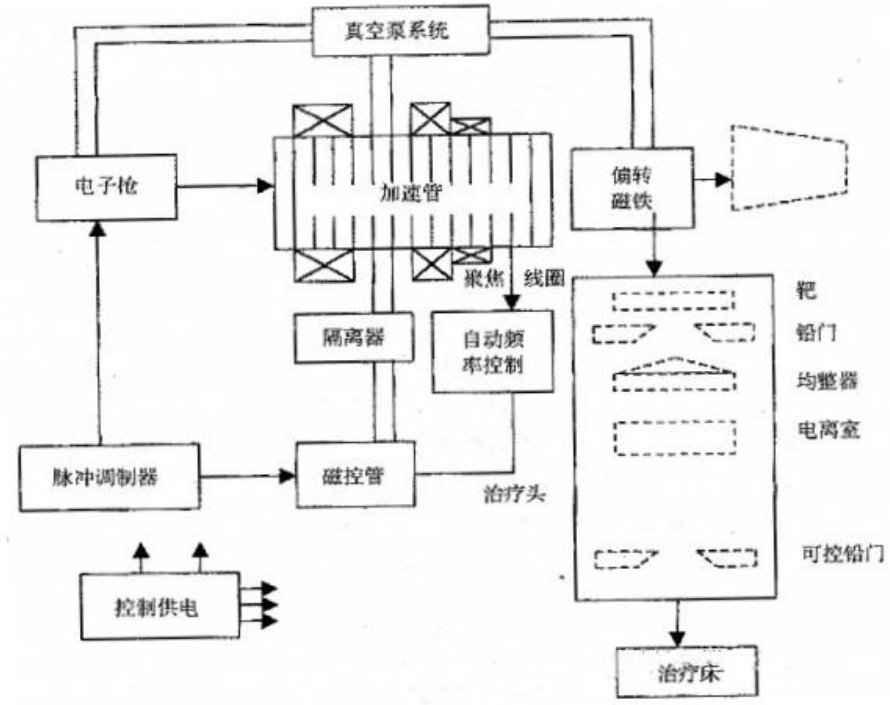

图 9-15 医用直线加速器系统示意图

2、工作流程

医用直线加速器工作流程及产污环节分析见图 9-16，其工作流程如下：

1）患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过 CT 模拟定位机或模拟定位机扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；

2）放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

3）放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；

4）技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

5）技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程，会产生 X 射线、电子线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

6）治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

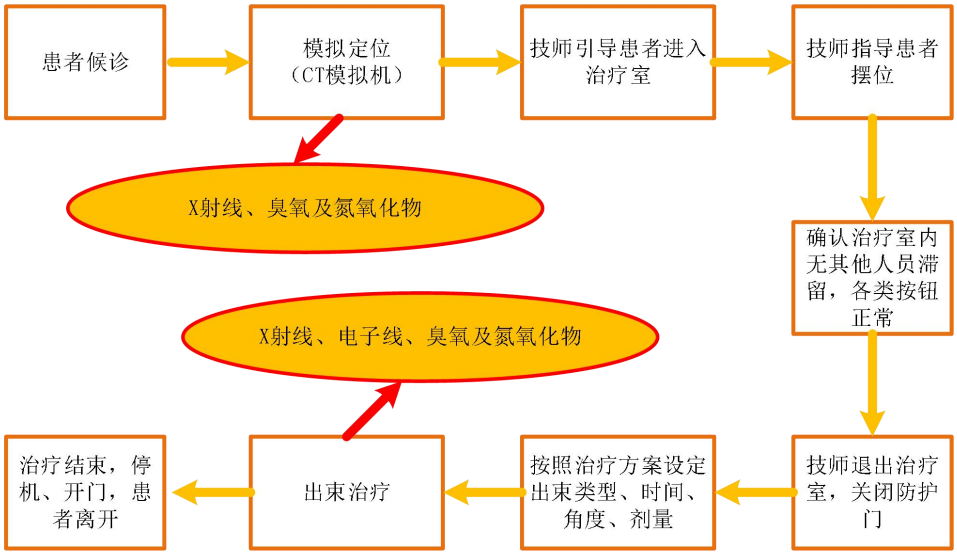

图 9-16 医用电子直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

◆ **TOMO**

1、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

TOMO（螺旋断层放射治疗系统）是一个综合的放射治疗系统，集成了计划、剂量计算、CT 扫描定位和螺旋治疗等功能调强放射治疗。这一系统的主要特点在于：高能 X 射线束 360° 旋转聚焦注射肿瘤，靶区适形性佳，剂量分布均匀，使正常组织及器官得到最大限度的保护；具有图像引导功能，每次治疗前在治疗机上进行 MVCT 成像，确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致后再进行放疗，从而保证了治疗的精确性。

6MV 直线加速器安装在螺旋 CT 滑环机架上，加速管沿机架的径向安装，机架能够 360° 旋转。它可产生 6MV 的扇形束 X 射线，经射线出口处的二元开/关式多叶准直器调制，从而实现 360° 螺旋断层调强放射治疗；也可形成 3.5MV 的扇形束 X 射线，经螺旋扫描而重建出兆伏级的三维 CT 图像（即 MVCT）。在治疗开始前进行 MVCT 成像扫描，重建出患者的三维影像，与计划 CT 影像进行比较，从三维方向上修正摆

位误差，从而实现图像引导下的 IMRT 治疗。

TOMO（螺旋断层放射治疗系统）是螺旋 CT 和 6MV 直线加速器的结合体，其与加速器在辐射防护上的区别为，治疗系统自带 12.7cm 铅厚度主束挡铅，安装于 X 射线发生器对侧位置上，并同步转动，由于有用束对应筒壁区带有的铅板和治疗筒结构件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗筒外的辐射剂量与泄漏辐射相当，从而减少了室内所需的屏蔽。

2、工作流程

本项目拟配备的 TOMO 治疗装置 X 射线最大能量为 6MV，0.85m 处 X 辐射剂量率最大为 860cGy/min，TOMO 治疗装置还带有 3.5MV 的 X 射线低辐射输出剂量的 CT 影像引导设备。TOMO 放疗工作流程及产污环节分析见图 9-3，其工作流程如下：

1）患者在经诊断确诊需要进行 TOMO 放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过 MRI 或 CT 扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；

2）放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

3）放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；

4）技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

5）技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。TOMO 治疗过程，会产生最大能量为 6MV 的 X 射线，X 射线会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物；

6）治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

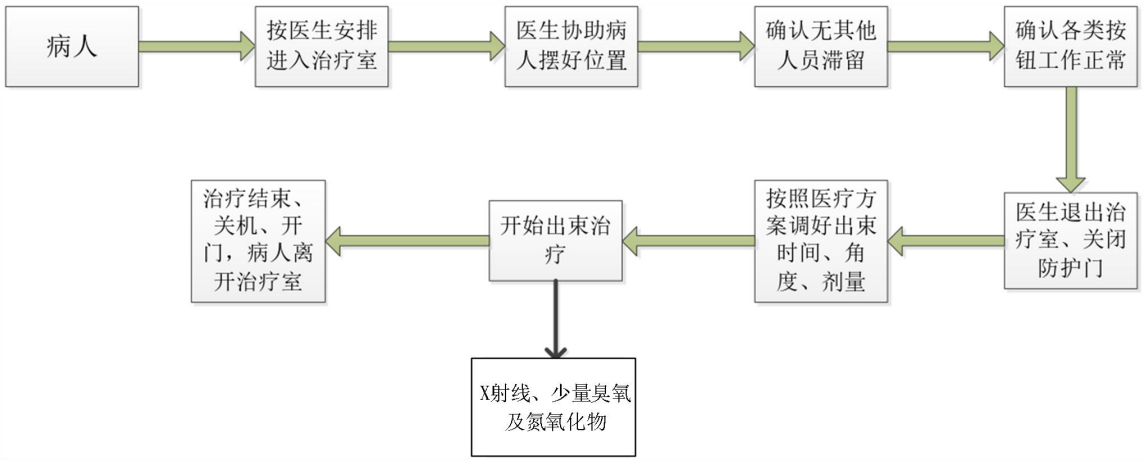

图 9-17 TOMO 放疗工作流程及产污环节分析示意图

◆ **CT 模拟定位机**

1、工作原理

本项目所用 CT 模拟定位机是肿瘤放射治疗过程中用到的重要设备之一，在放射治疗中担负着模拟定位、等中心（位置）验证等重要工作，是整个放射治疗中重要的一环，实际上是一台特殊的 X 射线机。

CT 模拟定位机等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9-18 所示。

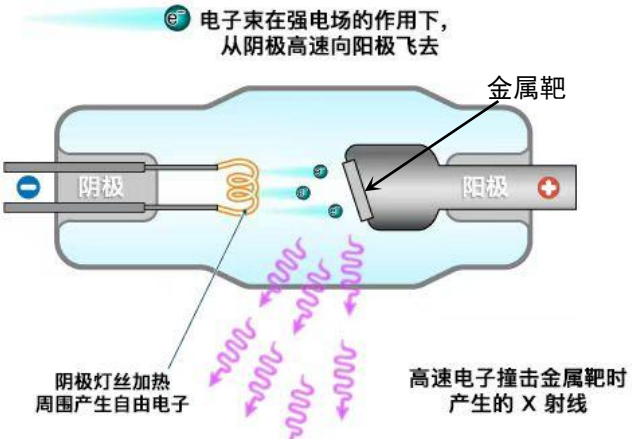

图 9-18 X 射线管基本结构示意图

CT 模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与放射治疗机一样，因此它能准确地模拟放射治疗机的一切机械运动。并通过 CT 模拟定位机的 X 线影像系统准确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

2、工作流程

患者经医生诊断后，预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后，除患者外，无关人员退

出机房。工作人员检查无误后，即开启模拟定位机进行拍片/模拟定位。检查结束后，受检者离开机房。

CT 模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-19。

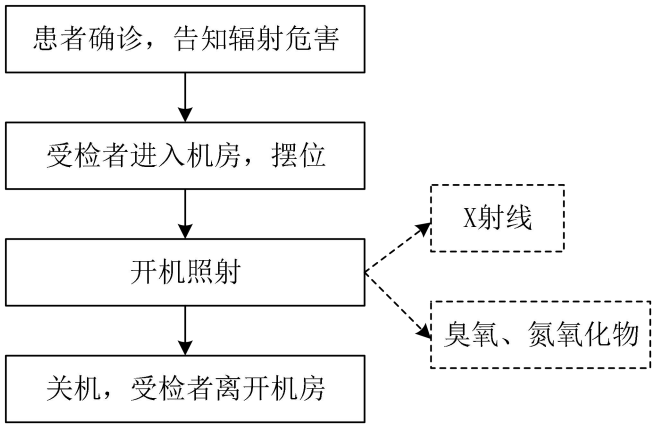

图 9-19 CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

（二）核医学科项目

1、PET/CT 诊断项目

（1）工作原理

PET/CT（Positron Emission Tomography and Computer Tomography），全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET（Positron Emission Tomography）和 CT（Computer Tomography）的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的γ光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。

通过环绕360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

常见PET/CT产品如图9-20所示。

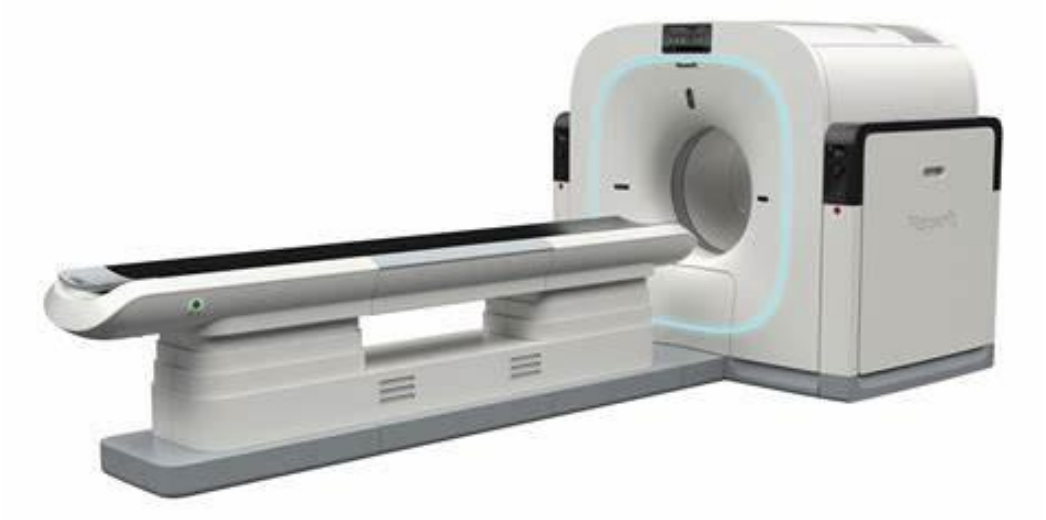

图9-20 常见PET/CT产品外观示意图

（2）工作流程及产污环节

江苏省人民医院宿迁医院新建核医学科项目所使用的^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr放射性药物拟向制药公司订购获得，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向提前向制药公司预订，制药公司在患者就诊前将药物送到核医学科的储源室内，核医学科指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室铅手套箱内。一般情况下^{18}F药物会当天用完，偶有备药量剩余时，药物存放于手套箱中，下次制药公司配送药物时将剩余的药物回收。

患者按预约日期到达候诊大厅，在候诊大厅内接受宣讲和告知，之后在进行注射前埋针，埋针后进入注射室。医护人员在铅手套箱内根据患者用药情况将药物进行分装，装至带铅套的注射器内，经校对无误后，在注射窗口为病人注射。注射完毕后的注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触正电子药物的时间保守按2min、注射过程按1min估算。

PET/CT诊断具体工作流程如下：

①接收患者，开具PET/CT诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害，并与患者

预约诊断的日期；

②医生根据病情确定使用核素的剂量，提前向制药公司订购药物；

③患者按照预约的日期到核医学登记，先在诊室进行埋针；同时制药公司按照约定的时间将药物配送至核医学，工作人员接收后存放在手套箱中；

④工作人员核对患者信息，无误后按照事前确定的剂量在手套箱内分装药物，核对活度无误后，通过广播叫号引导患者至注射窗口，通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在γ射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；

⑤病人注射完药物后进入注射后候诊室或 VIP 注射后候诊室内等待观察（一般注射放射性药物后需等待约 30min），待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 检查室，经医护人员摆位后，接受 PET/CT 扫描，每次扫描约 10～20 分钟。扫描完成后，病人在留观室休息，留观一段时间后，若无其他情况，从病人专用通道离开。此过程病人带有γ射线。

因此，用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 进行 PET/CT 显像显像主要环境影响为分装、注射期间对工作人员产生的外照射，带药患者产生的外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物等；PET/CT 扫描时产生的 X 射线外照射。

2、SPECT/CT 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

医院核医学科 SPECT/CT 诊断项目使用的 ^{99m}Tc 放射性药物购自专业供货商，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学科分装室，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装标记室专用手套箱内，当天用完。^{99m}Tc 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装。

少量患者需提前在运动负荷室运动，待患者心律达到一定速率后再至注射室窗口前注射药物。医护人员在手套箱内根据患者用药情况将药物分装至带铅套的注射器内，测定活度，经校对无误后，在注射窗口为患者注射。注射完毕后，废弃注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触 ^{99m}Tc 药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算，患者根据注入的 ^{99m}Tc 药物特性，在给药后候诊室内静坐约 20~30min，待药物代谢至靶器官，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 10~20 分钟。扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。

3、PET/MR 诊断项目

PET/MR 设备是正电子发射计算机断层显像与核磁共振成像的结合体，其不属于射线装置。PET/MR 配合 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 进行核素显像诊断的工作原理（PET 部分）与 PET/CT 诊断项目工作原理基本一致，其工作流程及产污环节也基本一致，主要区别在于：

（1）PET/MR 扫描时不产生 X 射线，无 X 射线外照射影响；

（2）PET/MR 给药后患者留观时间更长，通常为 45~60min，以使显影药剂代谢至全身；

（3）PET/MR 扫描时间也更久，为保证成像质量，扫描通常需要 30~45min。

核医学科 PET/CT、SPECT/CT、PET/MR 诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-21。

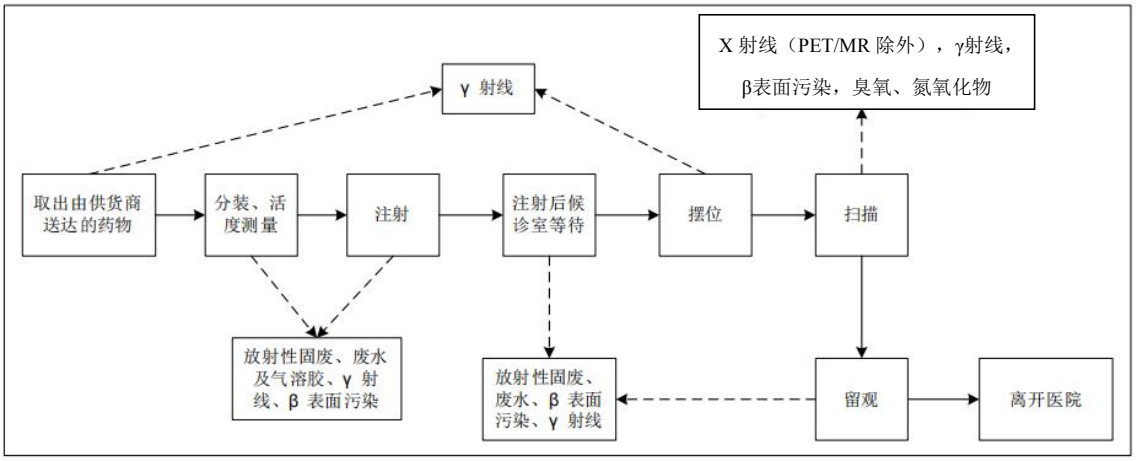

图 9-21 PET/CT、SPECT/CT、PET/MR 工作流程及产污环节分析示意图

4、^{89}Sr 核素治疗项目

（1）工作原理

^{89}Sr 是一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程。静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，发射出β射线，利用其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

（2）工作流程及产污环节

^{89}Sr 核素治疗项目使用的 ^{89}Sr 放射性药物购自专业供货商，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学科分装注射室，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到专用手套箱内，当天用完。^{89}Sr 到货时为一次性注射器分装好的药液，装在封闭铅罐中。

患者在护士站登记并提前如厕，根据医生通知到达注射室，在注射窗口注射药物后，留观片刻，如无异常情况，即可经患者出口离开。

核医学 ^{89}Sr 核素治疗工作流程及产污环节分析见图 9-22。

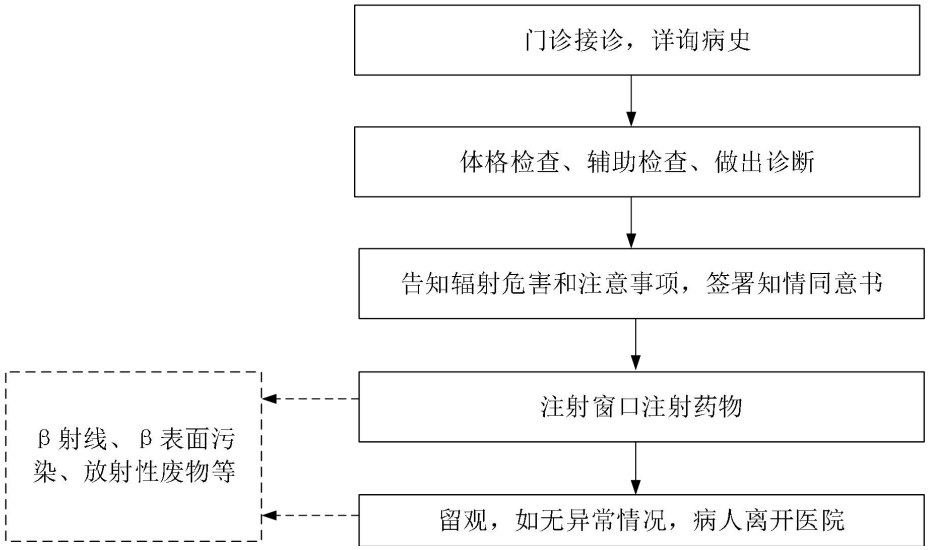

图 9-22 ^{89}Sr 核素治疗工作流程及产污环节示意图

5、核医学科人流、物流路径规划

本次新建核医学科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。核医学科工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见图 9-26。

医护人员路径：

①核医学科护士站工作人员乘医梯到达负一楼电梯厅，出电梯厅后向南即可到达核医学候诊大厅护士站；

②核医学科 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 操作人员乘医梯到达负一楼电梯厅，出电梯厅后沿医护通道先向北、再向西、再向南到达相应控制室，进行扫描操作，工作完成后原路返回；

③核医学科核素操作人员乘医梯到达负一楼电梯厅，出电梯厅后沿医护通道先向

北、再向西、再向南到达缓冲间门口，向东经缓冲间、淋浴间进入储源室、分装注射室等工作场所，工作完成后原路返回。

患者路径：

①核医学科 PET/CT 诊断乘患者电梯到达负一楼电梯厅，向北出电梯厅到达核医学科候诊大厅候诊，接受宣讲和告知；然后到候诊大厅北侧护士站进行埋针，埋针完成后从候诊大厅西侧进入核医学科；根据诊断计划决定是否需要运动，然后向西到达注射室接受药物；接受给药后向南到达 PET/CT、PET/MR 注射后候诊室或 VIP 注射后候诊室候诊，等待叫号；叫号后向西到达 PET/CT 扫描室进行扫描；扫描结束后向南到达留观室，确认患者无异常后向西离开核医学科。

②核医学科 PET/MR 诊断患者乘患者电梯到达负一楼电梯厅，向北出电梯厅到达核医学科候诊大厅候诊，接受宣讲和告知；然后到候诊大厅北侧护士站进行埋针，埋针完成后从候诊大厅西侧进入核医学科；根据诊断计划决定是否需要运动，然后向西到达注射室接受药物；接受给药后向南到达 PET/CT、PET/MR 注射后候诊室或 VIP 注射后候诊室候诊，等待叫号；叫号后向西到达 PET/MR 扫描室进行扫描；扫描结束后向南到达留观室，确认患者无异常后向西离开核医学科。

③核医学科 SPECT/CT 诊断患者乘患者电梯到达负一楼电梯厅，向北出电梯厅到达核医学科候诊大厅候诊，接受宣讲和告知；然后到候诊大厅北侧护士站进行埋针，埋针完成后从候诊大厅西侧进入核医学科；根据诊断计划决定是否需要运动，然后向西到达注射室接受药物；接受给药后向南到达 SPECT/CT 注射后候诊室或 VIP 注射后候诊室候诊，等待叫号；叫号后向西到达 SPECT/CT 扫描室进行扫描；扫描结束后向南到达留观室，确认患者无异常后向西离开核医学科。

④核医学科 ^{89}Sr 核素治疗患者乘患者电梯到达负一楼电梯厅，向北出电梯厅到核医学科候诊大厅登记，接受宣讲和告知；然后到分装注射室窗口接受药物注射，短暂留观后无异常即可从患者出口离开。

放射性药物路径：

核医学科放射性药物由厂商在患者受检前，从核医学东侧的地下车库沿加速器机房北侧通道向西直接送达分装注射室，药物及铅罐回收时原路返回。

废物路径：

分装注射室产生的一次性注射器、一次性药物容器、一次性手套等放射性废物按

核素分类收集储存到分装注射室南侧的污物间内；其余场所产生的放射性废物在每日核医学诊断项目患者离开后，从各房间收集储存到污物暂存间，分别标记、分开贮存，含 ^{18}F（$T_{1/2}$=109.8min）、^{68}Ga（$T_{1/2}$=68.3min）、^{64}Cu（$T_{1/2}$=12.7h）、^{99m}Tc（$T_{1/2}$=6.02h）的废物在污物暂存间的铅桶内自然衰变 30 天以上、含 ^{89}Zr（$T_{1/2}$=3.27d）的废物在废物间的铅桶内自然衰变 32.7 天以上、含 ^{89}Sr（$T_{1/2}$=50.53d）的废物在废物间的铅桶内自然衰变 505.3 天以上，从核医学科污梯送出。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求：核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷；核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。操作放射性药物的控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间；操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测。

本次核医学诊断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；注射室与检查室分开，给药后候诊室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，避免患者在核医学科工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉而受到额外的辐射影响。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。

本项目乙级非密封放射性物质工作场所布局满足《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）中关于临床核医学工作场所的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）要求。

（三）介入放射学项目

◆ DSA

1、工作原理

数字减影血管造影（Digital Subtraction Angiography，DSA）是 20 世纪 80 年代继 CT 之后出现的一项医学影像学新技术，是电子计算机图像处理技术与传统 X 射线血管造影技术相结合的一种新的检查方法。可以满足心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入检查与治疗。介入诊断与治疗是指医生在 DSA 图像的引导下，通过皮穿刺途径或通过人体原有孔道将导管或器械插入病变部位或注射造影剂，进行诊断和治疗。

DSA 是影像增强器技术、电视技术和计算机科学技术相结合的产物，是应用最多的数字化 X 射线透视设备。DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台和多幅照相机组成。

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得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。通过数字减影血管造影系统处理的图像，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 9-23。

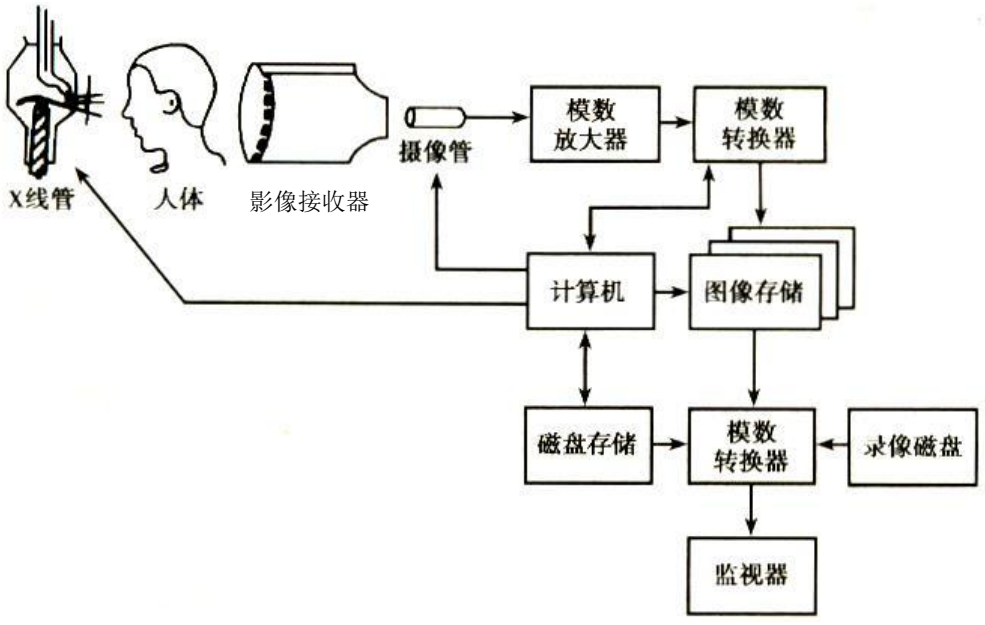

图 9-23 DSA 系统结构图

杂交手术是在实时影像学的指引下，采用介入技术联合外科技术手段治疗复杂的

疾病，以达到减少创伤，缩短体外循环时间，甚至避免体外循环，提高整体疗效的目的。由于病人无需在介入导管室和外科手术室之间多次转移，从而避免病人在转运过程中可能带来的缺氧和生命体征不稳定等风险。因此，又称其为一站式杂交手术。杂交手术尤其适合于应用单一的介入或外科手术无法取得满意结果的情况，具有创伤、痛苦最小化，疗效最大化的特点，既满足了病人的需要，又代表了现代医学发展的趋势，体现了“以病人为中心”的医疗模式。

2、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，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝、扩张管及外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。本项目 DSA 在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（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况：引导介入治疗。病人需要进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对病人进行直接的介入手术操作。

本项目杂交手术室配备 DSA+CT，DSA 使用时与上述介入治疗流程一致；同一台手术还可根据情况使用 CT 对其他病灶进行定位，使用外科手术等方式清除病灶，以达到一次手术为患者解决多个病症的目的。开展杂交手术时，一般将 DSA 引导介入的部分放在手术开始或末尾，DSA 引导结束后，会将 DSA 悬吊臂移开以腾出空间，便于手术医生操作，减少机械设备对手术过程的影响。

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

本项目 DSA 工作流程及产污环节如下图 9-24：

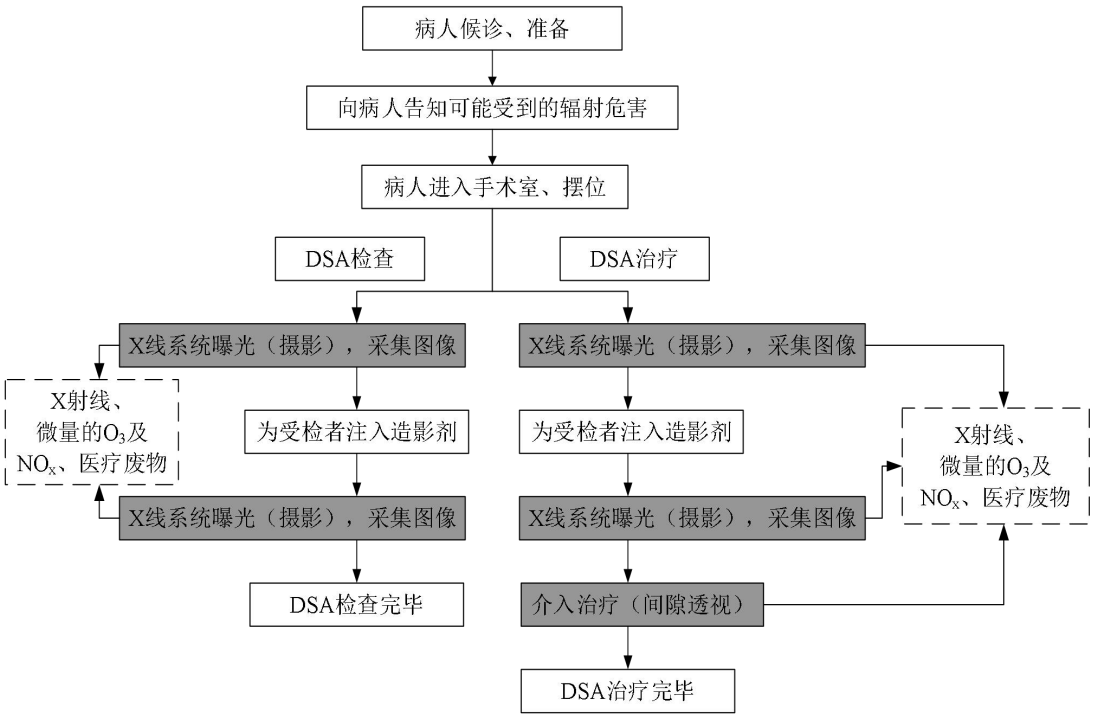

图 9-24 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

◆ **ERCP**

1、工作原理

ERCP 是经内镜逆行胰胆管造影，是指通过口腔将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后进行 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。在 ERCP 的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切开术、内镜下鼻胆管引流术、内镜下胆管内引流术等介入治疗。ERCP 系统结构图见图 9-25。

ERCP 手术造影过程中需要医生在手术室根据手术检查情况等，进行踩踏式曝光，其治疗方式属于介入治疗。介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管（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，基于数字减影血管（胆管）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（胆管）分支，以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

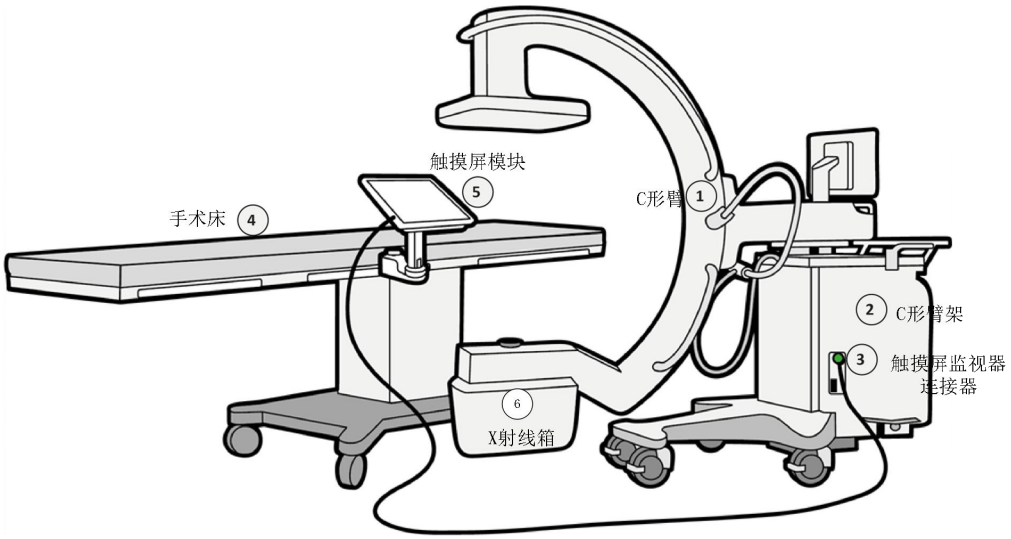

图 9-25 ERCP 系统结构示意图

2、工作流程及产污环节分析

本项目 ERCP 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况：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：介入治疗。病人需要进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对病人进行直接的介入手术操作。

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

ERCP 工作流程及产污环节与 DSA 基本一致，详见图 9-24。

（四）其他医学影像诊断项目

1、工作原理

本项目其他医学影像诊断项目为不同功能的 X 射线装置，其基本结构都是一致的，因诊断目的不同，在机械装置与辅助装置（各种检查床、影像增减器等）这一部分有很大的差别。其工作时由射线球管产生 X 射线，X 射线穿透人体受检部位后被探测器接收。由于人身体各部分组成物质的不同，X 射线在穿透不同部位时的衰减程度也不一样，最终探测器上接收到的 X 射线强度也不一样。探测器可将不同强度的 X 射线转换成电流

信号，电流信号经转换成为数字信号，最终在屏幕上以不同灰度显示出来，就得到了受检部位的影像。

2、工作流程及产污环节分析

医学影像诊断基本流程如下：

①检查正当性判断，预约登记；

②确定患者所需进行检查的部位和范围，进行摆位；

③进行 X 射线影像诊断检查，隔室操作；此环节 X 射线装置出束时会产生 X 射线外照射，同时 X 射线装置机房内空气被 X 射线电离产生少量臭氧及氮氧化物；

④诊断结束，患者离开。

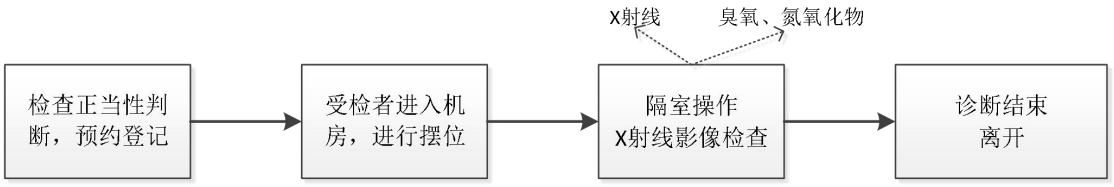

图 9-26 其他医学影像诊断项目工作流程及产污环节示意图

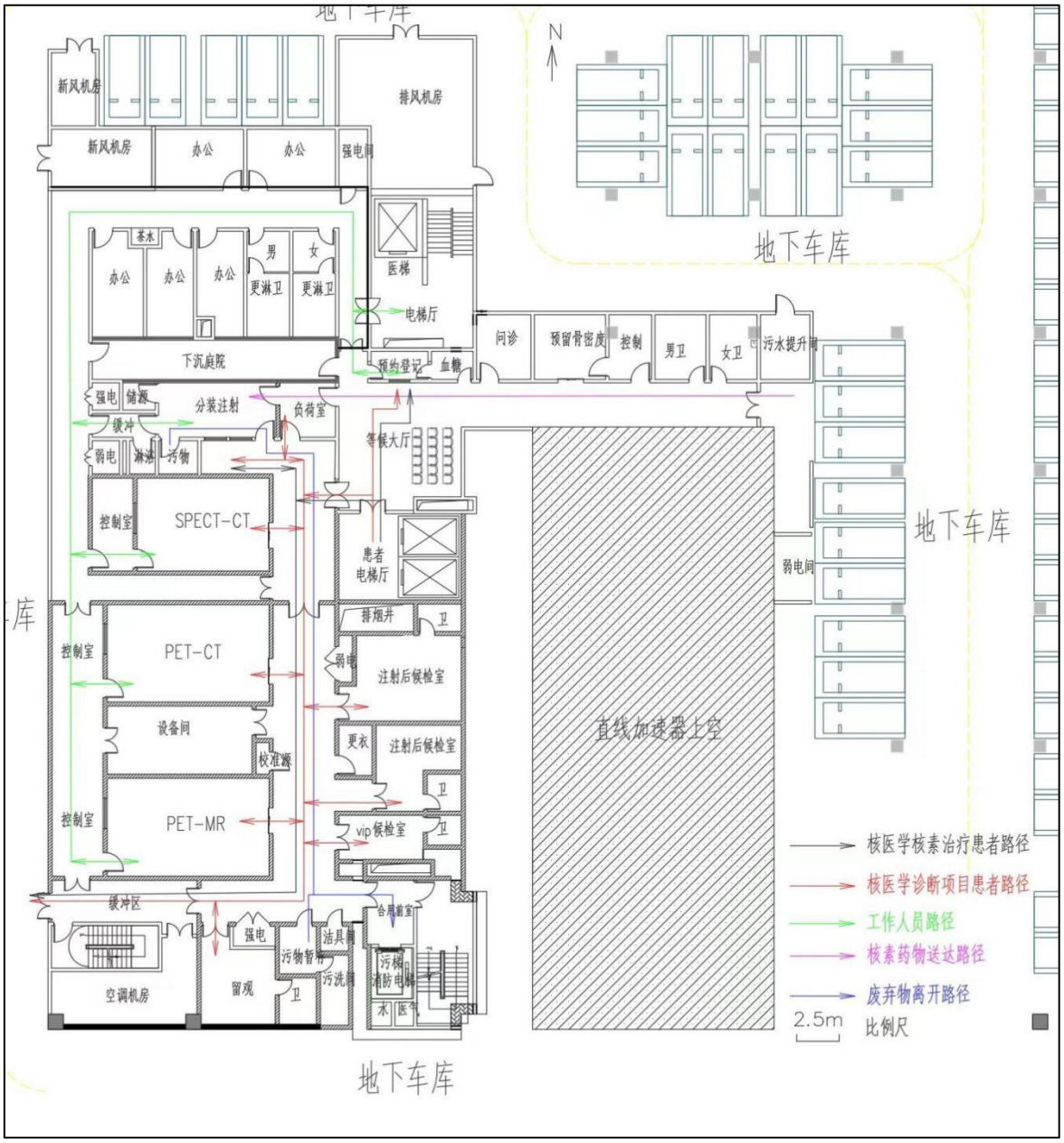

图 9-27 核医学科工作场所布局及病人、医护人员流动路线图

污染源项描述

一、放疗科项目

• 医用直线加速器

（一）放射性污染

1、X 射线：外照射医用电子直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

医院拟新增的医用电子直线加速器 X 射线最大能量均为 10MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，未完全屏蔽的情况下将会对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

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

医用电子直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用电子直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗，可忽略对外环境的影响。

3、中子：本项目拟配备的医用直线加速器的 X 射线能量为 6、10MV，依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中 4.3.2.5 规定，当加速器 X 射线≤10MV 时，中子及其影响可忽略。

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

（二）非放射性污染

1、废气：医用电子直线加速器在工作状态时，会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理，对周围环境影响较小。

3、固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，经分类收集后，交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

• TOMO

（一）放射性污染

TOMO 在治疗过程中，会产生最大能量为 6MV 的 X 射线，等中心处 X 射线最高输出剂量率为 860cGy/min；以 CT 模式成像时，产生 3.5MV 的 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，在未完全屏蔽的情况下将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

（二）非放射性污染

1、废气：TOMO 在工作状态时，会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理，对周围环境影响较小。

3、固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，经分类收集后，交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

• CT 模拟定位机

（一）放射性污染

本项目 CT 模拟定位机采用先进的数字成像技术，不使用显影液、定影液和胶片，因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

CT 模拟定位机在工作状态下会产生X射线，拟配置的 1 台 CT 模拟定位机最大管电压 150kV、最大管电流 1000mA，产生的 X 射线会对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

（二）非放射性污染

①废气：CT 模拟定位机在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

②废水：主要是工作人员产生的生活污水，经医院污水处理系统处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理，对周围环境影响较小。

③固体废物：工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

二、核医学科项目

（一）放射性污染

1、辐射

PET/CT、SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线能量最大为 150kV；PET/CT、PET/MR 显像检查用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 放射性核素均发生β^+衰变，在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中会产生β射线，衰变时同时伴随发射γ射线；SPECT/CT 显像检查用 ^{99m}Tc 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生能量为 0.140MeV 的γ射线；使用 ^{89}Sr 进行核素治疗时，^{89}Sr 会产生 0.5846MeV 的β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。

本项目核医学科拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-14。

表 9-14 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）（$\mu Sv \cdot m^2/MBq \cdot h$）
^{18}F	109.8min				
^{99m}Tc	6.02h				
^{68}Ga	68.3min				
^{64}Cu	12.7h				
^{89}Zr	3.27d				
^{89}Sr	50.53d				

PET/CT、SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 150kV 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。β射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，其对周围环境的辐射

影响较放射性核素可忽略不计。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。故核医学科主要考虑放射性核素发出的γ射线的辐射影响。

2、放射性废气

^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr 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，被医务人员或公众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（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面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，引至屋顶经活性炭吸附过滤后排放；整个核医学科工作场所均拟设置新风系统，保证工作场所内空气循环。

3、放射性废水

体内含有放射性核素的患者排泄物等，工作场所清洗废水等。PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 26 人次、PET/MR 诊断项目日接诊量最大为 16 人次、SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大为 30 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为 100L，^{89}Sr 核素治疗不产生放射性废水，则核医学科放射性废水排放量为 820L/d（10L/人×（26 人/d+16 人/d+30 人/d）+100L/d）。

4、放射性固体废物

^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr 放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，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。

本项目 PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 26 人次、PET/MR 诊断项目日接诊量最大为 16 人次、SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大为 30 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 1.44kg/d（0.02kg/人×（26 人/d+16 人/d+30 人/d）），即 360kg/a，平均 30kg/月；^{89}Sr 核素治疗项目年接诊量最大为 50 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 1kg/a，平均 0.083kg/月；核医学科通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 20kg。

（二）非放射性污染

1、废气

PET/CT 机房和 SPECT/CT 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，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2、废水

主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理，对周围环境影响较小。

3、固体废物

主要是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。

三、介入放射学项目

（一）放射性污染

DSA、ERCP 在工作状态下均会发出X射线，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，对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

DSA、ERCP 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

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、ERCP 均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，当 DSA 运行管电压为额定电压的极端情况时，透视模式下的电流不大于 100mA，拍片模式下的电流不大于 500mA；DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60～80）kV/（5～20）mA，拍片模式的工况为（60～80）kV/（100～500）mA；ERCP 正常运行时，透视模式的额定工况为（40～120）kV/（0.5～60）mA，拍片模式的额定工况为（40～120）kV/（0.625~60）mA。

DSA、ERCP 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 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、ERCP 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 DSA、ERCP 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、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、ERCP 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率取 1.0mGy/h。

3、散射线

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

工作负荷：根据医院提供的资料，每台 DSA 的工作负荷情况见表 9-15，ERCP 的工作负荷见表 9-16。

表 9-15 单台 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	150 台	约 15min	约 37.5h
神经介入	100 台	约 20min	约 33.3h
综合介入	150 台	约 20min	约 50h
小计	/	/	约 120.8h

（2）拍片

手术类别	年开展工作量	每台手术摄影曝光时间	年采集时间
心脏介入	150 台	约 2min	5h

神经介入	100 台	约 2min	3.33h
综合介入	220 台	约 2min	7.33h
小计	/	/	15.7h
总　计			约 136.5h

表 9-16 ERCP 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
ERCP 介入诊疗	350 台	约 10min	约 58.3h

（2）拍片

手术类别	年开展工量	每台手术透视曝光时间	年采集时间
ERCP 介入诊疗	350 台	约 2min	约 11.7h
总　计			约 70h

本项目共计新增 5 台 DSA 和 1 台 ERCP，1#手术室 1 台 DSA 配备 5 名辐射工作人员，22#、23#手术室 2 台 DSA 配备 10 名辐射工作人员，杂交手术室 2 台 DSA 配备 10 名辐射工作人员，1 台 ERCP 配备 5 名辐射工作人员。医生、护士在机房内进行手术操作，技师在控制室进行隔室操作。辐射工作人员均须参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习及培训，考核合格后方可上岗。

（二）非放射性污染

1、废气：DSA、ERCP 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，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理，对周围环境影响较小。

3、固体废物：DSA、ERCP 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，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置；工作人员产生的生活垃圾进行分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

四、其他医学影像诊断项目

（一）放射性污染

其他医学影像诊断项目的X射线装置在工作状态下均会产生X射线，单次诊断所需的时间较短，产生的X射线随机器的开、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。

（二）非放射性污染

1、废气：医用X射线装置在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理，对周围环境影响较小。

3、固体废物：医疗废物由医院集中收集、统一委托有资质单位进行处置；工作人员产生的生活垃圾进行分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 10　辐射安全与防护

项目安全措施

一、放疗科项目

（一）工作场所布局及分区

◆ 医用直线加速器、TOMO

本项目拟于综合楼负二楼东部新建 2 座加速器机房（南北并列布置，1#在北侧、2#在南侧）和 1 座 TOMO 机房，1#加速器机房拟配置 1 台瓦里安 VitalBeam 型医用直线加速器（X 射线能量均为 6、10MV，电子线能量不大于 20MeV）、2#加速器机房拟配置 1 台医科达 Infinity 型医用直线加速器（X 射线能量均为 6、10MV，电子线能量不大于 15MeV）、TOMO 机房拟配置 1 台中核安科锐 TOMO（X 射线能量 6MV）。1#加速器机房东侧、北侧均为土层，南侧为 2#加速器，西侧为水冷机房、控制室及准备间，楼上为加速器机房上空，下方为土层；2#加速器机房东侧为土层，南侧为 TOMO 机房，西侧为水冷机房、控制室及准备间，北侧为 1#加速器机房，楼上为加速器机房上空，下方为土层；TOMO 机房东侧、南侧均为土层，西侧为水冷机房、控制室及准备间，北侧为 2#加速器机房，楼上为加速器机房上空，下方为土层。本项目加速器机房、TOMO 机房控制室均与治疗室分离，治疗室面积均为 65.96m^2（不含迷路）；加速器机房、TOMO 机房均设置“L”形迷路，有用线束均仅向南墙、北墙、地面及屋顶照射。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需求”、“治疗机房均应设置迷路”等规定，布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。”及“5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控

制室及与机房相邻区域等）”的要求拟将直线加速器治疗室和 TOMO 治疗室作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；将控制室、水冷机房、准备间作为辐射防护监督区。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要求。医用直线加速器机房平面布局及分区见图 10-1。

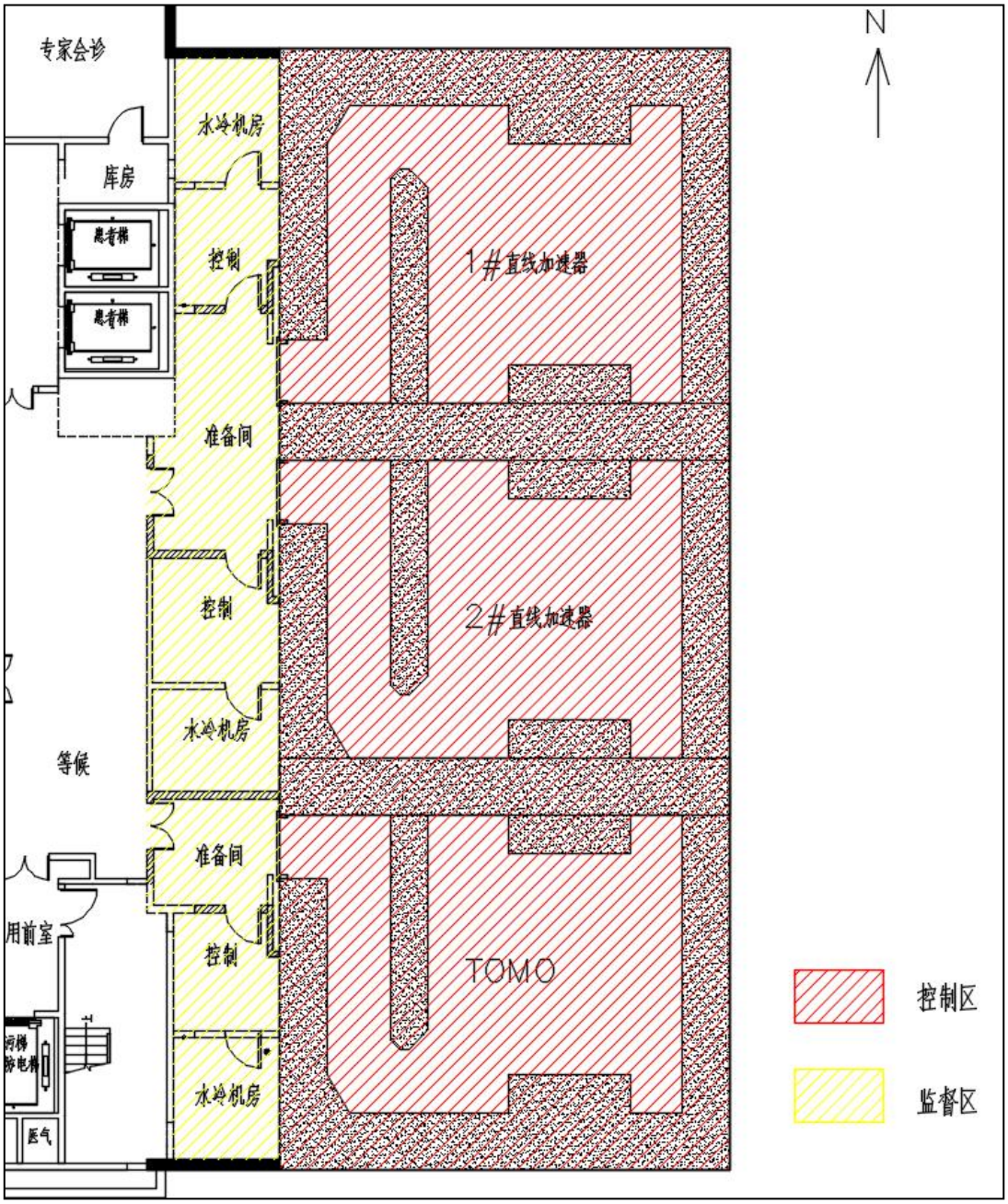

图 10-1 直线加速器机房平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

◆ **CT 模拟定位机**

本项目拟于综合楼负二楼放疗科新建 1 座 CT 模拟定位机机房，配备 1 台 CT 模

拟定位机（型号未定，管电压≤150kV，管电流≤1000mA），用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。CT 模拟定位机房东侧为控制室，南侧为设备间，西侧为土层，北侧为制模室，下方为土层，上方为核医学科。CT 模拟定位机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。

本项目拟将 CT 模拟定位机所在机房内部作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室、设备间划为监督区，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。

综合楼负二楼 CT 模拟定位机机房平面布置及分区见图 10-2。

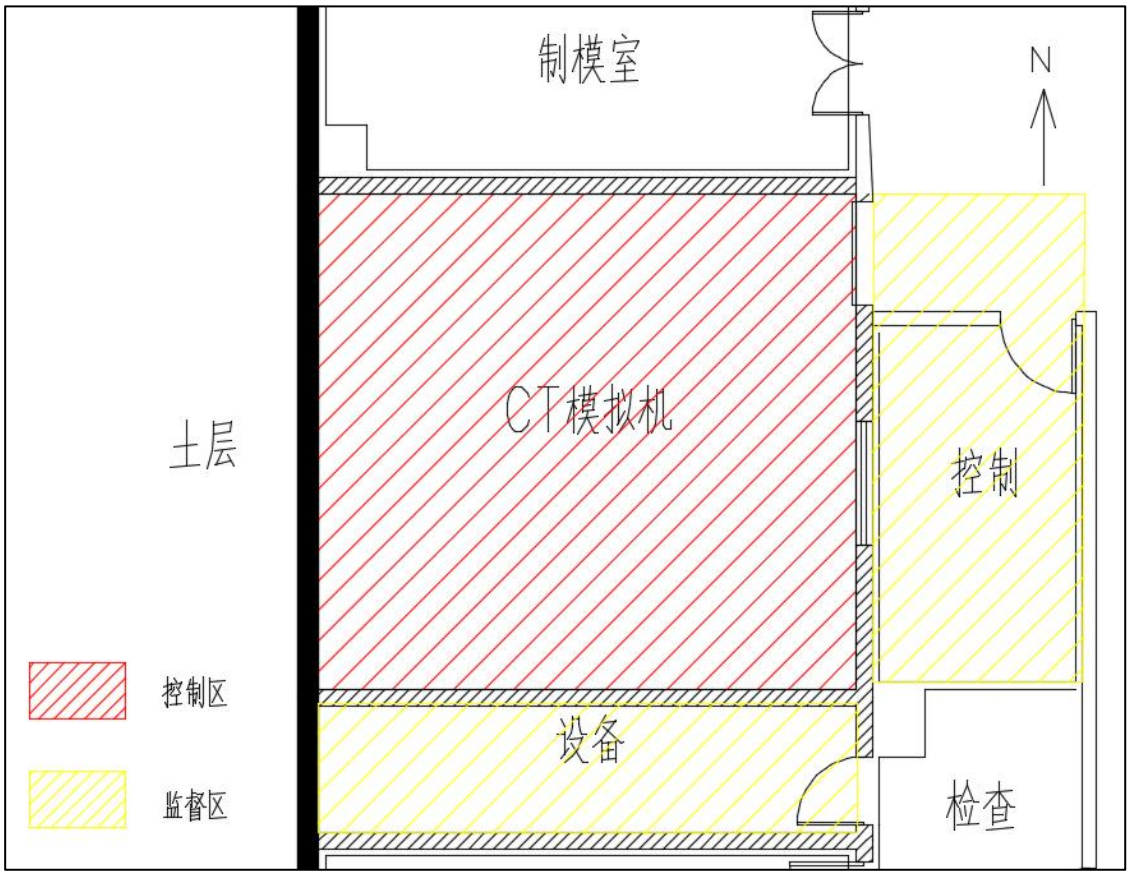

图 10-2 CT 模拟定位机机房平面布置及辐射防护分区管理划分示意图

（二）辐射防护屏蔽设计

◆ 医用直线加速器、TOMO

江苏省人民医院宿迁医院医用直线加速器、TOMO 机房位于综合楼负二楼东部，机房整体采用混凝土浇筑，设置“L”形迷道，迷道口均设铅防护门。医用直线加速器机房具体屏蔽设计参数见表 10-1。

表 10-1 医用直线加速器机房屏蔽设计参数

加速器机房	屏蔽体		屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）	主屏蔽区宽度
1#加速器机房	东墙		150cm 混凝土	/
	南墙	主屏蔽	120cm+180cm 混凝土	480cm
		次屏蔽	180cm 混凝土	
	西墙	迷道内侧	120cm 混凝土	/
		迷道外侧	150cm 混凝土	/
	北墙	主屏蔽	120cm+180cm 混凝土	480cm
		次屏蔽	180cm 混凝土	
	屋顶	主屏蔽区	110cm+170cm 混凝土	480cm
		次屏蔽区	170cm 混凝土	
	防护门		钢板内衬 20mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯板	/
2#加速器机房	东墙		150cm 混凝土	/
	南墙	主屏蔽	120cm+180cm 混凝土	480cm
		次屏蔽	180cm 混凝土	
	西墙	迷道内侧	120cm 混凝土	/
		迷道外侧	150cm 混凝土	/
	北墙	主屏蔽	120cm+180cm 混凝土	480cm
		次屏蔽	180cm 混凝土	
	屋顶	主屏蔽区	110cm+170cm 混凝土	480cm
		次屏蔽区	170cm 混凝土	
	防护门		钢板内衬 20mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯板	/
TOMO 机房	东墙		150cm 混凝土	/
	南墙	主屏蔽	120cm+180cm 混凝土	480cm
		次屏蔽	180cm 混凝土	
	西墙	迷道内侧	120cm 混凝土	/
		迷道外侧	150cm 混凝土	/
	北墙	主屏蔽	120cm+180cm 混凝土	480cm
		次屏蔽	180cm 混凝土	

	屋顶	主屏蔽区	110cm+170cm 混凝土	480cm
		次屏蔽区	170cm 混凝土	
	防护门		钢板内衬 20mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯板	/

注：铅密度为 11.3g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3。

◆ **CT 模拟定位机**

江苏省人民医院宿迁医院 CT 模拟定位机、模拟定位机机房位于综合楼负一楼放疗科，具体屏蔽参数见表 10-2。

表 10-2 CT模拟定位机机房屏蔽设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	工作场所名称	屏蔽设计参数（厚度及材质）*
1	CT模拟定位机（型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼负二楼放疗中心 CT 模拟定位机机房	四侧墙体：240mm实心砖+3mm铅当量硫酸钡涂料； 顶面：350mm 混凝土 地面：350mm 混凝土 防护门：4mm 铅板 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃

注：1、实心砖密度为 1.65g/cm^3，铅密度为 11.3g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3；
2、CT 模拟定位机机房下方为土层。

（三）辐射安全措施

◆ **医用直线加速器、TOMO**

（1）电线电缆布设：医用电子直线加速器机房、TOMO 机房电缆线穿墙方式（见图 10-3）拟采用“U”形穿墙管道，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

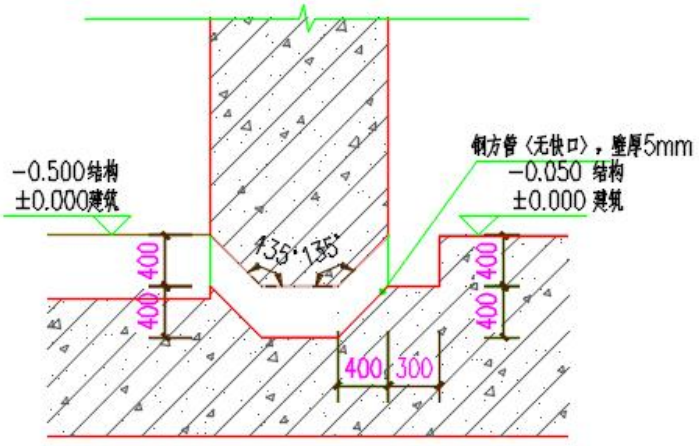

图 10-3 加速器机房电缆沟示意图

（2）防护门搭接方式：机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，还要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。根据经验，建议门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度应大于门缝的 10 倍，方能有效避免门缝处的射线泄漏。

（3）本项目医用直线加速器机房、TOMO 机房均拟设计有通风装置，治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于 4 次/h。进出风管道（见图 10-4）避开主射线方向，且设置 8mm 铅+25mm 含硼聚乙烯板包覆，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

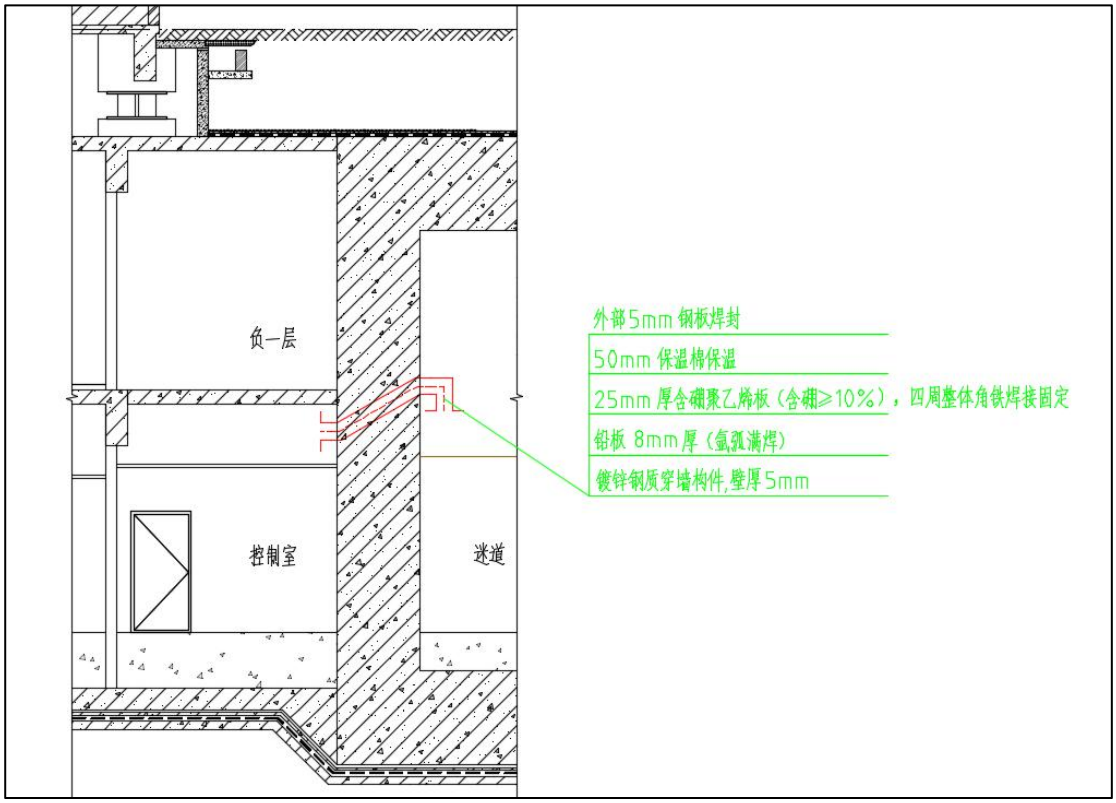

图 10-4 加速器机房预留进、排风管道示意图

（4）医用电子直线加速器机房、TOMO 机房入口均拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，防止无关人员逗留和误入，工作状态指示灯与加速器设置有效联动。

（5）安全联动装置：除治疗设备自身所带的安全联动外，机房拟设置门-机联动，防护门未完全关闭时加速器不能出束照射，加速器出束期间防护门被打开则立即停止出束。

（6）紧急停机装置：除治疗设备上自带的停按钮外，治疗室内每面墙上、迷路墙上及控制室控制台上均拟设置急停按钮，治疗设备出束运行期间，按下任一急停按

钮均可紧急关停设备；设备再次启动时必须先将急停按钮本地复位。急停按钮拟设置醒目标识，且文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

（7）监视和对讲装置：本项目治疗室内（含迷道）均拟设计安装监控系统和对讲装置，实时观察机房内的动态。

（8）开门装置：治疗室均拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。

（9）固定式报警仪：治疗室迷道的内入口处均拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内；

（10）钥匙控制：加速器控制室操作台上设置有物理钥匙开关，只有当钥匙插入锁孔且处于“ON”位置时，加速器电源才能启动；钥匙处于“OFF”位置或钥匙拔出状态，加速器将无法启动出束。加速器钥匙由专人保管并使用。

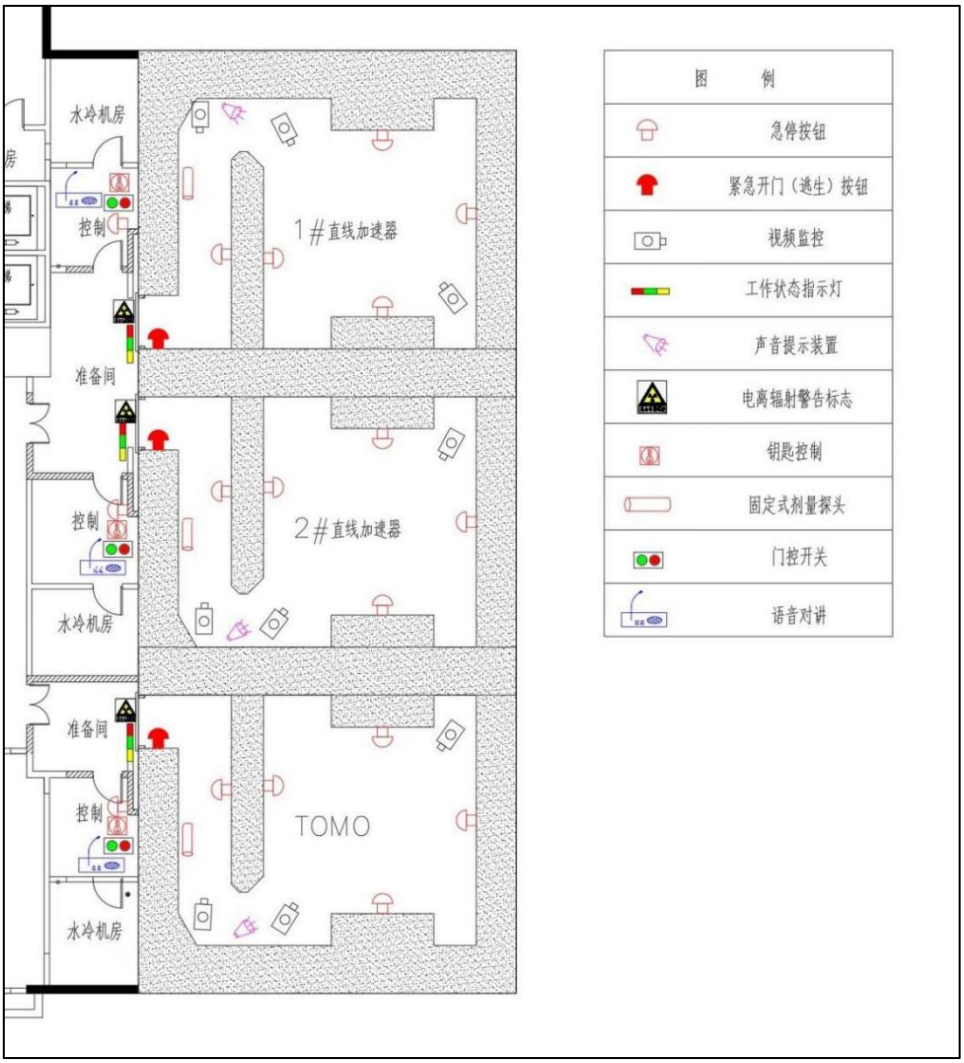

图 10-5 医用直线加速器、TOMO 机房主要安全设施位置示意图

◆ **CT 模拟定位机**

1、电离辐射警告标志

机房入口处均拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

2、工作状态指示灯

患者入口防护门上方均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，并与机房防护门有效关联。

3、闭门装置

平开机房门拟设有自动闭门装置，推拉式机房门拟设有曝光时关闭机房门的管理措施，防护门关闭的情况下，设备才能出束照射。同时，电动推拉门均拟设置防夹功能。

4、急停按钮

控制室及设备上均设置有急停按钮，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、观察窗

机房控制室侧墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。

6、防护用品

医院拟为患者配备的个人防护用品主要有铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套等，防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。

二、核医学科项目

（一）工作场所布局及分区

1、布局合理性

本项目拟在综合楼负一楼新建核医学科，拟建成乙级非密封放射性物质工作场所。核医学科候诊大厅设于核医学东侧北部，候诊大厅南侧为患者专用电梯，患者入口设于核医学科东北部，出口设于西南侧；医护人员出入口设于北侧，污物电梯设于东南角。核医学科北部为分装注射室，内设铅防护手套箱，临近设置储源室及污物间，工作人员出入分装注射室需经过缓冲间；核医学科中部为注射后候诊室及 SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室，其相应控制室设于西侧，患者过道设于注射后候诊室和 SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室之间；核医学科南部为留观室及洗污间、暂存间、洁具间等。核医学科衰变池设于综合楼东侧地下，核医学科放射性废水通过

管道排入衰变池。

本项目核医学科工作场所内工作人员、患者、核素药物及污物通道相对独立，放射性工作场所和非放射性工作场所均采取实体隔断分开设置，放射性药物分装均在手套箱内进行，注射均在有屏蔽的专用注射窗口进行；带药患者有专用的休息室，PET/CT、SPECT/CT 均有专用的机房；辐射工作人员进出分装注射室需经过缓冲区，缓冲区设置淋浴间，辐射工作人员操作后离开控制区前均作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，则采取去污措施，从控制区取出任何物件都拟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，避免对控制区外造成污染。

综上，本项目平面布局合理。

2、辐射防护分区管理

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求：应把放射性工作场所分为控制区、监督区以便于辐射防护管理和职业照射控制；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。

医院拟将分装注射室、负荷室、污物间、患者通道、SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室、注射后候诊室、VIP 候诊室、校准源室、污物暂存间、污洗间、留观室、洁具间、衰变池作为辐射防护控制区，将医护通道、缓冲间、淋浴间、控制室、设备间作为辐射防护监督区。综合楼负一楼核医学科平面布局及辐射防护分区见附图 4，辐射防护分区一览表见表 10-3。

表 10-3 核医学科辐射防护分区一览表

分区	场　所
控制区	分装注射室、负荷室、污物间、患者通道、SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室、注射后候诊室、VIP 候诊室、校准源室、污物暂存间、污洗间、留观室、衰变池、洁具间
监督区	医护通道、缓冲间、淋浴间、控制室、设备间

江苏省人民医院宿迁医院本次新增的核医学科工作场所位于综合楼负一楼，整个诊断工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限。拟新建的核医学科项目人流及物流具有相对的独立通道，且出入口避开了人流量较大的区域，避免了对公众不必要的照射；通过错峰安排患者就诊，避免了交叉污染。

本项目辐射工作场所符合工作要求且有利于辐射防护和环境保护进行布局，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，辐射工作场所进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性，从辐射安全和防护角度分析，其总平面布局合理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于临床核医学工作场所的要求以及《核医学防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）的标准要求。

关于控制区的防护手段与安全措施，医院应做到：

（1）核医学诊断工作场所进、出口防护门外、注射后候诊室防护门外、留观室防护门外、PET/CT、SPECT/CT 机房防护门外及其他适当位置处设立醒目的“当心电离辐射”警告标志。“当心电离辐射”警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 F 要求，如图 10-6 所示。



a.电离辐射标志　　*b*.电离辐射警告标志

图 10-6 电离辐射标志和电离辐射警告标志

（2）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；

（3）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，控制区非出入口门应为常闭状态，且应设置正确的指引以防止带药患者误开启；

（4）在缓冲区/卫生通过间备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

（5）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。

关于监督区的防护手段与安全措施，医院应做到：

（1）在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

（2）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。

根据 HJ 1188-2021 的要求，本项目核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等应平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。操作放射性药物拟在手套箱中进行。医院拟为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物容器拟使用铅罐屏蔽，注射后候诊室内有多位患者候诊时，患者之间拟设置铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

（二）辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的建设项目设计资料，该核医学科工作场所屏蔽设计见表 10-4：

表 10-4 核医学科工作场所屏蔽设计一览表

工作场所	屏蔽材料及厚度				
	四周墙体	屋顶	地面	防护门	观察窗
分装注射室	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	东门 25mm 铅板，其余门 10mm 铅板	注射台 20mm、40mm 铅当量铅玻璃
储源室、污物间	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	10mm 铅板	/
负荷室	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	东门、西门：25mm 铅板，南门：10mm 铅板	/
SPECT/CT 室	240mm 实心砖+4mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	6mm 铅板	6mm 铅板当量铅玻璃
PET/CT 室	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+12mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	10mm 铅板	10mm 铅板当量铅玻璃
PET/MR 室	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	10mm 铅板+0.2mm 紫铜板	10mm 铅板当量铅玻璃+60 目铜网
校准源室	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	8mm 铅板	/
SPECT/CT 注射后候诊	东墙、西墙、北墙：240mm 实心	180mm 混凝土+4mm 铅当量	350mm 混凝土+4mm 铅当	6mm 铅板	/

室	砖+4mm 铅当量防护涂料；南墙：240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	防护涂料	量防护涂料		
PET/CT 注射后候诊室	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+25mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+8mm 铅当量防护涂料	10mm 铅板	/
VIP 注射后候诊室	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	10mm 铅板	/
洁具间	240mm 实心砖+4mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	6mm 铅板	/
污洗间	东墙、南墙、北墙：240mm 实心砖+4mm 铅当量防护涂料；西墙：240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	6mm 铅板	/
污物暂存间	东墙、北墙：240mm 实心砖+4mm 铅当量防护涂料；西墙、南墙：240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	6mm 铅板	/
留观室	西墙：240mm 实心砖+18mm 铅当量防护涂料 东墙、南墙、北墙：240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	10mm 铅板	/
患者通道	出入口防护门：8mm 铅板				
手套箱	^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{89}Sr 合用手套箱 60mmPb，^{99m}Tc 手套箱 10mmPb				

（三）辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

医院拟将核医学科工作场所划分为控制区和监督区，在控制区入口处均拟设置符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志及警示说明，警告无关人员不要靠近或在附近逗留。

2、工作状态指示灯、闭门装置

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房门口拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的门设置有效联动，用于提示机房内设备的运行状态；机房门应设置自动闭门装置，电动推拉门还应设置防夹功能。

3、语音对讲、监控装置

医院拟在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，且 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房控制台处均安装观察窗，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、对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置门禁系统，患者按照“入口只进不出、出口只出不进”的单向路线；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。核医学地面拟设置患者行进路线标识，引导不同项目患者行进。

5、核医学科工作场所安全防护措施管理规定

医院拟将分装注射室、负荷室、污物间、患者通道、SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室、注射后候诊室、VIP 候诊室、校准源室、污物暂存间、污洗间、留观室、洁具间、衰变池作为辐射防护控制区，将医护通道、缓冲间、淋浴间、控制室、设备间作为辐射防护监督区。

工作人员离开控制区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。工作场所安全防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

6、工作人员防护用品

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、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、防污染防护服、个人剂量计等。

7、监视和对讲装置

医院拟在核医学科的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，使患者有序进入核医学科用药就诊。

8、操作放射性药物的放射防护要求

放射性药物的分装操作均在手套箱中进行，手套箱有专用通风管道且保持良好通风；分装好的核素药物注射器使用铅套包裹。操作放射性核素药物的辐射工作人员应熟练操作技能、缩短接触放射性药物的时间并正确使用个人防护用品。核医学控制区内辐射工作人员不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

三、介入放射学项目

◆ DSA

（一）工作场所布局及分区

江苏省人民医院宿迁医院拟在综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房及配套设施用房并配置 3 台 DSA，新建杂交手术室并配备 2 台 DSA 和 1 台 CT。

本项目将 DSA、CT 所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室、设备间等划为监督区，在机房入口处粘贴电离辐射警告标志。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 机房平面布置及辐射防护分区见图 10-7、图 10-8。

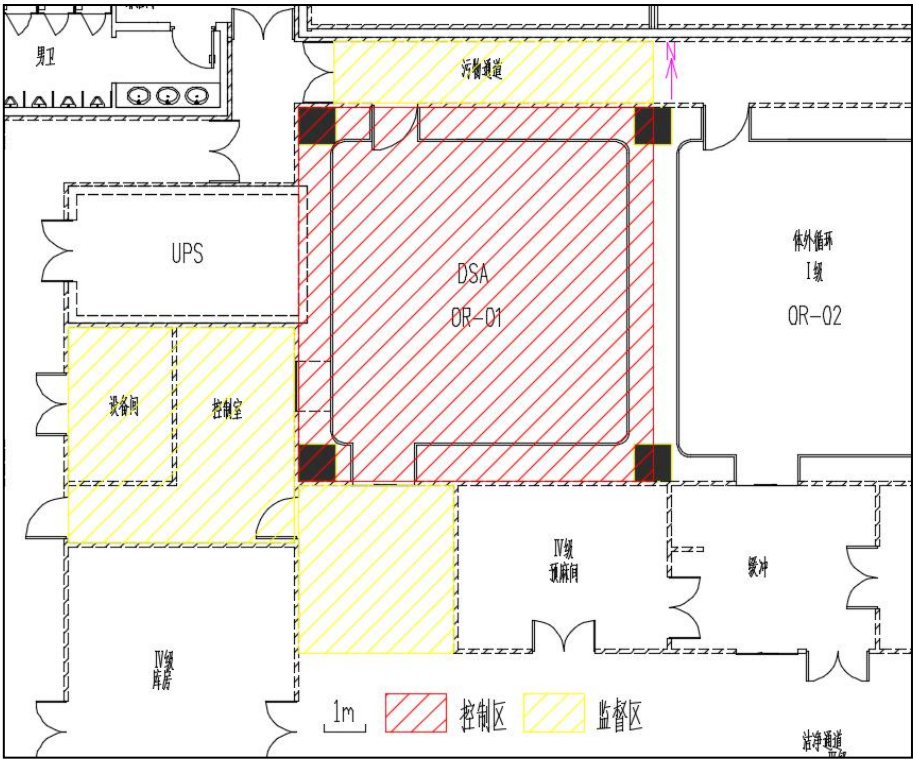

图 10-7 综合楼四楼 DSA 机房（1#手术室）平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

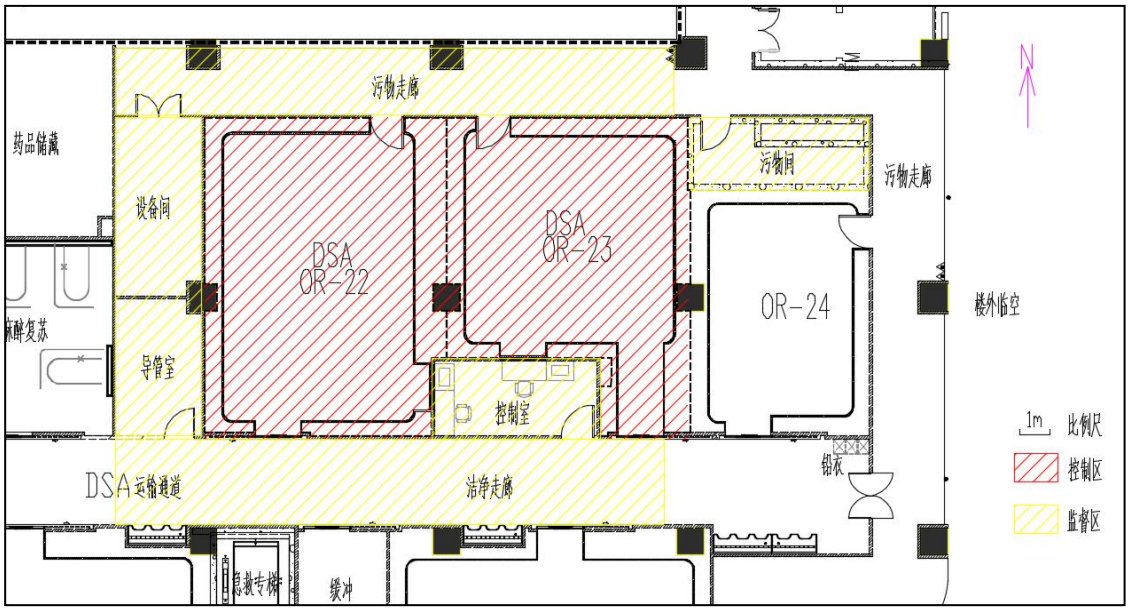

图 10-8 综合楼四楼 DSA 机房（22#、23#手术室）平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

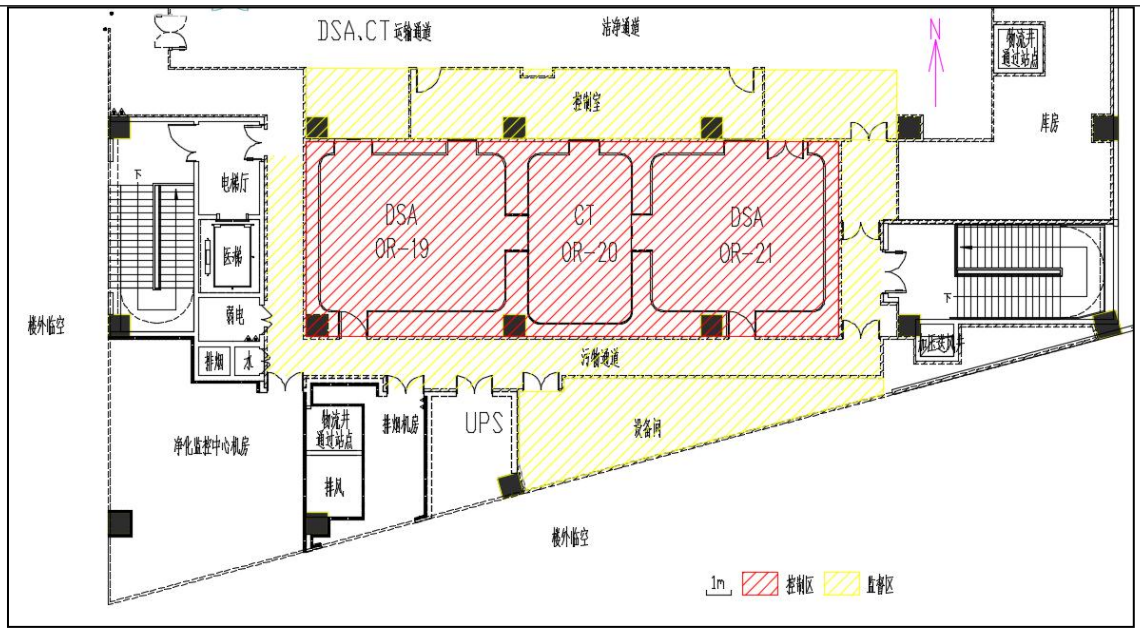

图 10-9 综合楼四楼杂交手术室（19#+20#+21#手术室）平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

（二）辐射防护屏蔽设计

江苏省人民医院宿迁医院综合楼四楼 DSA 机房、CT 机房的辐射防护设计见表 10-5。

表 10-5 DSA 机房屏蔽设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	工作场所名称	屏蔽防护设计
1	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	综合楼四楼 1#手术室	四侧墙体：轻钢龙骨+4mm 铅板； 顶面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
2	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	综合楼四楼 22#手术室	四侧墙体：轻钢龙骨+4mm 铅板； 顶面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
3	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	综合楼四楼 23#手术室	四侧墙体：轻钢龙骨+4mm 铅板； 顶面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
4	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	综合楼四楼	四侧墙体：轻钢龙骨+4mm 铅板；

					杂交手术室（19#手术室）	顶面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
5	DSA（型号未定）	1	≤150	≤1250	综合楼四楼杂交手术室（21#手术室）	四侧墙体：轻钢龙骨+4mm 铅板； 顶面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃

注：1、铅密度为 11.3g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3。

2、杂交手术室 CT 在使用时通过滑轨移动至 19#手术室或 21#手术室内，不使用时存放在 20#手术室，CT 不在 20#手术室内出束工作。

（三）辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

DSA 机房入口处拟设置有电离警告标志和中文警示说明；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

2、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。本项目 DSA 机房患者入口防护门为推拉式电动机房门，医护入口防护门为平开机房门，防护门均拟设置自动闭门装置，防护大门拟设置防夹装置。

3、急停按钮

DSA 控制室设置一个急停按钮，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。

4、观察窗和语音对讲装置

DSA 机房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。DSA 机房控制室拟设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流。

5、防护用品

医院拟为 DSA 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，同室操作人员佩戴铅衣内、铅衣外双剂量计；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

医院拟为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，建立个人剂量监测档案。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，建立职业健康监护档案。

7、完善并落实射线装置相关的安全使用制度、管理制度，从事放射工作的医务人员均须参加放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。

8、其他辐射安全措施

介入放射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，因此在评估介入放射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放射治疗的防护工作：

（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）所有在介入放射治疗机房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。

◆ **ERCP**

（一）工作场所布局合理性

江苏省人民医院宿迁医院拟在综合楼三楼新建 1 座 ERCP 机房并配备 1 台 ERCP，用于开展医疗诊断和介入治疗。ERCP 配套独立用房，房间由射线装置机房和操作台组成。ERCP 机房操作台与射线装置机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

（二）两区划分

1、分区原则

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

控制区—把需要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—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的区域。

2、控制区与监督区的划分

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。医院拟将 ERCP 机房等划分为控制区，该区域涉及射线装置使用区域，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；与机房相邻的控制室属《电离辐射防护与辐射源安全基

本标准》（GB18871-2002）定义的监督区，作为监督区管理。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 ERCP 工作场所辐射防护分区管理划分示意图见图 10-10。

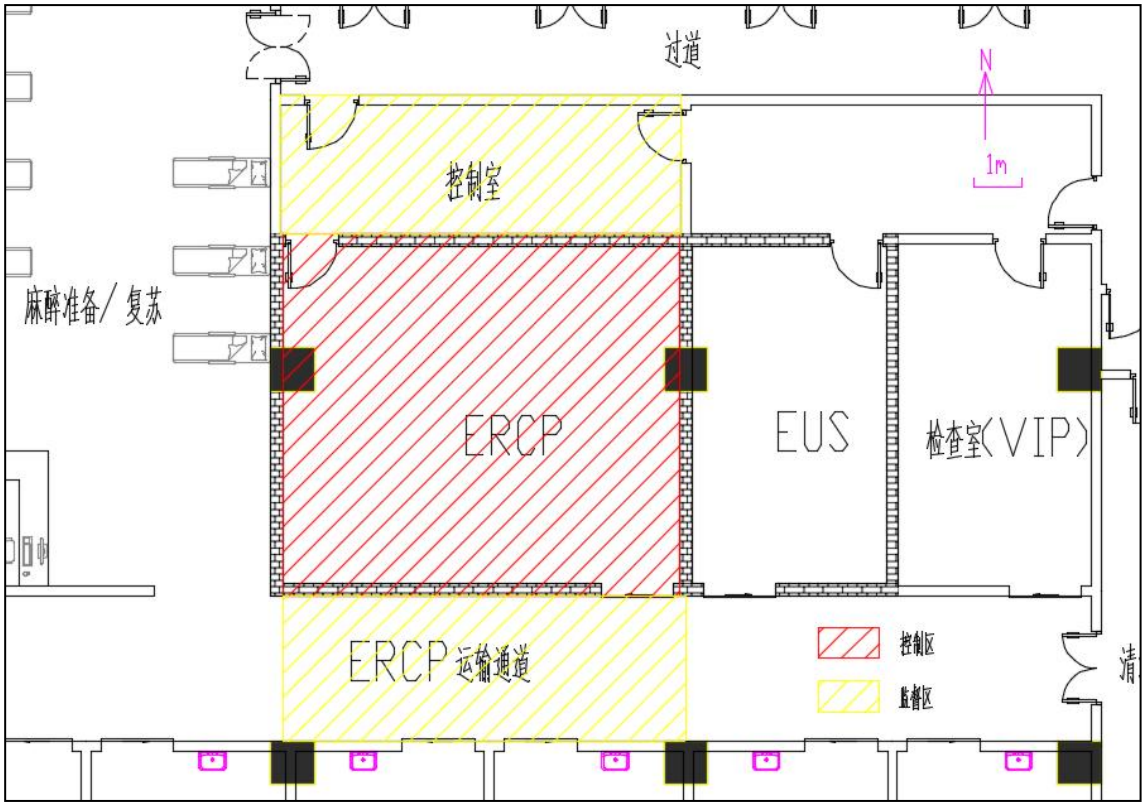

图 10-10 综合楼三楼 ERCP 平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

（二）辐射防护屏蔽设计

本项目 ERCP 机房辐射防护屏蔽设计见表 10-6。

表 10-6 ERCP 机房屏蔽防护设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	工作场所名称	屏蔽防护
1	ERCP（型号未定）	1	≤120	≤150	综合楼三楼 ERCP 机房	四侧墙体：240mm 实心砖+1mm 铅当量硫酸钡防护涂料 顶面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 铅板； 铅玻璃窗：4mm 铅当量铅玻璃。

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

（三）辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

ERCP 机房入口处拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

2、门灯联动

ERCP 机房患者入口的推拉式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。机房电动推拉门拟设有防夹装置。

3、急停按钮

ERCP 操作台设置一个急停按钮，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。

4、观察窗或摄像监控装置

ERCP 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。操作台上拟设置视频监控及对讲装置。

5、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，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。

6、人员监护

医院拟为 ERCP 配备 5 名辐射工作人员，应为辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检且需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。

7、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。

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 ERCP 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。本项目 ERCP 可记录患者检查过程中收到的剂量信息，包括累积时间、累积剂量和单影像曝光次数，同时导出或打印检查剂量报告。

（5）介入人员应该结合 ERCP 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 ERCP 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 ERCP 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 ERCP 自带床侧防护帘，医院拟配备移动铅防护屏风，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、其他医学影像诊断项目

本项目其他医学影像诊断项目涉及的Ⅲ类射线装置均有单独的机房，控制室独立于机房外。医院拟将射线装置机房内部作为辐射防护控制区，将相应控制室作为辐射防护监督区；控制区严格控制人员出入，监督区控制非辐射工作人员停留时间。

根据医院提供的资料，本项目Ⅲ类射线装置机房均采用混凝土、硫酸钡水泥、硫

酸钡防护涂料、铅板、铅玻璃等进行辐射屏蔽防护，详见表 10-7。

表 10-7 其他医学影像诊断项目射线装置机房屏蔽防护设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	工作场所名称	屏蔽防护设计
1	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼影像科 CT1 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
2	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼影像科 CT2 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
3	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼影像科 CT3 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
4	CT（型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼急诊科 CT 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
5	DR（型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼影像科 DR1 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
6	DR（型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼影像科 DR2 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料；

						地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
7	DR （型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼影像科 DR3 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
8	DR （型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼一楼急诊科 DR 室	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
9	骨密度仪 （型号未定）	1	≤120	≤20	综合楼一楼影像科骨密度机房	四侧墙体：370mm 实心砖+1mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+1mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：2mm 厚铅板； 观察窗：2mm 铅当量铅玻璃
10	数字胃肠机	1	≤150	≤1000	综合楼一楼影像数字胃肠机机房	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃
11	DR （型号未定）	1	≤150	≤1000	综合楼二楼 DR 机房	四侧墙体：370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 顶面：130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 地面：180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料； 防护门：4mm 厚铅板； 观察窗：4mm 铅当量铅玻璃

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

医院其他医学影像诊断项目中的医用 X 射线装置机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯拟与防护大门设置有效联动，机

房设置观察窗或摄像监控装置，设置动力通风装置并保持良好的通风。平开机房门拟设置自动闭门装置，推拉式机房门拟设置曝光时关闭机房门的管理措施。

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，开展放射诊疗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。

一、放疗治疗项目

江苏省人民医院宿迁医院拟配备辐射巡测仪 1 台，用于日常自主监测；放疗中心辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，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 10-8 CT 模拟定位机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》（GBZ 130-2020）要求	本项目拟采取措施
CT 模拟定位机	辐射工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	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 件铅方巾、1 件铅橡胶颈套
		辅助防护设施	可调节防护窗口的立位防护屏 选配:固定特殊受检者体位的各种设备	/

本项目 CT 模拟定位机拟配备的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

二、核医学科项目

江苏省人民医院宿迁医院拟配备辐射巡测仪,拟为核医学科配备 1 台表面沾污仪。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，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 10-9 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

场所类型	分项	《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）要求	本项目拟采取措施

普通核医学科	工作人员	必备	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	4 套铅橡胶围裙、铅橡胶颈套，2 件铅防护眼镜；2 套注射器铅防护套、防护提盒；防污染防护服若干，2 件 2mmPb 铅屏风
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	
	患者或受检者		/	/
正电子放射性药物的场所	工作人员	必备	放射性污染防护服	2 套放射性污染防护服
		选备	/	
	患者或受检者		/	

本项目核医学拟配备的个人防护用品和辅助防护设施符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）要求的标准要求。

三、介入放射学项目

江苏省人民医院宿迁医院拟配备辐射巡测仪，用于日常自主监测；医院拟为辐射工作人员配备铅衣（不低于 0.5mm 铅当量）、铅围脖、铅帽、介入护手套（不低于 0.025mm 铅当量）及铅眼镜等个人防护用品。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，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 10-10 介入放射学项目个人防护用品和辅助防护设施配置符合性

设备名称	分项		《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	本项目拟采取措施（每台）
DSA	工作人员	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 选配：铅橡胶帽子	3 件铅橡胶围裙、3 件铅橡胶围脖、3 顶铅橡胶帽子、2 副铅防护眼镜、2 副介入防护手套
		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	铅悬挂防护屏、床侧防护帘
	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	2 件铅橡胶围脖、2 顶铅橡胶帽子、2 件铅方巾
		辅助防护设施	/	/
ERCP	工作人员	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 选配：铅橡胶帽子	3 件铅橡胶围裙、3 件铅橡胶围脖、3 顶铅橡胶帽子、2 副铅防护眼镜、2 副介入防护手套
		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	铅悬挂防护屏、床侧防护帘

	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	2 件铅橡胶围脖、2 顶铅橡胶帽子、2 件铅方巾
		辅助防护设施	/	/
CT	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	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	2 件铅橡胶围脖、2 顶铅橡胶帽子、2 件铅方巾
		辅助防护设施	/	/

医院介入放射学项目拟配备的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

（四）其他医学影像诊断项目

江苏省人民医院宿迁医院拟配备辐射巡测仪 1 台，拟为辐射工作人员配备铅衣（不低于 0.5mm 铅当量）、铅围脖、铅帽等个人防护用品。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，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 10-11 其他医学影像诊断项目个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	本项目拟采取措施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	
	患者或受检者	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， 选备：铅橡胶帽子	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子若干
		辅助防护设施	可调节防护窗口的立位防护屏 选备：固定特殊受检者体位的各种设备	可调节防护窗口的立位防护屏、固定特殊受检者体位的各种设备若干
CT 体层扫描（隔室）	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	患者或受检者	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	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子若干

		辅助防护设施	/	/

三废治理

一、放射性三废

1、放射治疗项目

本项目医用直线加速器、CT 模拟定位机正常运行过程中不产生放射性三废。

2、介入放射学项目

本项目 DSA、CT、ERCP 正常运行中无放射性三废产生。

3、核医学科项目

本项目核医学科运行期产生的主要放射性三废为含放射性素的固体废物、放射性废水和含放射性核素气溶胶，核医学诊断工作场所拟采取以下“三废”防治措施：

（1）含放射性核素气溶胶

核医学科分装注射室内的手套箱均有独立排风管道，放射性药物的分装操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；核医学科各房间均有排风管道连接，要确保非密封放射性物质工作为负压工作场所，工作场所各排风管道须密封良好，不与其他排风管道相通，手套箱设置独立的排风管道。核医学科通风管道布设如附图 12 所示。

江苏省人民医院宿迁医院综合楼为地下二层、地上四层建筑，本项目核医学科产生的废气将通过排风管引至综合楼楼顶经活性炭装置过滤后排放，排气口高于楼房屋脊，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，同时为防止公众进入楼顶，医院拟将综合楼楼顶划为管控区域，并进行管理。

医院拟在排风管道末端处配置高效活性炭吸附装置，手套箱排风管道近手套箱端另设活性炭吸附装置，为保证过滤效率的有效性，医院拟根据设备特性定期进行过滤器维护和校准，过滤器及活性炭定期更换（1～2 次/年），更换后的废活性炭作为放射固体废物储存在废物间内。

（2）放射性废水

本项目核医学科产生的含放射性废水包括：分装注射室工作人员操作过程手部受

到微量污染的清洗废水，淋浴间的淋洗废水；注射后候诊室、留观室卫生间患者冲洗排便用水；污洗间内洗污废水；清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水。

本项目核医学科设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与本项目新建衰变池相连。排水系统及衰变池均为独立设置，工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至本次新建的衰变池系统内。衰变池设于综合楼东侧地下，避开了人群集中活动区域。本项目核医学科内下水管道均设于核医学科地面以下，放射性废水排水管道对周围环境的辐射影响较小。

来自核医学科注射室和注射后病人专用厕所的放射性废水，含有放射性核素，由独立下水管道（详见附图 11）统一集中到综合楼东侧地下的衰变池（详见图 10-11）中暂存衰变。放射性废水中所含核素以 ^{89}Zr 的半衰期最长（3.27d），废水暂存衰变 39 天、监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L。

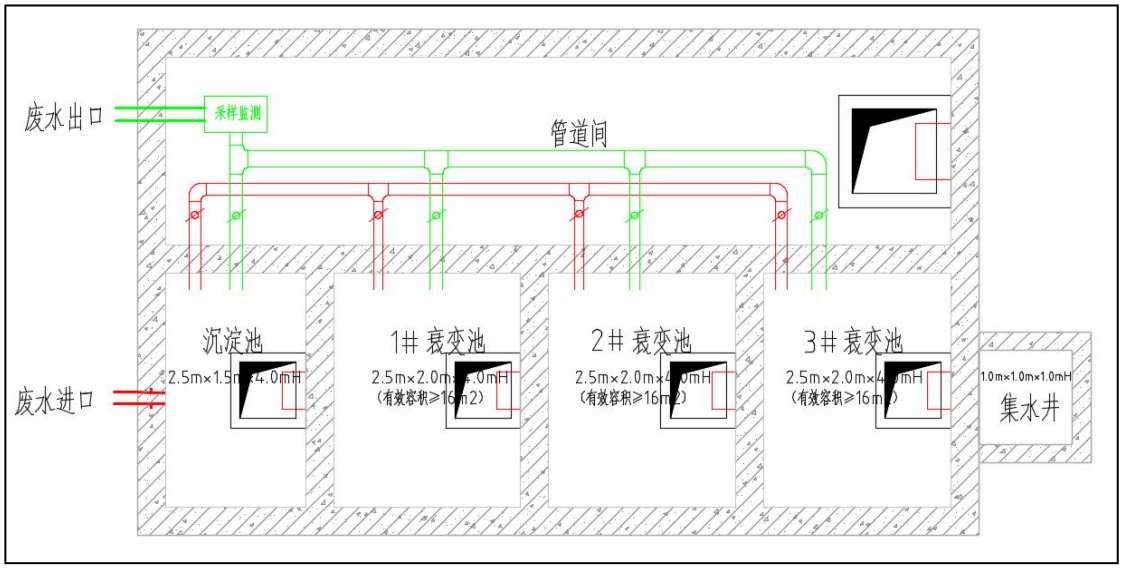

图 10-11（a） 衰变池平面结构示意图

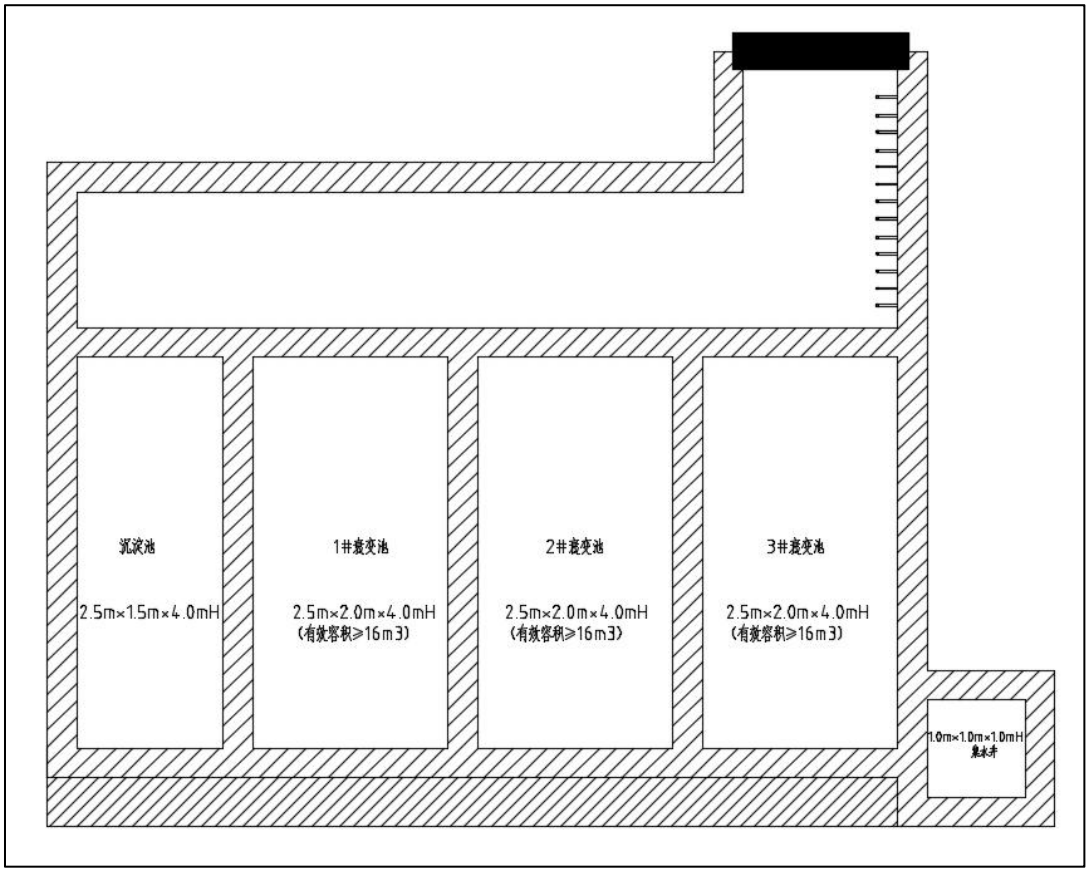

图 10-11（b） 衰变池剖面结构示意图

核医学科的衰变池系统由 1 个沉淀池加 3 个衰变池组成，单个衰变池有效容积不低于 16m^3，总容积不低于为 48m^3。衰变池整体使用混凝土浇筑，池壁厚 300mm 核医学科产生的放射性废水先进入沉淀池进行初步沉淀、降解后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过降解池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，自动关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行。

本项目核医学科工作场所中，放射性废水产量为 820L/d，根据放射性废水衰变系统运行方式，装满 2 个衰变池需要 39 天，则第一个装满的衰变池中的放射性废水可在该衰变系统内衰变约 39d，而放射性废水所含核素中，最长寿命核素 ^{89}Zr 的半衰期为 3.27d，故本项目衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期”的要

求。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①应建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理；

②衰变池周围需设立明显的“电离辐射警告标志”，同时衰变池四周应设立拦挡隔离，防止无关人员靠近；

③专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

（3）放射性固废

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科分装注射室、注射后候诊室、留观室等房间均拟设置1～2个放射性废物桶（防护厚度拟不低于20mmPb）。另外，医院在核医学科各设有2个放射性废物间，分装注射室旁废物间面积约为4.6m^2，留观室旁废物间面积约6.2m^2，总容积约41m^3，废物间有效利用空间约20m^3。

本项目核医学科日接诊量最大为74人次，年最大接诊量为18050人次。放射性固体废物产生量按0.02kg/人次计算，则放射性固体废物日最大产生量为1.48kg，年最大产生量为361kg，平均30.1kg/月；核医学科通风系统每年更换下来的废活性炭总量约20kg。

核医学科放射性固体废物收集后，按照核素分类存入放射性废物间内，废物间年入库放射性固体废物总量为361kg，月平均30.1kg，体积不超过2m^3。放射性废物间的容积能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍”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”的标准要求。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避开辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏；

②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规

定；

④建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

⑤不同核素种类放射性固废进行分类收集，达到清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

4、其他医学影像诊断项目

其他医学影像诊断项目中的医用 X 射线装置在正常运行中无放射性三废产生。

二、非放射性三废

1、放射诊疗项目

（1）废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理，达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理。

（2）废气：医用直线加速器、TOMO、CT 模拟定位机机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气。臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第 6.2.2 条款的要求：放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

本项目医用直线加速器机房治疗室容积均约 639.3m^3（包括迷路），机房内设有通风系统，其设计通风量拟不小于 2600m^3/h，采用机械排风方式，通风口为上进下出布置。通风管道从防护门上方预留的穿墙管道通至机房内，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高。医用直线加速器机房通风设计如图 10-12 所示。

本项目医用直线加速器机房通风设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换”及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的相关要求。

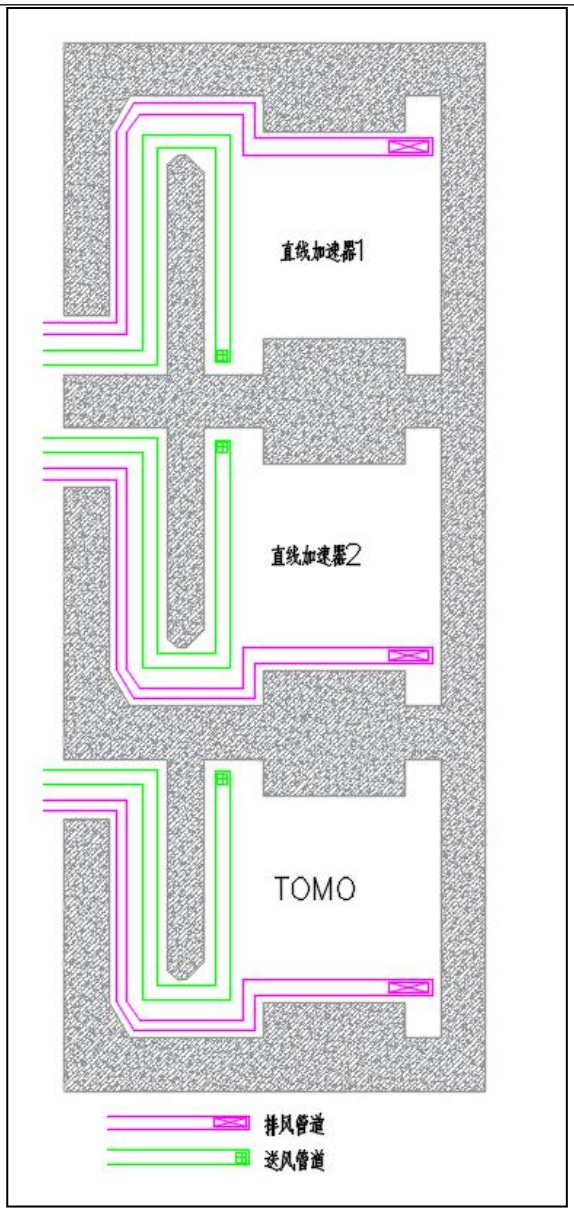

图 10-12 加速器机房通风管道布设示意图

固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类收集后，交由市政环卫部门处理，对周围环境影响较小。

2、核医学科项目

（1）废气：核素操作及 CT 出束扫描过程中，空气因电离产生的少量臭氧和氮氧化物可通过核医学科工作场所均拟设置的排风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（2）废水：工作人员产生的医疗废水和生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理。

（3）固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类

收集后，交由市政环卫部门处理，对周围环境影响较小。

3、介入放射学项目

（1）废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站处理达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理。

（2）废气：DSA、CT、ERCP 机房空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（3）固废：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，手术结束后统一集中收集，作为医疗废物委托有资质单位进行处置。工作人员和病人产生的生活垃圾经分类收集后，定期交市政环卫部门处置。

4、其他医学影像诊断项目

（1）废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理，达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理。

（2）废气：射线装置机房空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（3）固废：工作人员和病人产生的生活垃圾经分类收集后，定期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

本次扩建放射诊疗项目机房建设时主要工作为建筑施工、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：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体浇筑、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。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体浇筑、隔断、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。

3、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。

4、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，并经隔渣后排放或回收用于施工场地洒水降尘。

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）放射治疗项目

◆ 医用直线加速器

根据建设单位提供的资料，医院拟配备的 1#医用直线加速器型号为瓦里安 VitalBeam，电子线最大能量为 20MeV，X 射线能量为 6MV、10MV，6MV 时 1m 处最大输出剂量率为 1400cGy·m^2/min（3F 模式），10MV 时 1m 处最大输出剂量率为 600cGy·m^2/min；2#医用直线加速器型号为医科达 Infinity，电子线最大能量为 15MeV，X 射线能量为 6MV、10MV，6MV 时 1m 处最大输出剂量率为 1400cGy·m^2/min，10MV

时 1m 处最大输出剂量率为 2200cGy·m²/min。2 座加速器机房南北并列、相邻布置，机房屏蔽设计完全一致，因此本报告以 2#医用直线加速器的 10MV、2200cGy·m²/min 工况对放疗机房进行辐射影响分析计算，且从保守计算角度出发，计算时仅考虑加速器所在机房自身的屏蔽能力，不考虑相邻机房的额外屏蔽效果（即不考虑主屏蔽外凸部分）。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目医用直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在医用直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-1。

1、有用线束主屏蔽区的宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度：

$$Y_p = 2[(a + SAD)\cdot \tan\theta + 0.3] \qquad \text{公式 11-1}$$

式中：Y_p—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ—治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入公式 11-1，可估算出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-1：

表 11-1 医用直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

参数	2#加速器机房		
	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	顶部主屏蔽
SAD（m）	1	1	1
θ（°）	14	14	14
a（m）			
Y_p 计算值（m）			

Y_p 设计值（m）			
评价结果	满足	满足	满足

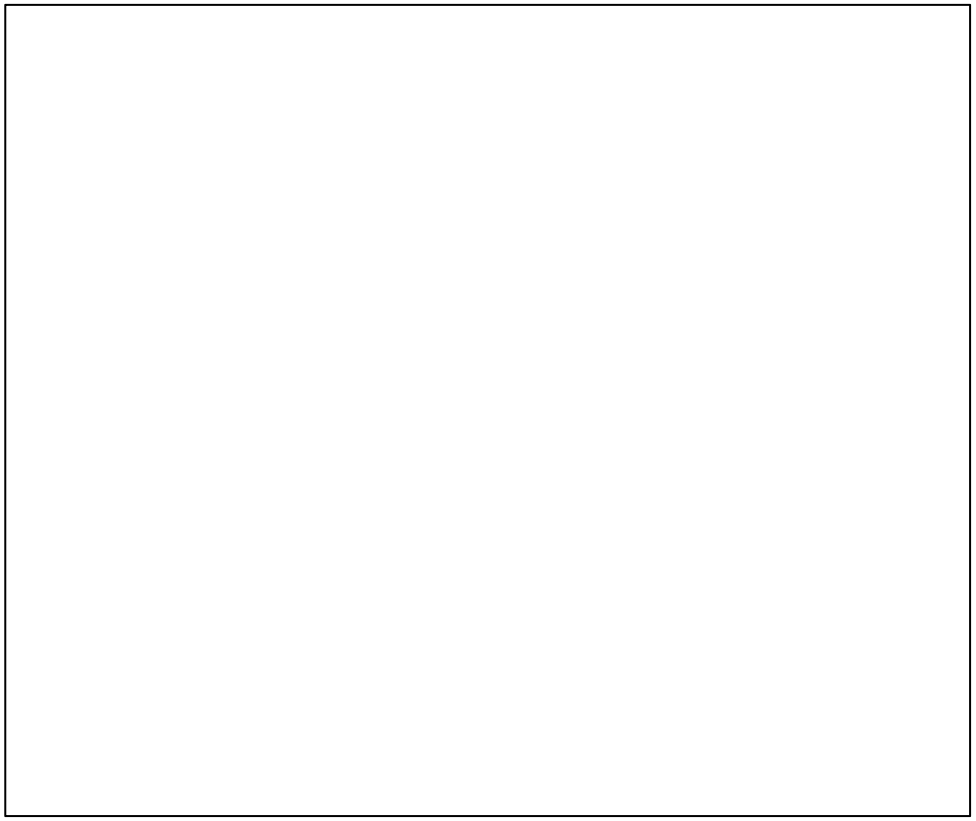

图 11-1 医用直线加速器机房估算点位平面示意图

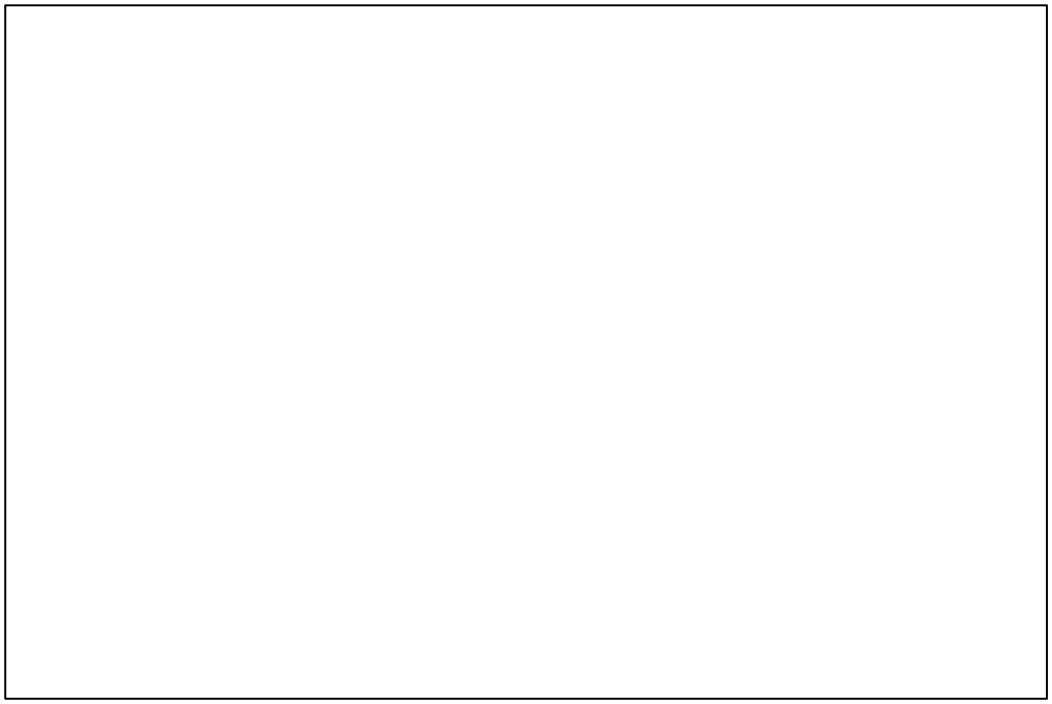

图 11-2 医用直线加速器机房估算点位剖面示意图

2、医用直线加速器机房辐射防护能力分析

（1）有用线束主屏蔽设计核算（*a* 点、*b* 点、*l* 点）

①主射线路径：北墙 $o_2 \rightarrow a$，南墙 $o_1 \rightarrow b$，屋顶 $o_3 \rightarrow l$。

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式 11-2 计算有效厚度 X_e（cm），按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式 11-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e = X/cos\theta = X \cdot sec\theta \qquad \text{公式 11-2}$$

式中：X—设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角。

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

式中，TVL_1（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，TVL_1=TVL。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1 为 41cm、TVL 为 37cm。本项目中，a 点、b 点、l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad \text{公式 11-4}$$

式中：$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h，本项目中 10MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 1.32×10^{9}μSv·m^2/h；

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f—对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

③预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断

机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-2。

表 11-2 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数	2#加速器机房		
	北墙主屏蔽 *a* （1#加速器机房）	南墙主屏蔽 *b* （TOMO 机房）	屋顶主屏蔽 *l* （加速器机房上空）
X（cm）			
X_e（cm）			
TVL_1（cm）			
TVL（cm）			
B			
R（m）			
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）			
f			
$\dot{H}$（μSv/h）	0.285	0.285	0.201
$\dot{H}_c$（μSv/h） （剂量率参考控制水平）	10	10	100
评价	满足	满足	满足

（2）与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（北墙 c_1 点、c_2 点，南墙 d_1、d_2 点，屋顶 n_1 点、n_2 点）

①射线路径（射线类型）：$o_1 \rightarrow o \rightarrow c_1$（散射射线），$o_1 \rightarrow o \rightarrow c_2$（散射射线），$o_2 \rightarrow o \rightarrow d_1$（散射射线），$o_2 \rightarrow o \rightarrow d_2$（散射射线），$o_3 \rightarrow o \rightarrow n_1$（散射射线），$o_3 \rightarrow o \rightarrow n_2$（散射射线）。

$o \rightarrow c_1$（泄漏射线），$o \rightarrow c_2$（泄漏射线），$o \rightarrow d_1$（泄漏射线），$o \rightarrow d_2$（泄漏射线），$o \rightarrow n_1$（泄漏射线），$o \rightarrow n_2$（泄漏射线）。

对于 c_1 点、c_2 点、d_1 点、d_2 点、n_1 点、n_2 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

②泄漏辐射计算模式及参数

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。f=0.001（泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T

201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3}），公式 11-3 的 TVL_1 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，TVL=31cm。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先用公式 11-2 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e（cm），按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，当散射角为 30°时，对于 10MeV 射线，患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm，再按照公式 11-5 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）；

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

式中：$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目加速器 X 射线 10MV 时为 1.32×10^9μSv·m²/h；

α_{ph}—患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 10MeV、30°取值，为 3.18×10^{-3}；

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为 40cm×40cm=1600cm²。

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

④预测计算结果

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-3，其中 X_e、R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-3 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数	2#加速器机房		
	北墙次屏蔽（c_1、c_2 点）	南墙次屏蔽（d_1、d_2 点）	屋顶次屏蔽（n_1、n_2 点）
X（cm）	180 砼	180 砼	170 砼

X_e（cm）				
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）				
泄漏辐射	TVL_1（cm）			
	TVL（cm）			
	B			
	R（m）			
	f			
	$\dot{H}$（μSv/h）			
散射辐射	TVL_1（cm）			
	TVL（cm）			
	R_s（m）			
	α_{ph}			
	B			
	F（cm²）			
	$\dot{H}$（μSv/h）			
$\dot{H}$（μSv/h）泄漏辐射和散射辐射的复合作用		0.006	0.006	0.051
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平		10	10	100
评价		满足	满足	满足

（3）侧屏蔽墙屏蔽设计核算（*f* 点、*e* 点、*h* 点）

①射线路径（射线类型）：*o*→*f*（泄漏射线），*o*→*e*（泄漏射线），*o*→*h*（泄漏射线）。

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区，f=0.001（泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3}）。公式 11-3 的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，TVL=31cm。

③预测计算结果

f 点、*e* 点、*h* 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-4，其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-4 医用直线加速器机房外泄漏辐射剂量率核算值

参数	2#加速器机房迷路墙外（*f* 点）	2#加速器机房负一楼部分西墙外（*e* 点）	2#加速器机房负一楼部分东墙外（*h* 点）
X（cm）			
X_e（cm）			
TVL_1（cm）			
TVL（cm）			
B			
R（m）			
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）			
f			
$\dot{H}$（μSv/h）			
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	2.5	10	10
评价	满足	满足	满足

（4）迷路外墙屏蔽设计核算（迷路外墙 *k* 点）

①射线路径（射线类型）：$o_1 \rightarrow k$（泄漏射线）。

②计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷路内墙照射，该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区，f=0.001（泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3}）。公式 11-3 的 TVL_1 和 *TVL* 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，*TVL*=31cm。

③预测计算结果

k 点的辐射剂量率预测结果见下表 11-5，其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-5 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

参数	2#加速器机房迷路外墙（*k* 点）
X（cm）	
X_e（cm）	
TVL_1（cm）	
TVL（cm）	
B	
R（m）	
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	
f	
$\dot{H}$（μSv/h）	0.120
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	10
评价	满足

（5）迷路入口处辐射水平核算（*g* 点）

根据 GBZ/T 201.2-2011，*g* 点处同时受到迷道内散射辐射（o_1→*o*→*B*→*P*→g）及加速器的泄漏辐射 o_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 *g* 点的辐射剂量。

①射线路径（射线类型）： o_2→*g*（泄漏射线），o_1→*o*→*B*→*P*→g（散射射线）。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 *k* 点。

其中 X_e、*R* 的取值由 CAD 图纸上读出，取泄漏因子 *f*=0.001，公式 11-3 的 TVL_1 和 *TVL* 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1=35cm，*TVL*=31cm。计算结果见表 11-6。

表 11-6 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

参数	2#加速器机房迷路入口处（*g* 点）
X（cm）	
X_e（cm）	
TVL_1（cm）	

TVL（cm）	
B	
R（m）	
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	
f	
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	2.241

③散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T 201.2-2011，入口 *g* 点处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按公式 11-6 计算。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \qquad \text{公式 11-6}$$

式中：$\dot{H}_g$—*g* 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者 400cm² 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45°散射角的值；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.3）的散射因子，通常取入射角为 45°，散射角为 0°；α_2 值见附录 B 表 B.6；

A—*B* 处的散射面积，m²；

R_1—“*o*→*B*”之间的距离，m；

R_2—“*B*→*P*→*g*”之间的距离，m；

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，μSv·m²/h。

表 11-7 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

参数	2#加速器机房迷路入口处（*g* 点）
α_{ph}	
F（cm²）	
α_2	

R_1（m）	
R_2（m）	
A（m^2）	
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）	1.32×10^9
$\dot{H}_g$（μSv/h）	128.25

④预测计算结果

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外 g 点处的辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 11-7 计算，预测结果见下表 11-8。

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

式中：$\dot{H}_{og}$—g 处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在铅中的什值层，cm；

X—铅屏蔽厚度，cm。

表 11-8 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

参数	2#机房入口防护门外（g 点）
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	
$\dot{H}_g$（μSv/h）	
X（cm）	
TVL（cm）	
$\dot{H}$（μSv/h）防护门外的辐射剂量率	2.254
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	10
评价	满足

3、预测计算结果汇总及评价

综上所述，医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

参考点	剂量率估算值（μSv/h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）	评价

2#加速器机房	北墙 *a* 点（1#加速器机房）	0.285	10	满足
	北墙 c_1、c_2 点（1#加速器机房）	0.006	10	满足
	南墙 *b* 点（TOMO 机房）	0.285	10	满足
	南墙 d_1、d_2 点（TOMO 机房）	0.006	10	满足
	西墙 *k* 点（水冷机房）	0.120	10	满足
	迷路墙外 *f* 点（控制室）	3.92×10^{-5}	2.5	满足
	迷路入口防护门 *g* 点（准备间）	2.254	10	满足
	顶部 *l* 点（加速器机房上空）	0.201	100	满足
	顶部 n_1、n_2 点（加速器机房上空）	0.051	100	满足
	负一楼部分西墙 e 点（人员不可达区域）	1.07×10^{-5}	10	满足
	负一楼部分西墙 h 点（车库）	7.31×10^{-2}	10	满足

注：1#加速器机房负一楼部分北墙外为过道，且北墙为主射线方向，保守可参考 a 点剂量率估算值，能够满足 5mSv/h 的剂量率参考控制水平。

由表 11-9 可知，本项目 2#加速器机房屏蔽设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求，1#加速器机房与 2#加速器机房屏蔽设计完全一致，且 1#医用直线加速器的 X 射线能量及剂量率均小于 2#医用直线加速器，则 1#加速器机房的屏蔽设计也能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。即使考虑极端情况下 2 台医用直线加速器同时以最大工况出束工作的情况，机房外的叠加辐射剂量率也能满足相关标准要求。

医院本次拟配备的医用电子直线加速器均带有 CBCT 系统，由于机房的防护均为混凝土结构且厚度最薄处也为 1500mm 厚混凝土，远远超过《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求，故可忽略其对周围环境的辐射影响。电子线的贯穿能力远不如 X 射线，当机房的屏蔽设计能够满足 X 射线的防护时，也能满足电子线的防护。

本项目医用直线加速器机房防护门设计制作时，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。本项目医用直线加速器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。根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的

屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”本项目医用直线加速器机房进、排风管道经防护门上方由迷道到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线在到达通风管道口前，至少经过 3 次散射才能到达管道出口处；管道穿墙处使用 8mm 铅板+25mm 含硼聚乙烯板进行包覆，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”形穿墙管道，穿墙处埋地深度为 800mm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，加速器机房射线至少经过 4 次散射才能到达电缆沟出口，能够满足辐射防护要求。

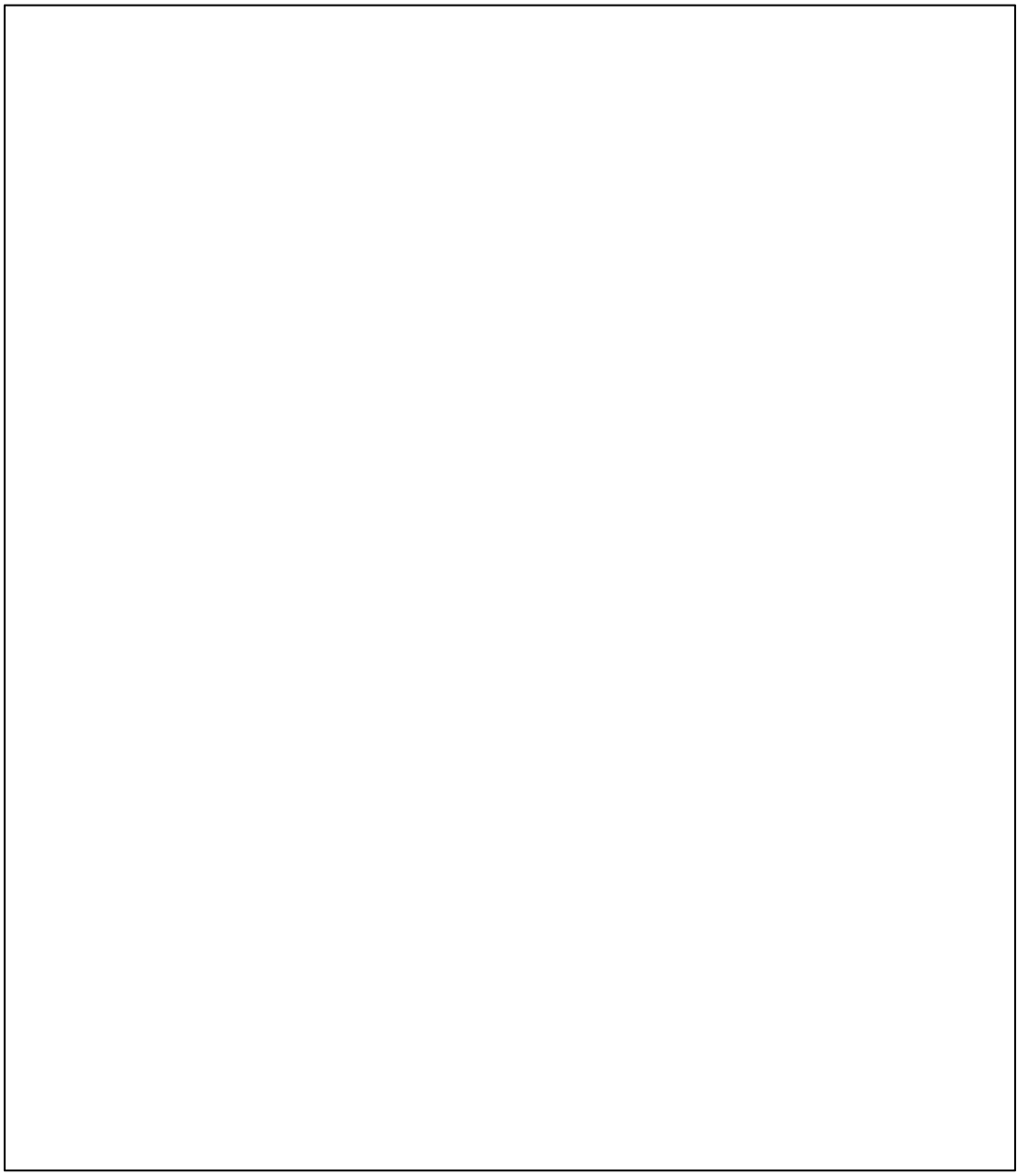

图 11-3 本项目加速器机房穿墙风管、线缆地沟散射路径示意图

根据表 11-9 中机房外辐射剂量率估算结果可知，本项目医用直线加速器机房顶部剂量率最大值为 0.201μSv/h，其天空散射和侧散射辐射对机房外的附近地面和楼层中公众的照射较小，能够满足防护要求。

4、保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

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

式中：D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

H—考察点的周围辐射剂量率（Sv/h）；

t—考察点处年受照时间（h）；

T—居留因子；

U—使用因子。

将表 11-9 中医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8。根据医院提供资料，本项目单台医用直线加速器年出束运行时间约 1000h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-8 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-10。

表 11-10 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

参考点		参考点所在场所	剂量率估算值（μSv/h）	居留因子 T[1)]	使用因子 U	人员可达处年有效剂量（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）	结论
2#加速器机房	北墙主屏蔽（*a* 点）	1#加速器机房	0.285	1/8	1/4	8.92E-03	5	满足
	北墙次屏蔽（c_1、c_2 点）	1#加速器机房	0.006	1/8	1/4	1.97E-04	5	满足
	南墙主屏蔽（*b* 点）	TOMO 机房	0.285	1/8	1/4	8.92E-03	5	满足
	南墙次屏蔽（d_1、d_2 点）	TOMO 机房	0.006	1/8	1/4	1.97E-04	5	满足
	西侧迷路墙外（*k* 点）	水冷机房	0.120	1/16	1	7.50E-03	5	满足
	西侧迷路墙外（*f* 点）	控制室	3.92×10^{-5}	1	1	3.92E-05	5	满足
	迷路入口防护门（*g* 点）	准备间	2.254	1/8	1	0.282	5	满足
	顶部主屏蔽（*l* 点）	加速器机房上空	0.201	1/40	1/4	1.26E-03	0.1	满足
	顶部次屏蔽（n_1、n_2 点）	加速器机房上空	0.051	1/40	1/4	3.22E-04	0.1	满足

	负一楼部分东墙外（*h* 点）	地下车库	7.31×10^{-2}	1/40	1	1.83E-03	0.1	满足
1#加速器机房	负一楼部分北墙外	过道	0.285	1/5	1/4	1.43E-02	0.1	满足

注：1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 表 A.1；
2、1#加速器机房负一楼部分北墙外辐射剂量率参考 *a* 点；
3、1#加速器机房负一楼部分东墙外人员有效剂量参考 *h* 点；
4、放疗机房负一楼部分西墙外（参考点 *e* 处）人员不可达。

根据表 11-10 结果分析知，2#医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最大为 0.099mSv，周围公众年有效剂量均不超过为 0.014mSv，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、公众的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 2 台医用直线加速器南北并列、相邻设置，当 2 台加速器同时运行时，控制室、准备间的工作人员、加速器顶部可能到达的公众会受到剂量叠加影响。保守计算考虑，控制室工作人员的年有效剂量不会超过 $3.92\times10^{-5}\times2=7.74\times10^{-5}$mSv，准备间的工作人员年有效剂量不会超过 0.282×2=0.564mSv，机房顶部及上方地面可能到达的公众人员年有效剂量不会超过 0.001×2=0.002mSv，机房负一楼部分东墙外公众人员年有效剂量不会超过 $1.83\times10^{-3}\times2=3.66\times10^{-3}$mSv，加速器负一楼部分北墙外公众人员年有效剂量不会超过 $1.43\times10^{-2}\times2=2.86\times10^{-2}$mSv。实际运行中，2 台设备不会长期同时以最大工况出束，且 1#加速器的辐射影响低于 2#加速器的辐射影响，因此实际应用中辐射工作人员及周围公众的年有效剂量还将进一步降低。

由上述保守计算分析结果可知，即使考虑 2 台加速器同时运行的叠加影响，本项目辐射工作人员及周围公众的年有效剂量也能满足《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剂量约束值要求。

医用直线加速器运行过程中靶中产生的高能光子可以与靶、准直器和限束系统中的金属材料的原子核发生各种核反应产生感生放射性，感生放射性水平取决于加速器电子的能量、束流强度、靶物质及运行时间等多种因素。感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机 5-10min 就可减弱到

初始值的一半，因此放射性有效的防护措施之一就是等其自然衰变。

医用直线加速器运行期间，由于机房有足够的屏蔽，由部件产生的感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入治疗室引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于放射治疗患者较多，辐射工作人员一般在医用直线加速器停机后 3min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目日接诊量最大 50 人次，平均每位患者摆位时间为 30s，一年 250 个工作日，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS 674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处≤20μSv/h）进行估算，辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量为 2.08mSv，满足本项目剂量约束值要求。

◆ **TOMO**

医院于综合楼负二楼放疗中心东部新建 1 座 TOMO，配备 1 台中核安科锐 TomoH 型 TOMO，X 射线能量为 6MV，最大剂量率 860cGy/min。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目 TOMO 机房外设定关注点。从保守角度出发，在 TOMO 机房的尺寸厚度基础上，假定 TOMO 最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。本项目拟配备的 TOMO 治疗装置还带有 3.5MV 的 X 射线低辐射输出剂量的 CT 影像引导设备，6MV 的 X 射线治疗机房能满足对该 CT 的辐射屏蔽要求，因此本项目 TOMO 机房以 TOMO 治疗状态下 6MV 的 X 射线相关参数作为屏蔽计算依据。

本项目 TOMO 机房的关注点选取如图 11-4、11-5 所示。



图 11-4 TOMO 机房辐射屏蔽计算关注点位选取示意图（平面）

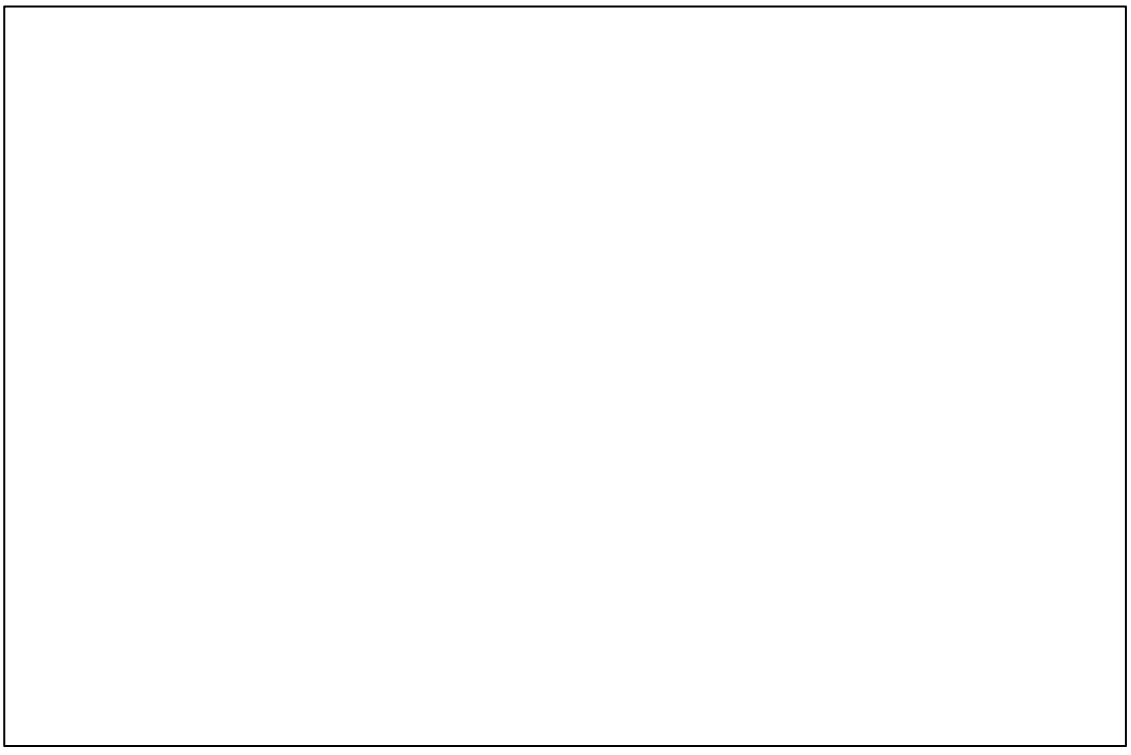

图 11-5 TOMO 机房辐射屏蔽计算关注点位选取示意图（立面）

1、辐射防护效果预测

本项目 TOMO 在加速器机架旋转治疗筒内，有用束对应的筒壁区带有自屏蔽的铅板（不低于 12.7cm），由于其和治疗筒结构件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗筒外的辐射剂量与泄漏辐射相当，故本项目在进行 TOMO 机房屏蔽设计核算时，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中“D.2.3.1 忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽。对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑”。

本项目拟配备的 TOMO 治疗装置带有 3.5MV 的 X 射线低辐射输出剂量的 CT 影像引导设备，6MV 的 X 射线治疗机房能满足对该 CT 的辐射屏蔽要求，因此本项目 TOMO 机房以 TOMO 治疗状态下 6MV 的 X 射线相关参数作为屏蔽计算依据。

（1）泄漏辐射路径

$o_1 \rightarrow k$（泄漏射线），$o \rightarrow f$（泄漏射线），$o_2 \rightarrow g$（泄漏射线），$o_2 \rightarrow c$（泄漏射线），$o_3 \rightarrow n$（泄漏射线），$o_3 \rightarrow e$（泄漏射线），$o_3 \rightarrow h$（泄漏射线），$o_3 \rightarrow h$（泄漏射线）。

（2）计算模式及参数选择

TOMO 机房泄漏辐射屏蔽的计算与加速器泄漏辐射的计算相同，详见公式 11-2 至公式 11-4。对应 6MV 的 X 射线能量，查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，混凝土 TVL_1 为 34cm，TVL 为 29cm；查 NCRP No.151，铅板的 TVL_1 和 TVL 均为 5.7cm。

本项目 TOMO 机房外各关注点处的辐射剂量率预测结果见表 11-11，其中 X_e、R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 11-11（a） TOMO 机房外关注点处泄漏辐射剂量率核算值（负二楼部分）

参数		西墙外水冷机房（k 点）	西墙外控制室（f 点）	迷道口准备间（g 点）	北墙外 2#加速器机房（c 点）	顶部机房上空（n 点）
X（cm）						
X_e（cm）						
TVL_1（cm）	砼					
	铅					
TVL（cm）	砼					
	铅					

B					
R（m）					
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）					
f					
$\dot{H}$（μSv/h）	0.017	3.07E-06	0.156	1.75E-05	9.34E-04
$\dot{H}_c$（μSv/h）	10	2.5	10	10	100
评价	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-11（b） TOMO 机房外关注点处泄漏辐射剂量率核算值（负一楼部分）

参数		机房东墙外车库（h）	机房南墙外车库（b）	机房西墙外人员不可达区域（e）
X（cm）				
X_e（cm）				
TVL_1（cm）	砼			
TVL（cm）	砼			
B				
R（m）				
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）				
f				
$\dot{H}$（μSv/h）		0.114	1.18×10^{-5}	2.48×10^{-6}
$\dot{H}_c$（μSv/h）		10	10	10
评价		满足	满足	满足

由表 11-11 可知，本项目 TOMO 机房屏蔽设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

本项目 TOMO 机房采用上进下出的通风系统，进、排风管道经防护门上方由迷道到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线在到达通风管道口前，至少经过 3 次散射才能到达管道出口处；管道穿墙处使用 8mm 铅板+25mm 含硼聚乙烯板进行包覆，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用

地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”形穿墙管道，穿墙处埋地深度为800mm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，加速器机房射线至少经过4次散射才能到达电缆沟出口，能够满足辐射防护要求。

天空反射射的影响远小于主射线的影响，本项目TOMO的主射线影响与泄漏辐射相当，则机房顶部天空反散射的剂量率将远低于泄漏辐射直射的影响，即低于9.34×10^{-4}μSv/h，对周围环境影响较小。

TOMO机房通风管道、电缆地沟做法见图10-3、图10-4，散射路径示意图见图11-3。

2、保护目标有效剂量评价

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算，详见公式11-8。

将表11-11中TOMO机房外各关注点处的辐射剂量率估算值代入公式11-8。本项目TOMO年出束运行时间约1000h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式11-8估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表11-12。

表11-12 TOMO机房周围人员年有效剂量

参考点	参考点所在场所	居留因子T	使用因子U	剂量率估算值（μSv/h）	人员可达处年有效剂量（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）	结论
西墙外（*k*点）	水冷机房	1/16	1	0.017	1.06E-03	5	满足
西墙外（*f*点）	控制室	1	1	3.07E-06	3.07E-06	5	满足
迷道口（*g*点）	准备间	1/8	1	0.156	0.020	5	满足
北墙外（*c*点）	2#加速器机房	1/8	1/4	1.75E-05	5.47E-07	5	满足
顶部（*n*点）	机房上空（及上方地面）	1/40	1/4	9.34E-04	5.84E-06	0.1	满足
负一楼部分东墙外（*h*点）	车库	1/40	1	0.114	2.85E-03	0.1	满足
负一楼部分南墙外（*b*点）	车库	1/40	1/4	1.18E-05	7.41E-08	0.1	满足

注：1、居留因子取值见HJ 1198-2021附录A；

2、机房上方地面处辐射剂量率、人员有效剂量均保守参考*n*点；

3、机房负一楼部分西墙外人员不可达。

根据表11-12结果分析知，TOMO投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最大为

0.020mSv，周围公众年有效剂量不超过为 0.01mSv，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、公众的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 2 台医用直线加速器、1 台 TOMO 南北并列、相邻设置，当 3 台放疗设备同时运行时，控制室、准备间的工作人员、加速器顶部可能到达的公众会受到剂量叠加影响。保守计算考虑，控制室工作人员的年有效剂量不会超过 7.74×10^{-5}mSv+3.07×10^{-6}mSv=8.05×10^{-5}mSv，准备间的工作人员年有效剂量不会超过 0.564mSv+0.020mSv=0.584mSv，机房顶部及上方地面可能到达的公众人员年有效剂量不会超过 0.002mSv+5.84×10^{-6}mSv=0.002mSv，机房负一楼部分东墙外车库公众的年有效剂量不会超过 2.85×10^{-3}mSv+3.66×10^{-3}mSv=6.5110^{-6}mSv。实际运行中，3 台放疗设备不会长期同时以最大工况出束，且 1#加速器的辐射影响低于 2#加速器的辐射影响，因此实际应用中辐射工作人员及周围公众的年有效剂量还将进一步降低。

由上述保守计算分析结果可知，即使考虑 3 台放疗设备同时运行的叠加影响，本项目辐射工作人员及周围公众的年有效剂量也能满足《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剂量约束值要求。

◆ CT 模拟定位机

本项目 CT 模拟定位机机房实体屏蔽防护设计与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 X 射线设备机房屏蔽防护要求对照分析见表 11-13。

表 11-13 CT 模拟定位机机房屏蔽防护设计一览表

工作场所	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
CT 模拟定位机机房	墙体	240mm实心砖+3mm铅当量硫酸钡防护涂料	4.7mm	CT 模拟定位机房有用线束方向、非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb。	满足
	防护门	4mmPb	4mm		满足
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mm		满足
	顶部	350mm 混凝土	4.6mm		满足
	地面	350mm 混凝土	4.6mm		满足
	机房面积	55.08m^2，单边最短长度 7.2m		CT 模拟定位机房内最小有效新建面积不小	满足

			于 30m²，单边长度不小于 4.5m。	

注：1、实心砖密度为 1.65g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³，混凝土密度为 2.35g/cm³。

由上表对照结果可知，本项目 CT 模拟定位机、模拟定位机机房实体屏蔽防护均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，机房实体屏蔽设计合理。

（二）核医学科项目

本项目主要污染因子为 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr 放射性核素在取药、分装等操作过程中产生的β、γ射线及β放射性表面污染；PET/CT、SPECT/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

1、β射线辐射影响分析

β射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册（第三分册）》，β射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度为：

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

公式 11-9

式中：$E_{\beta max}$—β射线的能量，MeV；

ρ—物质的密度，g/cm³。

d—与最大射程对应的防护厚度，cm。

主要计算参数及结果见表 11-14。

表 11-14 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	β射线最大能量（MeV）	屏蔽材料	材料密度（g/cm³）	对应的防护厚度（cm）
^{18}F		铅		0.028
		实心砖		0.191
		混凝土		0.134
^{68}Ga		铅		0.084
		实心砖		0.576
		混凝土		0.404
^{64}Cu		铅		0.029
		实心砖		0.197
		混凝土		0.138

^{89}Zr		铅		0.066
		实心砖		0.453
		混凝土		0.318
^{89}Sr		铅		0.026
		实心砖		0.177
		混凝土		0.124

本项目手套箱采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体采用实心砖及硫酸钡防护涂料、顶部和地面采用混凝土及硫酸钡防护涂料，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，本项目放射性核素 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{89}Sr 产生的β射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

综上所述，本项目涉及使用的 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{89}Sr 放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽β射线，同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服，且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此β射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、β射线所致韧致辐射影响分析

对于能量为 E 的β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式 4.21 进行计算。

$$\dot{H}_r = 4.58\times10^{-14} A\cdot Z_e(\frac{E_b}{r})^2\cdot(\mu_{en}/\rho)\cdot q\cdot\eta \qquad \text{公式 11-10}$$

式中：$\dot{H}_r$—β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r（m）处的剂量当量率，Sv/h；

A—放射源活度，Bq；

Z_e—屏蔽材料有效原子序数；

μ_{en}/ρ—韧致辐射的平均能量在空气中的质能能量吸收系数，$m^2\cdot kg^{-1}$，见《辐射防护导论》附表 1；

q —居留因子，保守取 1；

r —参考点距放射源的距离，m；

η —透射比，查《放射防护实用手册》附录 2 的衰减倍数 K 值，$\eta=1/K$；

E_b—韧致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“韧致辐射

具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b \approx E_{max}/3$。

首先考虑核素药物暂存在手套箱中时β射线所致韧致辐射影响，计算参数及计算结果见表 11-15。

表 11-15 β射线所致韧致辐射影响理论预测计算参数及结果（手套箱外）

核素	单次操作最大活度（Bq）	Z_e	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	r（m）	η	E_{max}（MeV）	E_b（MeV）	$\dot{H}_r$（μSv/h）
^{18}F								4.58E-05
^{68}Ga								3.18E-03
^{64}Cu								6.50E-06
^{89}Zr								2.68E-03
^{89}Sr								2.53E-04

注：查取 K 值时，屏蔽厚度取手套箱+铅罐的屏蔽厚度，即 8cm 铅；当表中未给出 8cm 铅对应的衰减倍数时，取最接近但不超过 8cm 铅的衰减倍数。

其次考虑药物注射过程中β射线所致韧致辐射影响，计算参数及计算结果见表 11-15。

表 11-16 β射线所致韧致辐射影响理论预测计算参数及结果（药物注射过程中）

核素	单次操作最大活度（Bq）	Z_e	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	r（m）	η	E_{max}（MeV）	E_b（MeV）	$\dot{H}_r$（μSv/h）
^{18}F								1.53E-06
^{68}Ga								0.20
^{64}Cu								1.63E-06
^{89}Zr								0.17
^{89}Sr								0.13

注：查取 K 值时，屏蔽厚度取注射器铅套+注射窗的屏蔽厚度，即 3.8cm 铅；当表中未给出 3.8cm 铅对应的衰减倍数时，取最接近但不超过 3.8cm 铅的衰减倍数。

由表 11-15、表 11-16 计算结果可知，核素药物在分装及注射过程中，韧致辐射所致最大剂量率为 0.20μSv/h，对近距离接触的人员有一定辐射影响。且由下表 11-18 计算结果可知，本项目放射性核素β射线所致韧致辐射的影响低于核素γ射线的影响，

当核医学科采取的屏蔽措施能满足γ射线的防护时，也能够满足β射线所致韧致辐射的防护。

3、β放射性表面污染影响分析

β放射性表面沾污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、操作放射性同位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，去污染经监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）。

4、γ射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（本项目涉及 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc，^{89}Sr 无γ射线）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

本项目用于 PET/CT、PET/MR 显像检查的核素（^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr）中，核素单次操作量均为 10mCi，其中以 ^{89}Zr 的γ射线能量最高（0.909MeV，占比 99.16%）且周围剂量当量率常数最大，因此本报告对使用 ^{89}Zr 进行 PET/CT 和 PET/MR 显像检查、使用 ^{99m}Tc 进行 SPECT/CT 显像检查的外照射影响进行预测计算分析。

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

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·m²/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：

$$\dot{H}_p = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \quad 公式\ 11\text{-}11$$

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射性核素信息手册》（加拿大核监管机构，2023 年 1 月）、《辐射安全手册》（潘自强主编）查出铅、实心砖和混凝土对 ^{89}Zr、^{99m}Tc 什值层见表 11-17。

表 11-17 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度（*TVL*）

核素	铅（11.3g/cm³）	实心砖（1.65g/cm³）	混凝土（2.35g/cm³）
^{89}Zr	34mm	342mm	267mm
^{99m}Tc	1mm	160mm	110mm

根据工程分析可知，核医学诊断项目辐射影响主要包括药物分装（含质控的活度测量过程）、注射、患者候诊、扫描、留观等过程，主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

根据公式 11-10 可估算出核医学科项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-6，预测结果见表 11-18。

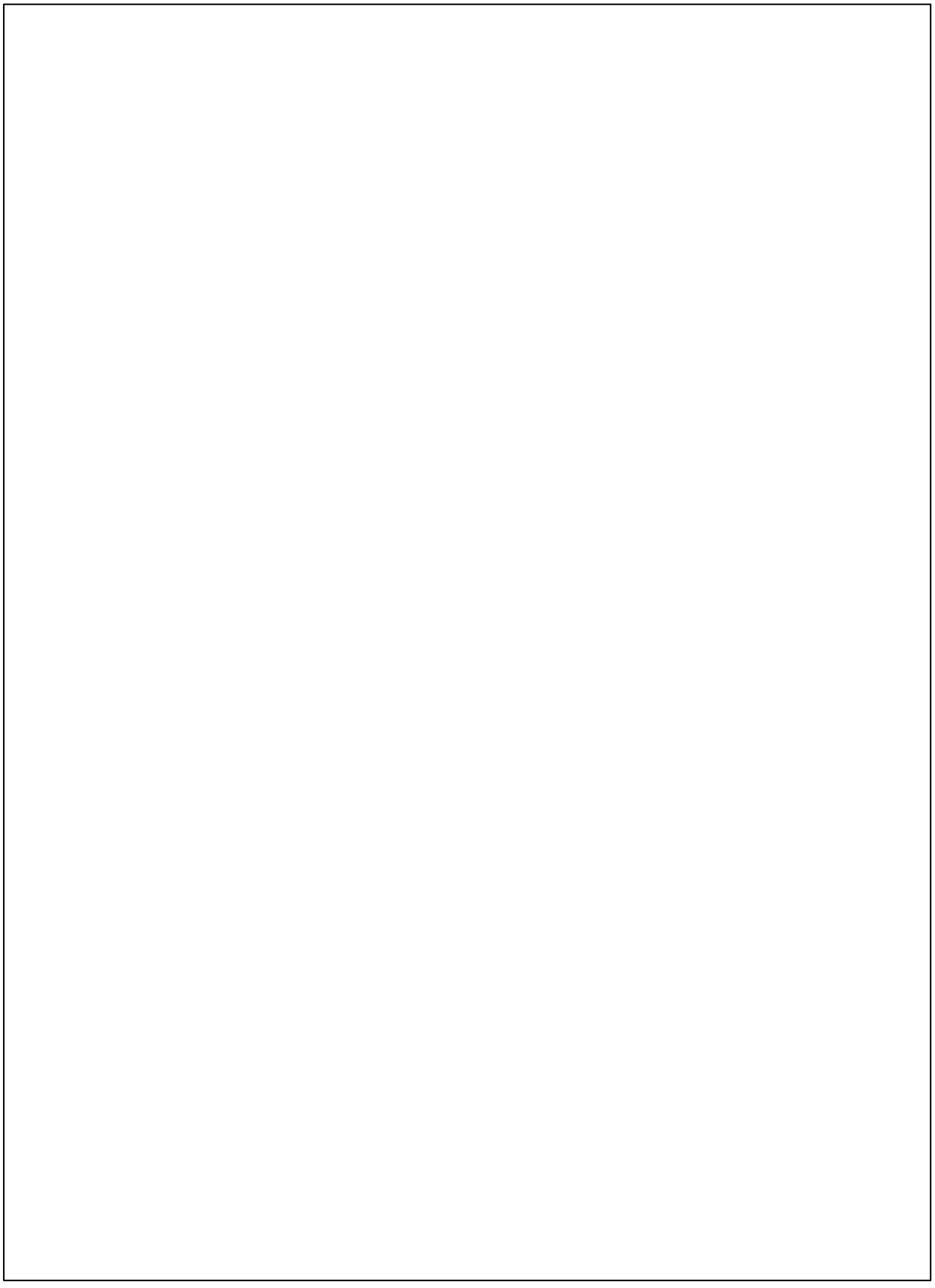

图 11-6 核医学项目剂量率估算点位示意图

表 11-18 核医学项目工作场所辐射水平估算结果

点位		参考点位置	源强（MBq）	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度[1)]	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
PET/CT、PET/MR 诊断项目	1	手套箱表面 30cm 处（正对人员操作位）					2.055	2.5	手套箱正面为 70mmPb，其余面位 40mmPb，铅罐为 20mmPb
	3	手套箱表面 30cm 处（非正对人员操作位）					15.672	25	
	5	分装注射室东门外 30cm（运动负荷室）					0.624	10	/
	6	分装注射室东墙外 30cm（运动负荷室）					0.476	10	/
	7	分装注射室南门外 30cm（患者通道）					2.161	10	/
	8	分装注射室南墙外 30cm（固废间）					1.216	10	/
	9	分装注射室南门外 30cm（固废间）					2.284	10	/
	10	分装注射室西门外 30cm（卫生通过间）					1.730	2.5	/
	11	分装注射室西门外 30cm（储源室）					1.837	10	/
	12	分装注射室北墙外 30cm（下沉庭院）					1.727	2.5	/
	22	PET/CT 机房东墙外 30cm（患者过道）					0.269	2.5	/
	23	PET/CT 机房防护大门外 30cm（患者过道）					1.011	2.5	/
	24	PET/CT 机房南墙外 30cm（设备间）					0.652	2.5	/

	25	PET/CT 机房防护小门外 30cm（控制室）					0.913	2.5	/
	26	PET/CT 观察窗外 30cm（控制室）					1.031	2.5	/
	27	PET/CT 机房西墙外 30cm（控制室）					0.267	2.5	/
	28	PET/CT 机房北墙外 30cm（消防通道）					0.652	2.5	/
	29	PET/MR 机房防护大门外 30cm（患者过道）					0.950	10	/
	30	PET/MR 机房东墙外 30cm（患者过道）					0.269	10	/
	31	PET/MR 机房南墙外 30cm（过道）					0.645	2.5	/
	32	PET/MR 机房西墙外 30cm（控制室）					0.232	2.5	/
	33	PET/MR 机房观察窗外 30cm（控制室）					1.031	2.5	/
	34	PET/MR 机房防护小门外 30cm（控制室）					0.891	2.5	/
	35	PET/MR 机房北墙外 30cm（设备间）					0.645	10	/
	41	PET/CT 注射后候诊室南墙外 30cm（VIP 候诊室）					1.600	10	同时段内最多有 2 人同时候诊
	42	PET/CT 注射后候诊室防护门外 30cm（患者过道）					5.098	10	
	43	PET/CT 注射后候诊室西墙外 30cm（更衣室）					1.473	10	
	44	PET/CT 注射后候诊室北墙外 30cm（SPECT/CT 注射后候诊室）					1.600	10	

	45	VIP 候诊室南墙外 30cm（楼梯间）					0.542	2.5	/
	46	VIP候诊室防护门外30cm（患者通道）					1.765	10	/
	47	VIP 候诊室北墙外 30cm（PET/CT 注射后候诊室）					1.389	10	/
	48	留观室东墙外 30cm（污物暂存间）					1.019	10	/
	49	留观室东墙外 30cm（污洗间）					2.770	10	/
	50	留观室南墙外 30cm（车库）					0.623	2.5	/
	51	留观室西墙外 30cm（空调机房）					0.452	2.5	/
	52	留观室防护门外 30cm（患者通道）					2.259	10	/
	53	留观室北墙外 30cm（强电间）					1.848	10	/
	54	分装注射室楼上地面 30cm					0.264	2.5	/
	55	分装注射室楼下地面 170cm					0.147	2.5	/
	58	PET/CT 机房楼上地面 30cm					0.154	2.5	/
	59	PET/CT 机房楼下地面 170cm					0.147	2.5	/
	60	PET/MR 机房楼上地面 30cm					0.264	2.5	/
	61	PET/MR 机房楼下地面 170cm					0.147	2.5	/

	64	PET/CT 注射后候诊室楼上地面 30cm					0.128	2.5	/
	65	PET/CT 注射后候诊室楼下地面 170cm					0.224	2.5	/
	66	VIP 候诊室楼上地面 30cm					0.264	2.5	/
	67	VIP 候诊室楼下地面 170cm					0.147	2.5	/
	68	留观室楼上地面 30cm					0.264	2.5	/
	69	留观室楼下地面 170cm					0.147	2.5	/
	70	运动负荷/抢救室东门外 30cm					1.850	2.5	/
	71	运动负荷/抢救室东墙外 30cm					1.632	2.5	/
	72	运动负荷/抢救室南墙外 30cm					1.662	10	/
	73	运动负荷/抢救室南门外 30cm					5.332	10	/
	74	运动负荷/抢救室西墙外 30cm					1.632	2.5	/
	75	运动负荷/抢救室西门外 30cm					2.070	2.5	/
	76	运动负荷/抢救室北墙外 30cm					1.727	2.5	/
	77	运动负荷/抢救室楼上地面 30cm					0.264	2.5	/
	78	运动负荷/抢救室楼下地面 170cm					0.147	2.5	/
	PET/CT、PET/MR 注射位						4.346	/	注射器铅套 8mmPb，注射窗

									30mmPb
	PET/CT 摆位/取消摆位						56.980	/	考虑无防护状态
	PET/MR 摆位/取消摆位						56.980	/	
SPECT/CT 诊断项目	2	手套箱表面 30cm（正对人员操作位）					1.35E-17	2.5	手套箱正面为 10mmPb，其他面为 10mmPb，铅罐为 10mmPb
	4	手套箱表面 30cm（非正对人员操作位）					1.35E-12	25	
	5	分装注射室东门外 30cm（运动负荷室）					1.33E-25	10	/
	6	分装注射室东墙外 30cm（运动负荷室）					4.48E-08	10	/
	7	分装注射室南门外 30cm（运动负荷室）					1.67E-10	10	/
	8	分装注射室南墙外 30cm（固废间）					1.14E-07	10	/
	9	分装注射室南门外 30cm（固废间）					1.77E-10	10	/
	10	分装注射室西墙外 30cm（卫生通过间）					1.34E-10	2.5	/
	11	分装注射室西门外 30cm（储源室）					1.42E-10	10	/
	12	分装注射室北墙外 30cm（下沉庭院）					1.62E-07	2.5	/
	13	SPECT/CT 机房东墙外 30cm（患者通道）					3.63E-06	2.5	/
	14	SPECT/CT 机房防护大门外 30cm（患者通道）					1.10E-06	2.5	/
	15	SPECT/CT 机房南墙外 30cm（消防通道）					1.99E-05	2.5	/

	16	SPECT/CT 机房防护小门外 30cm（控制室）					2.92E-06	2.5	/
	17	SPECT/CT 机房观察窗外 30cm（控制室）					3.44E-06	2.5	/
	18	SPECT/CT 机房西墙外 30cm（控制室）					9.35E-06	2.5	/
	19	SPECT/CT 机房北墙外 30cm（淋浴室）					1.09E-05	2.5	/
	20	SPECT/CT 机房北墙外 30cm（固废间）					1.62E-05	2.5	/
	21	SPECT/CT 机房北墙外 30cm（患者通道）					6.63E-06	2.5	/
	36	SPECT/CT 注射后候诊室南墙外 30cm（PET/CT 注射后候诊室）					1.08E-07	10	/
	37	SPECT/CT 注射后候诊室南墙外 30cm（更衣室）					1.51E-05	10	/
	38	SPECT/CT 注射后候诊室防护门外 30cm（患者通道）					1.91E-06	10	/
	39	SPECT/CT 注射后候诊室西墙外 30cm（弱电间）					1.08E-05	10	/
	40	SPECT/CT 注射后候诊室北墙外 30cm（电梯厅）					1.97E-05	2.5	考虑 1 名患者在卫生间的情况
	45	VIP 候诊室南墙外 30cm（楼梯间）					5.10E-08	2.5	/
	48	留观室东墙外 30cm（污物暂存间）					9.58E-08	10	/
	49	留观室东墙外 30cm（污洗间）					2.60E-07	10	考虑 1 名患者在卫生间的情况

	50	留观室南墙外 30cm（车库）	740				5.85E-08	2.5	/
	51	留观室西墙外 30cm（空调机房）					9.58E-20	2.5	/
	52	留观室防护门外 30cm（患者通道）					1.75E-10	10	/
	53	留观室北墙外 30cm（强电间）					1.74E-07	10	/
	54	分装注射室楼上地面 30cm					1.49E-06	2.5	/
	55	分装注射室楼下地面 170cm					1.02E-07	2.5	/
	56	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm					1.49E-06	2.5	/
	57	SPECT/CT 机房楼下地面 170cm					1.02E-07	2.5	/
	62	SPECT/CT 注射后候诊室楼上地面 30cm					4.46E-06	2.5	/
	63	SPECT/CT 注射后候诊室楼下地面 170cm					1.02E-07	2.5	/
	66	VIP 候诊室楼上地面 30cm					1.49E-06	2.5	/
	67	VIP 楼下地面 170cm					1.02E-07	2.5	/
	68	留观室楼上地面 30cm					1.49E-06	2.5	/
	69	留观室楼下地面 170cm					1.02E-07	2.5	/
	SPECT/CT 注射位						8.97E-09	/	注射窗为 10mmPb
	SPECT/CT 摆位/取消摆位						22.422	/	考虑无防护状态

由表 11-18 的理论估算结果可以看出，本项目核医学工作场所的屏蔽防护设计均能够满足放射核素药物辐射防护要求。诊断、治疗期间由于患者相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射、分批候诊、分批扫描的方式，严格按要求控制候诊室内患者的数量，减少对患者对外环境的辐射影响。

4、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 150kV 核算 PET/CT、SPECT/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-19。

表 11-19 核医学科 PET/CT、SPECT/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数		屏蔽设计 [1)]	铅当量	屏蔽要求	评价
PET/CT 机房	墙体	240mm 实心砖+6mm 铅当量防护涂料	7.7	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
	防护门	10mm 铅板	10		满足
	观察窗	10mm 铅当量铅玻璃	10		满足
	顶部	180mm 混凝土+12mm 铅当量防护涂料	13.9		满足
	地面 [3)]	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	8.6		满足
	面积	54.45m^2，最小单边长度为 5.72m		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
SPECT/CT 机房	墙体	240mm 实心砖+4mm 铅当量防护涂料	5.7	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
	防护门	6mm 铅板	6		满足
	观察窗	6mm 铅当量铅玻璃	6		满足
	顶部	180mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	5.9		满足
	地面 [3)]	350mm 混凝土+4mm 铅当量防护涂料	8.6		满足
	面积	42.37m^2，最小单边长度为 5.46m		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

由上表可知，核医学科 PET/CT、SPECT/CT 机房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 PET/CT、SPECT/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT、SPECT/CT 设备型号未定，以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 200mA、最大管电压为 150kV，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，150kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 116kV，本项目保守按 120kV 进行计算。

（1）关注点处散射辐射空气比释动能率计算

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比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

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

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 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 150kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 $17mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $1020000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

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，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，本项目最大常用管电压为 150V，散射角为 90º时对应的 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；

r—受照体至关注点的距离；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-12：

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

式中：X—铅厚度，本项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-17；

α、β、γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-20。

表 11-20 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
150kV（主束）	1.757	5.177	0.3156
120kV（CT）	2.246	5.730	0.5470

（2）关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2}$$ 公式 11-13

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 0.8mGy/h。

B—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-12。

按照公式 11-12 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-19。

表 11-21（1） PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{89}Zr 放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	r（m）	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率估算值 H（μSv/h）	^{89}Zr 致参考点辐射水平（μSv/h）	^{89}Zr 与 CT 叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	是否满足
			B_s	H_s（μGy/h）	B	H_L（μGy/h）					
22	PET/CT 机房东墙外 30cm（患者过道）								0.269	2.5	满足
23	PET/CT 机房防护大门外 30cm（患者过道）								1.011	2.5	满足
24	PET/CT 机房南墙外 30cm（设备间）								0.652	2.5	满足
25	PET/CT 机房防护小门外 30cm（控制室）								0.913	2.5	满足
26	PET/CT 观察窗外 30cm（控制室）								1.031	2.5	满足
27	PET/CT 机房西墙外 30cm（控制室）								0.267	2.5	满足
28	PET/CT 机房北墙外 30cm（消防通道）								0.652	2.5	满足
58	PET/CT 机房楼上地面 30cm								0.154	2.5	满足
59	PET/CT 机房楼下地面 170cm								0.147	2.5	满足

注：PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_S \cdot K_S+H_L \cdot K_L$，式中：$K_S$、$K_L$ 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，K_S 取 1.69（内插法），K_L 取 1.62。

表 11-21（2） SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{99m}Tc 放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	r（m）	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率估算值 H（μSv/h）	^{99m}Tc 致参考点辐射水平（μSv/h）	^{99m}Tc 与 CT 叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	是否满足
			B_s	H_s（μGy/h）	B	H_L（μGy/h）					
13	SPECT/CT 机房东墙外 30cm（患者通道）								0.017	2.5	满足
14	SPECT/CT 机房防护大门外 30cm（患者通道）								0.017	2.5	满足
15	SPECT/CT 机房南墙外 30cm（消防通道）								0.083	2.5	满足
16	SPECT/CT 机房防护小门外 30cm（控制室）								0.011	2.5	满足
17	SPECT/CT 机房观察窗外 30cm（控制室）								0.011	2.5	满足
18	SPECT/CT 机房西墙外 30cm（控制室）								0.083	2.5	满足
19	SPECT/CT 机房北墙外 30cm（淋浴室）								0.022	2.5	满足
20	SPECT/CT 机房北墙外 30cm（固废间）								0.039	2.5	满足
21	SPECT/CT 机房北墙外 30cm（患者通道）								0.044	2.5	满足
56	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm								0.006	2.5	满足
57	SPECT/CT 机房楼下地面 170cm								3.36E-05	2.5	满足

注：PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_S \cdot K_S+H_L \cdot K_L$，式中：$K_S$、$K_L$ 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，K_S 取 1.69（内插法），K_L 取 1.62。

由表 11-19 计算结果可知，PET/CT 以 CT 模式运行（工况：150kV/200mA）时，叠加 ^{89}Zr 放射性药物的辐射影响，PET/CT 机房四周墙体、顶部及防护门外的辐射剂量率为（0.147~1.031）μSv/h；SPECT/CT 以 CT 模式运行（工况：150kV/200mA）时，叠加 ^{99m}Tc 放射性药物的辐射影响，SPECT/CT 机房四周墙体、顶部及防护门外的辐射剂量率为（3.36×10^{-5}~0.083）μSv/h。PET/CT、SPECT/CT 机房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。

5、保护目标的有效剂量估算

根据表 11-16、表 11-19 的各关注点处辐射剂量率，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公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-22。

表 11-22 核医学工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位		参考点位置	参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受放射性核素影响的时间	居留因子	参考点人员有效剂量（mSv/a）	主要关注对象	位置
PET/CT、PET/MR 诊断项目	1	取药工作位	2.055	2min/人次×42 人次/天×250 天/a	1	0.719	辐射工作人员	分装室
	10	分装注射室西门外 30cm	1.730		1/8	0.433	辐射工作人员	卫生通过间
	12	分装注射室北墙外 30cm	1.727		1/8	0.076	公众	下沉庭院
	26	PET/CT 机房观察窗外 30cm	1.031	20min/人次×26 人次/天×250 天/a	1	2.233	辐射工作人员	控制室
	33	PET/MR 机房观察窗外 30cm	1.031	20min/人次×16 人次/天×250 天/a	1	0.966	辐射工作人员	控制室
	45	VIP 候诊室南墙外 30cm	0.542	15min/人次×15 人次/天×250 天/a	1/8	0.064	辐射工作人员	楼梯间
	50	留观室南墙外 30cm	0.544	15min/人次×42 人次/天×250 天/a	1/16	0.089	公众	车库
	51	留观室西墙外 30cm	0.452		1/16	0.074	公众	空调机房
	54	分装注射室楼上地面 30cm	0.264	2min/人次×42 人次/天×250 天/a	1/4	0.023	公众	化疗大厅
	55	分装注射室楼下地面 170cm	0.147		1	0.051	公众	放疗中心
	58	PET/CT 机房楼上地面 30cm	0.154	20min/人次×26 人次/天×250 天/a	1/4	0.083	公众	化疗大厅
	59	PET/CT 机房楼下地面 170cm	0.147		1/8	0.04	公众	CT 模拟机

	60	PET/MR 机房楼上地面 30cm	0.264	20min/人次×16 人次/天×250 天/a	1/4	0.088	公众	化疗大厅
	61	PET/MR 机房楼下地面 170cm	0.147		1/8	0.024	公众	MR 模拟机机房
	64	PET/CT 注射后候诊室楼上地面 30cm	0.128	15min/人次×42 人次/天×250 天/a	1/4	0.084	公众	肿瘤中心等候区
	65	PET/CT 注射后候诊室楼下地面 170cm	0.224		1/8	0.074	公众	过道
	66	VIP 候诊室楼上地面 30cm	0.264	15min/人次×10 人次/天×250 天/a	1/4	0.041	公众	肿瘤中心等候区
	67	VIP 候诊室楼下地面 170cm	0.147		1/4	0.023	公众	等候区
	68	留观室楼上地面 30cm	0.264	15min/人次×42 人次/天×250 天/a	1/8	0.087	公众	医生通道
	69	留观室楼下地面 170cm	0.147		1/16	0.024	公众	污水提升间
	70	运动负荷/抢救室东门外 30cm	1.850	1050min*	1/4	0.008	公众	候诊大厅
	71	运动负荷/抢救室东墙外 30cm	1.632		1/4	0.007	公众	候诊大厅
	76	运动负荷/抢救室北墙外 30cm	1.727		1/16	0.002	公众	下沉庭院
	77	运动负荷/抢救室楼上地面 30cm	0.264		1/4	0.001	公众	化疗大厅
	78	运动负荷/抢救室楼下地面 170cm	0.147		1	0.003	公众	放疗中心
	PET/CT、PET/MR 注射位		4.346	1min/人次×42 人次/天×250 天/a	1	0.761	辐射工作人员	分装注射室
	PET/CT 摆位/取消摆位		56.980	1min/人次×26 人次/天×250 天/a	1	6.173	辐射工作人员	PET/CT 机房内
	PET/MR 摆位/取消摆位		56.980	1min/人次×16 人次/天×250 天/a	1	3.799	辐射工作人员	PET/MR 机房内
SPECT/CT 诊断项目	2	取药工作位	1.35E-17	2min/人次×30 人次/天×250 天/a	1	3.36E-18	辐射工作人员	分装室
	10	分装注射室西门外 30cm	1.34E-10		1/8	4.19E-12	辐射工作人员	卫生通过间
	12	分装注射室北墙外 30cm	1.62E-07		1/8	5.07E-09	公众	下沉庭院
	18	SPECT/CT 机房西墙外 30cm	9.35E-06	20min/人次×30 人次/天×250 天/a	1	2.34E-05	辐射工作人员	控制室
	40	SPECT/CT 注射后候诊室北墙外 30cm	1.97E-05	15min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/8	4.63E-06	公众	电梯厅
	45	VIP 注射室候诊室南墙外	5.10E-08	15min/人次×10 人次/天	1/8	3.98E-09	公众	楼梯间

		30cm		×250 天/a				
	50	留观室南墙外 30cm	5.85E-08	15min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/16	6.86E-09	公众	车库
	51	留观室西墙外 30cm	9.58E-08		1/16	1.12E-08	公众	空调机房
	54	分装注射室楼上地面 30cm	1.49E-06	2min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/4	9.30E-05	公众	化疗大厅
	55	分装注射室楼下地面 170cm	1.02E-07		1	2.55E-08	公众	放疗中心
	56	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm	1.49E-06	20min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/4	9.30E-07	公众	化疗大厅
	57	SPECT/CT 机房楼下地面 170cm	1.02E-07		1	2.55E-07	公众	放疗中心
	66	VIP 候诊室楼上地面 30cm	1.49E-06	15min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/4	6.98E-07	公众	肿瘤中心等候区
	67	VIP 楼下地面 170cm	1.02E-07		1	1.92E-07	公众	放疗中心
	68	留观室楼上地面 30cm	1.49E-06	15min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/4	6.98E-07	公众	医生通道
	69	留观室楼下地面 170cm	1.02E-07		1	1.92E-07	公众	放疗中心
	SPECT/CT 注射位		8.97E-09	1min/人次×30 人次/天×250 天/a	1	1.12E-09	辐射工作人员	分装注射室
	SPECT/CT 摆位/取消摆位		22.422		1	2.80	辐射工作人员	SPECT/CT 机房

*：假设每 10 名患者中有 1 名需要抢救，单人次抢救时间约为 45min。

核医学诊断项目过程中，工作人员主要受照射环节为分装、注射过程及患者扫描诊断过程。一般情况下，取药分装过程约 2 分钟，送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，候诊约 15 分钟，指导患者摆位/取消摆位约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟，留观约 15 分钟。根据建设单位提供资料，预估 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目日最大接诊量分别为 26、30 人次。本项目 PET/CT、SPECT/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-23、表 11-24。

表 11-23 PET/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
25	PET/CT 机房防护小门外 30cm（控制室）	6.59E-07	检查 20s×26 次×250 天	1	2.38E-08	辐射工作人员	控制室
26	PET/CT 观察窗外 30cm	7.43E-07		1	2.68E-08	辐射工作人员	控制室

27	PET/CT 机房西墙外 30cm（控制室）	1.30E-04		1	4.69E-06	辐射工作人员	控制室
58	PET/CT 机房楼上地面 30cm	9.42E-11		1/4	8.50E-13	公众	化疗大厅
59	PET/CT 机房楼下地面 170cm	3.36E-05		1	1.21E-06	公众	放疗中心

表 11-24 SPECT/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
16	SPECT/CT 机房防护小门外 30cm	0.011	检查 20s×30 次×250 天	1	4.38E-04	辐射工作人员	控制室
17	SPECT/CT 机房观察窗外 30cm	0.011		1	4.57E-04	辐射工作人员	控制室
18	SPECT/CT 机房西墙外 30cm	0.083		1	3.48E-03	辐射工作人员	控制室
56	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm	0.006		1/4	6.24E-05	公众	化疗大厅
57	SPECT/CT 机房楼下地面 170cm	3.36E-05		1	1.40E-06	公众	放疗中心

根据表 11-22 至表 11-24 估算结果，取药分装过程中工作人员受到的年有效剂量为 0.719mSv（0.719mSv/a+＜0.001mSv/a），注射过程中工作人员受到的年有效剂量为 0.761mSv（0.761mSv/a+＜0.001mSv/a），PET/CT 扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 8.406mSv（2.233mSv/a+6.173mSv/a+＜0.001mSv/a），PET/MR 扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 4.765mSv（0.966mSv/a+3.799mSv/a），SPECT/CT 扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 2.803mSv（＜0.001mSv/a+2.80mSv/a+0.003mSv/a）。医院拟为核医学安排 2 名护士负责取药分装及注射（PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 诊断项目共用，轮岗），拟安排 2 名医师、3 名护师及 3 名技师负责操作设备、指导病人摆位（PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 诊断项目共用，轮岗）。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据理论估算可知，本项目 2 名护士（负责取药分装及注射）平均年有效剂量为 0.74mSv，2 名医师、3 名护师及 3 名技师（负责操作设备并指导病人摆位、取消摆位）平均年有效剂量最大约为 1.60mSv，均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据表 11-22 至表 11-24 估算结果，核医学工作过程中，周围公众（控制区、监

督区外）年有效剂量最大为 0.089mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（三）介入放射学项目

1、DSA、ERCP 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，DSA、ERCP 机房有用线束方向、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、ERCP 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

由表 10-1，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及混凝土；ERCP 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及实心砖、混凝土。DSA 按额定管电压 150kV 的极端条件核算机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度，ERCP 按额定管电压 120kV 的极端条件核算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：

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

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；使用公式 11-12 计算。

由 GBZ 130-2020 中表 C.2 查取 150kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，由 NCRP147 报告 TABLE A.1、TABLE C.1 查取 120kV（主束）、80kV、70kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-25：

表 11-25 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
150kV（主束）	铅	1.757	5.177	0.3156
	混凝土	0.03243	0.08599	1.467

120kV（主束）	铅	2.246	8.95	0.5873
	混凝土	0.03566	0.07109	0.6073
80kV（主束）	铅	4.040	21.69	0.7187
70kV（散射）	铅	5.369	23.49	0.5883

将混凝土按公式 11-12、公式 11-14 计算其屏蔽透射因子 B，换算为铅当量厚度，计算结果列于表 11-26。

表 11-26 混凝土屏蔽透射因子 *B*、铅当量厚度计算结果

屏蔽材料	管电压	屏蔽透射因子 *B*	铅当量厚度 *X*（mm）
130mm 混凝土	150kV	6.11×10^{-3}	1.3
	120kV	1.70×10^{-3}	1.7
168.5mm 混凝土	120kV	4.16×10^{-4}	2.3

注：240mm 实心砖按等密度换算为 168.5mm 混凝土。

（3）DSA、ERCP 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、ERCP 机房屏蔽体等效铅当量进行汇总，结果见下表：

表 11-27　DSA、ERCP 机房辐射防护设计一览表

屏蔽体		屏蔽材料及厚度	等效铅当量	屏蔽要求	评价
综合楼四楼 1#手术室	四侧墙体	轻钢龙骨+4mm 铅板	4mmPb	C 形臂 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 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门	4mm 铅板	4mmPb		满足
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb		满足
	顶面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	地面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	机房面积	7.15m×7.25m=51.8m^2		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。	满足
综合楼四楼 22#手术室	四侧墙体	轻钢龙骨+4mm 铅板	4mmPb	C 形臂 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方	满足
	防护门	4mm 铅板	4mmPb		满足

	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb	向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
	顶面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	地面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	机房面积	9.5m×6.3m=59.85m^2		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。	满足
综合楼四楼 23#手术室	四侧墙体	轻钢龙骨+4mm 铅板	4mmPb	C 形臂 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 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门	4mm 铅板	4mmPb		满足
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb		满足
	顶面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	地面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	机房面积	6.78m×6.9m=46.78m^2		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。	满足
综合楼四楼杂交手术室（19#手术室）	四侧墙体	轻钢龙骨+4mm 铅板	4mmPb	C 形臂 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 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门	4mm 铅板	4mmPb		满足
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb		满足
	顶面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	地面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	机房面积	7.56m×6.4m=48.38m^2		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。	满足
综合楼四楼杂交手术室（21#手术室）	四侧墙体	轻钢龙骨+4mm 铅板	4mmPb	C 形臂 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 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门	4mm 铅板	4mmPb		满足
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb		满足
	顶面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足

	地面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3mmPb		满足
	机房面积	7.04m×6.4m=45.06m^2		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。	满足
综合楼三楼 ERCP 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+1mm 铅当量硫酸钡防护涂料	3.3mmPb	C 形臂 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 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门	4mm 铅板	4mmPb		满足
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mmPb		满足
	顶面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.7mmPb		满足
	地面	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.7mmPb		满足
	机房面积	6.96m×8.18m=59.93m^2		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。	满足

注：屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3。

由上表可知，江苏省人民医院宿迁医院 DSA 机房、ERCP 机房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。

2、DSA、ERCP 机房外的辐射影响预测

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。采用计算模式如下：

（1）关注点处有用线束辐射剂量率

根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》（NCRP147 号出版物）第 4.1.6 节指出，在血管造影术中将使用图像增强器，可阻挡主射线，初级辐射的强度会大幅度地被病人、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱，因此 DSA 屏蔽估算时可不考虑主束照射。ERCP 的结构和原理与 DSA 类似，因此 ERCP 也不考虑主束照射的影响。

（2）散射辐射剂量率预测计算

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 *Hs* 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：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot K$$

公式 11-15

式中：*Hs*—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·m^2·mA^{-1}·min^{-1}，本项目取 5mGy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}，即 300000μGy·m^2·mA^{-1}·h^{-1}；

I—管电流，mA；本项目 DSA 透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分别取 20mA、500mA，ERCP 透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分别取 5mA、60mA；

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，保守以表 10.1 中所给最大值（135°散射角对应值）采用内插法查取 0.0016；

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 12cm×12cm=144cm^2，最大为 30cm×30cm=900cm^2，考虑手术常用的最大照射面积约为 16cm×16cm，本项目取 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 射线透视检查设备的焦皮距的要求）；

ds—受照体至关注点的距离，m；

Bs—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-12。此处散射线是指本项目常用最大管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角θ=90°）的一次散射线能量，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 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08\times(1-\cos90°)/0.511]=0.865$，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 11-12，计算响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）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。

（3）泄漏辐射剂量率预测计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K$$

公式 11-16

式中：H_L—关注点处泄漏辐射有效剂量率，μSv/h；

Hi—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 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 11-9；

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）表 G.2，对于本项目 DSA 泄漏辐射管电压 80kV，K 值取 1.67。

本项目 5 座 DSA 机房墙体、地面、顶面的辐射屏蔽设计完全一致，拟配备的 5 台 DSA 最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA，因此本报告选取面积最小的 21#手术室作为典型对 DSA 机房外的辐射剂量率进行预测计算。

在 21#手术室外共选取 10 个参考点位，在 ERCP 机房外共选取 9 个参考点位，具体如下：

1#—21#手术室东墙外 30cm，过道；

2#—21#手术室南墙外 30cm，污物通道；

3#—21#手术室南门外 30cm，污物通道；

4#—21#手术室西墙外 30cm，CT 室；

5#—21#手术室西门外 30cm，CT 室；

6#—21#手术室北墙外 30cm，控制室；

7#—21#手术室观察窗外 30cm，控制室；

8#—21#手术室防护大门外 30cm，洁净通道；

9#—21#手术室楼下地面 170cm，医生办公室；

10#—21#手术室楼上地面 100cm，设备层；

11#—ERCP 机房东墙外 30cm，超声内镜室；

12#—ERCP 机房防护大门外 30cm，过道；

13#—ERCP 机房南墙外 30cm，ERCP 运输通道；

14#—ERCP 机房西墙外 30cm，麻醉准备/复苏大厅；

15#—ERCP 机房防护小门外 30cm，控制室；

16#—ERCP 机房观察窗外 30cm，控制室；

17#—ERCP 机房北墙外 30cm，控制室；

18#—ERCP 机房楼下地面 170cm，治疗室、医生办公室；

19#—ERCP 机房楼上地面 100cm，配血室。

预测点布设见图 11-7 至图 11-10 所示。

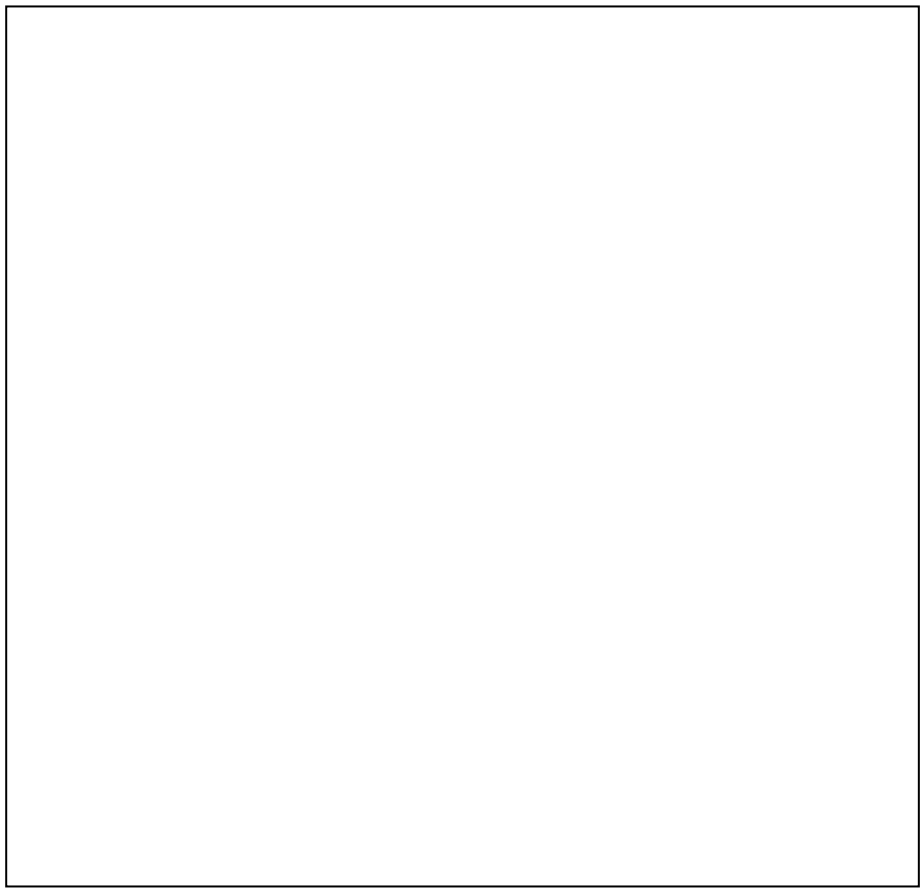

图 11-7 综合楼 21#手术室周围预测点布设平面示意图

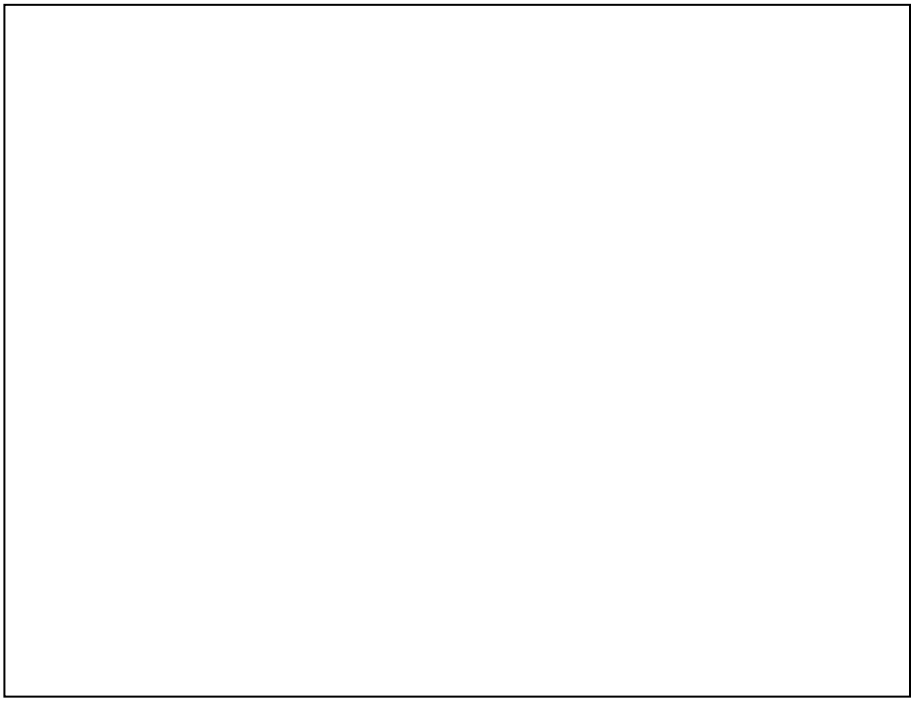

图 11-8 综合楼 21#手术室周围预测点布设剖面示意图

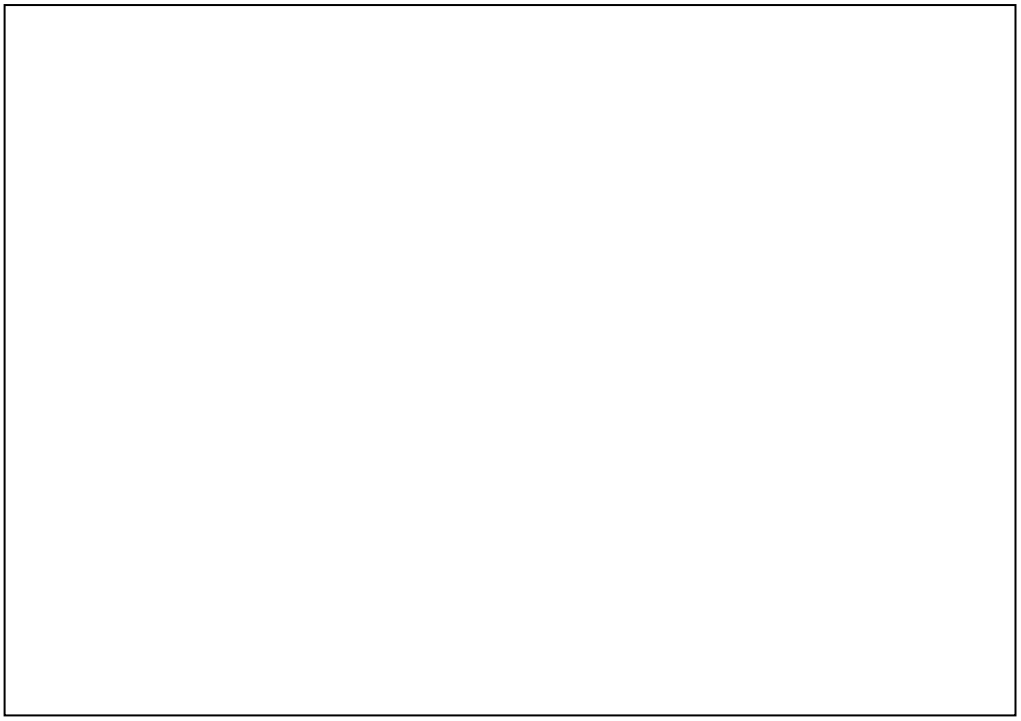

图 11-9 门诊医技楼一楼急诊科 DSA 室周围预测点布设平面示意图



图 11-10 门诊医技楼一楼急诊科 DSA 室周围预测点布设剖面示意图

根据上述预测计算方法及布点，DSA、ERCP 机房外辐射剂量率预测计算结果见表 11-26。

表 11-28　DSA 机房周围预测点剂量率估算结果

预测点位	照射类型	模式	X（mm）	B		d（m）	X 射线辐射剂量率（μSv/h）		
				散射线	漏射线		散射线	漏射线	合计
1#—21#手术室东墙外 30cm，过道	散射、漏射	透视					7.94E-09	1.76E-07	1.84E-07
		拍片					1.99E-07		3.74E-07
2#—21#手术室南墙外 30cm，污物通道	散射、漏射	透视					7.67E-09	1.70E-07	1.78E-07
		拍片					1.92E-07		3.62E-07
3#—21#手术室南门外 30cm，污物通道	散射、漏射	透视					3.66E-08	5.45E-07	5.81E-07
		拍片					9.16E-07		1.46E-06
4#—21#手术室西墙外 30cm，CT 室	散射、漏射	透视					7.17E-09	1.59E-07	1.66E-07
		拍片					1.79E-07		3.38E-07
5#—21#手术室西门外 30cm，CT 室	散射、漏射	透视					3.76E-08	5.59E-07	2.46E-07
		拍片					9.40E-07		1.15E-06
6#—21#手术室北墙外 30cm，控制室	散射、漏射	透视					9.41E-09	2.09E-07	2.18E-07
		拍片					2.35E-07		4.44E-07
7#—21#手术室观察窗外	散射、漏射	透视					4.81E-08	7.14E-07	7.62E-07

30cm，控制室		拍片					1.20E-06		1.92E-06
8#—21#手术室防护大门外 30cm，洁净通道	散射、漏射	透视					3.96E-08	5.88E-07	6.28E-07
		拍片					9.90E-07		1.58E-06
9#—21#手术室楼下地面 170cm，医生办公室	散射、漏射	透视					1.13E-08	2.51E-07	2.62E-07
		拍片					2.83E-07		5.35E-07
10#—21#手术室楼上地面 100cm，设备层	散射、漏射	透视					5.41E-09	1.20E-07	1.25E-07
		拍片					1.35E-07		2.55E-07
11#—ERCP 机房东墙外 30cm，超声内镜室	散射、漏射	透视					4.08E-07	9.57E-06	9.98E-06
		拍片					4.90E-06		1.45E-05
12#—ERCP 机房防护大门外 30cm，过道	散射、漏射	透视					7.43E-09	4.42E-07	4.49E-07
		拍片					8.92E-08		5.31E-07
13#—ERCP 机房防护大门外 30cm，过道	散射、漏射	透视					1.27E-08	7.54E-07	7.67E-07
		拍片					1.52E-07		9.06E-07
14#—ERCP 机房西墙外 30cm，麻醉准备/复苏大厅	散射、漏射	透视					4.08E-07	9.57E-06	9.98E-06
		拍片					4.90E-06		1.45E-05
15#—ERCP 机房防护小	散射、漏射	透视					3.10E-07	7.28E-06	7.59E-06

门外 30cm，控制室			拍片					3.72E-06		1.10E-05
16#—ERCP 机房观察窗外 30cm，控制室		散射、漏射	透视					1.27E-08	7.54E-07	7.67E-07
			拍片					1.52E-07		9.06E-07
17#—ERCP 机房北墙外 30cm，控制室		散射、漏射	透视					4.19E-07	9.82E-06	1.02E-05
			拍片					5.03E-06		1.48E-05
18#—ERCP 机房楼下地面 170cm，治疗室、医生办公室		散射、漏射	透视					3.31E-10	4.99E-08	5.02E-08
			拍片					3.97E-09		5.39E-08
19#—ERCP 机房楼上地面 100cm，配血室		散射、漏射	透视					1.58E-10	2.38E-08	2.40E-08
			拍片					1.90E-09		2.57E-08
DSA 第一术者位	铅衣内	散射、漏射	透视					27.54	9.55	37.09
	铅衣外							519.2	91.54	610.8
DSA 第二术者位	铅衣内	散射、漏射	透视					6.88	2.39	9.27
	铅衣外							129.81	22.88	152.69
ERCP 第一术者位	铅衣内	散射、漏射	透视					2.75	9.55	12.30
	铅衣外							51.94	91.52	143.46
ERCP 第二	铅衣内	散射、漏射	透视					0.69	2.39	3.08

术者位	铅衣外				12.98	22.88	35.86

注：1、X 为屏蔽材料的等效铅当量厚度；

2、本项目预测点位与射线装置距离从 CAD 图纸上读出；

3、术者位工作人员身着铅衣并立于悬挂铅屏风或床边铅帘后（0.5mmPb+0.5mmPb），第一术者位距离约 0.5m；第二术者位距离约 1m。

根据表 11-28 计算统计结果，本项目 21#手术室外关注点处的辐射剂量率最大为 1.48×10^{-5}μSv/h，满足《放射诊断防护要求》（GB 130-2020）的标准要求及本项目“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”的限值要求；其余 1#、22#、23#、19#手术室面积大于 21#手术室，则其机房外最大剂量率将小于 1.48×10^{-5}μSv/h，也能满足上述要求。

当 22#、23#手术室内 DSA 同时开机出束时，22#、23#手术室外辐射剂量率存在叠加影响；当 19#、21#手术室内 DSA 同时开机出束时，19#、21#手术室外辐射剂量率存在叠加影响。保守分析，2 台 DSA 同时开机出束时，相邻机房外的叠加剂量率不会超过 0.001μSv/h（1.48×10^{-5}μSv/h×2），也能满足《放射诊断防护要求》（GB 130-2020）的标准要求及本项目剂量约束值要求。

3、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、ERCP 机房周围公众、控制室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：

$$H_{Er} = D_r \times T \times t \qquad \text{公式 11-18}$$

式中：H_{Er}—X射线外照射年有效剂量，mSv/a；

D_r—关注点处空气比释动能率，μGy/h；

T—居留因子；

t—年照射时间，h；

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：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \qquad \text{公式 11-19}$$

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 11-18，估算 DSA、ERCP 机房四周公众及操作室辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-29。

表 11-29　DSA、ERCP 机房四周公众及操作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#—21#手术室东墙外 30cm，过道	透视模式	120.8	1/8	1.84E-07	2.78E-09	3.51E-09
	摄影模式	15.7		3.74E-07	7.35E-10	
2#—21#手术室南墙外 30cm，污物通道	透视模式	120.8	1/8	1.78E-07	2.14E-08	2.71E-08
	摄影模式	15.7		3.62E-07	5.68E-09	
3#—21#手术室南门外 30cm，污物通道	透视模式	120.8	1/8	5.81E-07	7.02E-08	9.31E-08
	摄影模式	15.7		1.46E-06	2.29E-08	
4#—21#手术室西墙外 30cm，CT 室	透视模式	120.8	1/16	1.66E-07	5.01E-09	6.33E-09
	摄影模式	15.7		3.38E-07	1.33E-09	
5#—21#手术室西门外 30cm，CT 室	透视模式	120.8	1/16	2.46E-07	7.43E-09	1.19E-08
	摄影模式	15.7		1.15E-06	4.51E-09	
6#—21#手术室北墙外 30cm，控制室	透视模式	120.8	1	2.18E-07	3.29E-09	4.16E-09
	摄影模式	15.7		4.44E-07	8.71E-10	
7#—21#手术室观察窗外 30cm，控制室	透视模式	120.8	1	7.62E-07	1.15E-08	1.53E-08
	摄影模式	15.7		1.92E-06	3.76E-09	
8#—21#手术室防护大门外 30cm，洁净通道	透视模式	120.8	1/8	6.28E-07	9.48E-09	1.26E-08
	摄影模式	15.7		1.58E-06	3.10E-09	
9#—21#手术室楼下地面 170cm，医生办公室	透视模式	120.8	1	2.62E-07	3.17E-08	4.01E-08
	摄影模式	15.7		5.35E-07	8.39E-09	
10#—21#手术室楼上地面 100cm，设备层	透视模式	120.8	1/16	1.25E-07	3.78E-09	4.78E-09
	摄影模式	15.7		2.55E-07	1.00E-09	
11#—ERCP 机房东	透视模式	58	1/8	9.98E-06	7.23E-08	9.35E-08

墙外 30cm，超声内镜室	摄影模式	11.7		1.45E-05	2.12E-08	
12#—ERCP 机房防护大门外 30cm，过道	透视模式	58	1/8	4.49E-07	3.26E-09	4.04E-09
	摄影模式	11.7		5.31E-07	7.77E-10	
13#—ERCP 机房防护大门外 30cm，过道	透视模式	58	1/8	7.67E-07	1.11E-08	1.38E-08
	摄影模式	11.7		9.06E-07	2.65E-09	
14#—ERCP 机房西墙外 30cm，麻醉准备/复苏大厅	透视模式	58	1/4	9.98E-06	5.79E-07	7.48E-07
	摄影模式	11.7		1.45E-05	1.69E-07	
15#—ERCP 机房防护小门外 30cm，控制室	透视模式	58	1	7.59E-06	4.40E-07	5.69E-07
	摄影模式	11.7		1.10E-05	1.29E-07	
16#—ERCP 机房观察窗外 30cm，控制室	透视模式	58	1	7.67E-07	5.56E-09	6.88E-09
	摄影模式	11.7		9.06E-07	1.33E-09	
17#—ERCP 机房北墙外 30cm，控制室	透视模式	58	1	1.02E-05	7.43E-08	9.60E-08
	摄影模式	11.7		1.48E-05	2.17E-08	
18#—ERCP 机房楼下地面 170cm，治疗室、医生办公室	透视模式	58	1	5.02E-08	3.64E-10	4.43E-10
	摄影模式	11.7		5.39E-08	7.88E-11	
19#—ERCP 机房楼上地面 100cm，配血室	透视模式	58	1	2.40E-08	1.74E-10	2.11E-10
	摄影模式	11.7		2.57E-08	3.76E-11	

由表 11-29 可知，本项目 21#手术室四周公众的年附加剂量最大为 9.31×10^{-8}mSv，控制室辐射工作人员的年附加剂量最大为 1.53×10^{-8}mSv；ERCP 周围工公众年附加剂量最大为 7.48×10^{-7}mSv，控制室辐射工作人员的年附加剂量最大为 5.69×10^{-7}mSv。上述结果均能满足 GB 18871-2002 中人员的剂量限值要求及本项目剂量约束值要求（即辐射工作人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

当临近 2 台 DSA 同时出束工作时，对周围人员存在剂量叠加影响。保守计算考虑，周围公众的叠加年附加剂量不会超过 9.31×10^{-8}mSv×2=1.86×10^{-7}mSv，辐射工作人员的叠加年附加剂量不会超过 1.53×10^{-8}mSv×2=3.06×10^{-8}mSv。综上所述，本项目 22#和 23#手术室、19#和 21#手术室叠加剂量也均能满足 GB 18871-2002 中人员的剂量限值要求及本项目剂量约束值要求（即辐射工作人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

将有关参数代入公式 11-19，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-30。

表 11-30 介入操作人员年有效剂量估算结果

位置	α	β	部位	辐射剂量率（μSvh）			年照射时间（h）	年有效剂量 E^*（mSv）
				散射线	漏射线	合计		
DSA 第一术者	0.79	0.051	铅衣内	27.54	9.55	37.09	120.8	12.2
			铅衣外	519.24	91.54	610.77		
DSA 第二术者			铅衣内	6.88	2.39	9.27		3.05
			铅衣外	129.81	22.88	152.69		
ERCP 第一术者	0.79	0.051	铅衣内	2.75	9.55	12.30	58	1.65
			铅衣外	51.94	91.52	143.46		
ERCP 第二术者			铅衣内	0.69	2.39	3.08		0.41
			铅衣外	12.98	22.88	35.86		

由表 11-30 可知，本项目 DSA 机房内第一术者操作位的年有效剂量为 12.2mSv，医院拟为每台 DSA 安排 3 名第一术者医生轮流操作，则每名第一术者医生的年有效剂量不会超过工作人员 5mSv 的剂量约束值要求；本项目 DSA 机房内第二术者操作位的年有效剂量为 3.05mSv，则即使第二术者操作位由 1 人承担，也能满足工作人员 5mSv 的剂量约束值要求；ERCP 机房内即使第一、第二术者操作位分别由 1 人承担，手术室内护士保守参考第二术者操作位估算年有效剂量，均能满足工作人员 5mSv 的剂量约束值要求。

对于介入手术，由于其实际工作中设备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。

4、保护目标年有效剂量估算

本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围均位于医院内，由于本项目保护目标距离 DSA 机房远大于机房表面 30cm，故本项目保护目标处公众所受的辐射剂量将小于上述理论计算值，因此本项目周围保护目标的年有效剂量能够满足 0.1mSv 的剂量约束值要求。

综上所述，根据上述理论估算结果，本项目 DSA、ERCP 机房在经实体屏蔽后，对 DSA 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及本项目剂量约束值要求。

（四）其他医学影像诊断项目

本项目其他医学影像诊断项目所用 X 射线装置均为Ⅲ类射线装置，其设备机房的屏蔽防护设计见表 10-7，机房屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析见表 11-31。

表 11-31 其他医学影像诊断项目射线装置机房屏蔽防护设计符合性分析表

机房名称		屏蔽体	屏蔽设计	换算铅当量 mmPb	防护要求 mmPb	符合性
综合楼一楼影像科	CT1 室、CT2 室、CT3 室	四面墙体	370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	6.1	2.5	符合
		顶部	130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3	2.5	符合
		地面	180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料	3.9	2.5	符合
		观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4.0	2.5	符合
		防护门	4mm 厚铅板	4.0	2.5	符合
综合楼一楼影像科	DR1 室、DR2 室、DR3 室、数字胃肠机机房	四面墙体	370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	6.1	3.0	符合
		顶部	130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3	2.0	符合
		地面	180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料	3.9	2.0	符合
		观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4.0	3.0	符合
		防护门	4mm 厚铅板	4.0	3.0	符合
综合楼一楼急诊科	CT 室	四面墙体	370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	6.1	2.5	符合

		顶部	130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3	2.5	符合
		地面	180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料	3.9	2.5	符合
		观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4.0	2.5	符合
		防护门	4mm 厚铅板	4.0	2.5	符合
综合楼一楼急诊科	DR 室	四面墙体	370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	6.1	3.0	符合
		顶部	130mcm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3	2.0	符合
		地面	180mcm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料	3.9	2.0	符合
		观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4.0	3.0	符合
		防护门	4mm 厚铅板	4.0	3.0	符合
综合楼一楼影像科	骨密度机房	四面墙体	370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	6.7	2.0	符合
		顶部	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.7	1.0	符合
		地面	180mm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.5	1.0	符合
		观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4	2.0	符合
		防护门	4mm 厚铅板	4	2.0	符合
综合楼二楼	DR 室	四面墙体	370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	6.1	3.0	符合
		顶部	130mm 混凝土+3mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3	2.0	符合
		地面	130mm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡防护涂料	4.3	2.0	符合
		观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4	3.0	符合
		防护门	4mm 厚铅板	4	3.0	符合

根据医院提供的资料，本项目III类射线装置机房的使用面积和最小单边长度符合性分析见表 11-32。

表 11-32 机房面积和最小单边长度符合性分析一览表

机房名称		有效使用面积（m^2）			最小单边长度（m）		
		设计值	标准要求	符合性	设计值	标准要求	符合性
综合楼一楼影像科	CT1 室	37.56	30	符合	5.50	4.5	符合
	CT2 室	39.48	30	符合	5.78	4.5	符合

	CT3 室	41.07	30	符合	5.58	4.5	符合
综合楼一楼影像科	DR1 室	23.82	20	符合	3.93	3.5	符合
	DR2 室	26.24	20	符合	4.33	3.5	符合
	DR2 室	25.33	20	符合	4.18	3.5	符合
综合楼一楼急诊科	CT 室	32.9	30	符合	5.68	4.5	符合
综合楼一楼急诊科	DR 室	27.14	20	符合	5.16	3.5	符合
综合楼一楼急诊科	骨密度机房	16.06	5	符合	2.65	2.0	符合
	数字胃肠机机房	31.27	20	符合	4.48	3.5	符合
综合楼二楼	DR 室	22.02	20	符合	4.56	3.5	符合

由表 11-31、表 11-32 可知，其他医学影像诊断项目的射线装置机房均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求，则其运行期间对周围环境及人员的影响能够满足相应标准要求。

二、放射性“三废”影响分析

DSA、医用直线加速器、CT 模拟定位机及其他医学影像诊断项目运行过程中无放射性废物产生。

核医学科项目运行过程中会产生含 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc 的放射性废水，核素操作过程中会产生少量放射性气溶胶，核素分装、注射、患者候诊、留观等过程中会产生含 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr 的放射性固体废物。

1、放射性废气

在进行液态放射性药物活度测量操作过程中，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。本项目核医学科分装注射室设有 1 个防护铅当量为 10mm 的 ^{99m}Tc 专用手套箱、1 个防护铅当量为 60mm 的 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{89}Sr 混用手套箱。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，排放口高于综合楼屋顶），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）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。同时医院拟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）并作为放射性固体废物处理。整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。

2、放射性废水

本项目核医学科产生的含放射性废水包括：分装注射室工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，淋浴间的淋洗废水；注射后候诊室、留观室卫生间患者冲洗排便用水；污洗间内洗污废水；清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水。

放射性废水由专用下水管道集中到衰变池中储存衰变，衰变池系统由1个沉淀池加3个衰变池组成，单个衰变池有效容积不低于16m^3，总容积不低于为48m^3。核医学科产生的放射性废水先进入沉淀池进行初步降解后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过降解池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，自动关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行。

本项目核医学科工作场所中，放射性废水产量为820L/d，根据放射性废水衰变系统运行方式，装满2个衰变池需要39天，则第一个装满的衰变池中的放射性废水可在该衰变系统内衰变约39d，而放射性废水所含核素中，最长寿命核素^{89}Zr的半衰期为3.27d，故本项目衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期”的要求。

本项目核医学科设于综合楼负一楼，下方为放疗中心。核医学科专用下水管道均设于核医学科地面以下，核医学科废水通过管道流入负二楼污水提升间（留观室下方），再使用水泵将废水排至衰变池。放射性废水下水管道均使用6mm铅皮包覆，且管道中放射性废水仅在排入衰变池时流经管道，不会在管道及污水提升间中贮存，因此核医学科专用下水管道对周围人员的影响较小。

放射性废水经专用下水管道集中到综合楼东侧地下的衰变池中。衰变池为混凝土浇筑成型，池壁厚300mm，池顶为300mm混凝土，顶板覆土1.5。衰变池检修口设

6mmPb 盖板（衰变池顶）+50mm 铸铁井盖（与地表平齐）。衰变池底下及四周均为土层，上方为绿化地面。

由于 ^{89}Zr 射线能量大于 ^{99m}Tc，^{89}Zr 周围剂量当量率常数也大于 ^{99m}Tc，且参考表 11-14 计算结果可知，即使 ^{99m}Tc 活度大于 ^{89}Zr 时，^{99m}Tc 所致周围剂量当量率也远小于 ^{89}Zr 所致周围剂量当量率，因此取 ^{89}Zr 作为参考来预测计算衰变池对上方地面的辐射水平。参照公式 11-10 计算衰变池内废水对地面处产生的辐射影响，其预测计算结果见表 11-33。

表 11-33 核医学科衰变池上方辐射水平估算结果

参考点位置	源强*	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）
衰变池上方地表 30cm 处	21.3mCi	3.5	300mm 混凝土	7.52E-02	0.745	2.5
			6mmPb+50mm 铁	6.29E-02	0.623	2.5

注：单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30%进行计算，则单次排放 ^{89}Zr 核素活度为 10mCi×30%=3mCi/次，^{99m}Tc 核素活度为 20mCi×30%=6mCi/次。保守按 10 名 PET/CT 候诊患者+10 名 SPECT/CT 候诊患者的排泄物进入衰变系统进行辐射计算（保守估计每名候诊患者均进行排泄，每 30 分钟有 2 名 ^{89}Zr 患者排泄，仅考虑到排泄物内核素活度随时间产生衰减，未考虑废水对核素的屏蔽影响）。

由表 11-33 计算结果可知，核医学科衰变池采用现有屏蔽设计进行辐射防护，其对周围环境及公众产生的辐射影响较小。

3、放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科分装注射室、注射后候诊室、留观室等房间均拟设置 1～2 个放射性废物桶（防护厚度拟不低于 20mmPb）。另外，医院在核医学科各设有 2 个放射性废物间，分装注射室旁废物间面积约为 4.6m^2，留观室旁废物间面积约 6.2m^2，总容积约 41m^3，废物间有效利用空间约 20m^3。本项目放射性核素均为药物，通过注射器注射到患者体内，放射性固体废物中仅残留微量的核素药物，使用不低于 20mmPb 的放射性废物桶收集、储存，放射性固体废物对周围环境及公众产生的辐射影响较小。

本项目核医学科日接诊量最大为 74 人次，年最大接诊量为 18050 人次。放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物日最大产生量为 1.48kg，年最大产生量为 361kg，平均 30.1kg/月；核医学科通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 20kg。

核医学科放射性固体废物收集后，按照核素分类存入放射性废物间内，废物间年入库放射性固体废物总量为361kg，月平均30.1kg，体积不超过2m^3。放射性固体废物可在放射性废物间内暂存超过32.7天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍”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”的标准要求。

三、非放射性“三废”影响分析

1、废气

DSA机房、医用直线加速器机房、TOMO、CT模拟定位机机房、PET/CT机房、SPECT/CT机房内的空气在X射线、γ射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约50分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理，达标后排入宿迁富春紫光污水处理有限公司集中处理。

3、固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

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

一、可能发生的事故

本项目新建的医用直线加速器、TOMO、DSA、ERCP均为Ⅱ类射线装置，CT模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT为Ⅲ类射线装置，核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所，其他医学影像诊断项目均属于Ⅲ类射线装置。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

◆ 医用直线加速器、TOMO

1、开展放射治疗时，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、机房门机联动失效，导致防护门未关闭或未关闭到位时即开机照射，防护门外工作人员或公众受到误照射。

3、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

◆ **核医学**

1、药物注射时，注射器排气有可能挤出放射性药物，注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性药物泼洒或者散逸挥发，产生γ辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

2、注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

3、由于保管或管理工作不到位，导致放射性核素药物或校准源的丢失、被盗，使公众受到误照射。

4、放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学科地面或周围环境受到放射性污染。

5、SPECT/CT、PET/CT 机房门机联动失效，导致防护门未关闭或未关闭到位时即开机照射，防护门外工作人员或公众受到误照射。

◆ **DSA、ERCP**

1、防护门未关闭或未关闭到位时即开机照射，防护门外工作人员或公众受到误照射。

2、DSA、ERCP 进行摄影时，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

3、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射。

◆ **其他医学影像诊断项目**

1、射线装置出束工作时，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、防护门未关闭或未关闭到位时即开机照射，防护门外工作人员或公众受到误照射。

3、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射。

二、事故预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故预防措施：

1、定期检查射线装置机房的安全联动装置，确保其正常、有效运行；

2、加强辐射工作人员培训，不断提高人员的辐射安全意识；

3、加强辐射安全管理，辐射安全管理人员定期检查；

4、严格执行辐射安全管理规章制度，按照操作规程操作，工作期间，辐射工作人员不得脱岗；

5、辐射工作人员工作期间注意佩戴好个人剂量计，加强日常自主监测，关注固定式剂量监测系统报警状态。当发出警报信号时，应立即采取应对措施。

三、事故处理措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故处理措施：

（1）射线装置发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机联动装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保射线装置停止工作。

（2）迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

（3）发生非密封放射性物质污染，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。

（4）药物注射前，告知患者注意事项，使之了解放射性药物对他人的危害，并加强对带药患者的监督管理。

（5）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。

（6）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。

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

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目中医用直线加速器、TOMO、ERCP、DSA 为Ⅱ类射线装置，SPECT/CT、PET/CT、CT 模拟定位机、模拟定位机为Ⅲ类射线装置，^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr 为非密封放射性物质，核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，其他医学影像诊断项目均为Ⅲ类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙级非密封放射性物质工作场所和使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，江苏省人民医院宿迁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。医院应根据本次扩建放射诊疗项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟为本项目 5 台 DSA 共配置 25 名辐射工作人员，为 2 台医用直线加速器配备 6 名辐射工作人员，为 TOMO 配备 5 名辐射工作人员，为核医学科配备 10 名辐射工作人员，为其他医学影像诊断项目配备辐射工作人员若干。根据《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）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：http：//fushe.mee.gov.cn）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”。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》规定，Ⅲ类射线装置辐射工作人员参加院内组织的自考。

本项目辐射安全管理人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加“辐射安全管理”类辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，医用直线加速器、TOMO、ERCP、DSA、核医学拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技

术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加“放射治疗”类、“医用X射线诊断与介入放射学”类、“核医学”类辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每5年接受一次再培训考核。本项目CT模拟定位机、模拟定位机及其他医学影像诊断项目的辐射工作人员应由医院定期组织培训和自考。

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”。医院目前已成立了辐射安全管理机构、制定了相关辐射安全管理规章制度并严格执行，满足医院现有的核技术利用项目辐射安全管理，建议医院根据本次扩建放射诊疗项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

针对本项目提出以下完善建议：

1）操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

①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；

②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；

③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计；

④在工作场所严禁吸烟、进食；

⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

2）岗位职责：明确放射源、射线装置、放射性药品使用工作人员、台帐管理人员、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。

3）辐射防护和安全保卫制度：根据放射源、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：

①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联动装置、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

③放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

④当注射后候诊室内有多位注射放射性药物的患者同时候诊时，建议医院在患者之间采用铅屏风进行隔离，减少患者间的交叉辐射影响。

4）设备维修制度：明确放射源、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。确保射线检测装置、安全措施（联动装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

5）放射性同位素使用登记制度：建立放射性同位素台帐，重点是：放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

6）人员培训计划和健康管理制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，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，熟练掌握辐射防护知识、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。医院应组织新进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。

7）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及II类、III类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②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；

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

④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；

⑤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，江苏省人民医院宿迁医院拟配备辐射巡测仪1台、表面污染仪1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：

1）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；

2）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；

3）定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；核医学科应在每日工作结束后进行表面污染监测，发现沾污及时采取去污措施。

江苏省人民医院宿迁医院已对现有的核技术利用项目开展日常自主监测并定期委托有资质单位开展辐射监测，已对现有辐射工作人员进行个人剂量监测。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。

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：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

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《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。

医院已按照现有的辐射事故应急预案定期组织应急演练，医院现有核技术利用项目运行以来，未发生过辐射事故（事件）。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目拟在新院区的门诊医技楼、综合楼开展放射诊疗项目，主要包括：

1、放射治疗项目：于综合楼负二楼放疗中心新建 2 座加速器机房（1#、2#）、1 座螺旋断层放射治疗系统（简称“TOMO”）机房、1 座 CT 模拟定位机机房、1 座 MR 模拟机机房，拟于 1#加速器机房配备 1 台医用直线加速器（瓦里安 VitalBeam，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量≤20MeV）用于开展放射治疗，拟于 2#加速器机房配备 1 台医用直线加速器（医科达 Infinity，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量≤15MeV)用于开展放射治疗,拟于 TOMO 机房配备 1 台 TOMO(中核安科锐 TomoH，X 射线能量为 6MV）用于开展放射治疗；拟于 CT 模拟定位机机房配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA）、拟于 MR 模拟机配备 1 台 MR 模拟机（不属于射线装置）用于配合开展放射治疗；

2、核医学项目:于综合楼负一楼新建核医学科,配备 1 台 PET/CT 及 1 台 PET/MR（不属于射线装置）配合使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 开展核素显像诊断，配备 1 台 SPECT/CT 配合使用 ^{99m}Tc 开展核素显像诊断,使用 ^{89}Sr 开展核素治疗,使用 2 枚 ^{68}Ge 放射源进行质控校准。核医学科使用 ^{18}F 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊断日最大接诊量分别为 20 人次、10 人次；使用 ^{68}Ga 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊断日最大接诊量均为 2 人次；使用 ^{64}Cu 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊断日最大接诊量均为 2 人次；使用 ^{89}Zr 配合 PET/CT、PET/MR 开展核素显像诊断日最大接诊量均为 2 人次；使用 ^{99m}Tc 配合 SPECT/CT 开展核素显像诊断日最大接诊量为 30 人次；使用使用 ^{89}Sr 开展核素治疗日最大接诊量为 2 人次。核医学科核素日等效最大操作量为 $2.41\times10^{8}Bq$，属乙级非密封放射物质工作场所；

3、介入放射学项目：于综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房（1#手术室、22#手术室、23#手术室），并配备 3 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA），用于开展医疗诊断和介入治疗；于综合楼四楼新建杂交手术室（19#+20#+21#手术室），配备 2 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 150kV，最大

管电流均为1250mA)和1台CT(型号未定,最大管电压150kV,最大管电流1000mA),用于开展医疗诊断和介入治疗;于综合楼三楼新建1座ERCP机房,配备1台ERCP(型号未定,最大管电压120kV,最大管电流150mA),用于开展医疗诊断和介入治疗;

4、其他医学影像诊断项目:于综合楼一楼新建4间CT机房,配备4台CT(型号未定);于综合楼一楼新建1间骨密度机房,配备1台骨密度仪(型号未定);于综合楼一楼新建4间DR机房,配备4台DR(型号未定);于综合楼一楼新建1间数字胃肠机机房,配备1台数字胃肠机(型号未定);于综合楼二楼新建1间DR机房,配备1台DR(型号未定)。

医用直线加速器、TOMO、ERCP、DSA为Ⅱ类射线装置,核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所,PET/CT、SPECT/CT、CT模拟定位机及其他医学影像诊断项目的X射线装置均为Ⅲ类射线装置,PET/MR不属于射线装置。

二、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,经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后,本项目的建设和运行对受照个人和社会公众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。

对照《产业结构调整指导目录(2024年本)》,本项目不属于"限制类"或"淘汰类"项目,符合国家现行的产业政策。

三、选址合理性

江苏省人民医院宿迁医院南院区位于宿迁经济技术开发区,东至规划绿地、南至上海路、西至世纪大道、北至广州路。

医院本次扩建放射诊疗项目主要包括:

1、于综合楼负二楼放疗中心新建2座加速器机房、1座TOMO机房及配套设施用房并配置2台医用直线加速器、1台TOMO、1台CT模拟定位机。放疗中心四周均为土层,下方为土层,楼上为核医学科。加速器及TOMO机房位于放疗中心东部,3座机房南北并列设置,由北向南依次为1#加速器机房、2#加速器机房、TOMO机房;3座机房东侧、南侧、北侧均为土层,西侧为控制室、水冷机房及准备间,上方为机房上空,下方为土层;CT模拟定位机位于放疗中心西部,机房东侧为控制室及过道,

南侧为设备间，西侧为土层，北侧为制模室，楼上为核医学科，下方为土层。

2、于综合楼负一楼东南部新建核医学科，核医学科东侧为加速器机房上空及停车位，南侧为停车位，西侧为停车位及楼梯间，北侧为下沉庭院，下方为放疗中心，楼上为肿瘤中心的分诊大厅、化疗大厅、配置室、治疗室、值班室、过道等。

3、于综合楼四楼新建 3 座 DSA 机房并配置 3 台 DSA（1#、22#、23#手术室），于综合楼四楼新建杂交手术室，并配置 2 台 DSA 和 1 台 CT（19#+20#+21#手术室），于综合楼三楼新建 1 座 ERCP 机房并配备 1 台 ERCP。1#手术室东侧为 2#手术室，南侧为预麻间、缓冲区，西侧为控制室、UPS 间，北侧为污物通道，楼上为设备层，下方为示教室；22#、23#手术室东西并列设置（东侧为 23#，西侧为 22#），手术室东侧为 24#手术室及污洗间，南侧为过道，西侧为导管室、设备间，北侧为污物通道，楼上为设备层，楼下为示教室、医生办公室、值班室、过道、耗材库、雾化治疗室等；杂交手术室东侧为缓冲间及过道，南侧、西侧为过道，北侧为控制室及过道，楼上为设备层，下方为会议室/示教室、诊断室、公共走道；ERCP 机房东侧为内镜超声室，南侧为过道，西侧为麻醉准备/复苏室，北侧为控制室，楼上为更衣室、过道、配血室等，楼下为治疗室、被服库、值班室、护士站等。

4、其他医学影像诊断项目中，3 台 CT、3 台 DR、1 台骨密度仪、1 台数字胃肠机位于综合楼一楼影像中心，1 台 CT、1 台 DR 位于综合楼一楼急诊科，1 台 DR 位于综合楼二楼 DR 机房。

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目 50m 评价范围东侧至院外空地、绿化区域，南侧、西侧、北侧均位于本院区范围内，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、周围其他医务人员、患者、患者家属以及其他公众等，无居民区、学校等环境敏感目标。本项目其他医学影像诊断项目涉及的Ⅲ类射线装置分散布置在综合楼的不同楼层、不同科室，即使保守以整个综合楼周围 50m 为参考范围，范围内主要院内区域及院区东西两侧道路及绿化等，无学校、居民区等环境敏感目标。

加速器机房位于综合楼底层最东端，控制室、设备间均与治疗室分开布置，治疗室设置迷路；DSA、ERCP 均设置独立的设备机房，控制室均位于机房外；核医学科位于综合楼负一楼，设有单独出入口，工作场所内人流、物流路径相对独立，患者就诊可沿单向路线流动。为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目按要求划分了辐射防护控制区和监督区，并设置电离辐射警告标志。

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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于宿迁市中心城区（宿城区）（编码：ZH32130220176）内，不在生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。

本项目选址及布局合理，项目工作场所分区符合《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。

四、辐射环境现状评价

江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗项目拟建址及其周围环境γ辐射剂量率为74nGy/h~77nGy/h，属江苏省环境天然γ辐射剂量率本底水平；项目拟建址β表面污染水平均小于 0.08Bq/cm^2。

五、环境影响评价

根据预测估算结果，江苏省人民医院宿迁医院扩建放射诊疗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，项目投入运行后对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）中对职业人员和公众年有效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）。

六、“三废”的处理处置

核医学科核素分装均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排风口高于综合楼屋顶），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。核医学科的放射性废水，含有 ^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc 放射性核素，由独立下水管道统一集中到衰变池中，废水暂存衰变 39 天、监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L。核医学科产生的放射性固体废物分类收集，核医学科放射性固体废物收集后，按照核素分类存入放射性废物间内，废物间年入库放射性固体废物总量为 361kg，月平均 30.1kg，体积不超过 2m^3。

放射性固体废物可在放射性废物间内暂存超过32.7天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍”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”的标准要求。放射性固体废物解控后作为医疗废物交由有资质单位处置。

医用直线加速器机房、TOMO机房、PET/CT机房、SPECT/CT机房、DSA机房、ERCP机房、CT模拟定位机及其他医学影像诊断项目的III类射线装置机房内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约50分钟可自然分解为氧气，对周围环境影响较小；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，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；本项目DSA、ERCP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，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

七、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

江苏省人民医院宿迁医院拟配备的2台医用直线加速器的X射线最大能量为10MV，电子线最大能量为20MeV，TOMO的X射线最大能量为6MV，放疗装置开机期间，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。本项目医用直线加速器机房、TOMO机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态灯和门机联动装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，医院拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设置固定式剂量报警仪，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的安全管理要求。

医院拟配备的CT模拟定位机最大管电压≤150kV、最大管电流≤1000mA，开机期间，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。本项目CT模拟定位机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，机房均拟设置门机联动装置，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）的安全管理要求。

根据《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），确定核医学科工作场所为乙级非密封放射性

物质工作场所。核医学科 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房扫描时产生的 X 射线；^{18}F、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{89}Sr 放射性核素在操作过程中产生的β、γ射线会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学科工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT 机房、SPECT/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警示标识和工作状态灯。PET/CT 机房、SPECT/CT 机房设置有门机联动装置，机房内外均设置有急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统，符合《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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

江苏省人民医院宿迁医院拟新购的 5 台 DSA 最大管电压均为 150kV、最大管电流均为 1250mA，DSA 开机期间产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目 DSA 机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯拟与防护大门设置有效联动，机房内外均拟设置急停按钮，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

医院其他医学影像诊断项目中拟搬迁和新增的医用 X 射线装置均为Ⅲ类射线装置，医用 X 射线装置开机曝光期间产生的 X 射线为主要辐射环境影响因素。其他医学影像诊断项目中的医用 X 射线装置机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯拟与防护大门设置有效联动，机房设置观察窗或摄像监控装置，设置动力通风装置并保持良好的通风，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

八、辐射安全管理评价

江苏省人民医院宿迁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。医院拟制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，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。

江苏省人民医院宿迁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。江苏省人民医院宿迁医院还需配备辐射巡测仪，为本项目配备表面沾污仪 1 台。此外，医院应根据相关标准要求，为核医学科、DSA 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，江苏省人民医院宿迁医院扩建放射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，该单位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

1、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。

2、根据防护与安全的最优化原则，进一步优化完善辐射工作场所屏蔽措施。

3、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。

4、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

5、医院取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，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。

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：医用直线加速器、TOMO机房四侧墙体采用混凝土、顶面采用混凝土进行辐射防护；核医学科工作场所四侧墙体及顶部采用混凝土、实心砖、硫酸钡防护涂料进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护；DSA机房四侧墙体采用轻钢龙骨+铅板，顶面采用混凝土+防护涂料，地面采用混凝土+防护涂料，防护门均采用铅板，观察窗均为铅玻璃观察窗进行防护；其他医学影像诊断项目机房采用实心砖+硫酸钡涂料，顶部采用混凝土+硫酸钡涂料，地面采用混凝土+硫酸钡涂料，防护门均采用铅板、观察窗均采用铅玻璃进行防护。详见表10-1至表10-7。		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的剂量约束值要求。	4382
	安全措施	医用直线加速器、TOMO机房设置门机联动装置，并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置，防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设固定式剂量报警仪。	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。	15
		CT模拟定位机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，模拟定位机房设有门机联动装置，射线装置机房内外均设置有急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	1
		核医学科控制区入口、放射性废物桶表面、PET/CT机房和SPECT/CT机房防护门上均设置电离辐射警告标志，同时在PET/CT机房、SPECT/CT机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置，并设置急停按钮及对讲装置，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统。	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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	10
		DSA、ERCP机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯；机房设有闭门装置，机房内外均拟设置急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	12

	放射性“三废”处理措施： 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（通风速率不少于0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，符合非密封放射性物质工作场所相关要求。 本项目产生的放射性废水由专用下水管道统一集中到衰变池中，废水暂存衰变39天后按照GB 18871-2002中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L。 核医学科产生的放射性固体废物分类收集，集中到放射性废物间中的放射性废物桶中暂存超过32.7天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、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。	满足《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）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	35
人员配备	辐射安全管理人员和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考核，考核合格后上岗。 其他医学影像诊断项目辐射工作人员参加医院的自主培训和考核。	满足《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》要求。	12
	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。	3
	拟配备表面沾污仪1台。		
	核医学科配备2个手套箱，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。 DSA、ERCP介入治疗医生配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、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、床侧防护屏等防护用品。 其他医学影像诊断项目按要求配备相应的防护用品。	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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	30
辐射安全管理制度	制定操作规程、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、	满足《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》	/

	内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	
总计	/	/	4500

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