

核技术利用建设项目
固原市人民医院
急危重症楼核技术利用建设项目
环境影响报告表
(送审稿)

固原市人民医院

2023年10月



核技术利用建设项目
固原市人民医院
急危重症楼核技术利用建设项目
环境影响报告表

建设单位名称：固原市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：张立

通讯地址：宁夏回族自治区固原市西南新区九龙路

邮政编码：756099


电子邮箱：gysrmyy2022189@163.com



联系人：路福鹏

联系电话：18909541568

编制单位和编制人员情况表

项目编号	56b73e		
建设项目名称	固原市人民医院急危重症核技术利用建设		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称(盖章)	固原市人民医院		
统一社会信用代码	12642200454970204A		
法定代表人(签章)	张立 		
主要负责人(签字)	褚万银 		
直接负责的主管人员(签字)	路福鹏 		
二、编制单位情况			
单位名称(盖章)	长润安测科技有限公司		
统一社会信用代码	91641100MA76C6WY9X		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
沈立平	2015035640352014642320000027	BH021803	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
沈立平	辐射安全管理、结论与建议	BH021803	
李冬	项目基本情况、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析	BH063946	

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号: HP 00018085
No.



持证人签名:
Signature of the Bearer

管理号: 2015035640353014642320000027
File No.

姓名: 沈立平
Full Name
性别: 男
Sex
出生年月: 1982年06月
Date of Birth
专业类别: /
Professional Type
批准日期: 2015年05月24日
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by 宁夏回族自治区人力资源和社会保障厅

签发日期: 2015年 05月 24日
Issued on

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	16
表 3 非密封放射性物质	16
表 4 射线装置	18
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	19
表 6 评价依据	20
表 7 保护目标与评价标准	23
表 8 环境质量和辐射现状	54
表 9 项目工程分析与源项	56
表 10 辐射安全与防护	86
表 11 环境影响分析	132
表 12 辐射安全管理	210
表 13 结论与建议	220
附图 1 固原市人民医院地理位置示意图	223
附图 2 固原市人民医院平面布局示意图	224
附图 3 急危重症楼负一层平面布局示意图	225
附图 4 急危重症楼七层平面布局示意图	226
附图 5 本项目加速器室和后装机室平面布局图	227
附图 6 本项目加速器室和后装机室剖面布局图	228
附图 7 本项目核医学科平面布局示意图	229
附图 8 本项目 DSA 手术室平面布局示意图	230
附件 1 医疗机构执业许可证	231
附件 2 固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目可研批复文件	232
附件 3 固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目环评批复	235
附件 4 固原市人民医院辐射安全许可证	241
附件 5 辐射环境现状检测报告	245

表 1 项目基本情况

建设项目名称		固原市人民医院急危重症核技术利用建设项目			
建设单位		固原市人民医院			
法人代表	张立	联系人	路福鹏	联系电话	18909541568
注册地址		宁夏回族自治区固原市西南新区九龙路			
项目建设地点		固原市人民医院急危重症楼负一层放射治疗中心、负一层核医学科、七层 DSA 手术室			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	11825	项目环保投资 (万元)	931	投资比例(环保 投资/总投资)	7.87%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	1850
应用类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封 放射性 物质	<input type="checkbox"/> 生产	制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装 置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其它	无				

1.1 医院概况

固原市人民医院（以下简称“医院”）又称“宁夏回族自治区第二人民医院”，医疗机构执业许可证见附件 1。医院位于宁夏回族自治区南部山区、六盘山东麓，地处西安、兰州、银川三省会交汇的中心地带，始建于 1958 年，其前身为中国人民志愿军 531 医院，是宁南地区集医疗、教学、科研、急救、保健、康复于一体的三级综合性公立医院，2021 年被确定建设为宁夏回族自治区省级区域医疗中心。医院承担着固原市四县一区及周边市县（海原、同心、甘肃环县、镇原）等地 200 多万群众的基本医疗救治工作，是宁夏医科大学附属医院、宁夏助理全科医生培训基地、固原市卫生医疗专业技术人员继续教育基地、国家医师资格实践技能考试基地，承担着甘肃医学院等医学院校学生的实习和基层卫生院专业技术人员的进修培训任务，是国家老年疾病临床医学研究中心分中心、国家呼吸与危重医学科规范化建设

三级医院达标单位、西安交通大学第一附属医院协作医院、西京消化病医院固原整合医学中心、吴阶平泌尿外科固原中心、固原市数字骨科 3D 打印技术中心。

医院占地面积 207.5 亩（13.8 万平方米），总建筑面积 13.2 万平方米，设置床位 1000 张，在岗职工 1290 人，高级职称 203 人，硕士及以上学历人员 37 人。医院设 30 个临床科室，9 个医技科室。近年来，医院获宁夏科学技术进步三等奖 1 项，自治区科学技术成果 3 项，自治区重点研发计划项目 1 项，自治区科技攻关计划项目 3 项，宁夏自然科学基金项目 6 项，自治区卫健委医学科研项目 18 项，固原市科技项目 24 项，宁夏护理学会项目 6 项，宁夏医科大学教学创新项目 1 项。医院先后荣获“全国第一批节约型公共机构示范单位”“爱婴医院”“国际急救中心网络医院”“全国百姓放心医院”“残肢儿童矫治手术医院”“中国医院质量管理奖（医疗 2019）优秀奖”“光明行先进集体”“援贝宁医疗队派遣工作先进单位”“全国五一巾帼标兵岗”“自治区文明单位”等荣誉称号。

固原市人民医院地处宁夏回族自治区固原市西南新区九龙路，本项目建设地点位于固原市人民医院拟建的急危重症楼内，急危重症楼位于医院门急诊楼西侧区域。固原市人民医院地理位置示意图见附图 1，医院院区平面布局示意图见附图 2。

1.2 本项目概况

1.2.1 项目背景

为提升宁南地区及周边区域内的医疗服务能力，优化医疗资源配置，加快构建优质医疗服务网络，《宁夏回族自治区国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中计划将固原市人民医院建设为宁夏回族自治区省级区域医疗中心。固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目已于 2023 年 3 月 30 日取得固原市审批服务管理局《关于固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目可行性研究报告的批复》【固审批（投资）（2023）10 号】（见附件 2），该项目计划在固原市人民医院院区内新建急危重症楼 1 栋，该楼占地面积 3.5 亩，总建筑面积 18670m²，为地上 7 层局部 8 层、地下 1 层框架剪力墙结构，建筑总高度为 29.25 米，设计床位 300 张。《固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目》环境影响报告表已于 2023 年 8 月 17 日取得了固原市生态环境局的批复【固环评审（2023）10 号】（见附件 3）。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规，拟建急危重症楼内涉及核技术利用的项目应开展核与辐射类环境影响评价。因此，医院现委托长润安测科技有限公司对《急危重症楼核技术利用建设项目》开展环境影响评价，并编制环境影响报告表（核与辐射类），报生态环境主管部门审批。

1.2.2 本项目建设内容

为完善固原市人民医院省级区域医疗中心放射诊疗服务能力，为广大患者提供更全面、更便捷的医疗服务，固原市人民医院拟在急危重症楼负一层新增使用 2 台医用电子直线加速器和 1 台后装治疗机，拟在急危重症楼七层新增使用 2 台数字血管造影机 DSA，拟在急危重症楼负一层新建 1 处核医学科放射诊疗工作场所。本项目详细建设内容如下：

(一) 医用电子直线加速器

本项目拟在急危重症楼负一层放射治疗中心新建 1#加速器室和 2#加速器室，并新增使用 2 台医用电子直线加速器。根据医院提供的信息，2 台加速器设备型号均未确定，但加速器设备的基本配置和射线最大参数等技术参数均已确定，本项目拟新增的 2 台医用电子直线加速器设备的基本情况见表 1.1。

表 1.1 本项目拟新增的 2 台医用电子直线加速器设备基本情况*

设备名称	医用电子直线加速器			医用电子直线加速器		
数量	型号待定			型号待定		
类别	II 类射线装置			II 类射线装置		
使用场所	急危重症楼负一层放疗中心 1#加速器室			急危重症楼负一层放疗中心 2#加速器室		
治疗模式	可开展调强适形放疗，配备 FFF 模式			可开展调强适形放疗，配备 FFF 模式		
射线种类和能量	X 射线能量：6MV/10MV 电子线能量：6、9、12、15、18MeV			X 射线能量：6MV/10MV 电子线能量：6、9、12、15、18MeV		
最大输出剂量率	X 射线	常规模式	600cGy/min (6MV) 600cGy/min (10MV)	X 射线	常规模式	600cGy/min (6MV) 600cGy/min (10MV)
		FFF 模式	1400cGy/min (6MV) 2400cGy/min (10MV)		FFF 模式	1400cGy/min (6MV) 2400cGy/min (10MV)
	电子线	600cGy/min		电子线	600cGy/min	
泄漏率	<0.1%			<0.1%		
主射束张角	±14°			±14°		
最大射野尺寸	X 射线：40cm×40cm (SSD=100cm)			X 射线：40cm×40cm (SSD=100cm)		
机头旋转范围	±180°			±180°		
CBCT 参数	最大管电压 150kV，最大管电流 500mA			最大管电压 150kV，最大管电流 500mA		

注*：本项目拟新增的 2 台加速器各项技术参数均不超出表中所列数值。

(二) 后装治疗机

本项目拟在急危重症楼负一层放射治疗中心新建 1 间后装机室，并新增使用 1 台 γ 源近距

离后装治疗机（设备型号待定），计划配套使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ （10Ci），本项目拟新增的 1 台后装治疗机基本情况见表 1.2。

表 1.2 本项目拟新增的后装机设备基本情况

设备名称	设备型号	核素种类	最大装源活度	类别	工作场所
近距离后装治疗机	待定	^{192}Ir	$3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)	III类放射源	急危重症楼负一层放疗中心后装机室

（三）数字减影血管造影机（DSA）

本项目拟在急危重症楼七层手术室区域新建 DSA1 室和 DSA2 室，并新增使用 2 台数字减影血管造影机（型号均待定）。根据医院提供的信息，本项目拟新增的 2 台 DSA 设备均为双 C 设备，各球管的最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1250mA。本项目拟新增的 2 台 DSA 设备的基本情况见表 1.3。

表 1.3 本项目新增使用 2 台 DSA 设备具体情况

设备名称	类别	设备型号	最大管电压	最大管电流	工作场所	备注
DSA	II	待定	125kV（球管 1）	1250mA（球管 1）	急危重症楼七层 DSA1 室	双 C
			125kV（球管 2）	1250mA（球管 2）		
DSA	II	待定	125kV（球管 1）	1250mA（球管 1）	急危重症楼七层 DSA2 室	双 C
			125kV（球管 2）	1250mA（球管 2）		

（四）核医学科工作场所

1、源项情况

本项目拟在急危重症楼负一层北部区域新建 1 处核医学科工作场所，拟使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 开展核医学显像诊断工作，其中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物拟使用外购的钼铈发生器进行淋洗标记， ^{18}F 全部为外购药物；工作场所拟配套使用 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT/CT 设备（均属于 III 类射线装置），PET/CT 设备拟配套新增 3 枚 ^{68}Ge 校准源（均属于 V 类放射源）；拟使用放射性核素 ^{131}I 开展甲癌治疗、甲亢治疗和甲状腺功能测定， ^{131}I 药物全部外购；使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器用于放射性敷贴治疗。

2、放射性核素使用量

① ^{18}F 药物用量：

^{18}F 药物最大用量 $3.70 \times 10^8\text{Bq/人}$ （10mCi/人），平均用量 $2.96 \times 10^8\text{Bq/人}$ （8mCi/人），单日最大接诊量为 15 人次，年工作 250 天，年接诊量不超过 3750 人次；

② $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物用量：

^{99m}Tc 药物最大用量 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi/人)，平均用量 $7.40 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (20mCi/人)，单日最大接诊量为 25 人次，年工作 250 天，年接诊量不超过 6250 人次；肺通气检查 ^{99m}Tc 药物最大用量为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (20mCi/人)，每个检查日最多检查 2 人次，年工作 250 天，年检查人数不超过 500 人次。外购的钼铈发生器规格不超过 800mCi，计划每周购买 1 个，每年最多购买 50 个。

③ ^{131}I 药物用量：

甲癌患者 ^{131}I 服药量最大不超过 $7.40 \times 10^9 \text{Bq/人}$ (200mCi/人)，平均用量为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (150mCi/人)。本项目核医学科设 2 间甲癌病房（均为双人病房），根据医院提供的信息，核医学科预计每年最多收治 160 名甲癌患者，计划每周收治 1 批，每批最多 4 人。保守假设，每周的 4 名甲癌患者均安排在同一天服药，且每人均为最大服药量，则 ^{131}I 甲癌治疗的单日最大用量不超过 $2.96 \times 10^{10} \text{Bq}$ (800mCi)；

甲亢患者 ^{131}I 服药量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (10mCi/人)，每周最多治疗 10 人次，年工作 50 周，每年治疗 500 名甲亢患者。保守假设每周的 10 名甲亢患者均安排在同一天服药，则 ^{131}I 甲亢治疗的单日最大用量不超过 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ (100mCi)；

甲状腺功能测定使用 ^{131}I 成品胶囊，单粒胶囊活度 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ (5 μCi 统一规格)，每周最多检查 10 人，年工作 50 周，本报告保守按单日至多使用 10 粒 ^{131}I 胶囊进行评价。

本项目核医学科放射性核素使用情况详见表 1.4

表 1.4 本项目核医学科放射性核素使用情况表

核素种类	单人最大使用量 (Bq)	单日最多诊疗人数 (人)	年使用天数 (天)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq) *	用途	来源	
^{18}F	3.70×10^8	15	250	5.55×10^9	1.11×10^{12}	PET 显像	外购药物	
^{99m}Tc	9.25×10^8	25	250	2.32×10^{10}	4.63×10^{12}	SPECT 显像	钼铈发生器淋洗	
^{99m}Tc (气溶胶)	7.40×10^8	2	250	1.48×10^9	3.70×10^{11}	肺通气检查		
^{131}I	甲癌	7.40×10^9	4	40	2.96×10^{10}	8.88×10^{11}	甲癌治疗	外购药物
	甲亢	3.70×10^8	10	50	3.70×10^9	1.85×10^{11}	甲亢治疗	
	甲测	1.85×10^5	10	50	1.85×10^6	9.25×10^7	甲功测定	
^{99}Mo	/	/	/	2.96×10^{10}	1.48×10^{12} (50 个/年)	淋洗 ^{99m}Tc	外购发生器	

注*：(1) ^{18}F 、 ^{99m}Tc 的年最大用量按平均注射量 $2.96 \times 10^8 \text{Bq/人}$ 、 $7.40 \times 10^8 \text{Bq/人}$ 进行核算；
 (2) ^{131}I 甲癌治疗的年最大用量按平均用量 $5.55 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (150mCi/人) 进行核算；
 (3) 钼铈发生器规格最大为 800mCi，年最多购买 50 个，单日 ^{99m}Tc 最大淋洗量约 720mCi (淋洗效率取 90%)，本项目核医学科 ^{99m}Tc 药物日最大用量为 665mCi，可满足使用要求。

3、射线装置及放射源情况

本项目核医学科拟新购置 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT/CT 设备（均属于Ⅲ类射线装置），设备型号均未确定。根据医院提供的信息，本项目拟购 PET/CT 设备的 CT 机球管参数不超过 140kV/800mA，拟购 SPECT/CT 设备的 CT 机球管参数不超过 140kV/800mA；本项目核医学科拟购射线装置情况详见表 1.5。

表 1.5 本项目核医学科拟购射线装置具体情况

设备名称	类别	数量 (台)	设备 型号	CT 球管最大管 电压 (kV) *	CT 球管最大管 电流 (mA) *	使用场所	用途
PET/CT	Ⅲ	1	待定	140	800	急危重症楼核医学科 PET/CT 机房	显像诊断
SPECT/CT	Ⅲ	1	待定	140	800	急危重症楼核医学科 SPECT/CT 机房	显像诊断

注*：医院尚未确定 PET/CT、SPECT/CT 设备型号，医院应以实际型号和参数申报辐射安全许可。如 CT 球管实际参数超出表中数值，医院须另行填报环境影响登记表进行备案。

根据医院提供的信息，本项目核医学科拟新增使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源用于 PET/CT 的校准，单枚源的最大活度不超过 100MBq，均属于 V 类放射源；核医学科敷贴治疗室拟新增使用 1 枚 ^{90}Sr 敷贴器用于放射性敷贴治疗，放射源最大活度为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ (40mCi)，属于 V 类放射源。本项目核医学科拟使用放射源具体情况详见表 1.6。

表 1.6 本项目核医学科拟使用放射源具体情况

放射源名称	最大活度 (Bq) *	数量 (枚) *	类别	使用场所	储存位置	用途
^{68}Ge 密封源	1.00×10^8	3	V	急危重症楼核医学科 PET/CT 机房	急危重症楼核医学科 1#储源室内	PET 校准
^{90}Sr 敷贴器	1.48×10^9	1	V	急危重症楼核医学科 敷贴治疗室	急危重症楼核医学科 敷贴治疗室保险箱内	敷贴治疗

注*：仅列出放射源可能的最大活度和数量； ^{68}Ge 校准源实际活度数量需由 PET/CT 设备厂商确定；医院应以 ^{68}Ge 校准源和 ^{90}Sr 敷贴器的实际活度和数量申报辐射安全许可；如实际新增的 ^{90}Sr 敷贴器活度、 ^{68}Ge 校准源活度和数量超出表中数值，医院须另行填报环境影响登记表进行备案。

4、核医学工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 C 进行日等效最大操作量的计算。根据《关于明确核技术辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430 号) 的要求：利用钼铈发生器淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物时， ^{99}Mo 的操作视为“贮存”；医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。

本项目核医学科日等效最大操作量核算结果详见表 1.7。

表 1.7 本项目核医学科日等效最大操作量核算

核素名称	毒性分组	毒性组别修正因子	状态	操作方式	操作方式与状态修正因子	日最大操作量 (Bq) *	日等效最大操作量 (Bq)	
¹⁸ F	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁶	
				源的贮存	100	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁶	
^{99m} Tc	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	2.32×10 ¹⁰	2.32×10 ⁷	
^{99m} Tc (气溶胶)	低毒	0.01	气体	很简单的操作	0.1	1.48×10 ⁹	1.48×10 ⁸	
¹³¹ I	甲癌	中毒	0.1	液体	简单操作	1	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁹
	甲亢	中毒	0.1	液体	简单操作	1	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸
	甲功	中毒	0.1	固体	简单操作	10	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁴
⁹⁹ Mo	中毒	0.1	固体	源的贮存	100	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁷	
合计							3.54×10⁹	

注*：（1）¹⁸F 药物日送药量按日最大操作量的 2 倍核算（日送药量最大 300mCi）；
（2）甲癌患者平均用量 150mCi，本表中 ¹³¹I 甲癌药物日最大操作量按 200mCi×4 人/日保守核算。

由表 1.7 的核算结果可知，本项目整个核医学科场所（包括显像诊断、核素治疗）的日等效最大操作量为 3.54E+09Bq，属于**乙级非密封放射性物质工作场所**。

1.2.3 项目由来和评价内容

本项目性质为新建，根据《关于发布<射线装置分类办法>的公告》（原环保部、原卫计委公告 2017 年第 66 号），本项目拟新增的医用直线加速器、数字减影血管造影机均属于 II 类射线装置，核医学科 PET/CT、SPECT/CT 均属于 III 类射线装置；根据《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环保总局公告 2005 年第 62 号），本项目后装机 ¹⁹²Ir 放射源属于 III 类放射源，PET/CT 配套 ⁶⁸Ge 校准源、⁹⁰Sr 敷贴器均属于 V 类放射源；根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目拟建核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《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许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》等相关法律法规，固原市人民医院急危重症核技术利用建设项目应当开展环境影响评价，并编制环境影响报告表（核与辐射类），报宁夏回族自治区生态环境厅审批。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019 年生态环境部部令第 9 号）的最新要求，长润放射科技（宁夏）有限公司符合第九条第一款规定，不属于该条第二款所列单位，无该条第三款所列情形，该评价单位有专职环评工程师，有能力

开展环境影响评价工作。受固原市人民医院的委托，长润安测科技有限公司组织技术人员在现场踏勘、监测和收集资料的基础上，整理编制完成了本项目环境影响报告表。

本项目评价因子包括：医用加速器、DSA 运行期间产生的 X 射线；后装放射源使用期间产生的 γ 射线、 β 射线；核医学场所运行期间产生的 γ 射线、 β 射线、X 射线和放射性“三废”；本报告重点评价上述污染源项对职业人员、公众和周边环境所产生的辐射影响。

1.2.4 产业政策符合性及实践正当性

本项目是利用医用射线装置、医用放射源、放射性药物和各类医学影像设备开展放射诊疗工作，属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会 2021 年第 49 号令《国家发展改革委关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目属于鼓励类“十三、医药”的 5 条中“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，…高端放射治疗设备，…新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用”的类别，符合国家产业政策和发展规划。

《宁夏回族自治区国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》专栏 24 中提出“医疗卫生机构高质量发展工程：建设自治区第五人民医院、固原市人民医院省级区域医疗中心；升级改善地市级人民医院设施装备条件，实现每个地市都有三甲医院”的要求。《固原市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》专栏 21 中将“市人民医院省级区域医疗中心项目”列为民生五大项目。本项目的建设将显著提升固原市人民医院的放射诊疗水平，进一步强化宁南地区医疗资源配置，建设更高水平的省级区域医疗中心，为固原市及周边地区上百万群众提供更先进、更便捷的医疗服务，满足人民群众日益增长的医疗服务需求。因此，本项目符合宁夏回族自治区和固原市当前的发展规划。

虽然各类放射诊疗设备、放射性药物在使用期间会对环境产生些许的辐射危害，但医院开展放射诊疗为国家社会带来的利益将远大于其辐射危害。固原市人民医院在开展各类放射诊疗工作期间，将严格按照国家相关法律、法规和标准要求，对辐射工作场所采取相应的辐射安全与防护措施，建立健全各项辐射安全管理规章制度、操作规程和辐射事故应急预案。本项目的建设和运行对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其带来的社会利益和经济利益，因此本核技术利用项目符合“辐射实践的正当性”原则。

1.2.5 项目选址及周围环境

本项目建设地点位于固原市人民医院院区拟建急危重症楼内。拟建的急危重症楼位于医院院区的西北角，为一幢地上 7 层、地下 1 层建筑，其东侧为门急诊楼和医技楼，南侧为食堂，西侧为锦绣街，北侧为九龙路。本项目建设地点周围 50m 范围内主要为医院内部建筑物

和市政道路，无居民楼、学校、养老院、超市等环境敏感目标。医院院区平面布局图见图 1.1。

本项目拟建辐射工作场所均位于急危重症楼内，具体包括：

（一）放射治疗科

本项目 1#加速器室、2#加速器室、后装机室均位于急危重症楼负一层东南角区域，3 间放射治疗室相邻。其中：1#加速器室东侧为土层，南侧为后装机室、西侧为 1#控制室、1#辅助机房和过道，北侧为 2#加速器室；2#加速器室东侧为土层，南侧为 1#加速器室、西侧为 2#控制室、2#辅助机房和过道，北侧为预留机房；后装机室东侧和南侧均为土层、西侧为后装机控制室、储源室和过道，北侧为 1#加速器室；各治疗室楼上均为覆土层，覆土层之上为室外道路，各治疗室楼下均无建筑。本项目放射治疗科平面布局示意图见图 1.2。

（二）核医学科

本项目核医学科工作场所位于急危重症楼负一层北部区域，选址相对独立。核医学科场所东侧、西侧和北侧均为土层，南侧为候诊区、患者通道和电梯厅。核医学科场所楼上为隔震层（高约 2m），隔震层上方为急危重症楼一层。场所楼下无建筑。

本项目核医学科工作场所总建筑面积约 1250m²（含衰变池区域），其中显像诊断区域和核素治疗区域分开布置，北侧为显像诊断区域，南侧为核素治疗区域。显像诊断区域内主要辐射场所包括：分装注射室、淋洗标记室（质控室）、1#储源室、1#固废间、运动平板室、肺通气室、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观兼抢救室、清洁间 1 和患者走廊等；核素治疗区域内主要辐射场所包括：控制室、分装仪室、2#储源室、2#固废间、服碘室、碘病房 1、碘病房 2、抢救室、污染被服间、清洁间 2 和患者走廊。此外，核医学科的甲功室和敷贴治疗室设置在场所的东部区域。

拟建的 2 套槽式衰变池系统位于核医学科场所北侧地下，其中：

1#衰变池系统用于暂存显像诊断场所废水，1#衰变池设有 2 个降解池，单个降解池有效容积 12.8m³；设 3 个衰变槽轮流使用，单池有效容积为 10.8m³，总容积为 32.4m³；设有 1 个应急槽用于暂存应急排放废水，应急槽有效容积 10.8m³。

2#衰变池系统用于暂存核素治疗场所废水，2#衰变池设有 2 个降解池，单个降解池有效容积 6.4m³；设有 3 个衰变槽轮流使用，单池有效容积 45.6m³，总容积为 136.8m³；设有 1 个应急槽用于暂存应急排放废水，应急槽有效容积 22.8m³。

本项目核医学科工作场所平面布局示意图见图 1.2。

（三）介入手术室

本项目拟建 2 间 DSA 室均位于急危重症楼七层南部区域，其中：DSA1 室东侧为洁净走

廊，南侧为设备间 1，西侧为污物通道，北侧为控制室 1 和污物通道，楼下为病房、护士站、治疗室等，楼上为屋面（太阳能板）。DSA2 室东侧为楼外，南侧为设备间 2，西侧为洁净走廊，北侧为控制室 2 和污物通道，楼下为病房，楼上为屋面（太阳能板）。本项目介入手术室平面布局示意图见图 1.3。

本项目各辐射工作场所选址周围 50m 范围内无居民楼、学校、养老院、超市等环境敏感目标，辐射工作场所周围无人员密集区域，核医学科场所周边区域无产科、儿科、食堂等部门。本项目辐射工作场所的选址已充分考虑了周围区域的辐射安全与防护，工作场所布局具有合理性，预计各辐射工作场所在采取有效的实体屏蔽防护措施后，本项目的运行对周围公众及环境的辐射影响将非常有限。

1.2.6 本项目人员配备情况

(1) 放射治疗科

本项目固原市人民医院拟新增使用 2 台医用电子直线加速器和 1 台后装治疗机。根据《关于印发〈宁夏回族自治区乙类大型医用设备配置许可管理实施细则（试行）〉及〈乙类大型医用设备配置标准指引（2020 年）（试行）〉的通知》（宁卫发〔2020〕27 号）的相关要求，固原市人民医院拟新成立放射治疗科，并计划配备 15 名辐射工作人员，其中包括 4 名医师、5 名技师、3 名物理师和 3 名护师。本项目放射治疗人员配置计划及人员要求详见表 1.8。

表 1.8 本项目放射治疗辐射工作人员配置计划

建设内容		人员类别	数量	具体工作内容	人员要求
放射治疗	加速器 (2 台)	医师	3 名	勾画靶区、确认靶区剂量、核实治疗计划	至少含 1 名从事放射治疗专业 5 年以上，并取得高级职称的医师
		物理师	2 名	设计放疗计划、设备质控、场所辐射监测等	至少含 1 名具有 5 年以上放射治疗经验且接受过放疗物理专业临床培训 1 年以上的物理师
		技师	4 名	模拟定位、制模、病人摆位、加速器操作等	具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
		护师	2 名	预约登记、病人护理等	具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
	后装机 (1 台)	医师	1 名	勾画靶区、给出处方剂量、评估和确认治疗计划	从事放射治疗专业 5 年以上，并取得高级职称
		物理师	1 名	设计放疗计划、设备质控、场所辐射监测等	具有 5 年以上放疗经验且接受过放疗物理专业临床培训 1 年以上
		技师	1 名	模拟定位、布设施源器、病人摆位、后装机操作等	具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
		护师	1 名	预约登记、病人护理等	具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
人员总计：15 名					

(2) 核医学科

本项目固原市人民医院拟新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所开展核医学放射诊疗工作，计划新增 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT 设备。根据《关于印发<宁夏回族自治区乙类大型医用设备配置许可管理实施细则（试行）>及<乙类大型医用设备配置标准指引（2020 年）（试行）>的通知》（宁卫发〔2020〕27 号）的相关要求，固原市人民医院拟新成立核医学科，并计划配备 16 名辐射工作人员，其中包括 5 名医师、5 名技师、2 名物理师和 4 名护师。本项目核医学科人员配置计划及人员要求详见表 1.9。

表 1.9 本项目核医学科辐射工作人员配置计划

建设内容	人员类别	数量	具体工作内容	人员要求
核医学科	医师	5 名	阅片、影像诊断、报告出具、甲状腺吸碘功能测定、给出 ^{131}I 处方剂量、 ^{90}Sr 敷贴治疗等	至少含 2 名取得核医学影像上岗资质并从事专业工作 3 年以上的高级专业技术职称医师
	技师	5 名	SPECT/CT 患者摆位、设备操作	取得核医学影像上岗资质、具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
			PET/CT 患者摆位、设备操作	
			分装仪操作、指导服药、废物管理	
	物理师	2 名	PET 和 SPECT 设备质量控制和质量保证、放射性药物质控	具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
	护师	1 名	^{18}F 外购药物交接、药物分装、注射，放射性废物管理，日常表污监测	具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
2 名		钨铈发生器淋洗、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记、分装和注射、锡气发生器操作、放射性废物管理，日常表污监测、患者预约登记		
1 名		患者预约登记、甲癌病房查房、放射性废物管理、出院后表污监测等		
人员总计：16 名				

(3) 介入手术室

本项目固原市人民医院拟新增使用 2 台 DSA 设备。根据医院提供的信息：本项目急危重症楼七层的 2 台 DSA 设备投入运行后，预计每台设备每天最多开展 3 次介入手术，年工作 250 天，即单台设备手术量为 750 台/年，2 台设备总手术量不超过 1500 台/年。

医院计划新增配备 10 名介入工作人员，包括 6 名介入手术医师，2 名技师和 2 名护师。其中，每台 DSA 设备配备 1 名技师和 1 名护师，6 名介入手术医师两两分组，轮流承担每年 1500 台手术任务，每组医师年手术量不超过 500 台。

综上，本项目放射治疗科计划配备 15 名辐射工作人员、核医学科计划配备 16 名辐射工作人员、介入手术室计划新增配备 10 名辐射工作人员，上述所有辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核（网上考核）。本项目所有辐射工作人员均在各自科室开展辐射工作，不跨

科室，不从事其他类别的辐射工作。

1.3 医院核技术利用现状

固原市人民医院目前持有宁夏回族自治区生态环境厅颁发的辐射安全许可证（宁环辐证[N0008]，见附件4），有效期至2026年04月19日，许可种类和活动范围为：使用II类、III类射线装置。医院已获许可使用的射线装置详见表1.10。

表 1.10 医院已获许可使用的射线装置 (II 类 1 台、III 类 19 台)

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所
1	DSA	IGS 530	II	血管造影用 X 射线装置	医技楼一楼放射科
2	移动式手术 X 射线机	OEC 7900	III	医用诊断 X 射线装置	住院部四楼手术室
3	口内 X 射线机	Fows ICR-1	III	口腔（牙科）X 射线装置	门诊楼三层口腔科
4	口腔 CT	Skyview	III	口腔（牙科）X 射线装置	医技楼一楼放射科
5	口腔全景机	Orthoceph OC200D	III	口腔（牙科）X 射线装置	医技楼一楼放射科
6	16 排螺旋 CT	Brilliance	III	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	医技楼一楼放射科
7	DR 数字摄影系统	DX-D300	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
8	乳腺钼靶机	Mammomat Inspiration	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
9	超声骨密度测定仪	OSTEOSPACE	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼二楼健康体检科骨密度测定室
10	移动 DR	DX-100D	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
11	移动 DR	DX-100D	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
12	体外冲击波碎石机	HK.ESWL-V	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼三楼内镜中心体外碎石科
13	256 排螺旋 CT	ICT	III	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	医技楼一楼放射科
14	64 排螺旋 CT	Optima CT760	III	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	医技楼一楼放射科发热门诊
15	移动 DR	M40-1A	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
16	方舱 CT	NeuViz16Classic	III	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	医技楼一楼放射科
17	数字胃肠机	HF51-5	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
18	DR	Digital Diagnost	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
19	DR	Multix Fusion	III	医用诊断 X 射线装置	医技楼一楼放射科
20	移动式手术 X 射线机	DigiArc100AC	III	医用诊断 X 射线装置	住院部四楼手术室

固原市人民医院现有核技术利用项目环评手续、辐射安全许可手续齐全，现有核技术利用项目均已完成竣工环保验收。医院自从事辐射工作以来，未出现过辐射应急情况。



图 1.1 固原市人民医院院区平面布局示意

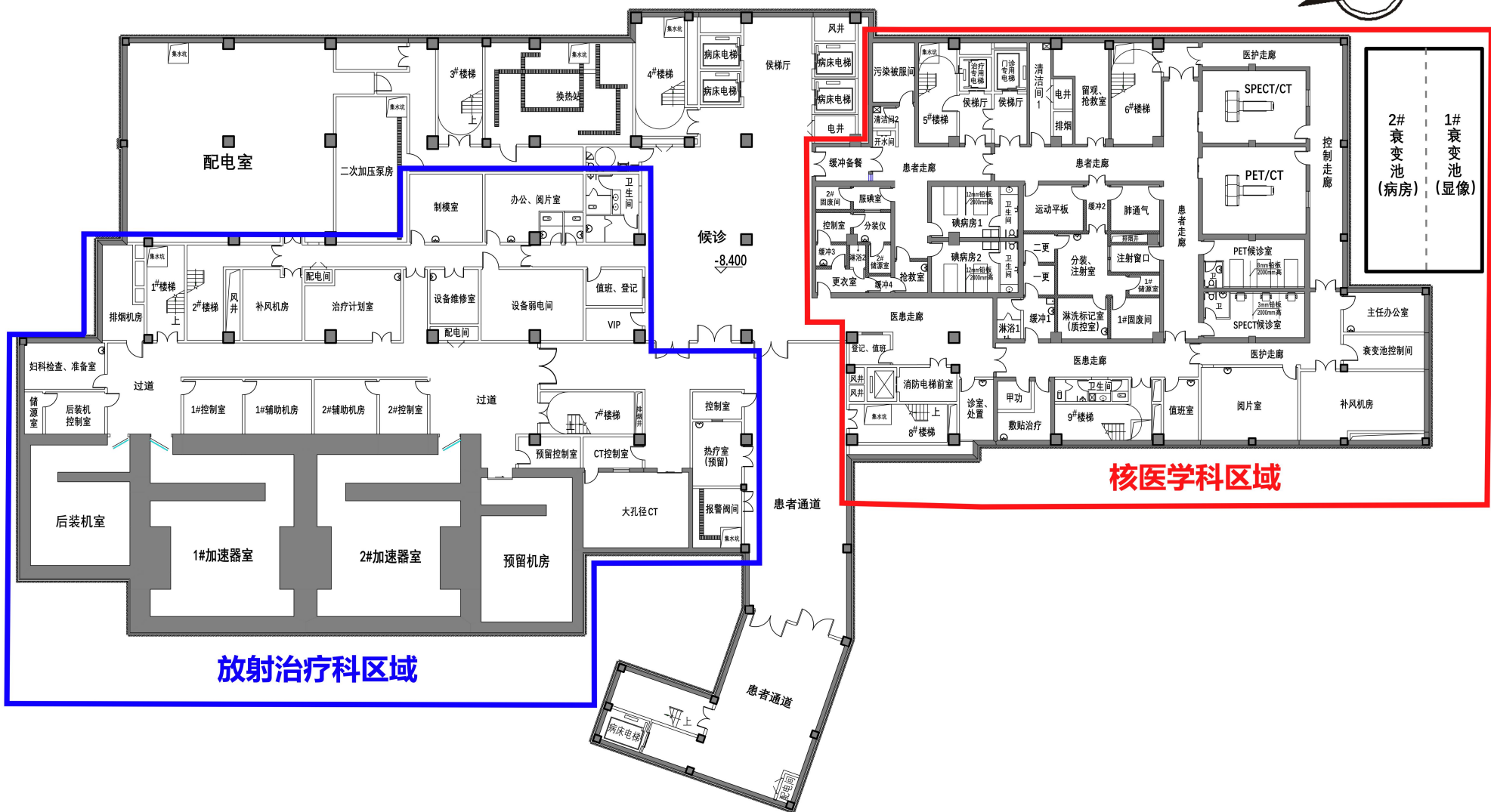


图 1.2 拟建急危重症楼负一层平面布局图

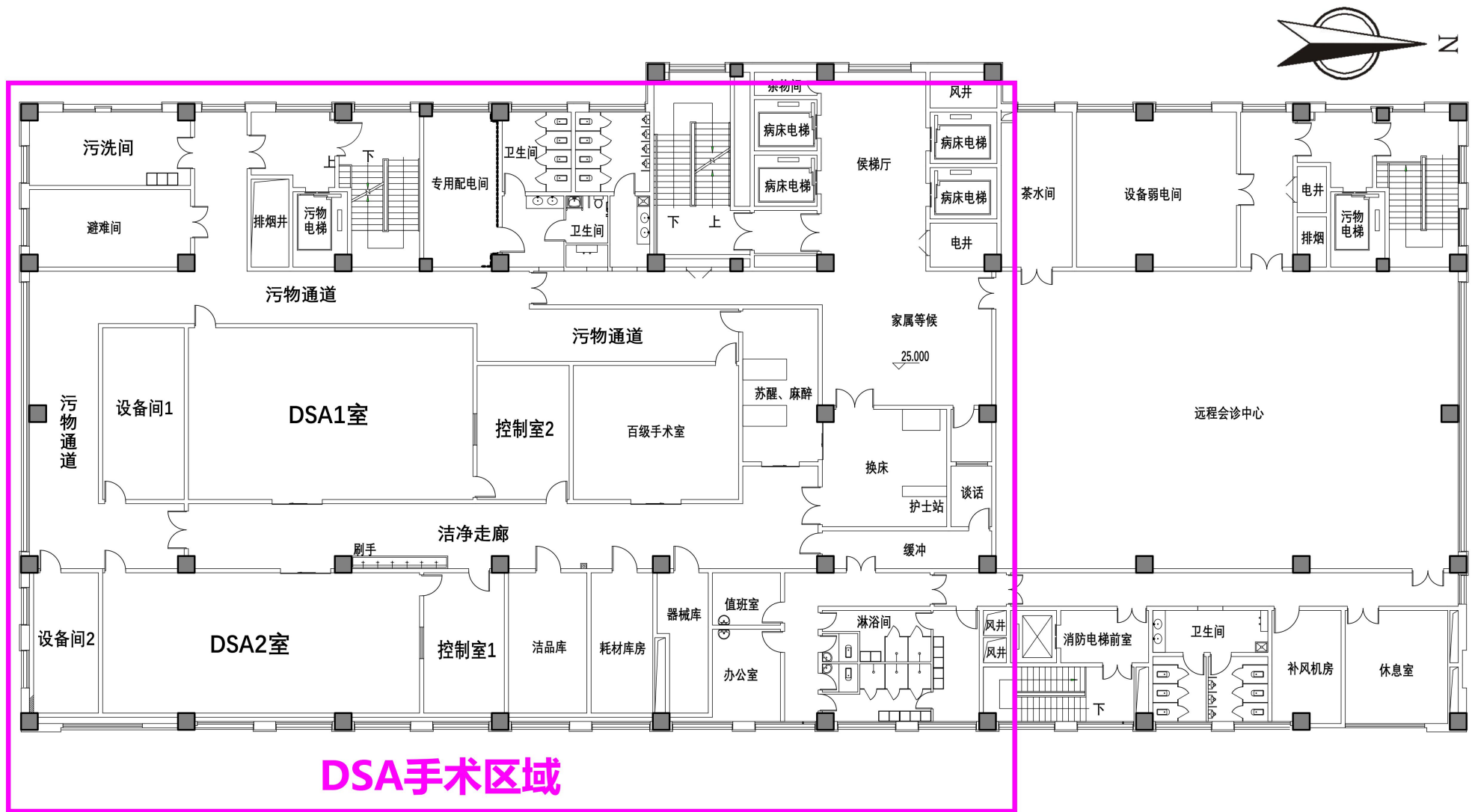


图 1.3 拟建急危重症楼七层平面布局图

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.70E+11 ×1 枚	III	使用	放射治疗	急危重症楼负一层放射治疗中心后装机室	后装机设备内贮存	新增
2	Ge-68	1.00E+08 ×3 枚	V	使用	PET 校准	急危重症楼核医学科 PET/CT 机房	急危重症楼核医学科 1#储源室	配备有不低于 20mmPb 的源罐
3	⁹⁰ Sr	1.48E+09 ×1 枚	V	使用	敷贴治疗	急危重症楼核医学科 敷贴治疗室	急危重症楼核医学科 敷贴治疗室保险箱内	新增
以下空白								

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	液态针剂、低毒 半衰期 109.8min	使用	5.55E+09	6.66E+06	1.11E+12	PET 显像	很简单的操作	核医学科 分装、注射室	核医学科 ¹⁸ F 通风橱内
2	^{99m} Tc	液态针剂、低毒 半衰期 6.02h	使用	2.32E+10	2.32E+07	4.63E+12	SPECT 显像	很简单的操作	核医学科 分装、注射室	核医学科 ^{99m} Tc 手套箱内
		气体吸入、低毒 半衰期 6.02h	使用	1.48E+09	1.48E+08	3.70E+11	SPECT 显像	很简单的操作	核医学科肺通气室	核医学科 ^{99m} Tc 手套箱内
3	¹³¹ I	液态药剂、中毒 半衰期 8.02d	使用	2.96E+10	2.96E+09	8.88E+11	甲癌治疗	简单操作	核医学科 分装室、服碘室	核医学科 2#储源室

		液态药剂、中毒 半衰期 8.02d	使用	3.70E+09	3.70E+08	1.85E+11	甲亢 治疗	简单操作	核医学科 分装室、服碘室	核医学科 2#储源室
		固体（胶囊） 中毒、半衰期 8.02d	使用	1.85E+06	1.85E+04	9.25E+07	甲功 测定	简单操作	核医学科甲功室	核医学科甲功室 保险箱
4	⁹⁹ Mo	固态、中毒 半衰期 66h	使用	2.96E+10	2.96E+07	1.48E+12	淋洗 ^{99m} Tc	源的贮存	核医学科 淋洗标记室	核医学科 ^{99m} Tc 手套箱内
以下空白										

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《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	医用电子直线加速器	II	1	待定	电子	10MV (X 射线) 18MeV (电子线)	10MV FFF 模式: 2400cGy/min 6MV FFF 模式: 1400cGy/min 电子线: 600cGy/min	放射 治疗	急危重症楼负一层放射 治疗中心 1#加速器室	CBCT 参数 150kV/500mA
2	医用电子直线加速器	II	1	待定	电子	10MV (X 射线) 18MeV (电子线)	10MV FFF 模式: 2400cGy/min 6MV FFF 模式: 1400cGy/min 电子线: 600cGy/min	放射 治疗	急危重症楼负一层放射 治疗中心 2#加速器室	CBCT 参数 150kV/500mA

(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	数字减影血管造影机 DSA	II	1	待定	125	1250	介入诊疗	急危重症楼七层 DSA1 室	新增；双球管； 两球管参数一致
2	数字减影血管造影机 DSA	II	1	待定	125	1250	介入诊疗	急危重症楼七层 DSA2 室	新增；双球管； 两球管参数一致
3	PET/CT	III	1	待定	140	800	显像诊断	急危重症楼核医学科 PET/CT 机房	/
4	SPECT/CT	III	1	待定	140	800	显像诊断	急危重症楼核医学科 SPECT/CT 机房	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

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
放射性固废 (服碘水杯、注射器、针头、肺通气呼吸过滤器、纱布、手套、棉签、吸水纸、去污擦拭物品、废活性炭滤芯等)	固态	¹⁸ F ^{99m} Tc	/	/	316kg	<10 ⁴ Bq/kg	按不同核素分类收集，暂存于 1#固废间内	含 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 核素固废暂存超过 30 天后，经自行监测确认符合 HJ1188-2021 中国废清洁解控要求后，作为普通医疗废物处理；
		¹³¹ I	/	/	450kg	<10 ⁴ Bq/kg	与诊断核素分开收集，暂存于 2#固废间内	含 ¹³¹ I 核素的固废暂存应超过 180 天后，经自行监测确认符合 HJ1188-2021 中国废清洁解控要求后，作为普通医疗废物处理；
放射性废水 (冲厕、洗手、淋浴废水，洗污废水等)	液态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	/	/	97.1m ³	总β<10Bq/L	1#衰变池内暂存 有效容积 (3×10.8m ²)	显像检查区域废水暂存超过30天后，可直接解控排放，排入医院污水处理站。
		¹³¹ I	/	/	110.3m ³	总β<10Bq/L 且 ¹³¹ I<10Bq/L	2#衰变池内暂存 有效容积 (3×45.6m ²)	核素治疗区域废水暂存超过180天后，须委托有CMA资质的检测单位对拟排放的废液进行检测，检测结果满足HJ1188-2021中7.3.3条要求且经审管部门同意后，按照GB18871中8.6.2规定的方式排放，进入医院污水处理站。
放射性废气	气态	¹⁸ F ^{99m} Tc ¹³¹ I	/	/	/	/	不暂存	经由3路独立负压排风管道引至急危重症楼楼顶上方，3个排风口均安装活性炭过滤装置，废气经过滤吸附后朝向天空排放到环境大气。
废旧放射源	固态	废 ¹⁹² Ir 废 ⁶⁸ Ge 废 ⁹⁰ Sr	/	/	废 ¹⁹² Ir源 最多3枚	¹⁹² Ir<3Ci ⁶⁸ Ge<2mCi ⁹⁰ Sr<40mCi	废 ¹⁹² Ir源暂存在储源室内； 废 ⁶⁸ Ge源暂存在储源库； 废 ⁹⁰ Sr源暂存在保险箱。 废源及时联系厂家回收。	废 ¹⁹² Ir 源根据回收协议由供源厂家负责回收，废 ⁶⁸ Ge 校准源、废 ⁹⁰ Sr 敷贴器由供源厂家负责回收或送至有放射性废物贮存资质的单位贮存
废钼铈发生器	固态	⁹⁹ Mo ^{99m} Tc	/	/	50个	/	^{99m} Tc手套箱内	全部由供货厂家回收

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/m³；年排放总量用kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日修订并实施；</p> <p>(4) 《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 9 月 20 日公布，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订版公布并实施；</p> <p>(6) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号修订，2017 年 6 月 21 日公布，2017 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，经生态环境部部令第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日公布并实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第 18 号令，2011 年 4 月 18 日公布，2011 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部令第 16 号，2020 年 11 月 30 日公布，2021 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，原环境保护部和国家卫计委公告第 66 号，2017 年 12 月 5 日公布并实施；</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》，原国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日；</p> <p>(12) 《关于发布<建设项目竣工环保验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4 号，2017 年 11 月 20 日公布并实施；</p> <p>(13) 《中国核与辐射安全管理体系 现场监督检查和执法程序》，生态环境部，2020 年；</p> <p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日实施；《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 12 日实施；</p> <p>(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环境保护部，环</p>
------------------	---

	<p>办辐射函[2016]430号；</p> <p>(16) 《宁夏回族自治区辐射污染防治办法》，宁夏回族自治区人民政府令第102号，2018年12月24日公布，2019年2月1日起实施；</p> <p>(17) 《关于印发<宁夏回族自治区生态环境厅辐射事故应急预案>的通知》，宁环办发[2021]69号，2021年9月24日修订版发布并实施。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(5) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)；</p> <p>(6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)；</p> <p>(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)；</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)；</p> <p>(9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)；</p> <p>(10) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>(11) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(12) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(13) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)</p> <p>(14) 《表面污染测定 第一部分β发射体($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$)和$\alpha$发射体》(GB/T14056.1-2008)；</p> <p>(15) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(16) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(17) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(18) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及其修改单；</p> <p>(29) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012)；</p> <p>(20) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)。</p>

其他	<p>(1) 固原市人民医院提供的与本项目相关建筑图纸、文件资料和技术资料等；</p> <p>(2) NCRP Report No.151“Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities” (2005) ；</p> <p>(3) NCRP Report No.147: Structural Shielding Design and Evaluation for Medical X-Ray imaging Facilities, 2004;</p> <p>(4) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》 (WS 262-2017) ；</p> <p>(5) 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》 (WS76-2020) ；</p> <p>(6) 《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》 ([M]北京: 原子能出版社, 1987), 李德平, 潘自强主编;</p> <p>(7) 《辐射防护手册第三分册 辐射安全》, 李德平、潘自强主编;</p> <p>(8) 《辐射防护导论》, 方杰主编、李士骏主审, 原子能出版社;</p> <p>(9) 《医用外照射源的防护》, ICRP 33 号出版物, 人民卫生出版社, 1984;</p> <p>(10) AAPM Task Group 108:PET and PET/CT Shielding Requirements, Med.Phys. 33(1), January 2006;</p> <p>(11)国际放射防护委员会 ICRP 第 94 号出版物:非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑, 北京大学医学出版社, 2007 年 7 月;</p> <p>(12) 《放射性核素和辐射防护数据手册》, [Radiation Protection Dosimetry.98(1), 2002]。</p>
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，并结合本项目的辐射特点，确定以本项目各辐射工作场所屏蔽墙为边界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围，本项目评价范围详见图 7.1。

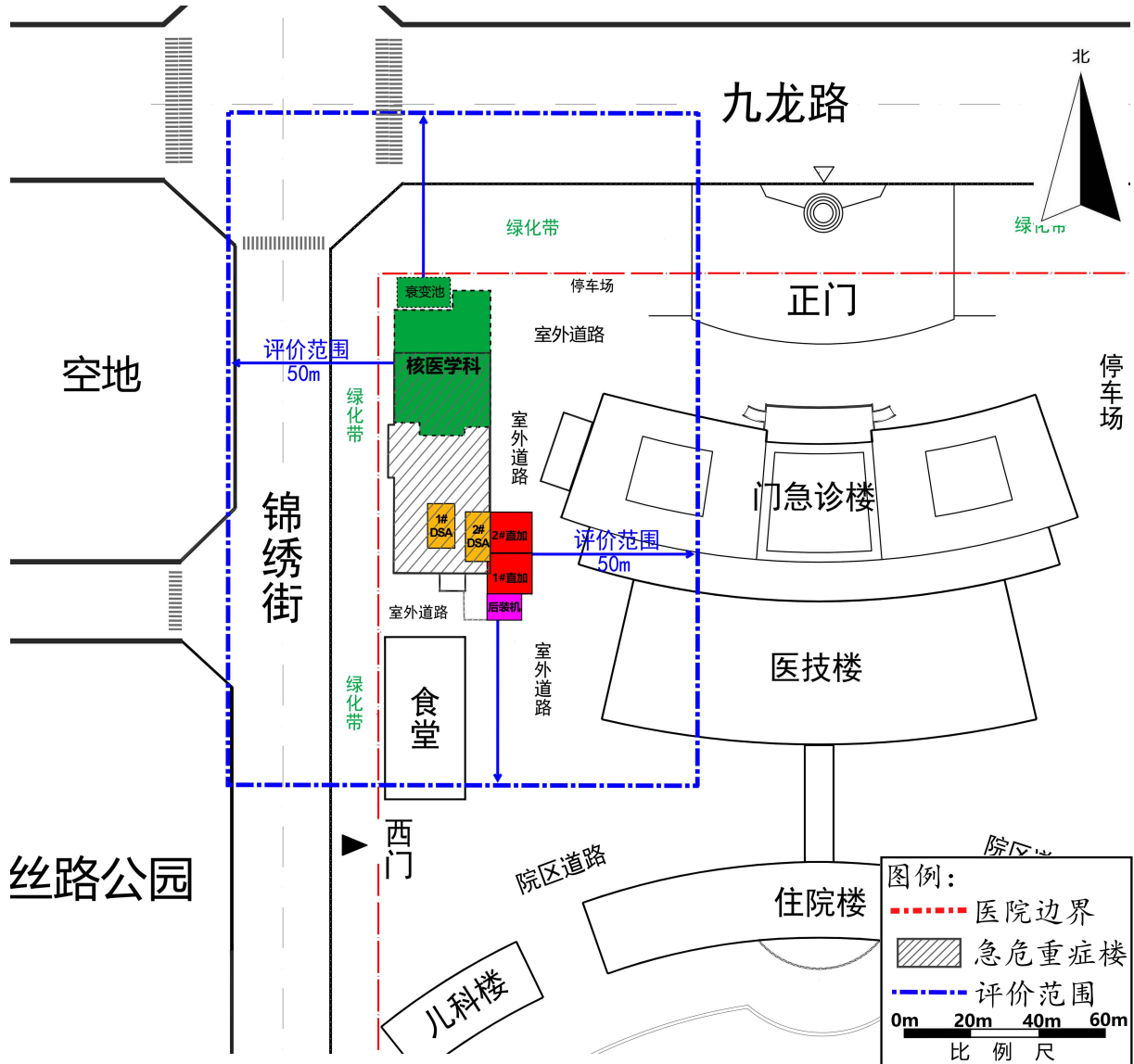


图 7.1 本项目评价范围示意图

7.2 保护目标

本项目建设地点均位于固原市人民医院拟建的急危重症楼内，急危重症楼位于医院院区西北角，为一幢地上 7 层、地下 1 层建筑，楼高大于 30m。急危重症楼东侧为门急诊楼和医技楼，南侧为食堂，西侧为锦绣街，北侧为九龙路。

本项目 2 间加速器室和 1 间后装机室均位于急危重症楼负一层东南角，3 间治疗室相邻。

各治疗室北侧为各控制室、辅助机房和过道，北侧、东侧、西侧均为土层。各治疗室楼上均为覆土层，覆土层之上为室外道路，楼下均无建筑；

本项目核医学科工作场所位于急危重症楼负一层北部区域，核医学科场所东侧、西侧和北侧均为土层，南侧为候诊区、患者通道和电梯厅。核医学工作场所顶棚上方为隔震层（高约 2m）和覆土层（厚度约 1.7m），其中隔震层之上为急危重症楼一层区域，覆土层之上为室外道路。核医学科楼下无建筑。

本项目 2 间 DSA 室均位于急危重症楼七层南部区域，其中：DSA1 室东侧为洁净走廊，南侧为设备间 1，西侧为污物通道，北侧为控制室 1 和污物通道，楼下为护士站、病房等，楼上为屋顶（太阳能板）。DSA2 室东侧为楼外，南侧为设备间 2，西侧为洁净走廊，北侧为控制室 2 和污物通道，楼下为病房，楼上为屋顶（太阳能板）。

本项目评价范围内主要为医院院内建筑物和市政道路，无居民楼、学校、养老院、超市等环境敏感目标。本项目环境保护目标主要为辐射工作人员和周边公众，其中周边公众主要包括医院职工、就医患者和患者家属。本项目评价范围内保护目标分布情况详见表 7.2。急危重症楼负一层平面布局图、隔震层平面布局图和一层平面布局图分别见图 7.2 图 7.3 和图 7.4。急危重症楼七层和六层平面布局图分别见图 7.5 和图 7.6。

表 7.2 本项目评价范围内保护目标分布情况

辐射场所	方位	距离 (m)	保护目标	人数	保护目标
急危重症楼	楼内	/	一层影像科、大厅、更衣室等 二~六层病房区域、医办室等 七层手术室、会诊中心等	300 人	公众
	东侧	10~50	门急诊楼（部分）	约 120 人	公众
		25~50	医技楼（部分）	约 60 人	公众
	南侧	5~50	医院食堂	约 30~300 人	公众
放疗中心	西侧	0~4	加速器控制室、辅助机房 后装机控制室、走廊	15 人	放疗科 辐射工作人员
		6~12	治疗计划室、设备维修室、 妇科检查准备室		
		14~20	制模室、办公室、阅片室		
	北侧	0~8	预留机房、预留控制室		
		8~19	定位 CT、热疗室、控制室		
		10~30	负一层候诊区、登记室	约 40 人	公众
	楼上	紧邻	覆土层、室外道路	偶尔有人	公众
核医学科	东侧	紧邻	诊室、处置室、登记值班室、 阅片室、办公室	16 人	核医学科 辐射工作人员

	南侧	0~13	负一层候诊区	约 40 人	公众
	楼上	紧邻	隔震层、室外道路	偶尔有人	公众
介入手术室	北侧	紧邻	控制室 1、控制室 2	10 人	介入手术室 辐射工作人员
		15~23	普通手术室、值班室、办公室	约 10 人	公众
		15~25	家属等候区	约 10 人	公众
		23~45	远程会诊中心、休息室	约 30 人	公众
	楼下	紧邻	病房、护士站、治疗室	约 15 人	公众

7.3 评价标准

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

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。GB18871-2002 中涉及本次评价的内容主要包括：

4.3 辐射防护要求

第 4.3.1 款：实践正当性

第 4.3.2 款：剂量限制和潜在照射危险限制

第 4.3.3 款：防护和安全的最优化

第 4.3.4 款：剂量约束和潜在照射危险约束

6.4 辐射工作场所的分区

第 6.4.1 款：控制区

第 6.4.2 款：监督区

第 6.4.3 款：非密封源工作场所的分级

附录 B 剂量限值和表面污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 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：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均），20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

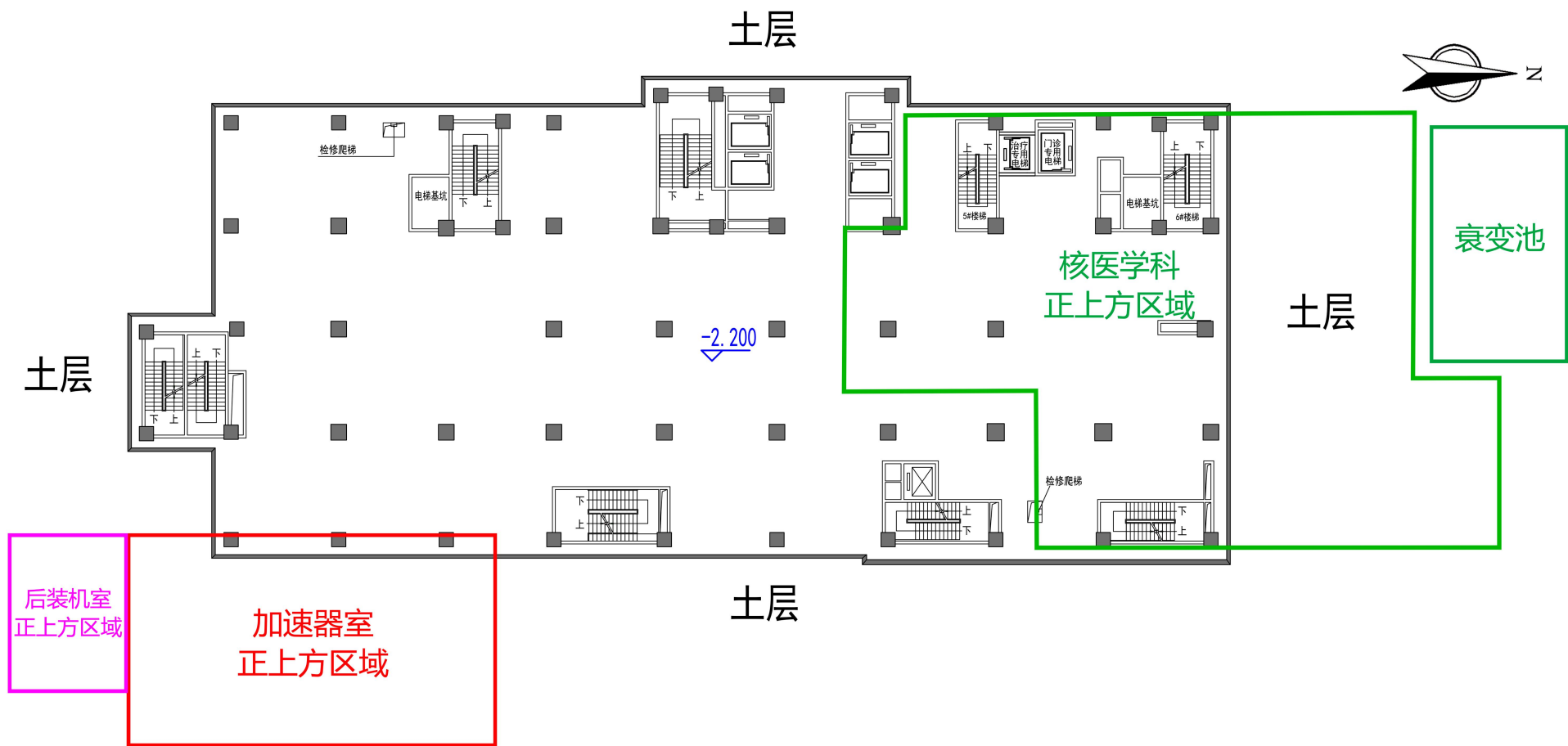


图 7.3 急危重症楼隔震层平面布局图

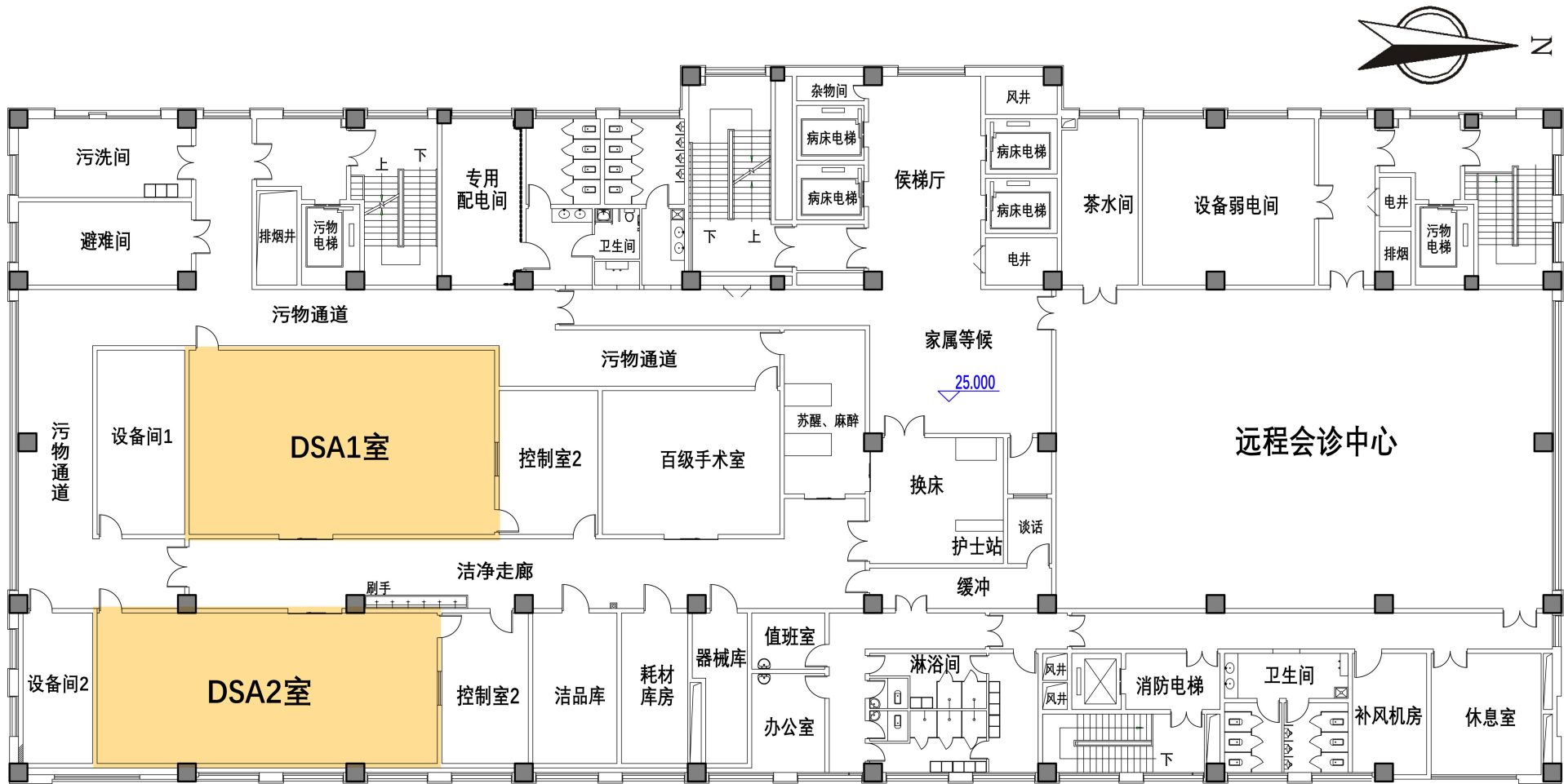


图 7.5 急危重症楼七层平面布局图

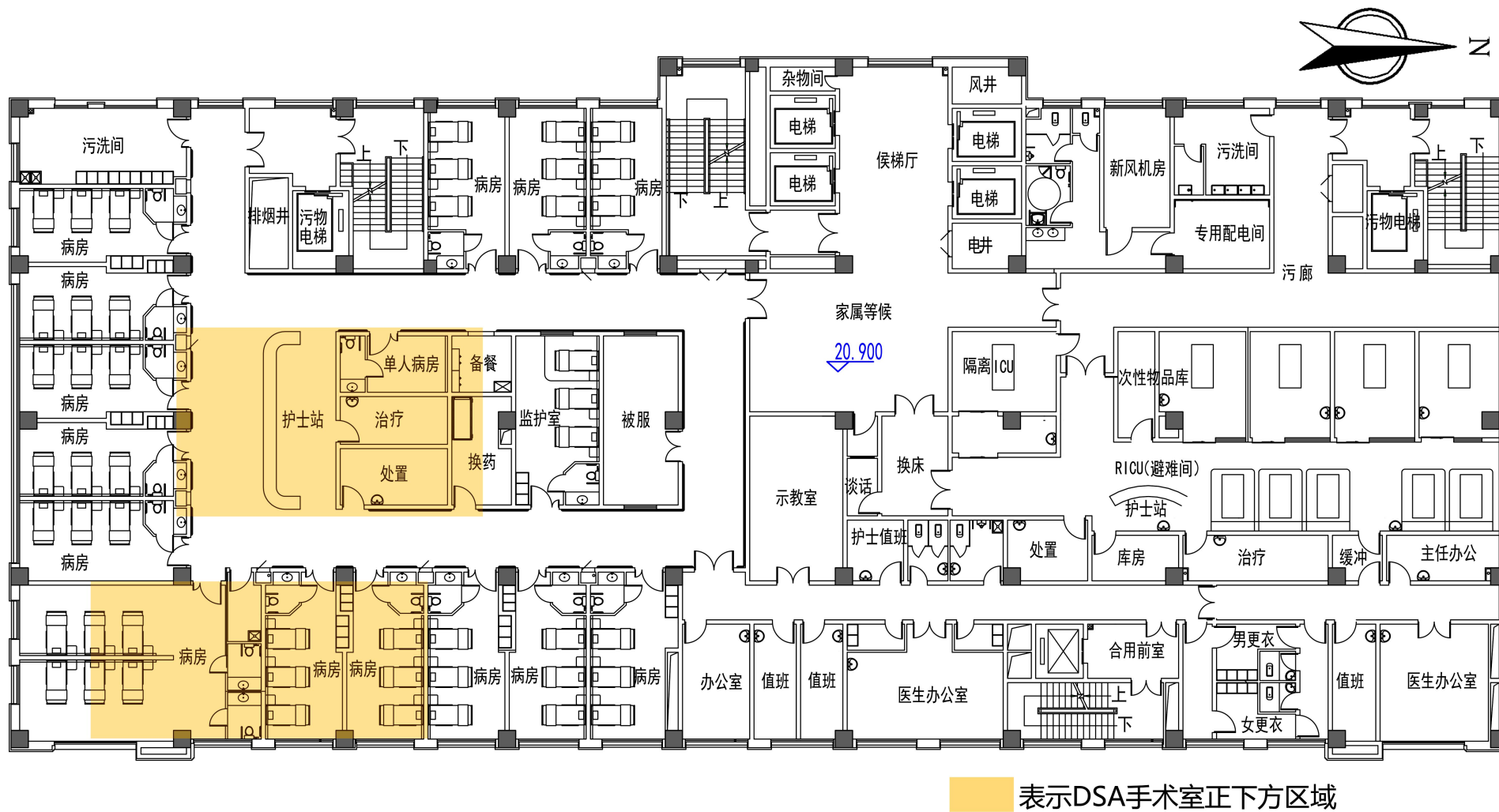


图 7.6 急危重症楼六层平面布局图

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 B11 所列

表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平

单位：Bq/cm²

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 ¹⁾	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

1) 该区内的污染子区除外。

附录 C 剂量限值和表面污染控制水平

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 C1 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 C1 非密封源工作场所的分级

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

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

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 C2 和表 C3。

表 C2 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 C3 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

8.6 放射性物质向环境排放的控制

第 8.6.2 款：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

- 每月排放的总活度不超过 $10 ALI_{min}$ (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者)；
- 每一次排放的活度不超 $1 ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。
- 核医学科产生的放射性废液经过衰变后，排入医院污水处理站，放射性废液中放射性核素排放导出限值见表 B。

表B 废水中放射性核素排放导出限值

序号	核素名称	月排放限值(Bq)	一次排放限值(Bq)
1	^{18}F	2.1×10^9	2.1×10^8
2	^{99m}Tc	6.9×10^9	6.9×10^8
3	^{131}I	9.1×10^6	9.1×10^5

注：参照 GB18871-2002 附录 B 表 B3 计算得到。 $ALI_{min} = DL/e_j$ ，其中 DL 取 20mSv， e_j 取食入值和吸入值中的较大者。

附录 B 导出空气浓度限值建议

根据本项目操作非密封放射性物质的污染源项分析，项目运行后排放废气中的关键核素是 ^{131}I ，故对该核素提出排放控制建议值。假定全年操作 ^{131}I 并排放废气的累计时间为 2000h；“参考人”平均每分钟呼吸空气的体积取 $0.02m^3$ 。由《电离辐射与辐射源安全基本标准》表 B3、表 B6 和表 B7 给出的数据，导出本项目公众吸入 ^{131}I 的导出空气浓度限值（DAC）为 $5.6 Bq/m^3$ （公众剂量约束值取 $0.1mSv/a$ 时的导出值）。

7.3.2 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

参照 HJ1198-2021，本项目医用电子加速器和后装机放射治疗工作场所应满足以下要求（本项目不涉及的条款不再列出）：

4 一般要求

4.1 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗活动的辐射安全与防护全面负责，实现保护从事放射治疗相关辐射工作人员、公众健康与环境安全目标。

4.2 从事放射治疗的医疗机构应建立健全辐射安全与防护管理体系，制定辐射安全与防护大纲，落实岗位职责及操作规程等管理制度。

4.3 从事放射治疗的医疗机构再规划、设计、建设放射治疗工作场所和开展放射治疗活动的过程中，应遵循实践的正当性、安全与防护的最优化、剂量限制和潜在照射危险限制，确保放射治疗涉及的辐射工作人员和公众受照剂量处于安全合理的水平。

4.4 从事放射治疗的医疗机构应根据放射治疗活动的潜在照射危害水平，根据纵深防御原则，设置相适应的多层防护与安全措施，确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，达到：

- a) 防止可能引起误照射的事故；
- b) 减轻事故的放射性后果；
- c) 将放射治疗设备恢复到安全状态。

4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全连锁系统的物项应满足以下要求：

a) 应满足冗余性要求，采用的物项应为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，保证运行过程中某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能；

b) 应满足多元性要求，包括系统多元性和多重剂量监测，采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等；

c) 应满足独立性要求，当某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用；

d) 应满足失效安全的要求，当某一安全物项或部件出现故障时，应确保放射治疗装置重新回到安全状态。

4.6 从事放射治疗的医疗机构应规范收集、妥善暂存和处理放射治疗活动中产生的放射性废物。

4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB18871-2002 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 5 mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/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。

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.2 分区原则

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。

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）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

- a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 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 30 cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

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

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

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

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a) 放射治疗室应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及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；

f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

第 7.4 款：应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

第 8.2.1 款：废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

第 8.4.1 款：放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

7.3.3 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

本评价引用 GBZ121-2020 的部分条款如下：

6 工作场所放射防护要求

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 本项目各放射治疗机房应设置迷路。

6.2 空间、通风要求

6.2.1 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要。

6.2.2 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。

6.4 安全装置和警告标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

- a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；
- b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.4.2 放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。

6.4.5 应急储存设施

6.4.5.1 γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

7.3.4 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

参照 HJ1188-2021，本项目核医学科工作场所应满足以下要求（本项目不涉及的条款不再列出）：

4 总则

4.1 一般要求

4.1.1 医疗机构应对所开展核医学活动的辐射防护与安全工作全面负责，实现保护辐射工作人员、公众和环境的目标。

4.1.2 医疗机构应对拟开展的核医学活动进行正当性判断，确保实施的活动都是正当的。

4.1.3 规划、设计、建设核医学工作场所和开展核医学活动的过程中，遵循辐射防护最优化原则，使得核医学活动涉及的相关个人受照剂量的大小、受到照射的人数和受到照射的可能性保持在可合理达到的尽量低的水平。

4.1.4 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

4.1.5 开展核医学活动的辐射工作场所应划分出控制区和监督区，合理布局工作场所，规划好人流、物流、气流路径，妥善收集、暂存和处理核医学活动中产生的放射性废物。

4.1.6 医疗机构应对开展核医学活动的工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射防护与安全措施的合理性。

4.1.7 开展核医学活动的医疗机构应制定恰当的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备和响应工作安排，有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

4.2 辐射工作场所分级

4.2.1 应按照 GB 18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B 的相关规定。4.4.2 剂量约束值。

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 方可出院。

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物

运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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

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 人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

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。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

6.2.8 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

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。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 放射性废物的管理

7.1 一般要求

7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/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。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，

详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.2.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

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 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

7.3.5 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

本评价引用 GBZ120-2020 的部分条款如下：

5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求

如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB 18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

5.2 放射防护措施要求

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构

的基本放射防护要求见表 1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆 ^b

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制

附录 G 核医学工作场所分类

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1

表 G.1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度 (MBq)
I	> 50000
II	50 ~ 50000
III	< 50

G.2 加权活度计算方式见式 (G.1)：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \quad (\text{G.1})$$

G.3 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2，不同操作性质的修正因子取值见表 G.3：

表 G.2 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ^{113m} In、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ^{81m} Kr、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

表 G.3 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作修正因子
贮存	100
废物处理	
闪烁法计数和显像	10
候诊区及诊断病床区	
配药、分装以及施给药	
简单放射性药物制备	1

治疗病床区	
复杂放射性药物制备	0.1

5.2.3 核医学工作场所通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，¹³¹I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

10 ¹³¹I 治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

10.1.1 ¹³¹I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。

10.1.2 ¹³¹I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。

10.1.3 ¹³¹I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。

10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ¹³¹I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

10.1.7 施用了 ¹³¹I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施，病房中应配备对讲、监控等设施。

10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。

10.1.4 在 ¹³¹I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。

10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 宜订购按照患者人份分装的 ¹³¹I 药物，如果需要分装，则应配备分装防护通橱，宜采

用自动分装、机械手分装或半自动分装。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

10.2.7 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防护用品。

10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，按照要求进行出院管理。

12 放射性核素敷贴治疗放射防护要求

12.1 放射性核素敷贴器的放射防护要求

12.1.1 放射性核素应选用半衰期较长、 β 射线能量较高，不伴生 γ 辐射或仅伴生低能 γ 辐射的放射性核素，例如 ^{90}Sr - ^{90}Y 和 ^{32}P 敷贴器。

12.1.4 商品敷贴源应封装严密，并规定推荐使用期限。超过使用期限或表面污染超过标准或疑有泄漏者应送回制作单位经检修后，再确定能否继续使用。

12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理。

12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志。

12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于 β 辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。

12.3.3 距离贮源箱表面 5cm 和 100 cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超 10 $\mu\text{Sv/h}$ 和 1 $\mu\text{Sv/h}$ 。

12.4 敷贴治疗设施的放射防护要求

12.4.1 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。

12.4.2 治疗室内高 1.5 m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

12.4.3 治疗室内患者座位之间应保持 1.2 m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。

12.4.4 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有 β 污染检查仪等检测仪器。

12.5 敷贴治疗中的放射防护要求

12.5.3 实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

12.5.6 敷贴器应定期进行衰变校正，以调整照射时间。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。

12.5.7 敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。

12.5.8 敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面。不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥处。

7.3.6 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

本评价引用 GBZ130-2020 的部分条款如下：

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

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

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

5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20 cm 的装置。

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

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 工作场所平面布局和分区

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；

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

设备类型	机房内最小有效使用面积(m ²)	机房内最小单边长度(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（含C形臂）	30	4.5
注：本项目 2 台 DSA 设备均为双管头设备		

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 型臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.1.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

b) 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 2.5 μ Sv/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 25 μ Sv/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。

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

6.5.5 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。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	--	--	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	--
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配: 铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配: 移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套 选配: 铅橡胶帽子	--

注 1: “—”表示不做要求。
注 2: 各类个人防护用品和辅助防护设施, 指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品, 特别是非铅介入防护手套。

7.3.7 剂量约束值选取

综合考虑医院核技术利用现状和本项目的具体情况，本次评价对职业照射和公众分别设定了年受照剂量约束值：

- (1) 本项目所有辐射工作人员的剂量约束值均取 5mSv/a。
- (2) 本项目所有公众成员的剂量约束值均取 0.1mSv/a。

7.3.8 工作场所周围剂量率控制水平

- (1) 放射治疗工作场所

参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1188-2021)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)的要求，本项目取 2.5μSv/h 作为各放射治疗屏蔽墙及防护门外剂量率目标

控制值；即本项目各加速器室、后装机室的四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h，且人员年有效剂量应满足辐射工作人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

(2) 介入诊疗工作场所

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，为加强辐射安全管理工作，尽量减少场所周围公众人员的受照剂量，医院拟加强本项目 DSA 室的屏蔽防护措施，确保 DSA 在透视模式和摄影模式下，各 DSA 室周边墙（含楼上和楼下）、防护门和观察窗外 30cm 处剂量当量率均不大于 2.5 μ Sv/h。

(3) 核医学科工作场所

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中，均对核医学科工作场所周围剂量当量率控制水平做出了要求，结合上述两项标准要求和本项目的实际情况，本项目核医学工作场所周围的剂量当量率水平拟从严控制，具体包括：

(1) 在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h；

(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 30 cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；

(3) 核医学科分装柜、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；

(4) 固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

7.3.9 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值中，总 β 放射性最高允许排放浓度为 10Bq/L。

7.3.10 工作场所空气中臭氧和氮氧化物浓度限值

(1) 室内空气质量

根据《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019），工作场所空气中 O₃ 和 NO₂ 的浓度限值分别为 0.3mg/m³ 和 5mg/m³。

(2) 环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012 及其修改单）中的二级浓度限值，O₃ 的 1 小时平均浓度 0.2mg/m³，NO₂ 的 1 小时平均浓度

0.2mg/m³。

7.4 评价目的

(1) 对建设项目环境辐射现状进行调查或监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平；

(2) 评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

(3) 评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境主管部门的管理提供依据；

(4) 通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；

(5) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

(6) 评价项目的可行性，从环境保护角度为生态环境主管部门和固原市人民医院开展辐射环境管理提供依据。

7.5 评价原则

依据国家相关法律、法规及部门规章展开评价，严格执行国家和宁夏回族自治区的有关标准。要求辐射防护设计和安全措施必须满足相关标准的规定，并保证各类人员受照剂量在规定的限值以内，满足辐射实践的正当性、辐射防护与安全的最优化原则。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

环评单位长润安测科技有限公司于 2023 年 9 月 15 日对本项目拟建急危重症楼区域及周围环境进行了环境辐射本底水平现状检测。本次辐射现状监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和长润安测的质控体系的要求，实施全过程质量控制。检测报告详见附件 5。

(1) 监测因子

环境γ辐射剂量率。

(2) 监测方法

在检测点位附近巡测，测量时一般距地面 1m 处，每 10s 进行一次读数，每个测点读 10 次数。

(3) 监测仪器

本次监测所使用的仪器已经过计量部门检定合格，并处于检定有效期内，检测仪器性能和参数如表 8.1 所示。

表 8.1 检测仪器性能和参数表

仪器名称	环境级 X-γ剂量率仪
仪器型号	SCB603E
能量响应	(0.030~3) MeV
测量范围	0.01μGy/h~3Gy/h
仪器编号	CR-YQ-088
检定证书编号	DD23J-CA100106
检定有效期	2023 年 4 月 2 日~2024 年 4 月 3 日

(4) 检测结果

拟建工作场所现状检测结果见表 8.2，现状监测点位图见图 8.1。

表 8.2 辐射工作场所及周边环境本底辐射水平检测结果

场所	点位编号	检测点位置	检测数据 (单位: μGy/h)
拟建急危重症楼区域	1	拟建急危重症楼北侧	0.134±0.001
	2	拟建急危重症楼东侧	0.138±0.003
	3	拟建急危重症楼南侧	0.129±0.002
	4	拟建急危重症楼西侧	0.131±0.003
	5	拟建急危重症楼中部	0.110±0.004
	6	医院西门口	0.126±0.005

7	拟建急危重症楼南餐厅	0.132±0.002
8	拟建急危重症楼东医技楼	0.142±0.004
9	拟建急危重症楼东急诊科	0.133±0.003
10	拟建急危重症楼 1F	0.130±0.001
11	医院北门口	0.132±0.001
12	拟建急危重症楼-1F	0.126±0.001

注：该检测仪器校准因子为 1.10；以上检测结果已扣除宇宙射线响应值，取固原市原州区平均海拔 1750m 修正后的宇宙射线响应值 0.012μGy/h；其中屏蔽修正因子 μ_c 取 1.0（原野）。

参考《全国环境天然贯穿辐射水平调查研究（1983-1990）》，宁夏地区道路 γ 剂量率范围为 34.7~104.1nGy/h，室内 γ 剂量率范围为 62.3-137.8nGy/h。本项目拟建急危重症楼区域及周边环境辐射水平处于 0.110~0.142μGy/h 之间，略高于宁夏地区道路和室内 γ 剂量率范围。

考虑到固原市及其区域周边与甘肃省近邻，环评单位查找了《调查研究》中甘肃省调查数据，甘肃省道路 γ 剂量率范围为 20.1~129.7nGy/h，室内 γ 剂量率范围为 33.5~166.6nGy/h，本项目监测数据处于甘肃省的调查数据范围内。

因此，本项目区域及周边环境本底监测数据略高于宁夏地区调查数据，但仍处于我国大部分省份的环境本底辐射水平范围内，属正常本底涨落，未发现环境辐射水平出现明显异常。

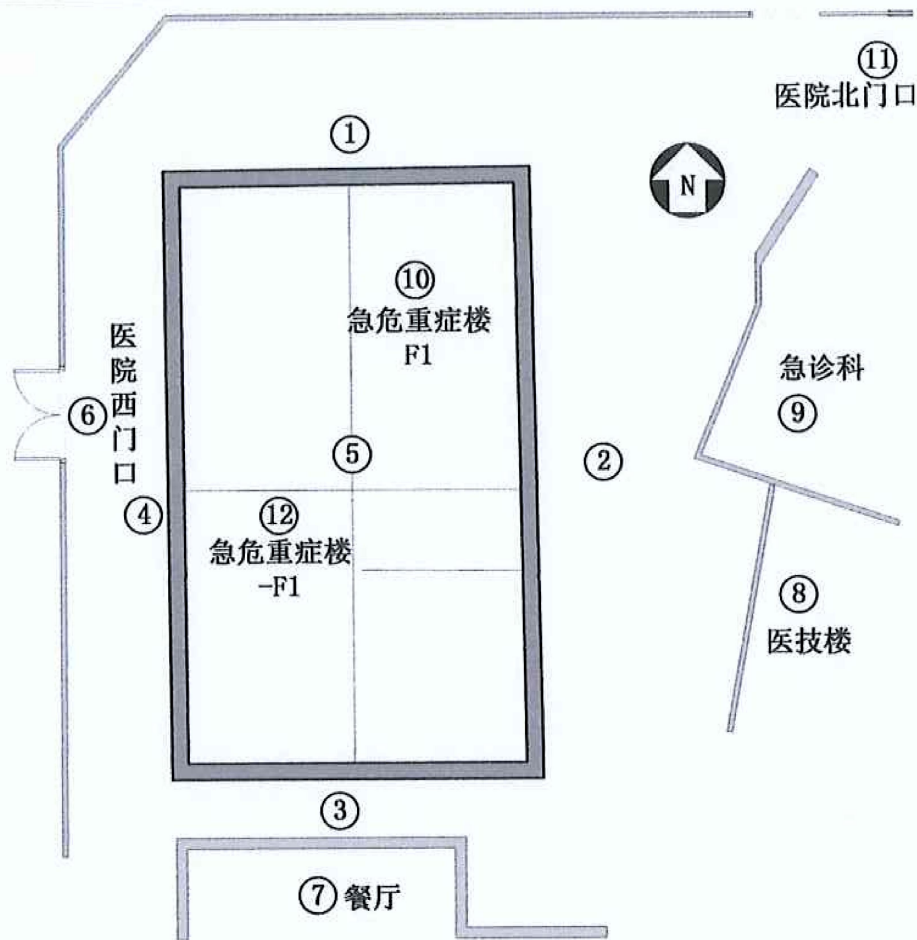


图 8.1 环境辐射水平现状监测点位图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 医用电子直线加速器

9.1.1 设备工作原理及组成

医用电子直线加速器是产生高能电子束的装置，加速后的电子直接或经转换为 X 射线后供放射治疗使用，其基本工作原理是电子枪发射电子，在由磁控管或调速管控制的加速管中加速，当电子达到所需能量时，高能电子束射直接被引出或者射到钨靶上产生韧致辐射 X 射线，经初级准直器准直后得到治疗束，利用治疗束对患者肿瘤病灶进行照射，从而杀死肿瘤细胞。

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的组成结构单元主要为：加速管、电子枪、微波系统、脉冲调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。

加速器治疗机头主要是由偏转磁铁、靶、初级准直器、均整器、散射箔、电离室和限束光阑构成，其作用是产生治疗用 X 射线并使 X 射线治疗束符合放射治疗的特殊要求（如均整度、照射野面积和形状等）。电子枪产生的电子由行波加速波导管加速到所需能量后，进入偏转磁场，偏转后的电子束从电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶发生韧致辐射，产生大量高能 X 射线，经初级准直器和均整器后形成剂量均匀稳定的 X 射线束，再通过监测电离室和光阑限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器工作原理示意图见图 9.1，加速器治疗机头内部结构见图 9.2。

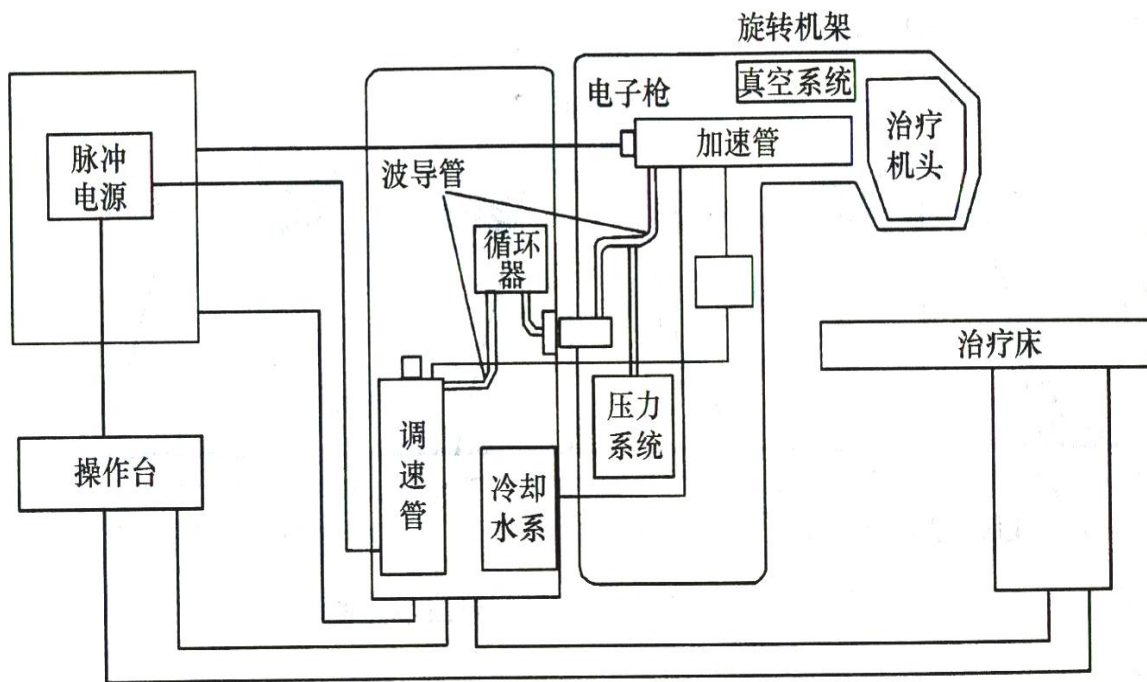


图 9.1 医用电子直线加速器工作原理示意图

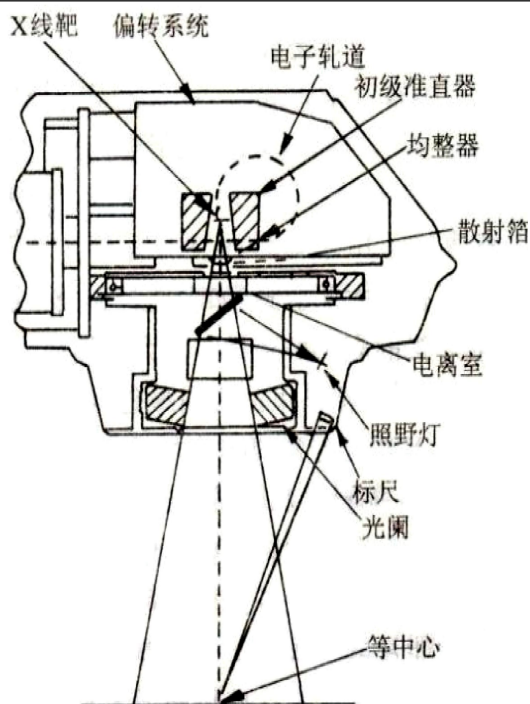


图 9.2 加速器治疗机头内部结构示意图

现如今，肿瘤放射治疗技术已经进入以影像引导的三维适形放疗和调强放疗为代表的“精确放疗”时代，影像引导放射治疗（IGRT）是一种先进的四维放射治疗技术（空间维度+时间维度），通过加速器设备配套的锥形束 CT（Cone-beam CT，CBCT）来实现。

本项目拟新增的 2 台医用电子直线加速器均计划配备锥形束 CT（即 CBCT）用于放射治疗影像引导，其基本原理是在开展放疗前或放疗过程中利用 CBCT 建立肿瘤靶区的实时影像，通过与参考图像（模拟定位影像或治疗计划）比较，实时识别肿瘤靶区、器官、肿瘤周围正常组织发生的不确定性的位移误差，例如患者摆位误差、患者器官位移和蠕动产生的误差、治疗或分次治疗阶段肿瘤空间形态随时间变化的误差等。CBCT 影像引导系统可依据上述偏差来实时调整放疗参数和放疗计划，从而使照射野始终精准“追随”肿瘤靶区，大大提高了放射治疗的精准度，可在确保杀死肿瘤细胞的同时最大限度地降低正常器官的受照剂量。

本项目拟新增的 2 台医用电子直线加速器还计划配置 FFF 模式，在 FFF 模式下，超高的剂量率与高精度多叶光栅、精准清晰的影像引导有机结合，可大大提高治疗效率，有效缩短治疗时间，提高加速器设备对各类肿瘤治疗的适用性。某典型型号医用加速器的外观示意图见图 9.3。

9.1.2 设备技术指标

本项目拟新增使用的 2 台医用电子直线加速器型号和生产厂家均未确定，但 2 台加速器基本配置和射线最大参数等技术要求均已确定。根据医院提供的信息，本项目 2 台医用加速器的射线参数一致，其他技术指标也基本一致，本项目医用电子直线加速器基本参数见表 9.1。

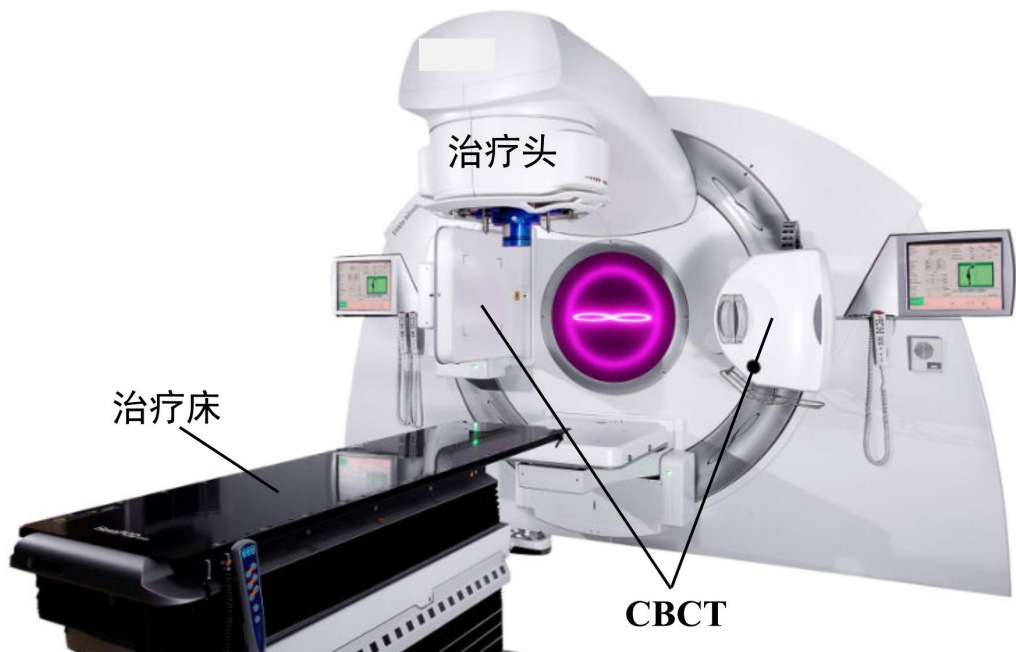


图 9.3 某典型医用电子直线加速器外观示意图

表 9.1 本项目 2 台医用电子直线加速器基本参数

射线类型	基本技术参数
X 射线	① X 射线能量：6 MV/10MV；
	② 等中心轴距靶点 1m 处 X 射线最高输出剂量率： 10MV 挡位 FFF 模式：2400cGy/min； 6MV 挡位 FFF 模式：1400cGy/min；
	③ 最大射野尺寸：40cm×40cm；
	④ 源轴距：SAD=100cm；
	⑤ X 射线泄漏率：<0.1%；
	⑥ 靶材料：钨靶；
	⑦ CBCT 参数：最大管电压 150kV、最大管电流 500mA；
电子线	① 电子线能量：6MeV~18MeV；
	② 最大输出剂量率 600cGy/min；
	③ 最大照射野尺寸：40cm×40cm。
注*：经医院确认，本项目 2 台加速器各项技术参数均不超过本表所列数值。	

9.1.3 工作流程及产污环节

(一) 工作流程

1) 接收病人：对病人进行登记，进行临床检查，经医生诊断和治疗正当性判定后，根据肿瘤分期、分型确定治疗方针，与放疗科预约登记，预约模拟定位的时间。

2) 制模：为方便患者治疗定位，用热塑体模在相应治疗部位按照病人身体轮廓进行塑形。

3) 模拟定位：使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查，确定肿瘤的具体位置和形状，

工作人员隔室操作；

4) 制定治疗计划：勾画病变靶区和正常器官，根据患者瘤体的类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；

5) 治疗计划确认：再次确认靶区剂量，核实正常器官、热点和冷点是否在允许的范围之内，加速器是否有相应的转床、碰床等机械限值，移床等坐标设置是否正确；

6) 病人摆位：摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度，严格按照摆位要求实施摆位；摆位结束，摆位人员等非患者均离开治疗室，关闭防护门；

7) 实施治疗：根据放疗计划，使用 CBCT 图像引导系统对靶区位置进行扫描，并与定位 CT 扫描图像做对比，校准摆位误差，实施精准照射治疗；

8) 结束治疗：病人离开治疗室，摆位人员进行下一个患者摆位准备。

本项目医用加速器工作流程及产污环节示意图见图 9.4。

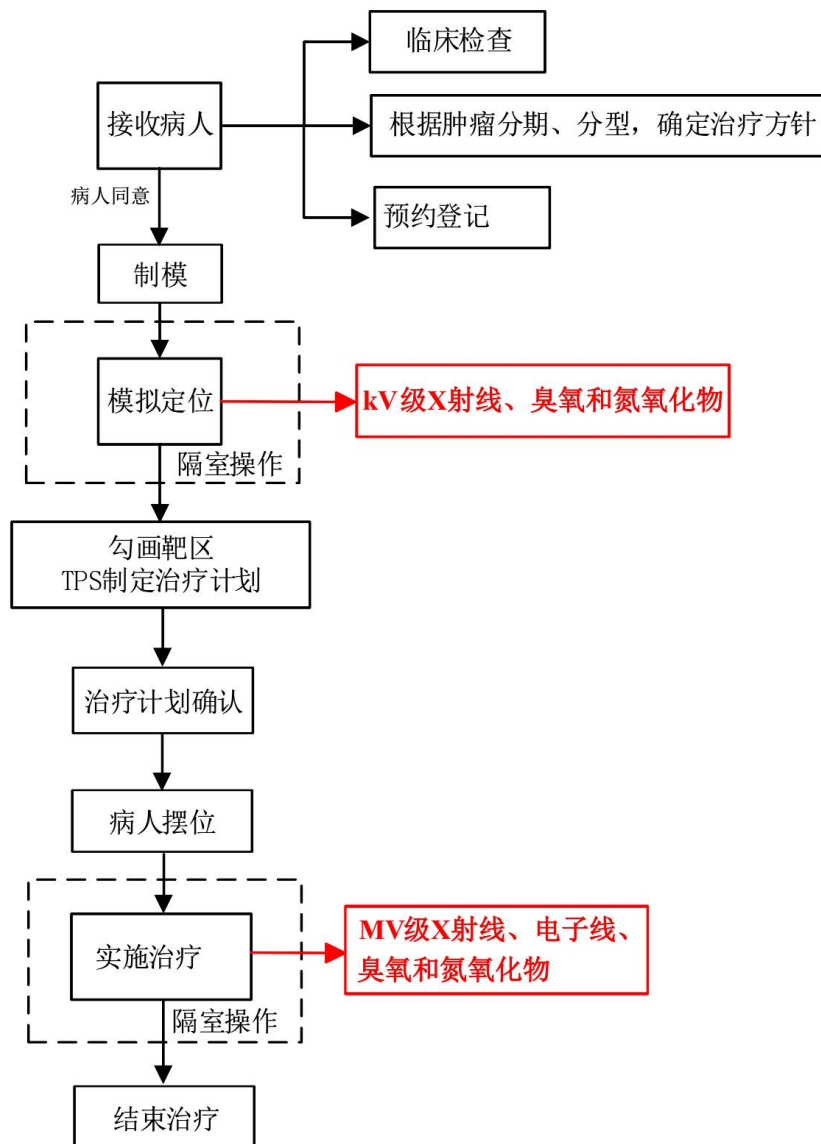


图 9.4 本项目医用加速器工作流程及产污环节示意图

9.1.4 污染源项描述

(1) 主要放射性污染

由加速器的工作原理可知，加速器在关机状态下不产生射线，只有在开机并处于出束状态下才会产生射线。医用电子直线加速器运行时，高能电子轰击靶物质会产生韧致辐射 X 射线，故加速器运行过程中主要放射性污染物为 X 射线贯穿辐射，照射途径为外照射。

考虑到电子束治疗次数有限（不足 X 射线治疗量的 1%），且电子束治疗过程中无钨靶，电子束被限制在限束集光筒内，电子束与机床和人体组织等发生作用产生的韧致辐射能量和强度均远低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，如果加速器室及其防护门能够满足治疗 X 射线的屏蔽防护要求，一定能够满足电子束治疗产生的韧致辐射的防护要求，故本评价对电子束的环境影响不作具体评价。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），本项目拟新增的 2 台加速器 X 射线最大能量均不超过 10MV，因此不需考虑中子、感生放射性以及中子活化的辐射影响。

加速器产生的放射性固废主要是设备在役期间更换下来的废靶和退役时拆下的废靶，废靶应委托有 CMA 检测资质的单位进行检测，不符合清洁解控要求的应视为放射性废物送往有放射性固体废物贮存资质的单位贮存。经检测满足清洁解控要求的，可作为普通废物处理。

(2) 正常工况下的污染途径

① 加速器开机时产生的韧致辐射 X 射线经透射、漏射和散射，会对工作场所及其周围环境产生辐射影响；

② 加速器在役期间更换或退役拆下的不满足清洁解控要求的废靶；

③ 加速器机房内空气在 X 射线的强辐射下，吸收能量并发生电离作用产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）等有害气体。

(3) 事故工况下的污染途径

① 加速器室门机连锁失效，加速器出束时有人员误入机房，或防护门未完全关闭时加速器就开始出束，会对工作人员及周围公众造成额外的照射。

② 工作人员在治疗室内安装调试，未撤离机房时，加速器就开始出束。

9.2 后装近距离治疗机

9.2.1 设备工作原理及组成

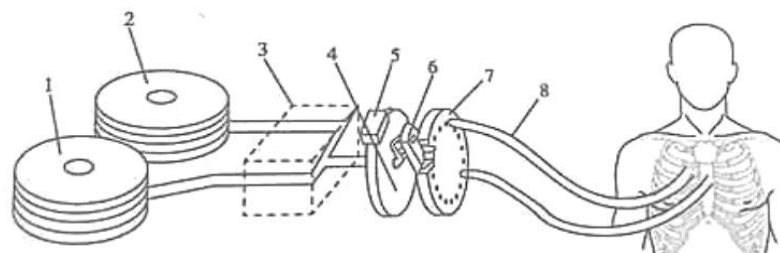
本项目后装机是利用 ¹⁹²Ir 放射源发出的γ射线束形成高剂量率靶区，对人体有恶性肿瘤部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。后装治疗是先将不带放射源的治疗容器置于治疗

部位，然后工作人员在控制室内通过后装机控制系统操控步进电机，将放射源送入治疗容器，并将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位，同时还可以对放射源的位置及照射时长等进行控制，可以使治疗部位达到理想的剂量分布。这种方式可用于治疗人体内各种腔道周围的肿瘤，因所选取的核素的射线能量较低，加上射线的距离衰减效应，可减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的剂量。由于后装治疗具有放射源位置准确、距病体组织近等优点，因此在治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤放射治疗中应用广泛。

后装治疗机主要由控制系统、后装治疗机主机（包括：源容器、模拟源轮、真源轮、步进机、放射源传输通道、放射源引导器、连接设备与施源器的传输管道）、施源器、安全保障系统等组成。模拟源（假源）和放射源（真源）的几何尺寸、外形结构相同，在后装机治疗时，传输管道连接至贮源器，源通道对准后先送出假源，计算机判断确认无丢步时，抽回假源，再送出真源实施治疗，即所谓的“假源探路，真源治疗”，治疗完毕后自动将放射源收回到贮源器内。本项目后装机拟配置的放射源是 ^{192}Ir 丝状源，最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ （10Ci）。某型号后装机外观示意图见图 9.5，后装机结构示意图见图 9.6。



图 9.5 某型号后装机外观示意图



1. 模拟源轮 2. 真源轮 3. 安全区 4. 换路器
5. 编码器 6. 换路导管 7. 接盘器 8. 施源器

图 9.6 后装机结构示意图

9.2.2 设备技术指标

本项目拟新增的 1 台后装机设备厂家和放射源厂家均未确定。根据医院提供的信息，本项目后装机设备计划配套使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大新源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)，本项目后装机基本参数见表 9.2。

表 9.2 本项目后装机基本参数

放射源核素种类	^{192}Ir
最大装源活度	$3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)
半衰期	74d
γ 射线能量均值	0.37 MeV
空气比释动能率常数 K_{γ}	$0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$
贮源器表面泄漏辐射水平*	工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
注*：依据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017) 中表 1 的相关规定。	

9.2.3 工作流程及产污环节

(一) 后装治疗流程

① 病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

② 预约病人首先通过 CT、超声等设备上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程与 X 射线影像诊断类似，工作人员隔室操作。

③ 确定肿瘤位置和形状后，通过治疗计划系统 (TPS) 制定治疗计划。医师在治疗计划系统上勾画靶区和保护器官、给出治疗处方剂量和保护器官剂量限值，然后由物理师进行治疗计划的设计、优化，再由医师对治疗计划进行评估和确认。该过程在电脑上完成。

④ 病人进入检查准备室，放疗科护士协助技师为病人布设施源器，将施源器置于治疗计划规定的病灶位置。

⑤ 施源器布置完成后，工作人员携带个人剂量报警仪，协助病人进入后装机室，对病人进行摆位，将后装机输源软管与病人身上的施源器进行连接。该过程在治疗机房内完成。

⑥ 接好后装机施源软管后，工作人员离开后装治疗室，关闭防护门进入控制室，通过视频监控装置观察后装治疗室内的情况。

⑦ 根据治疗计划进行治疗，工作人员在控制室隔室操作后装机，先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗。治疗结束后真源自动回源，关机。

⑧ 照射完毕后，工作人员通过固定式剂量率监测仪确认放射源已回到贮源器后，工作人

员携带个人剂量报警仪，打开防护门进入治疗室，拆除施源软管。

⑨ 工作人员协助病人离开后装机室，回到检查准备室内，取出病人体内的施源器和其他填塞物，患者身体无异常后即可离开。

本项目后装机治疗流程及产污环节示意图见图 9.7。

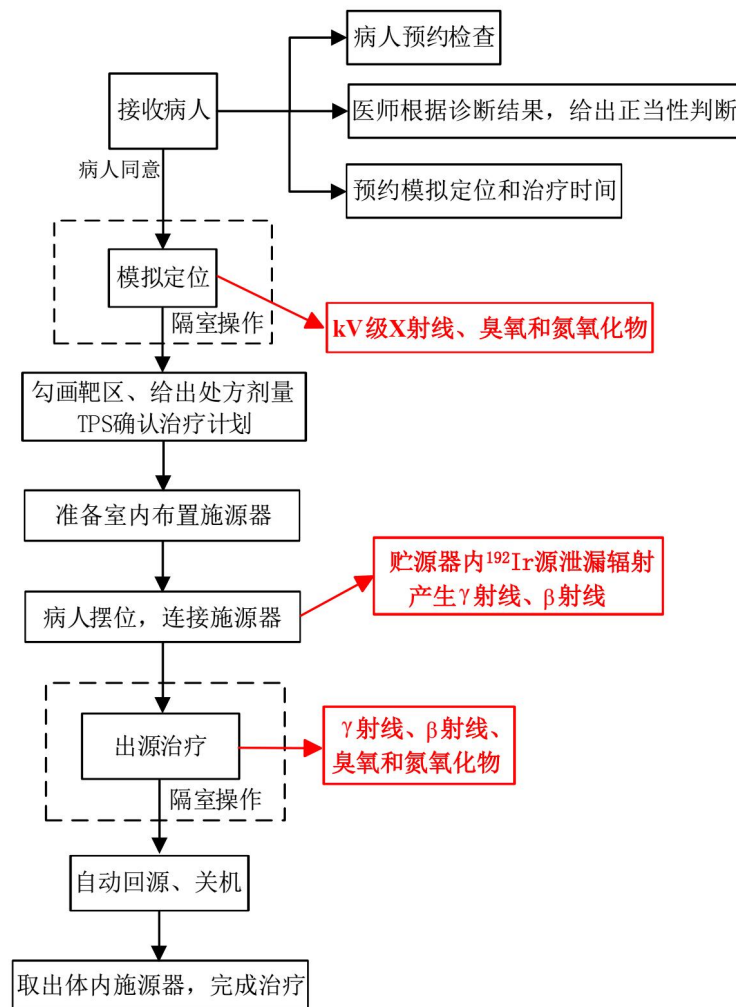


图 9.7 本项目后装治疗流程及产污环节示意图

(二) 换源操作流程

① 医院委托后装已取得后装机 ¹⁹²Ir 放射源(10Ci)销售辐射安全许可的单位购买放射源。提前商定放射源购买、运输与换源相关事宜。医院将与放射源供货单位签订退役放射源收回协议，废旧放射源由放射源供货单位负责回收。

② 放射源供货单位委托具有放射性危险品运输资质的公司进行放射源运输，医院将放射源倒装工作安排在周末放疗科无病人的时间段进行。

③ 运输公司将新源容器运输至急危重症楼南侧地面楼梯入口，由供源单位派专业人员将新源容器运送至负一层后装机室。医院仅配合放射源的进场工作，不负责放射源的运输工作。

④ 由供源单位专业人员负责开展换源操作，旧源导出和新源导入通常采用电脑控制，倒

装人员通常是隔室倒装，不会近距离接触裸源。换源操作严格依照供源单位倒源操作规程进行，本报告不再进行具体描述。医院工作人员仅在控制室内做一些安全辅助工作，不负责放射源的倒装。

⑤ 放射源更换完成后，废旧放射源由供源单位负责回收至源生产厂家处理。

本项目后装机换源流程及产污环节示意图见图 9.8。

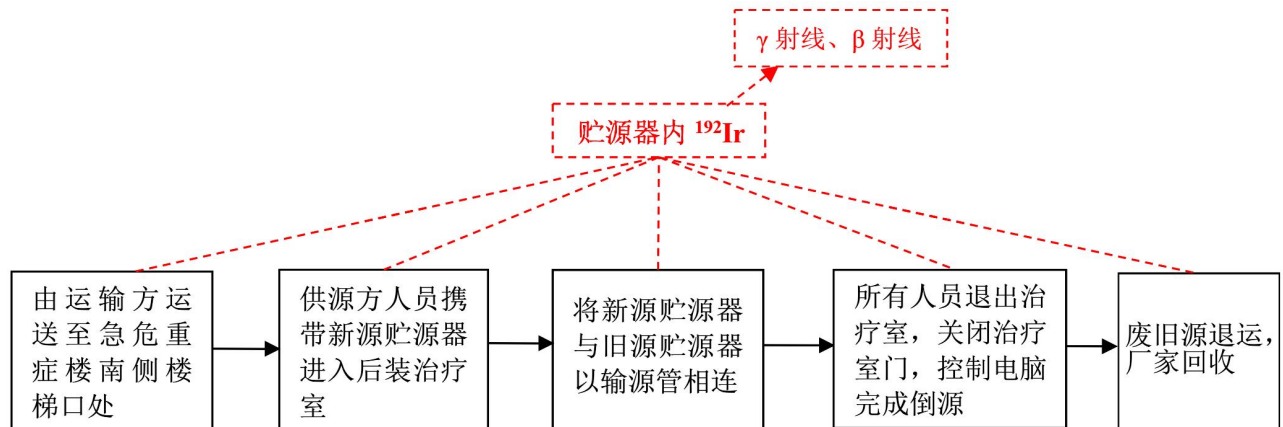


图 9.8 换源操作流程及产污环节示意图

9.2.4 污染源项描述

(1) ^{192}Ir 核素辐射特性

本项目后装机使用的放射源为 ^{192}Ir ，最大新源活度为 10Ci。根据《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》中表 1.11 可知，放射性核素 ^{192}Ir 半衰期为 74.02d，能谱较为复杂，主要有 3 中能 β 射线，分别为 0.672 MeV(46%)，0.536 MeV(41%)，0.240 MeV(8%)； γ 射线分支比有 4 种比较大，分别为 0.29595 MeV(34.6%)，0.30844 MeV(35.77%)，0.31649 MeV(82.9%)，0.46806 MeV(58%)， ^{192}Ir 的主要辐射特性见表 9.3。

表 9.3 放射性核素 ^{192}Ir 的主要辐射特性参数

核素	半衰期	衰变方式	辐射能量 (MeV)	γ 射线能量均值*
^{192}Ir	74.02d	β^- (95.22%) EC (4.78%)	β^- : 0.672 (46%) , 0.536 (41%) , 0.240 (8%) ; γ : 0.29595 (34.6%) , 0.30844 (35.77%) , 0.31649 (82.9%) , 0.46806 (58%) ;	0.37MeV
注*: γ 射线能量均值数据参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 附录 C 表 C.1。				

(2) 主要放射性污染物

由后装机工作原理以及 ^{192}Ir 核素的辐射特性分析可知，后装机运行过程中主要放射性污染物主要为 γ 射线和 β 射线，以及模拟定位环节产生的 kV 级 X 射线贯穿辐射，照射途径均为外照射。

后装机设备具有良好的自屏蔽措施， ^{192}Ir 放射源不使用时贮存在机头的贮源器内，贮源器通常为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好，放射源贮存期间对周围环境的辐射影响较小。

后装机出源治疗期间，放射源周围空气比释动能率较高。其中 γ 射线的穿透能力较强，有可能穿出治疗室屏蔽墙，对机房周边人员和环境产生外照射影响； β 射线穿透能力弱，在人体组织、空气和屏蔽墙中的射程较短，正常情况下不会对治疗室外围环境产生辐射影响。

后装机运行产生的放射性固废为换源或退役时产生的废旧 ^{192}Ir 密封源，一般 ^{192}Ir 放射源经过2个半衰期左右就需要更换新源，即大约4~5个月会产生1枚废旧源，每年最多产生3枚废旧密封源。废旧密封源由供源单位负责运送至放射源生产厂家回收处理。

(3) 正常工况下的污染途径

- ① 后装机正常出源治疗期间产生的 γ 射线和 β 射线，可能对周围环境产生外照射影响；
- ② 后装机换源或退役时产生的废旧 ^{192}Ir 密封源；
- ③ 后装机出源治疗期间，治疗室内空气在 γ 射线（ β 射线）照射下，吸收能量并发生电离作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）等有害气体。

(4) 事故工况下的污染途径

后装机运行可能发生的事故主要包括：

- ① 使用期间和换源期间发生卡源故障、源脱落事故；
- ② 门-源安全联锁失效，后装机处于治疗状态时人员误入治疗室，或者防护门未完全关闭时后装机就开始出源治疗，可能导致工作人员和周围公众受到误照射。其他的安全设施失效，也可能导致工作人员和周围公众受到额外的照射；
- ③ 后装机操作系统故障，预设治疗时间结束后无法自动回源，可能导致患者受到超过处方剂量的照射；
- ④ 后装机贮源容器发生损坏，导致放射源在贮存状态下不能被有效屏蔽，可能导致后装机周围剂量率水平显著升高；
- ⑤ 放射源包壳意外破损时，可能导致设备、机房甚至人员受到 β 放射性污染；
- ⑥ 放射源在役期间、换源或退役期间，由于管理不善，可能发生III类放射源丢失、被盗、失控或放射源遗落、遗弃、被捡走等各种可能的事故情况，将引发环境辐射污染，并可能造成较严重的辐射照射事故。

根据以上分析，前五类事件有可能会使人员受到超过年剂量限值的照射，本项目后装机室将根据纵深防御原则，设置相适应的多层防护与安全措施，即使发生上述事故时，仍可有效确保放射源处于可控状态，且人员事故受照剂量远低于确定性效应阈值，根据《关于印

发<宁夏回族自治区生态环境厅辐射事故应急预案>的通知》（宁环办发[2021]69号），前五类事件通常不超过“一般辐射事故”范畴。

对于第六类事件，即Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，并有可能导致人员事故受照剂量超出确定性效应阈值，出现急性重度放射病、局部器官残疾等放射性后果，可能造成“较大辐射事故”。

9.3 数字血管造影机（DSA）

9.3.1 设备工作原理及组成

本项目所涉及的血管造影机为采用 X 射线进行成像的设备。数字血管造影（DSA）是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、数字平板探测器、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 主要采用时间减影法，即将造影剂未达到欲检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度。

本项目 DSA 设备主要组成部分包括：C 型臂机架，导管床，高压发生器，X 射线管，数字化探测器，满足数字化平板采集特点的数字图像处理系统，存储系统（含各种分析软件），控制操作系统，防护设备，连接电缆以及附属设备。本项目 2 台 DSA 设备均拟定为“双 C 形臂” DSA 设备，双 C 形臂 DSA 设备包括 2 个 C 形臂机架和球管，即床下管和横向管。典型的双 C 形臂 DSA 设备示意图见图 9.9。

DSA 适用于心脏大血管的检查。对心内解剖结构异常、主动脉夹层、主动脉瘤、主动脉缩窄和分支狭窄以及主动脉发育异常等显示清楚。对冠状动脉也是最好的显示方法。显示颈段和颅内动脉清楚，用于诊断颈段动脉狭窄或闭塞、颅内动脉瘤、动脉闭塞和血管发育异常，以及颅内肿瘤供血动脉的观察等。

9.3.2 工作流程及产污环节

数字减影血管造影机工作流程详见图 9.10，工作流程如下：

- 1) DSA 诊疗时患者仰卧，对患者进行静脉穿刺，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管；
- 2) 医生利用脚踩开关启动 X 射线透视（产生 X 射线及臭氧），推送导管，导管到位后，对患者注射造影剂；
- 3) 医生退出机房，启动 X 射线摄影采集图像（产生 X 射线及臭氧）；
- 4) 分析减影图像，医生进入手术室开展血管介入手术（产生 X 射线及臭氧）；
- 5) 介入手术完成后，拔管，穿刺部位止血包扎，关闭 DSA 设备。

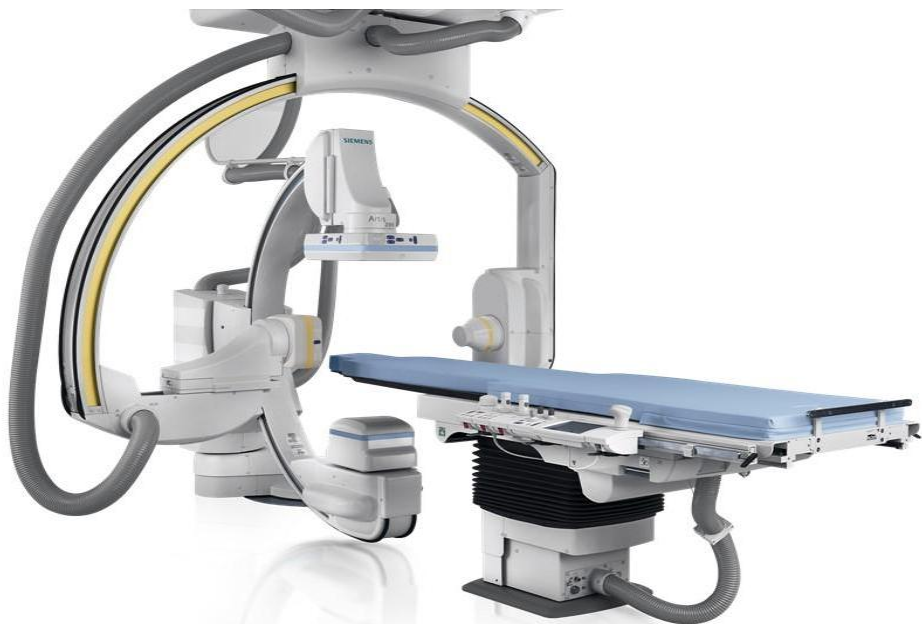


图 9.9 典型双 C 形臂 DSA 设备示意图

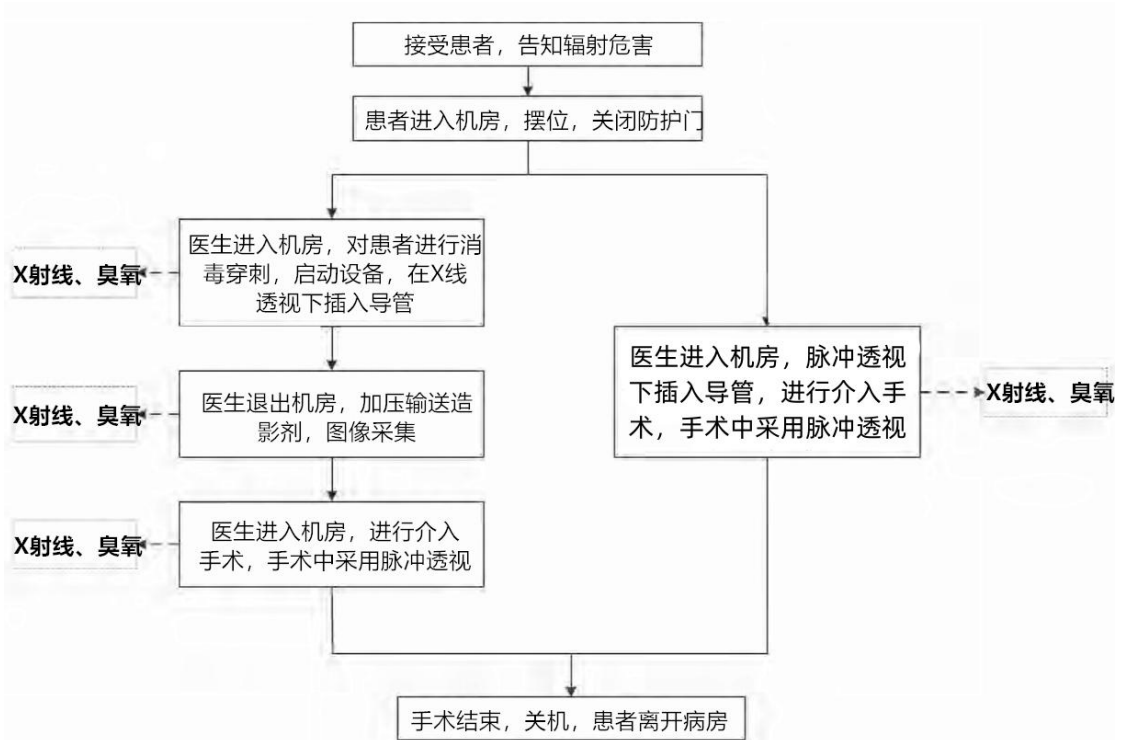


图 9.10 数字血管造影机工作流程及产污环节

9.3.3 污染源项描述

(1) 主要放射性污染

由射线装置的工作原理可知, X 射线是随着射线装置的开、关而产生和消失的, DSA 在关机状态下不产生射线, 只有在开机并处于出束状态下才会产生 X 射线, 因此主要的放射性污染为 X 射线贯穿辐射、泄漏辐射和散射辐射。

(2) 正常工况的污染途径

正常工况下 X 射线是主要的放射性污染。当电子轰击靶时，与靶物质发生作用产生韧致辐射 X 射线，X 射线有用束、漏射及散射 X 射线对周围环境造成辐射污染；X 射线穿透手术室实体屏蔽墙后进入周围场所，将对操作人员及手术室周围人员生产造成辐射影响。另外，介入手术医师需借助 X 射线影像检查系统引导操作，操作过程中工作人员将暴露于射线装置附近，人员受照剂量较高。

X 射线与空气作用还会产生极少量的臭氧及氮氧化物等有害气体，如果手术室通风状况不佳，将导致有害气体在手术室内累积。

(3) 事故工况下的污染途径

① 射线装置控制系统失控、自动控制系统故障或人员疏忽，造成射线装置参数设置错误，使得患者或工作人员受到超剂量照射；

② 在射线装置工作状态下，与手术无关人员误入手术室受到误照射；

③ 开展介入手术期间，工作人员未穿戴防护用品或防护用品老化、断裂、失效，导致工作人员受到超剂量照射；

④ 人员未完全撤离机房的情况下，DSA 就启动曝光，导致其他人员受到误照射。

9.4 核医学科诊疗场所

9.4.1 设备组成及工作原理

(一) PET/CT 设备组成及工作原理

PET 即正电子发射断层显像技术 (Positron Emission Tomography)，PET 技术采用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为示踪剂，通过病灶对示踪剂的摄取来反应其代谢变化，在分子水平上通过动态、定量的监测人体内部的代谢变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变，所以 PET 又称为“生化显像”或“分子显像”。

CT 即 X 射线计算机断层摄影技术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射线衰减数据，通过数学运算和电子计算机数据处理，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

PET/CT 的全称为“正电子发射断层显像/X 射线计算机体层成像仪” (Positron Emission Tomography / Computed Tomography)，是将 PET 设备和 CT 设备有机结合在一起的先进影像设备，两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过图像融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变，具有灵敏度高，特异性强，病灶定位准确等特点，达到各类疾病特别是肿瘤疾病的早期诊断，具

有常规影像检查所无法比拟的优势。典型的 PET/CT 设备外观示意图见图 9.11。



图 9.11 某典型 PET/CT 设备外观示意图

正电子药物 PET 显像剂按功能大致分为脑功能显像剂、心功能显像剂、肿瘤阳性显像剂等，目前应用最为广泛的正电子 PET 药物为 ^{18}F -脱氧葡萄糖 (^{18}F -FDG)。FDG 可测定肿瘤、心脏及脑中的葡萄糖代谢，用于肿瘤、冠心病及神经/精神疾病的早期诊断、鉴别诊断及指导治疗。本项目核医学科 PET/CT 仅使用正电子药物 ^{18}F 开展 PET 显像诊断。

PET 显像原理是将正电子放射性核素（如 ^{18}F ）标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物（如脱氧葡萄糖）上，并将其注射到受检者体内，受检者通常需要经过一段时间的候诊，待正电子标记化合物参与到人体的代谢循环后，让受检者在 PET 设备有效视野范围内进行 PET 显像。放射性核素发出的正电子在体内与组织中的负电子结合发生湮灭，产生两个能量相等（ 0.511MeV ）、方向相反的 γ 光子。PET 探测器系统在规定的时间内探测到两个互成 180° 的 γ 光子时，即判定为是一个符合事件，此时探测器分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲信号整为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，即可得到人体各部位的 PET 显像图像。

（二）SPECT/CT 设备组成及工作原理

SPECT 即单光子发射计算机体层显像（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种核医学科常规的影像技术。SPECT 技术是将标记有发射单光子核素（如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的重要生命物质（如糖、蛋白质、脂肪等）注射到人体内，然后借助 SPECT 装置进行扫描成像，以观察这些单光子核素标记化合物在人体全身脏器的分布情况，以显示它们在人体内的代谢过程。SPECT 成像的基本原理为：受检者注射被放射性核素标记的药物，药物在特定的器官或组织发射出 γ 射线，穿过人体器官组织后到达 SPECT 探测器。SPECT 通过准直器对 γ 射线

进行准直,通过闪烁体将 γ 射线能量转换为光信号,再通过光电倍增管将光信号转换为电信号,经放大器后,得到的测量值代表该投影线上放射性数值,再利用计算机求解断层图像。

SPECT 和 CT 二者强强联合,合二为一便构成了现代核医学的显像利器 SPECT/CT, SPECT/CT 采用图像融合技术发挥两种影像学检查技术的优势同时弥补各自的不足,使得从图像上获得的信息量有了很大提高,达到了 $1+1>2$ 的诊断效能。SPECT 在癌症骨转移、冠心病、肺动脉栓塞、急性脑梗塞、甲状腺癌诊断和评价等方面,能够发挥不可替代的作用。SPECT/CT 主要由三部分组成,即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。其中探头部分主要由准直器、闪烁体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。本项目核医学科拟使用放射性药物 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像检查,某典型 SPECT/CT 扫描装置示意图见图 9.12。



图 9.12 某典型 SPECT/CT 设备外观示意图

(三) 钼-锝发生器组成及工作原理

本项目 SPECT/CT 显像诊断使用的 ^{99m}Tc 药物是由钼锝发生器淋洗得到的,钼锝发生器属于裂变色层发生器,其基本部件是钼酸锆柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护操作人员的辐射屏蔽套。其工作原理为钼酸锆柱内的 ^{99}Mo 不断衰变产生子体核素 ^{99m}Tc , ^{99m}Tc 被钼酸锆柱吸附,当加入适当的淋洗剂时, ^{99m}Tc 核素便以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ (高锝酸根) 的形式被淋洗出来。为了使用方便,一套钼锝发生器除基本部件外,常配套有子体核素溶液接收瓶(即真空瓶)和一定量的淋洗剂(生理盐水)。由于较长半衰期的母核核素 ^{99}Mo 不断衰变产生较短半衰期的子体核素 ^{99m}Tc (子体和母体达到暂时平衡的时间约为 23h),因而钼锝发生器可以反复淋洗制得 ^{99m}Tc 核素。实际使用时可按 24h 为周期进行淋洗,当日淋洗完 4~6 小时后,如有必要可选择二次淋洗。 ^{99m}Tc 从发生器内淋洗出来后,部分高锝酸钠溶液稀释分装后直接使用,部分高锝酸钠用于标记其他锝标药物。

钼铈发生器为成熟产品，具有良好的辐射屏蔽，淋洗时先打开发生器顶部的铅屏蔽盖，在发生器的一端插上生理盐水瓶作淋洗液，另一端插上真空瓶，由于负压作用，即可定量淋洗出 ^{99m}Tc 溶液。钼-铈发生器实物图与内部结构示意图见图 9.13。

本项目医院计划每周订购 1 柱钼铈发生器，单柱发生器的规格不超过 800mCi，从具备发生器销售资质的单位直接购买，使用完的废旧发生器由销售单位负责回收。

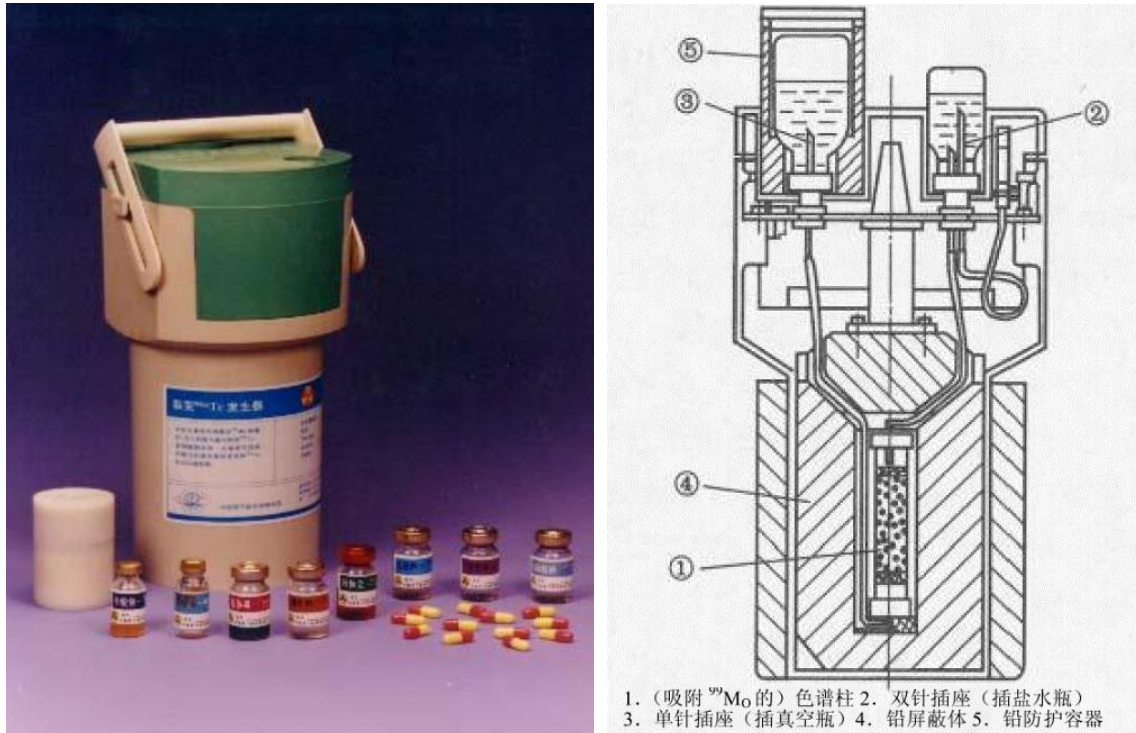


图 9.13 常见钼-铈发生器实物图与内部结构图

(四) 铈气发生器组成及工作原理

铈气发生器的作用是产生肺通气显像的通气剂。肺通气显像是核医学常见的一种肺部疾病的检查方法。开展肺通气检查前，工作人员向铈气发生器舟形石墨坩埚中注入 ^{99m}Tc 淋洗液，在充满高纯度氙气的密闭腔室内通电加温， ^{99m}Tc 淋洗液蒸发得到 ^{99m}Tc 气体，产生碳包裹的 ^{99m}Tc 纳米颗粒气溶胶 (Technegas)，受检者通过铈气发生器铈雾化器回路吸入 ^{99m}Tc 气溶胶，再利用 SPECT/CT 设备进行肺部显像诊断，从而了解和判断患者肺部通气功能和肺部病变情况。由于 Technegas 颗粒直径细微、大小均匀、在中央气道沉积少，仅在病灶处少量沉积，且一旦沉积在肺内 20min 内不会被清除，亦无重新分布，适合进行多角度及断层显像，并具有制备方便、价格低廉、应用范围广、能量和半衰期合适等优点。肺通气显像经常用于肺纤维化、肺栓塞和慢阻肺等疾病的鉴别和诊断。

铈气发生器主要由主机、推车、石墨舟型坩埚和手动加压通气附件组成，手动加压通气附件包括球囊、单向阀门、PAS 控制阀和管路，其它附件包括患者鼻夹、钳子、整套氙气调节器组件等，铈气发生器的组成详见图 9.14。

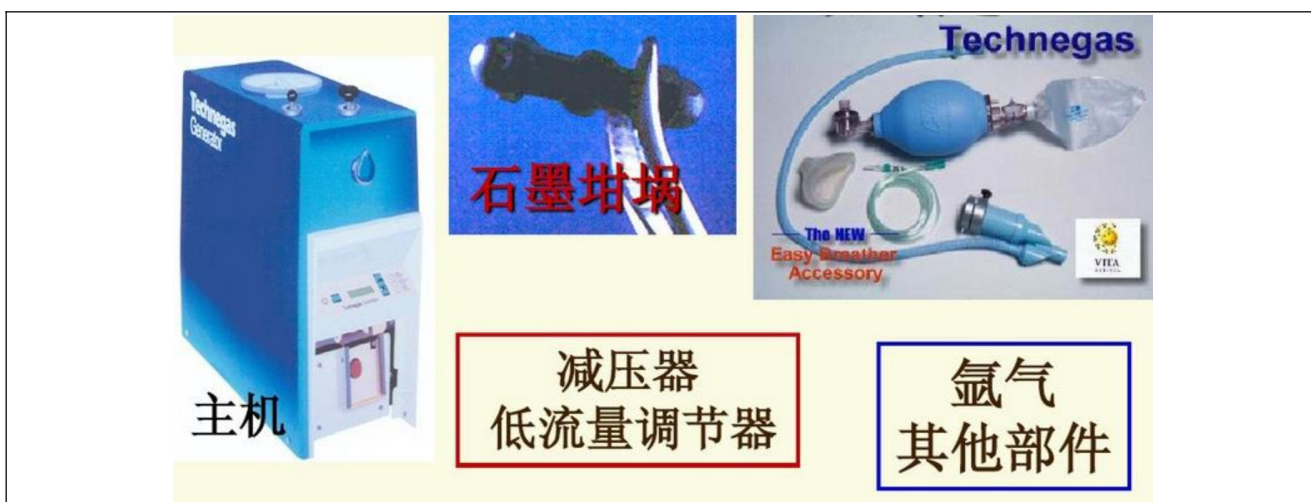


图 9.14 锡气发生器的组成示意图

(五) 甲功测定、甲亢治疗、甲癌治疗工作原理

1) **甲功测定**: 甲状腺吸碘功能测定是了解甲状腺碘代谢的常用方法。甲状腺具有摄取和浓聚碘的能力, 碘参与甲状腺激素合成、分泌的全过程。在空腹条件下, 口服 ^{131}I 药物后, ^{131}I 被胃肠吸收并随血液流入甲状腺, 然后迅速被甲状腺滤泡上皮细胞摄取, 摄取强度与摄取速率与甲状腺的功能状态密切相关, 因此, 通过测定不同时间点甲状腺的放射性计数, 计算出甲状腺摄碘速率和强度, 进而判断出甲状腺的功能状态。

2) **甲亢治疗**: 甲亢治疗是利用甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能, 功能亢进的甲状腺摄取能力更强。甲亢患者口服一定量的 ^{131}I 后, ^{131}I 核素将会被浓集甲状腺内。 ^{131}I 在甲状腺内停留的时间较长, 衰变时主要发射 β 粒子, 且射程短, 仅约 2~3mm, β 粒子对周围正常组织一般无影响。因此, ^{131}I 核素发出的 β 射线可选择性地破坏甲状腺组织而不影响邻近组织, 甲状腺组织被破坏后逐渐坏死并纤维化, 从而减少甲状腺激素的合成及分泌, 达到类似于甲状腺部分切除的目的。

3) **甲癌治疗**: ^{131}I 甲癌治疗是利用特异性抗体作为载体与 ^{131}I 核素结合, 借助抗体的靶向作用, ^{131}I 核素载体与肿瘤组织特异性结合, 使肿瘤组织区域浓集大量 ^{131}I 放射性核素。 ^{131}I 衰变时发射出的 β 射线和 γ 射线, 在病灶局部产生足够的电离辐射生物学效应, 达到抑制、杀伤或杀死肿瘤细胞。一般来说, 甲状腺癌的治疗原则是以手术为主的综合治疗, 甲癌病人病灶可以通过手术切除, 但对于某些分化型甲状腺癌及转移病灶, 甲状腺腺体组织和病灶无法完全切除, 通常会辅以 ^{131}I 核素治疗。施行完甲状腺全切术或次全切术的甲癌患者, 可选择行 ^{131}I “清甲”或“清灶”治疗。“清甲”是指用 ^{131}I 摧毁术后残留的正常甲状腺组织, “清灶”是指用 ^{131}I 治疗甲状腺床残留甲状腺癌、甲状腺床复发灶和转移灶。“清甲”用药剂量较低, 约 80~100mCi, “清灶”用药剂量较大, 甲状腺癌复发或淋巴结转移的治疗剂量为 100~150mCi, 少数肺部或骨转移治疗剂量可达 200mCi。

（六） ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗原理

^{90}Sr 敷贴治疗是将敷贴器紧贴在皮肤表面的病变部位，利用放射性核素衰变时发射出的 β 射线照射局部病灶，使局部病灶产生电离辐射生物学效应，从而抑制病变细胞生长和增殖，诱导组织细胞凋亡、脱落，以达到治疗目的，主要用于治疗局限性毛细血管瘤、瘢痕疙瘩、慢性湿疹、牛皮癣等皮肤类疾病。 ^{90}Sr 敷贴器是通过粉末冶金工艺制造的金属敷贴器，有不同面积、形状、剂量可供选择，优点是 β 射线能量较高，不伴生 γ 辐射，使用寿命长，剂量准确、均匀，实际使用时需要用橡胶或橡皮泥等材料保护病灶周围的正常皮肤。

^{90}Sr 核素的半衰期为 28.79 年，衰变类型为 β^- （100%）， β 射线最大能量为 0.546MeV，但 ^{90}Sr 核素所发射出的 β 射线大部分会被敷贴器金属薄膜保护层所吸收，基本不会起到治疗作用，实际起治疗作用的是 ^{90}Sr 的子体核素 ^{90}Y 衰变放出的高能 β 射线，故称之为“ ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器”。 ^{90}Y 核素的衰变类型为 β^- （99.99%），放出的 β 射线平均能量为 0.934MeV，最大能量约为 2.29MeV，在人体组织中的最大射程约 11mm，随组织深度增加剂量也将迅速减少，不会对深部组织和临近脏器造成辐射损伤。

^{90}Y 的半衰期是 66h， ^{90}Sr 的半衰期是 28.79 年， ^{90}Sr 半衰期远远大于 ^{90}Y ，因此 ^{90}Y 子体将会按照 ^{90}Sr 母体的衰变规律衰变（即达到放射性长期平衡），在不出现破损、泄漏的情况下， ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器的使用寿命很长。此外， ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器还具有易屏蔽，使用方便、副作用小等优点，在各类皮肤病治疗领域的应用较为广泛。

9.4.2 工作流程及产污环节

（一）PET/CT 显像检查

本项目 PET/CT 显像检查是通过为受检者静脉注射放射性药物 ^{18}F （ ^{18}F -FDG），并利用 PET/CT 设备对受检者全身或者相关脏器进行诊断检查。本项目核医学科使用的 ^{18}F 药物均为外购药物成品， ^{18}F 核素显像检查的工作流程如下：

（1）预约登记：根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的受检者提前一天预约登记，确认药物指导用量。

（2）订药：核医学工作人员根据预约人数，确定第二天的总订药量。根据医院提供的信息，本项目核医学科每日最多实施 PET/CT 检查 15 人/次， ^{18}F 药物最大注射量为 370MBq/人（10mCi/人）， ^{18}F 药物单日最大注射量为 150mCi，订药量按单日最大注射量的 2 倍计算，即 ^{18}F 单日最大送药量为 300mCi； ^{18}F 药物从有资质的供应商订购。 ^{18}F 药物整装贮存在药物铅罐内，使用前需要根据实际用量进行分装操作；

（3）药物交接：外购的 ^{18}F 药物由供应商派专人运输至核医学科分装注射室内，送药时

间为当天工作开始前无病人的时间段（早上 8 点之前）；核医学工作人员须仔细核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，在分装注射室摄像头监控下，办理“点对点”交接手续，然后将药物铅罐暂存于分装注射室 ^{18}F 分装柜内；

（4）药物分装：工作人员进入分装注射室，进行药物分装，使用放射性活度计测定活度。 ^{18}F 药物的分装在 ^{18}F 分装柜（防护厚度 50mmPb）内进行，使用专用分装铅罐或翻转式铅罐（防护厚度 40mmPb）进行分装。分装完成后，将药物装入专用注射器并放入运输防护铅盒内（防护厚度 25mmPb），等待注射；

（5）药物注射：受检者按预定的时间到达核医学科，从核医学科显像检查患者入口的单向门进入，到达注射窗口。注射人员在受检者手臂下铺垫吸水纸，并建立静脉通道。然后注射人员从防护铅盒内取出注射器，在 ^{18}F 注射窗（其防护厚度 40mmPb）后实施静脉注射，注射时间不超过 60s/人次；

（6）显像检查：注射 ^{18}F 药物的受检者进入 PET 注射后候诊室候诊，每位 PET 患者候诊时间为 1h，本项目 PET 候诊室至多可容纳 3 名 PET 受检者同时候诊；候诊结束后，受检者根据语音提示进入 PET/CT 机房进行扫描检查，扫描检查时间平均为 15min/人次；

（7）扫描检查完成后，受检者留观约 10min 左右，无不良反应即可离开核医学科。

本项目 PET/CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图见图 9.15。

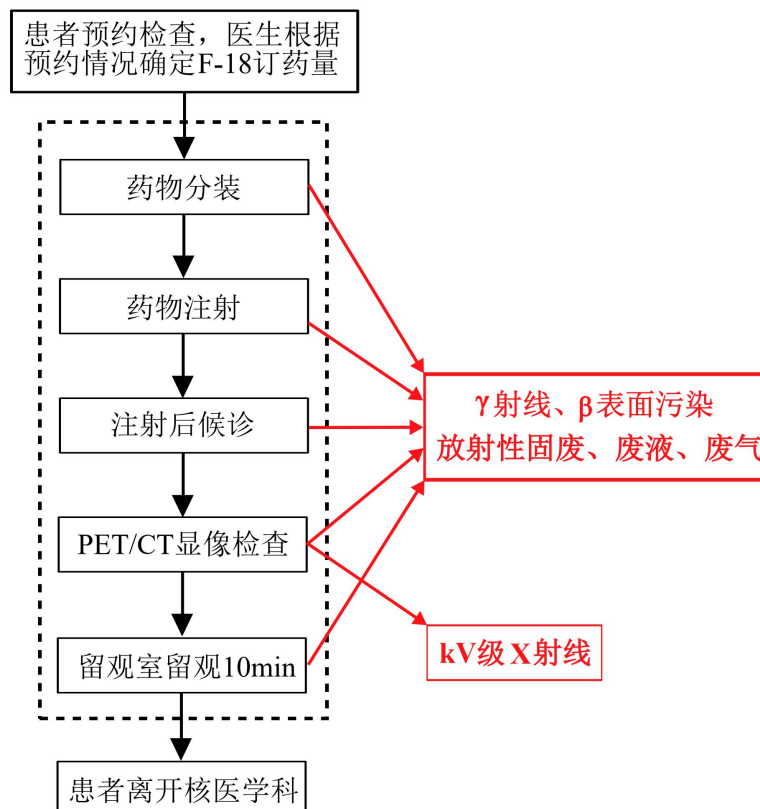


图 9.15 PET/CT 显像诊断工作流程及产污环节

（二）SPECT/CT 显像检查

本项目 ^{99m}Tc 放射性药物由工作人员通过外购的钼铯发生器自行制备，工作人员根据每日 ^{99m}Tc 的预约接诊量和药物衰变情况进行淋洗，尽量避免放射性药物的浪费。

（1） ^{99m}Tc 核素显像检查流程：

① 预约登记：接受 SPECT/CT 显像检查的受检者须提前一天预约登记，核医学科工作人员根据医师指导意见和处方用量，确定第二天 ^{99m}Tc 放射性药物用量。

② 药物淋洗：钼铯发生器从有销售许可的厂家购入后直接运输至核医学科储源室贮存。淋洗药物前，工作人员做好个人防护，然后将钼铯发生器转移至分装注射室 ^{99m}Tc 手套箱内，用酒精消毒。先取出生理盐水瓶插入发生器双针插座，再将真空瓶装入铅防护套内（5mmPb），并插入发生器单针插座，开始 ^{99m}Tc 淋洗，淋洗下来的 ^{99m}Tc 核素进入真空瓶中。1min 后将真空瓶及铅防护套一并拔下，并盖上铅防护套盖子。每柱新购的钼铯发生器在首次淋洗后，需要取 0.1mCi 的淋洗液拿到质控室检验其放化纯度等指标。

③ 分装标记： ^{99m}Tc 药物的分装标记在 ^{99m}Tc 手套箱内进行，手套箱内配有放射性活度计。工作人员先用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液纯度。将注射器内已经测量好活度的淋洗液迅速转移至用于标记的冻干药盒（冻干药盒在使用前已经过完整性检查），并充分摇匀，稀释到预设体积，静置备用。单次分装、标记的操作时间不超过 2min。

④ 药物注射：受检者按预定的时间到达核医学科，从核医学科显像检查患者入口的单向门进入，到达注射窗口。注射人员在受检者手臂下铺垫吸水纸，并建立静脉通道。然后注射人员从防护铅罐（防护厚度 10mmPb）内取出注射器，在 ^{99m}Tc 注射窗（其防护厚度 20mmPb）后实施静脉注射，注射时间不超过 60s/人次；

⑤ 显像检查：注射 ^{99m}Tc 药物的受检者进入 SPECT 注射后候诊室候诊或进入运动平板室进行运动负荷。本项目 SPECT 候诊室至多可容纳 3 名 SPECT 受检者同时候诊。待药物有一定程度的代谢后，受检者根据语音提示进入 SPECT 机房接受扫描检查，扫描检查时间平均约 15min/人次。

⑥ 扫描检查完成后，受检者留观 10min 左右，无不良反应即可离开核医学科。

（2）肺通气显像检查流程：

本项目核医学科还将使用 ^{99m}Tc 核素开展肺通气显像检查，肺通气检查的流程如下：

① 分装取药：在 ^{99m}Tc 分装柜中使用活度计取 20mCi/0.1ml 的 ^{99m}Tc 淋洗液。

② 设备充电：铊气发生器插入电源输入端，打开电源主开关为设备电池充电。

③ 连接氩气：铊气体准备前，插上与铊气发生器相连的气体输出管，并确保自锁机构锁

定，转动主调节器阀直到低压表指示在绿区。

④ 气体制备：首先打开抽屉，将坩埚固定在接触器上，再将 20mCi 的 ^{99m}Tc 药液注入，关闭抽屉后按下开始按钮，在充满氙气的密闭装置内通电加温，在 2550°C 条件下加热 15s 蒸发得到 ^{99m}Tc 气体，产生碳包裹的 ^{99m}Tc 纳米颗粒（Technegas），气体制备完成后断开主电源。气体制备过程中约有 30% 的 ^{99m}Tc 药液转化为 ^{99m}Tc 气溶胶，其余沉积在石墨坩埚。

⑤ 锝气施用：向患者说明检查的整个过程，以取得患者的配合。将 PAS 的管道开端接到发生器上，让患者用嘴咬住口管，用鼻夹夹住鼻子，通过雾化器回路进行正常均匀呼吸，按下给气按钮给病人施用 ^{99m}Tc 气溶胶，在放射性计数达到要求（一般 3-5 个呼吸周期）后松开给气按钮，嘱咐病人再进行 5-6 个周期的呼吸，以清除管道和病人气管中的 ^{99m}Tc 气溶胶，病人呼出的少许气溶胶由 PAS 过滤装置收集后按放射性废物处理。

⑥ 残余锝气清除：锝气施用完成后，再次接上氙气和发生器电源，发生器内过滤器装置清除残余锝 ^{99m}Tc 气体。整个施给过程均在核医学科肺通气室内集气罩下进行。

⑦ 受检者在扫描检查后，经观察无不良反应即可离开，如有不适则在医院短暂观察。

本项目 SPECT/CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图见图 9.16。

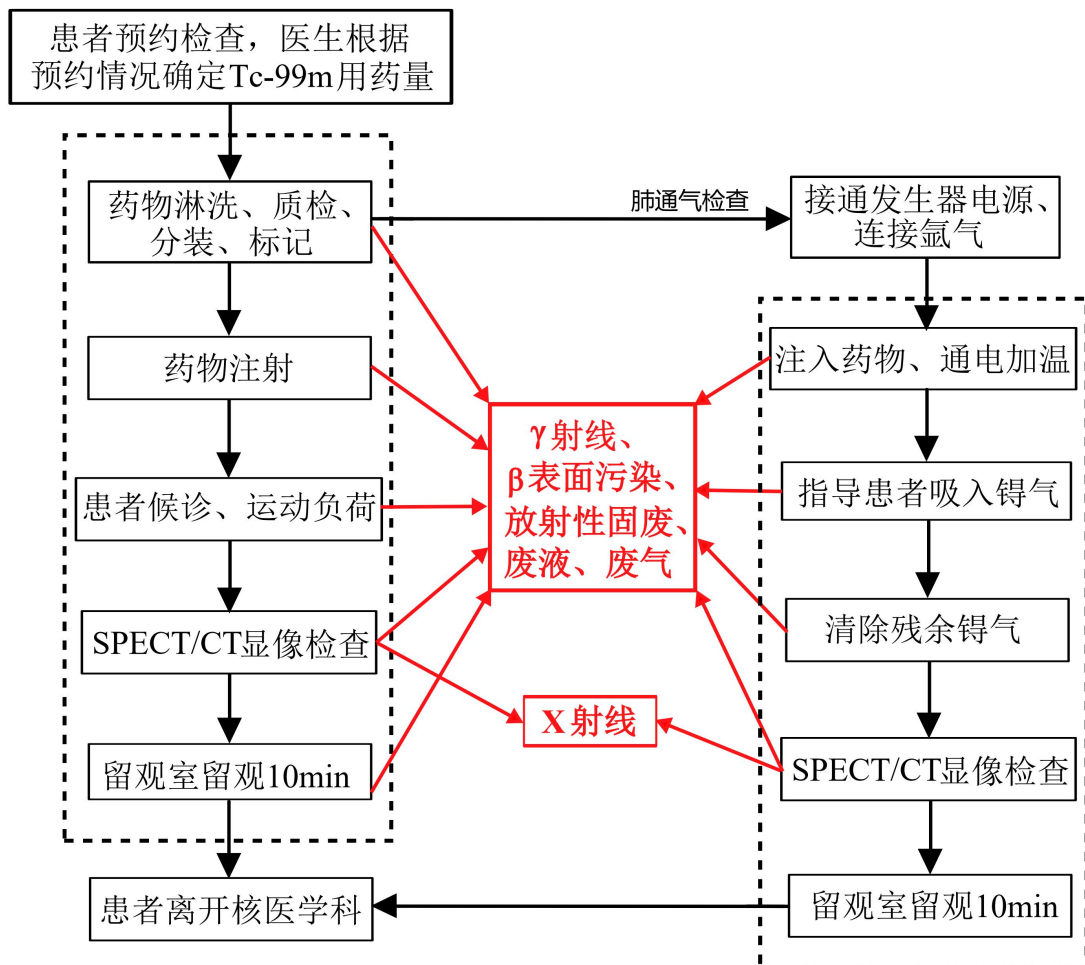


图 9.16 SPECT/CT 显像诊断工作流程及产污环节

(三) 甲癌、甲亢治疗流程

(1) 甲癌治疗

根据医院提供的信息，本项目甲癌患者 ^{131}I 最大服药量为 200mCi，由于服药剂量较大，患者相当于一个流动放射源，在服药后的一段时间内会对周围人员及环境造成强烈的 γ 射线外照射和 β 放射性表面污染，患者需要在专用核素病房内住院 3~4 天。核素 ^{131}I 进入患者体内后，也会很快通过代谢、尿液、粪便排出，因此患者住院期间产生的放射性“三废”也会对环境产生一定的辐射影响。

本项目甲癌治疗使用的 ^{131}I 药物为外购的成品药物，甲癌治疗的工作流程如下：

- ① 甲状腺癌患者全切术后，病理若提示为分化型甲状腺癌，患者可选择 ^{131}I 药物治疗。核医学科接诊患者后，开展 ^{131}I 治疗的正当性判断，并给出最优化的处方剂量。
- ② 工作人员告知患者治疗期间的辐射危害以及治疗前注意事项，患者确认后应签署治疗同意书，预约治疗日期并开具住院证明。
- ③ 购药、运输：工作人员根据上周预约住院的患者数量和用药量，向有资质的供应商订购 ^{131}I 药物。供药商于周一早上 7 点之前负责将药物源罐运输至核素治疗区域的源库内，医院安排专人负责接收，经确认无误并在源库的摄像头下完成“点对点”交接后，将 ^{131}I 药物暂存在核素治疗区源库内。
- ④ 治疗用药前，对患者进行“五对三查”，核对患者姓名、性别、年龄、剂量、治疗时间，检查治疗项目、治疗核素、治疗内容。治疗内容必须严格执行医嘱。
- ⑤ 药物分装、指导服药：核医学科工作人员从源库将 ^{131}I 药物源罐提至分装室并放于自动分装仪内。随后工作人员退出分装室，在控制室内隔室操控 ^{131}I 自动分装仪进行药物分装。然后通过视频指导患者服药，患者在服碘室内自行取药口服，并要求患者将服药口杯置于服碘室指定的废物桶内。
- ⑥ 住院治疗：服药后患者进入甲癌病房住院，一般住院 3~4 天。出院前须进行剂量率测量，体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ 方可出院。出院前医护人员发放 ^{131}I 治疗患者告知书，告知患者出院后注意事项（例如与家庭成员距离，出行、上班避免与他人长时间接触等）。
- ⑦ 甲癌患者达到出院标准后应洗澡，然后到 SPECT/CT 机房进行 1 次全身扫描显像，初步判断治疗效果，以便制定下一步治疗计划。
- ⑧ 每周的住院患者全部出院后，医护人员及时收集放射性废物，进行工作场所表面污染检测及清洁去污。患者使用过的床单、被套、枕套按放射性被服规定处理。

(2) 甲亢治疗

根据医院提供的信息，本项目甲亢患者 ^{131}I 的最大服药量为 10mCi，药物的放射性活度小于 400MBq，满足出院要求，甲亢患者服药后无异常情况即可离开核医学科。本项目甲亢治疗使用的 ^{131}I 药物为外购药物（与甲癌治疗药物一同购入），甲亢治疗的工作流程如下：

① 患者预约：需要接受 ^{131}I 甲亢治疗的患者提前预约登记，核医学科工作人员根据根据医师的指导意见和处方剂量，统计 ^{131}I 放射性药物的用量。

② 购药、运输：用于甲亢治疗的 ^{131}I 药物与甲癌治疗药物一并购入，供药商于周一早上 7 点之前负责将药物源罐运输至核素治疗区域的源库内，医院安排专人负责接收，经确认无误并在源库的摄像头下完成“点对点”交接后，将 ^{131}I 药物暂存在核素治疗区源库内。

③ 药物分装、指导服药：甲亢治疗药物分装、服药流程与甲癌治疗一致。

④ 患者离开：患者服药后，无异常情况即可从指定出口离开核医学科。

本项目甲癌、甲亢治疗工作流程及产污环节示意图见图 9.17。

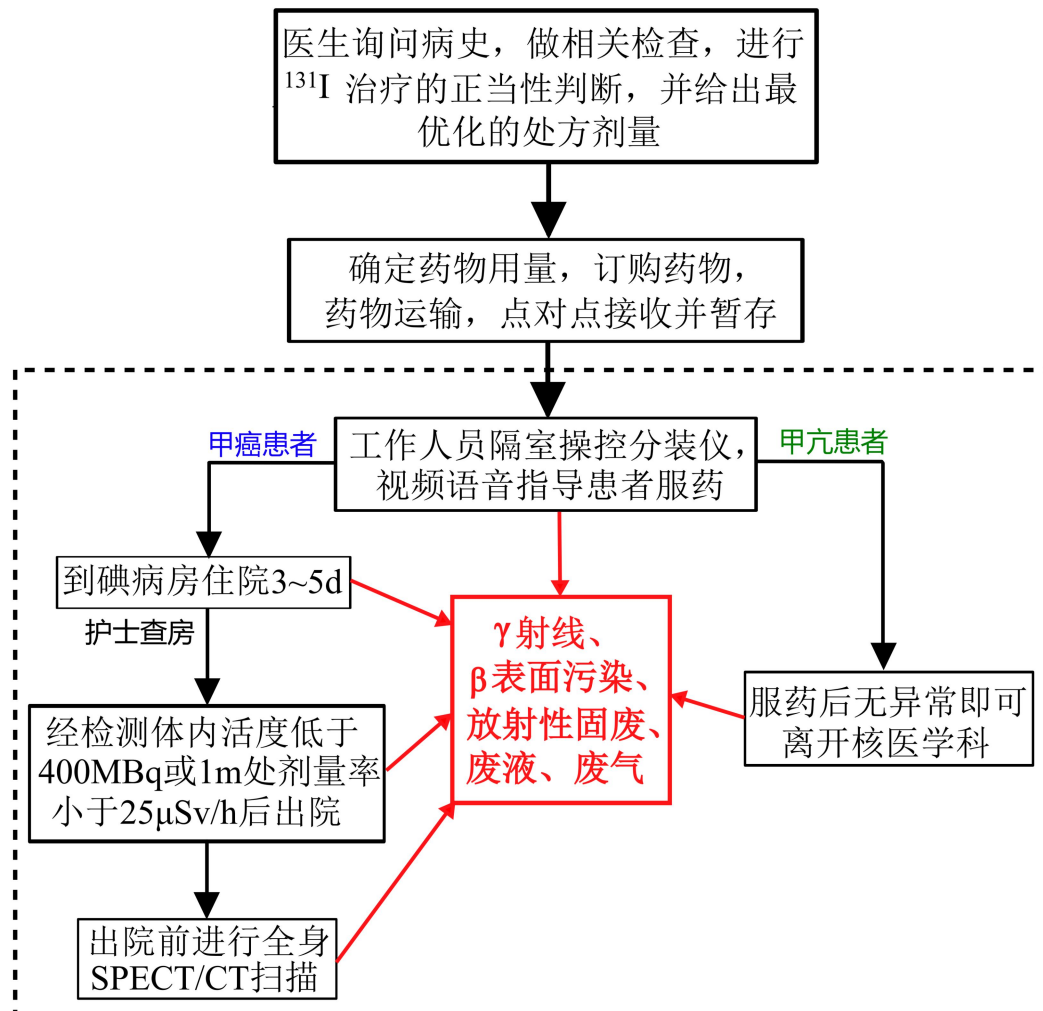


图 9.17 甲癌、甲亢治疗工作流程及产污环节

（四）甲状腺功能测定（吸碘率测定）

根据医院提供的信息，本项目甲状腺功能测定使用 ^{131}I 成品胶囊（单粒活度 0.005mCi），

每周最多接诊 10 人/次,直接从有资质的供药商订购 ^{131}I 胶囊成品药物,送药时间为检查当日。计划每周送药 1 次,每次送药量不超过 10 个胶囊,胶囊拟贮存在甲功室的保险箱内。本项目甲状腺吸碘功能测定检查流程如下:

- (1) 受检者到核医学登记室预约,工作人员安排检查日期,并告知受检者注意事项;
- (2) 工作人员根据预约量,订购相应数量的 ^{131}I 胶囊(统一规格,单粒活度 0.005mCi)。供药商于检查当日将 ^{131}I 胶囊送至甲功室,工作人员接收胶囊,并贮存在甲功室保险箱内;
- (3) 开展 24 小时甲状腺吸碘-131 率测定,步骤如下:
 - ① 工作人员使用甲功仪测量本底计数和标准源 (^{131}I 胶囊) 计数;
 - ② 受检者在甲功室内口服 ^{131}I 胶囊,服药后离开核医学科;
 - ③ 患者服药后分别于 2 小时、4 小时、6 小时和 24 小时(第 2 日)返回核医学科甲功室,工作人员使用甲功仪测定受检者甲状腺部位的放射性计数(每次测定时间约 1min);
 - ④ 同标准源计数进行比较,计算甲状腺吸碘-131 率,绘制甲状腺吸碘-131 率曲线;
 - ⑤ 测试结束后打印报告,医生审核签字后核发报告。

本项目甲状腺功能测定(吸碘率测定)流程及产污环节示意图见图 9.18。

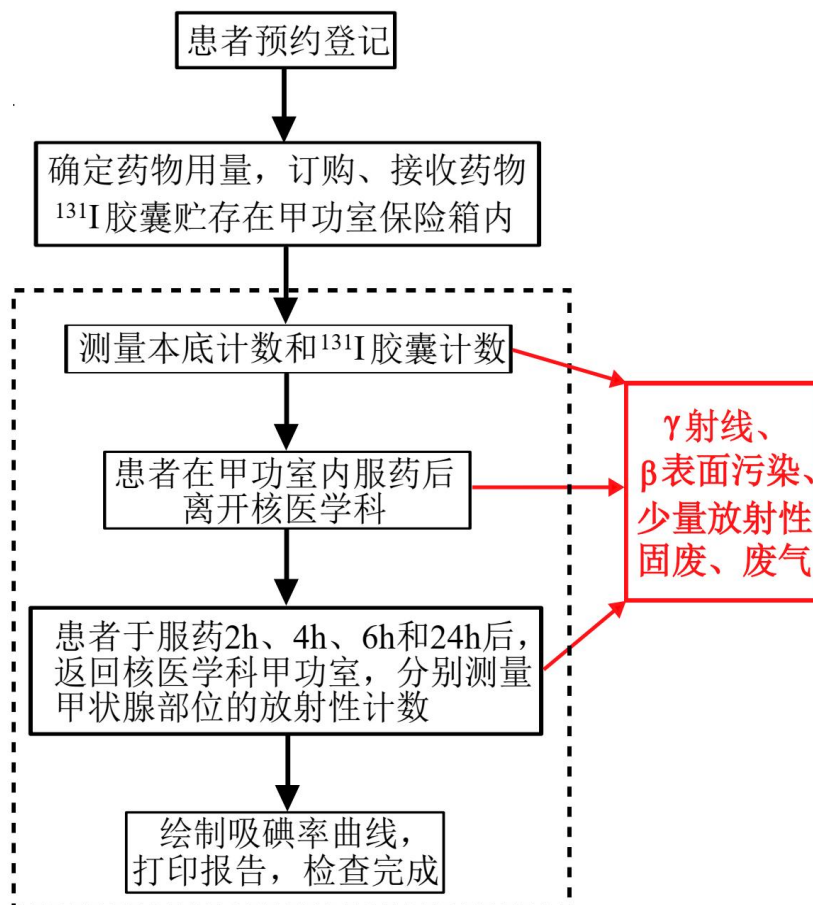


图 9.18 甲状腺功能测定(吸碘率测定)工作流程及产污环节

(五) ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗流程

根据医院提供的信息，本项目拟使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器开展敷贴治疗，敷贴器直接从有销售资质的单位订购，销售厂家负责将 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器运送至敷贴治疗室，完成交接手续后，将敷贴器贮存在敷贴治疗室的贮源箱内。使用时从贮源箱中取出，直接在敷贴治疗室内开展敷贴治疗。本项目 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗流程如下：

- ① 患者预约：接收患者，医生根据患者病灶的情况确定治疗方案、处方剂量及敷贴时间。
- ② 治疗准备：工作人员引导患者进入敷贴治疗室，并核实治疗方案。根据病灶的形状修剪橡胶板或制作橡皮泥，保护病灶周围的正常皮肤，仅露出病灶范围。
- ③ 实施治疗：工作人员从贮源箱内取出敷贴器，持敷贴器手柄将敷贴器源窗面紧贴在病灶部位并固定，开始计时，达到预定治疗剂量时及时取掉。
- ④ 治疗结束：工作人员收回敷贴器并放回贮源箱内，患者离开敷贴治疗室。
- ⑤ ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器在使用期限内应每年进行 1 次衰变校正。废旧敷贴器应按密封源退役处理，退役的敷贴器由原销售厂家负责回收。

本项目 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗流程及产污环节示意图见图 9.19。

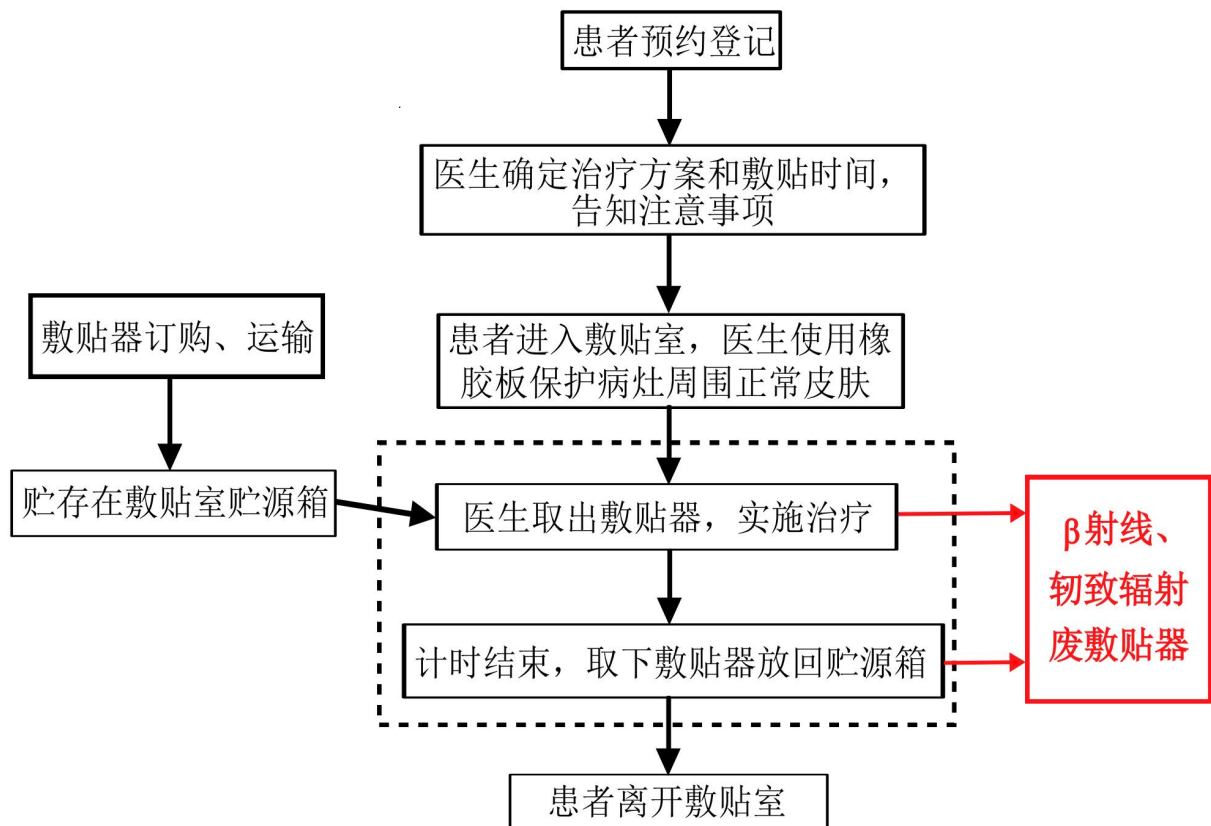


图 9.19 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴治疗工作流程及产污环节

9.4.3 放射性核素的辐射特性

本项目核医学诊疗所使用的非密封放射性核素的主要辐射参数列于表 9.4。

表 9.4 本项目核医学科非密封放射性核素的主要辐射特性

核素名称	毒性分组	半衰期	主要衰变类型	主要射线及能量 (keV)	周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
^{18}F	低毒	109.8min	β^+	β^+ -634 γ -511	0.143
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	低毒	6.02h	IT	γ -141 (89%)	0.0303
^{131}I	中毒	8.03d	β^- 、 γ	β^- -606 (89.6%)、334 (7.2%)； γ -364 (81.5%)、637 (7.16%)、 284 (6.12%)；	0.0595

9.4.4 核素的使用量和操作时长

(1) 显像诊断

PET/CT 检查使用的 ^{18}F 药物平均注射量为 $2.96\times 10^8\text{Bq}/\text{人}$ (8mCi/人)，最大注射量为 $3.70\times 10^8\text{MBq}/\text{人}$ (10mCi/人)，本报告保守按最大注射量 10mCi/人次进行评价。PET/CT 检查单日最大接诊量为 15 人次，年工作 250 天，年接诊量不超过 3750 人次；

SPECT 检查使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物平均用量为 $7.40\times 10^8\text{Bq}/\text{人}$ (20mCi/人)，最大用量为 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ (25mCi/人)，本报告保守按最大注射量 25mCi/人次进行评价。SPECT/CT 检查单日最大接诊量为 25 人次，年工作 250 天，年接诊量不超过 6250 人次；肺通气检查 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物最大用量为 $7.40\times 10^8\text{Bq}/\text{人}$ (20mCi/人)，每个检查日最多检查 2 人次，年检查人数不超过 500 人次。钼铯发生器单柱最大规格为 $2.96\times 10^{10}\text{Bq}$ (800mCi)，年最多购买 50 个；

甲状腺功能测定使用 ^{131}I 胶囊， ^{131}I 胶囊为统一规格，单粒活度为 $1.85\times 10^5\text{Bq}$ (5 μCi)，甲状腺功能测定每周最多接诊 10 人，年工作 50 周，按单日至多使用 10 粒 ^{131}I 胶囊评价。

(2) 核素治疗

甲癌治疗患者 ^{131}I 服药量最大不超过 $7.40\times 10^9\text{Bq}/\text{人}$ (200mCi/人)，本项目核医学科预计每年最多收治 160 名甲癌患者，计划每周收治 1 批患者，每批至多 4 人；

甲亢患者 ^{131}I 服药量为 $3.7\times 10^8\text{Bq}/\text{人}$ (10mCi/人)，每周最多治疗 10 人次，年工作 50 周，年最大治疗量为 500 人，按单日至多进行 10 次甲亢治疗进行评价；

^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器面源活度为 $1.48\times 10^9\text{Bq}$ (40mCi)，每周最多治疗 2 人次，年工作 50 周，年最多治疗 100 人次。

(3) ^{131}I 核素治疗分析

^{131}I 甲亢治疗和甲癌治疗使用的放射性药品主要为碘 [^{131}I] 化钠溶液，甲亢患者用药量为 10mCi，甲癌患者用药量通常为 80mCi、100mCi、150mCi，个别可达 200mCi，本项目甲癌患者用药量保守按最大用量 200mCi/人进行评价。

根据 HJ1188-2021 的要求，接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 方可出院。甲亢患者用药量为

370MBq，甲亢患者服药后无异常即可离开核医学科，不进行留观和住院。甲癌患者最大用药量可达 7400MBq，需要进行住院治疗。

摄人体内的 ^{131}I 大部分会通过尿液在初始数日内排出体外，尽管“清灶”治疗的 ^{131}I 剂量大（服药 120~200mCi），但因甲状腺已经被彻底消除或绝大部分消除，摄碘率降低，碘排出速率较快；“清甲”治疗的 ^{131}I 剂量小（服药 100mCi），但是蓄积进入甲状腺份额相对多，在体内滞留时间略长。甲癌患者住院时间通常在 3~5 天，根据汤敏敏等《日尿排泄 ^{131}I 值估算甲状腺癌患者体内残留活度》（中国医药前沿，2013 年 3 月第 8 卷第 6 期）的报道，通过对 35 例甲癌患者排泄尿液的放射性活度进行测量，估算出患者体内残余放射性活度降至 400MBq 的时间，其中：15 例“清灶”治疗患者平均住院时间为 1.9d（0.8~3d）。20 例“清甲”治疗患者平均住院时间为 3.1d（0.9~5.3d）。

本项目取甲癌患者平均住院时间为 4 天进行评价，核医学科计划每周收治 1 批甲癌患者（每批最多 4 人），每周一到周五为患者住院时间，患者服药时间通常安排在周一或周二，周五之前出院。工作场所清洁和污染监测时间安排在周末患者出院后进行。

（4）工作负荷及时长

本项目核医学科工作负荷、主要工作环节及工作时长统计见表表 9.5

表 9.5 本项目核医学科主要工作环节和操作时间

工作类型	主要操作环节	单次最长操作时间	年累计操作次数	年累计操作时长
PET/CT 显像诊断	药物分装	2min	3750	125h
	药物注射	1min	3750	62.5h
	患者摆位	0.5min	3750	31.3h
	显像扫描	15min	3750	938h
SPECT/CT 显像诊断	药物淋洗	10min	500	83.3h
	标记、分装	2min	6750	225h
	药物注射	1min	6250	104.2h
	肺通气施药	5min	500	41.7h
	患者摆位（门诊患者）	0.5min	6750	56.3h
	患者摆位（甲癌出院患者）	0.5min	160	1.34h
	显像扫描（门诊患者）	15min	6750	1689h
甲癌治疗	显像扫描（甲癌出院患者）	20min	160	53.4h
	自动分装仪操作	5min	160	13.3h
	指导服药	3min	160	8h
甲亢治疗	甲癌住院查房	1h/周	50 周	50h
	自动分装仪操作	5min	500	41.7h
	指导服药	3min	500	25h

甲功测定	胶囊服用	1min	500	8.33h
	吸碘率测定	10min	500	83.3h

9.4.5 核医学科污染源项描述

(一) 主要放射性污染

本项目核医学科主要源项为放射性药物 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，以及敷贴治疗使用的 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器。因此，本项目核医学科显像诊断期间的主要放射性污染物为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素产生 γ 射线、 β 射线和放射性固废、废水和废气，以及 PET/CT 和 SPCT/CT 设备的 CT 机运行期间产生的 X 射线； ^{131}I 核素治疗期间主要放射性污染物为 ^{131}I 核素产生的 γ 射线、 β 射线和放射性固废、废水和废气；此外，敷贴治疗期间主要放射性污染物为 ^{90}Sr 敷贴源产生的 β 射线和韧致辐射 X 射线。

(二) 显像诊断污染途径分析

(1) 正常工况下的污染途径

① 外照射影响：在进行放射性药物的交接、暂存、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物淋洗标记、 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装注射、患者候诊、患者摆位、显像检查等过程中，以及钼铯发生器、校准源操作期间，工作人员及周围公众可能受到放射性核素释放的 γ 射线外照射影响； β 射线由于在空气和人体组织中射程很短，对周围工作场所及人员的外照射影响较小。此外，在 PET/CT 设备和 SPCT/CT 设备的 CT 机运行期间，工作人员及周围公众还会受到 X 射线外照射的影响。

② 内照射影响： ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物不易挥发，正常操作期间不会产生内照射，但肺通气施药需要使用铊气发生器生成 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶，因此在 Technegas 制备和施药期间，工作人员可能吸入少量的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶，从而产生内照射影响。

③ 放射性固废：主要包括 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物操作的产生的废弃注射器、针头、空药瓶、药盒、吸水纸、去污废物等；肺通气施药环节产生的一次性吸气管、咬嘴、过滤器、石墨坩埚和去污废物等；患者候诊期间产生的固体废物；以及排风系统的活性炭滤芯、高效过滤器等固体废物；放射性固废还包括废旧钼铯发生器、退役 ^{68}Ge 校准源和 ^{90}Sr 敷贴器；

④ 放射性废水：主要包括患者专用卫生间的冲厕废水和洗手废水，药物操作区域的洗手池废水，以及场所清污废水、应急废水等；

⑤ 放射性废气： ^{18}F 药物多为 ^{18}F -脱氧葡萄糖(^{18}F -FDG)溶液，不易挥发。分装过程在专用分装柜内进行，分装时间较短，分装和注射过程产生的放射性气体十分微量；钼铯发生器本身自带密封外壳和包装， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗过程使用真空瓶收集淋洗液， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记、分装均在手套箱内进行，产生的放射性气体很少；肺通气施药期间可能产生微量的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶，经活性炭过滤吸附后，排放至环境大气的放射性废气很少，对周边公众和环境的影响很小。

⑥ ^{90}Sr 敷贴源为由包壳和源窗密封包裹，正常使用期间不会发生放射性泄漏。 ^{90}Sr 敷贴器贮存和使用期间会产生 β 射线和韧致辐射 X 射线，主要污染途径为外照射。

(2) 事故工况下的污染途径

① 药物意外洒漏：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，对工作人员和局部环境造成 β 放射性表面污染；

② 钼铱发生器意外破裂：钼铱发生器使用期间可能发生侧翻、跌落、外力撞击或误操作，导致发生器屏蔽体和密封装置裂缝、破损，可能造成放射性物质泄漏，会对工作人员和周围环境造成放射性危害。此外， ^{90}Sr 敷贴源和 ^{68}Ge 校准源的包壳意外破裂，也会周围环境和人员造成放射性危害；

③ 放射性物品保管不当，发生遗失或被盜：放射性药物、钼铱发生器、放射源失控可能造成环境放射性污染，对工作人员和公众造成误照射；

④ 放射性废物管理不善：放射性固体废物和放射性废水未暂存足够时间或者未按解控规定擅自处理，可能会造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众产生辐射危害；

⑤ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶泄漏或逸出：患者吸气时与工作人员配合较差，导致 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体泄漏或逸出；或施药结束后工作人员未要求患者继续呼吸清除管道和患者气道中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体，可能造成部分 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶弥散；铈气发生器的密封腔室或阀门泄漏可能导致 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体泄漏或逸出。

(三) 核素治疗的污染途径分析

(1) 正常工况的污染途径

① 外照射影响： ^{131}I 核素发生 β 衰变时伴随发射 0.364MeV 的 γ 射线，因此在进行药物接收、分装服用、患者住院、巡视病人和处理放射性废物等操作时，辐射工作人员及周边公众可能受到 ^{131}I 释放的 γ 射线外照射影响； ^{131}I 核素发生的主要 β 射线最大能量为 0.606MeV，在人体皮肤（密度取 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$ ）中的最大射程约 2.5mm， β 射线对周围工作场所及人员的外照射影响较小。

② 内照射影响： ^{131}I 药物分装、服药患者住院期间会产生一定量的放射性固废、放射性废水和放射性废气，少量的 ^{131}I 核素可能通过吸入或食入进入人体内，会对辐射工作人员及周围公众造成一定量的内照射影响。

③ 放射性废水：主要包括 ^{131}I 药物操作区域产生洗手废水和洗污废水、碘病房卫生间冲厕和淋浴废水，以及工作场所清洁废水。甲癌患者服药后，患者体内的放射性碘主要通过尿液和粪便排出，大约 55%的 ^{131}I 在最初 24h 排出体外，22%在第 2 个 24h 排出，约总量的 85% 在最初 5d 内排出到废水衰变系统（数据引自北京大学医学出版社《ICRP 第 94 号出版物：非密封放射性核素治疗后患者出院考虑》），因此碘病房卫生间产生的冲厕和淋浴废水中 ^{131}I

的活度浓度较大。含 ^{131}I 的放射性废水应在衰变池内暂存超过 180 天，经监测达标并经审管部门同意后，排入医院污水处理站，集中处理后排入市政下水管网。

④ 放射性固体废物：主要包括药物操作过程中使用的一次性手套、服碘口杯和去污废物、患者住院的生活垃圾如一次性餐具、纸巾纸杯、废弃用品，以及排风口碘过滤器滤芯等；含 ^{131}I 的放射性固废暂存超过 180 天后，经监测仪器检测满足解控水平后对固废进行清洁解控，按普通医疗废物的规定处理。甲癌患者使用过的被褥针头和病号服会有不同程度的污染，应当统一收集至污染被服间进行存放衰变，至少存放 1 个半衰期后再进行清洗。

⑤ 放射性废气。本项目核素治疗药物主要为碘 [^{131}I] 化钠溶液，挥发性相对较低。采用自动分装仪进行分装，药物操作和患者服药期间较短，产生的放射性气体很少。此外，住院患者体内代谢的 ^{131}I 有少量随呼出气进入空气中（ICRP 第 94 号出版物报道约 0.008%~0.03% 份额），因此，核素治疗区域应当设置排风系统，废气经碘过滤器吸附过滤后高空排放。

（2）异常情况下的污染途径

① 药物意外泼洒：甲癌或甲亢患者在服药时，不慎造成药杯翻倒、药物泼洒、药液未服用完等情况；或药物分装期间，自动分装仪故障或工作人员误操作，导致药液洒漏等情况。将会污染工作场所地面、墙壁、工作台面和设备等，会对工作场所周围环境及人员造成外照射和 β 放射性表面污染等辐射影响，还有可能被食入或吸入体内形成内照射危害。

② 放射性药品保管不当，发生遗失或被盜： ^{131}I 放射性药品（包括空的源罐）发生遗失或被盜，可能造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众造成额外照射；

③ 放射性废物管理不善：放射性固体废物和放射性废水未暂存足够时间或者未按解控规定擅自处理，或放射性污染被服未存放衰变足够的时间即返回清洗，以及患者服药后呕吐，可能会造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众造成辐射危害；

④ 住院患者管理不善：甲癌住院患者体内 ^{131}I 放射性活度或 1m 处剂量率未降至出院水平以下即离开核素治疗区域或出院离开，可能会对公众造成额外的不必要照射。

⑤ 错误给药：主要包括工作人员人为失误导致 ^{131}I 药物剂量偏离处方剂量，或药物给错患者导致的患者误照射；在未仔细核实的情况下对怀孕期或哺乳期妇女实施了 ^{131}I 治疗，进而导致的胎儿婴儿误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 医用加速器工作场所安全措施

(一) 实体屏蔽设计

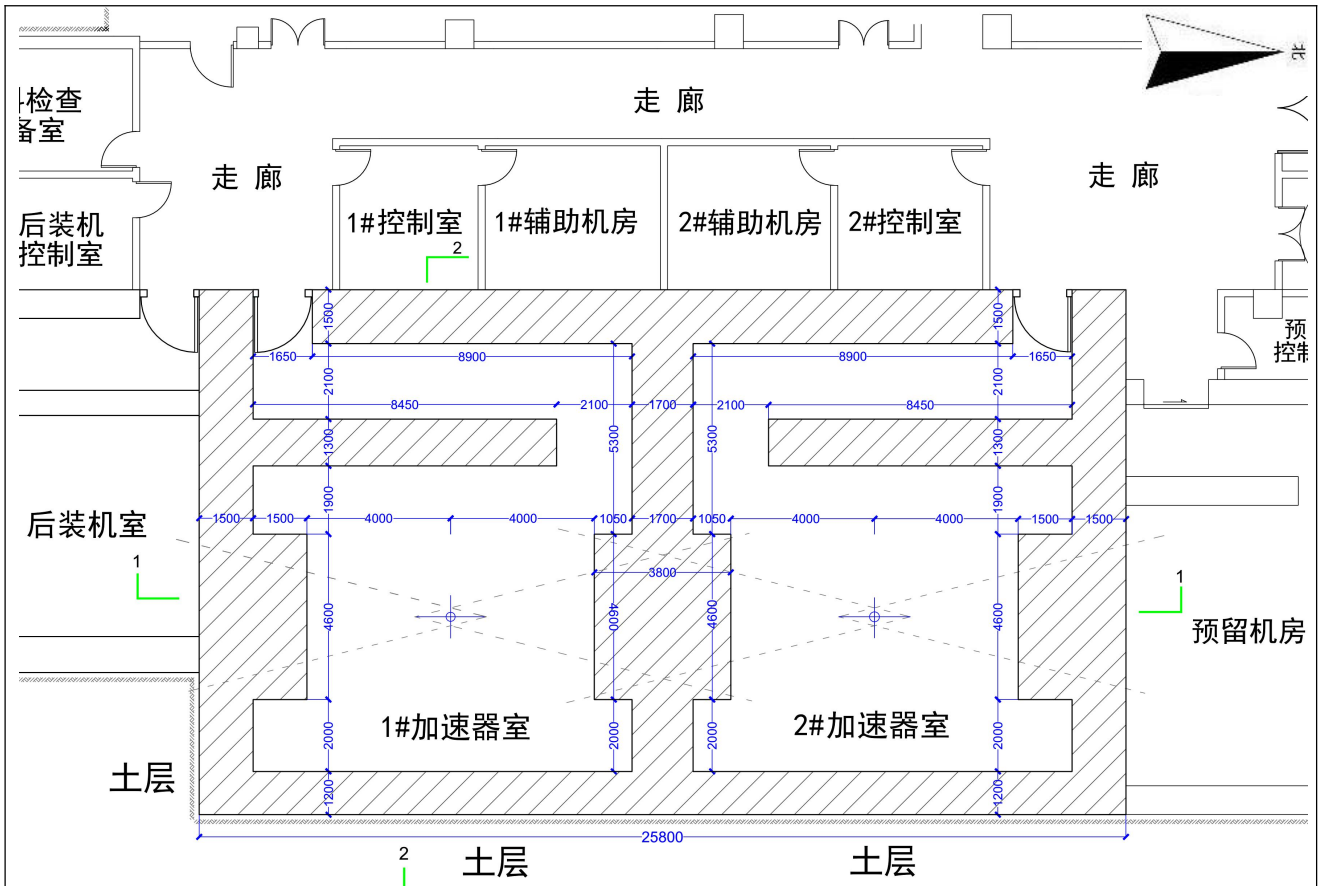
本项目 2 间加速器室均位于急危重症楼东南角楼外地下一层，1#加速器室和 2#加速器室相邻，北侧为 1#加速器室，南侧为 2#加速器室。本项目 2 间加速器室东侧均为土层，南侧为后装机室，西侧为 1#2#控制室、1#2#辅助机房以及过道，北侧为预留空置机房；2 间加速器室顶上方均为覆土层，覆土层之上为室外道路，加速器室楼下均无建筑。

本项目 2 间加速器机房空间尺寸与实体屏蔽设计均一致，加速器室内部南北长约 8.0m，东西宽约 8.5m，室内净高 4.2m，室内面积约为 102.8m²（含迷道）。本项目 2 间加速器室实体屏蔽设计参数见表 10.1，本项目 2 间加速器室的平面、剖面示意图见图 10.1。

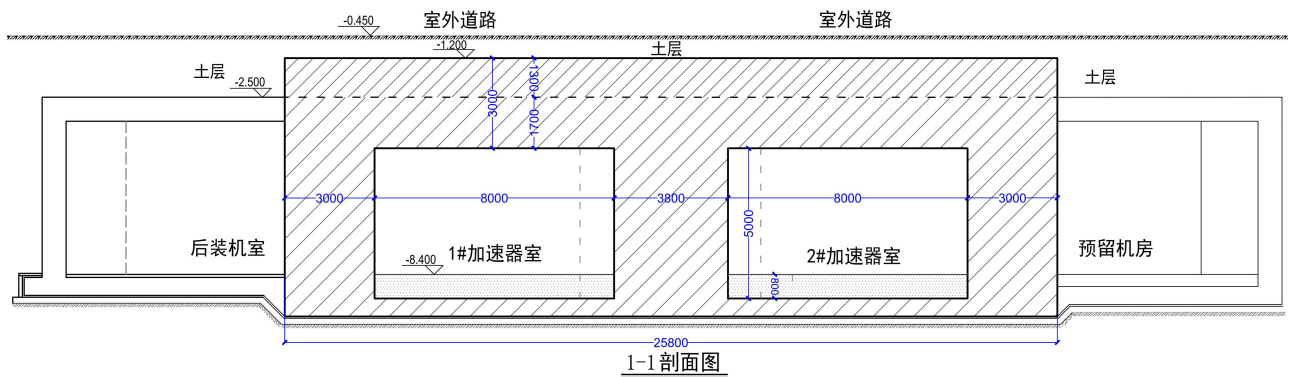
表 10.1 本项目 2 间加速器室实体屏蔽设计参数

机房名称	方位	实体屏蔽设计参数	备注
1#加速器室	南侧屏蔽墙	主屏蔽墙：300cm 混凝土 次屏蔽墙：150cm 混凝土	主屏蔽墙宽 4.6m，内凸
	北侧屏蔽墙	主屏蔽墙：380cm 混凝土 次屏蔽墙：170cm 混凝土	主屏蔽墙宽 4.6m，内凸
	西侧屏蔽墙	迷道内墙：130cm 混凝土 迷道外墙：150cm 混凝土	迷道内墙长度 8.45m
	东侧屏蔽墙	120cm 混凝土	墙外为土层
	屋顶屏蔽墙	主屏蔽墙：300cm 混凝土 次屏蔽墙：170cm 混凝土	主屏蔽墙宽 4.4m，外凸； 上方覆土层厚 0.75m、2.05m
	防护门	15mmPb 防护门	铅钢结构电动平移门
2#加速器室	北侧屏蔽墙	主屏蔽墙：300cm 混凝土 次屏蔽墙：150cm 混凝土	主屏蔽墙宽 4.6m，内凸
	南侧屏蔽墙	主屏蔽墙：380cm 混凝土 次屏蔽墙：170cm 混凝土	主屏蔽墙宽 4.6m，内凸
	西侧屏蔽墙	迷道内墙：130cm 混凝土 迷道外墙：150cm 混凝土	迷道内墙长度 8.45m
	东侧屏蔽墙	120cm 混凝土	墙外为土层
	屋顶屏蔽墙	主屏蔽墙：300cm 混凝土 次屏蔽墙：170cm 混凝土	主屏蔽墙宽 4.4m，外凸； 覆土层厚度 0.75m、2.05m
	防护门	15mmPb 防护门	铅钢结构电动平移门

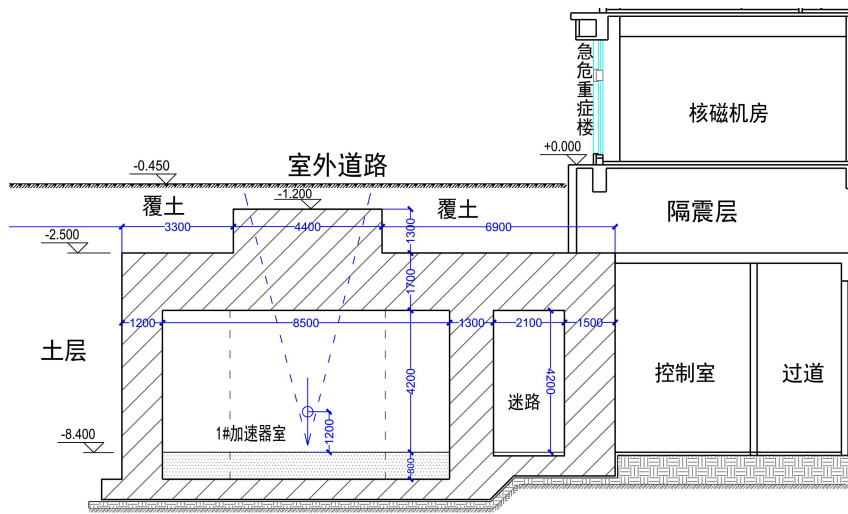
注：混凝土密度为 2.35t/m³，铅密度为 11.34t/m³。



(平面图)



1-1剖面图



2-2剖面图

图 10.1 本项目加速器室平面、剖面布局图

(二) 辐射安全与防护措施

(1) 辐射防护：本项目 2 间加速器室（含防护门）拟采取实体屏蔽措施，保证各加速器室四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员和公众的年有效剂量满足本评价提出的剂量约束值要求；

(2) 分区管理：加速器工作场所拟实行分区管理：将各加速器室内部分划为控制区；控制室、辅助机房、防护门外走廊、北侧预留机房和预留控制室划为监督区，控制区和监督区边界处拟设置分区管理标志。本项目加速器工作场所分区管理示意图见图 10.2；

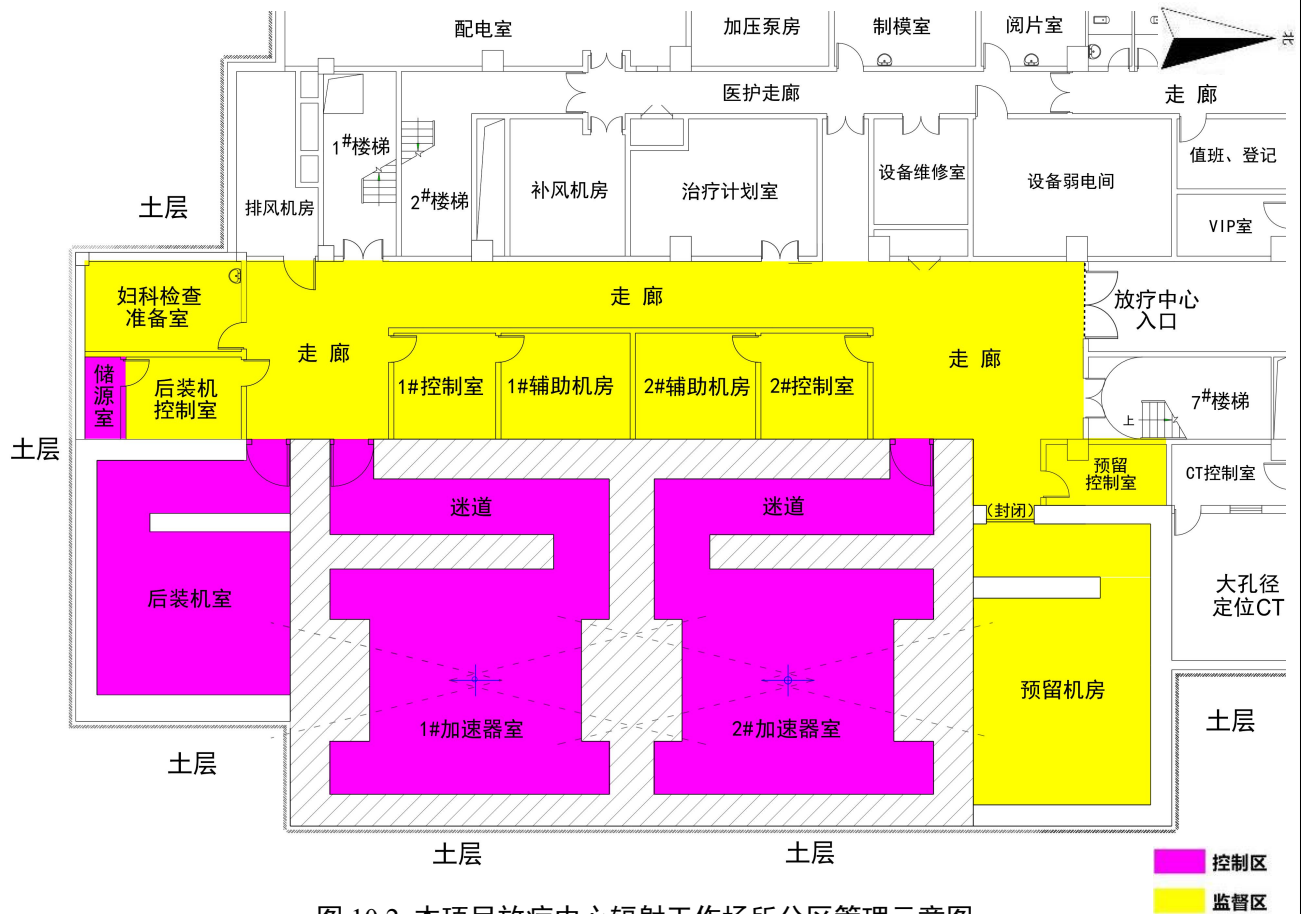


图 10.2 本项目放疗中心辐射工作场所分区管理示意图

(3) 警示标识：各加速器室防护门、各控制室门和放疗中心入口门外拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明。各加速器室防护门上方拟安装工作状态指示灯（三色灯），并和对应加速器的出束状态关联；

(4) 门机连锁：各加速器室防护门拟设置门机安全连锁，只有当防护门关闭，设备才能启动出束；反之，如果照射过程中防护门打开，加速器系统将自动停止出束。各加速器室防护门拟设置防夹人和停电手动开启功能；

(5) 急停按钮：2 间加速器室各设置 9 个紧急停机按钮，其中：控制室操作台设 1 个，室内四侧墙壁设 5 个，迷道内设 1 个，加速器治疗床设 2 个，各急停按钮处应有明显标识和

使用说明。当遇到意外情况，可立即按动急停按钮，切断加速器设备高压，停止出束。所有急停按钮只能通过手动方式复位；

(6) 门控制按钮：各加速器控制室内拟设置开、关门按钮，各加速器室防护门内侧墙壁上拟设置 1 个紧急开门按钮（加速器室内不能设关门按钮）；

(7) 固定式剂量监测：各加速器室各安装 1 套固定式辐射剂量率监测仪，辐射探头位于各加速器室内部，显示面版位于各控制室台上方，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断加速器工作状态；

(8) 钥匙控制：治疗系统拟采用数字密码或者专用钥匙启动，由专人操作设备；

(9) 监视对讲：加速器工作场所拟设置监控系统和对讲系统。加速器室内至少设置 4 个监控探头，须保证加速器室内无死角监控，监视器设置在各控制室内，工作人员可观察治疗室是否有人员滞留，同时也能够观察患者状况；

(10) 监测设备：本项目放射治疗科配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪，2 间加速器室各配备 2 台个人剂量报警仪（共 4 台），放疗科所有辐射工作人员配备个人剂量计。工作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪；

(11) 各加速器室内拟安装机械通风换气系统，采用上进下排方式，其中新风口均设置在治疗室吊顶内，排风口均设置在墙角靠近地面处，各加速器室的有效换气次数应不低于 4 次/h。通风管道在各防护门上方以“Z”形方式 45°向下斜穿屏蔽墙，加速器电缆沟均以“U”形方式从地下斜穿迷路外墙；

(12) 其他要求：本项目放疗科所有辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核（考核类别为“放射治疗”）。加速器机房内拟安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

本项目加速器室辐射安全及防护措施示意图见图 10.3，加速器安全联锁逻辑图见图 10.4，工作场所通风系统布局图见图 10.5，通风管道和线缆沟穿墙示意图见图 10.6。

（三）工作场所辐射安全与防护设施管理

本项目加速器工作场所拟设置的辐射安全与防护设施与《中国核与辐射安全管理体系 现场监督检查和执法程序》（2020 年版）中“医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序”（NNSA/HQ3-08-JD-IP-033）的对比结果分别见表 10.2。

表 10.2 医用加速器辐射安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	备注
1*	A 控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙控制或密码启动
2*		控制台有紧急停机按钮	√	控制台设 1 个
3*		视频监控与对讲系统	√	治疗内设 4 个摄像头

4*		治疗室门与高压联锁	√	门机联锁
5*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
6*		入口有加速器工作状态显示	√	工作状态三色指示灯
7*		工作场所分区及标识	√	中文分区标识
8*		屏蔽门内开门按钮	√	各防护门内侧设置
9	C 照射室紧急设施	治疗室门防夹人装置	√	防夹人和停电手动开启
10*		紧急照明或独立通道照明系统	√	紧急照明系统
11*		治疗室内有紧急停机按钮	√	各治疗室内各设 7 个
12*		治疗床有紧急停机按钮	√	各治疗床设 2 个
13	D 监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	√	各配 1 台
14*		便携式辐射监测仪器仪表	√	放疗科拟配 1 台
15*		个人剂量报警仪	√	各配 2 台 (共 4 台)
16*		个人剂量计	√	每人 1 支
17*	E 其他	个人防护用品	/	/
18		通风系统	√	独立通风系统

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的均划 /。不能详尽的在备注中说明。

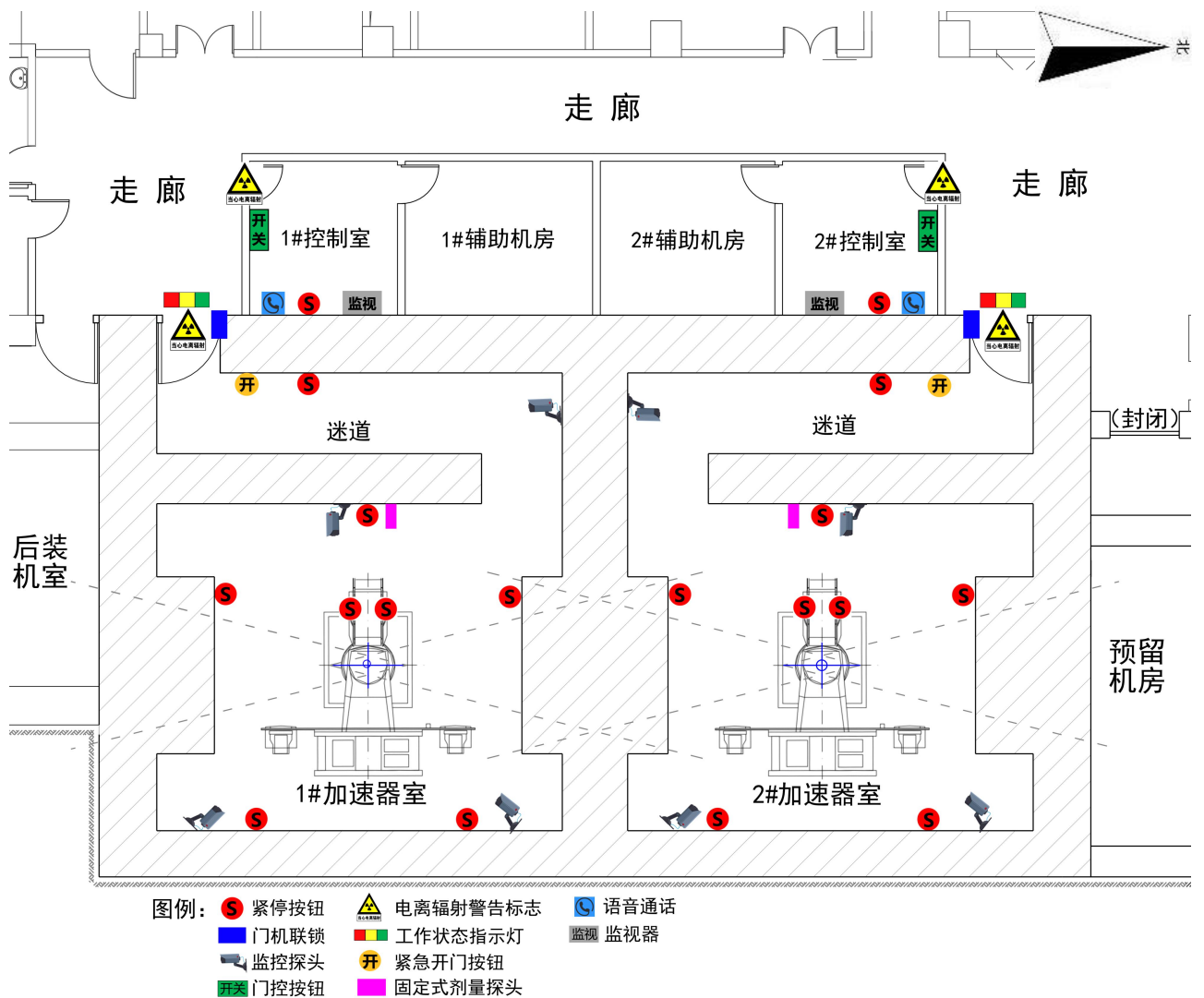


图 10.3 加速器机房辐射安全与防护措施示意图

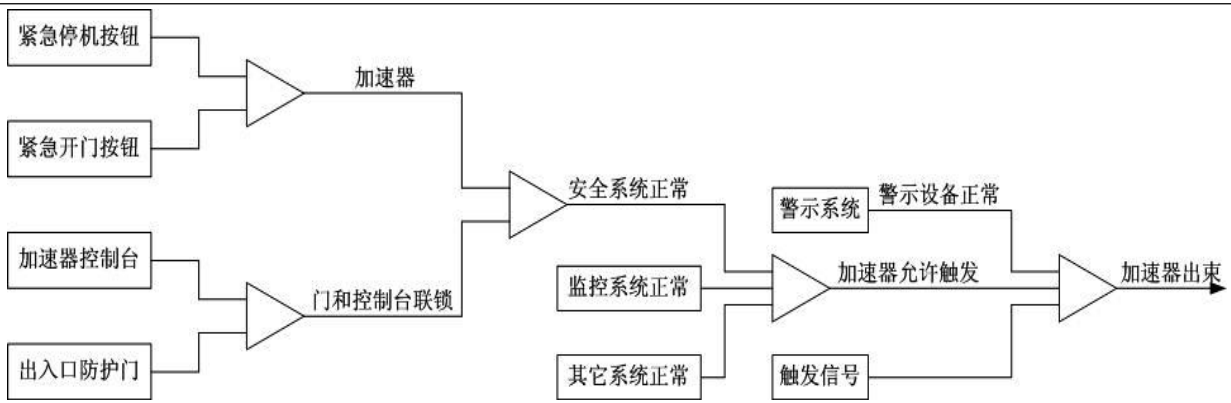


图 10.4 加速器安全联锁逻辑图

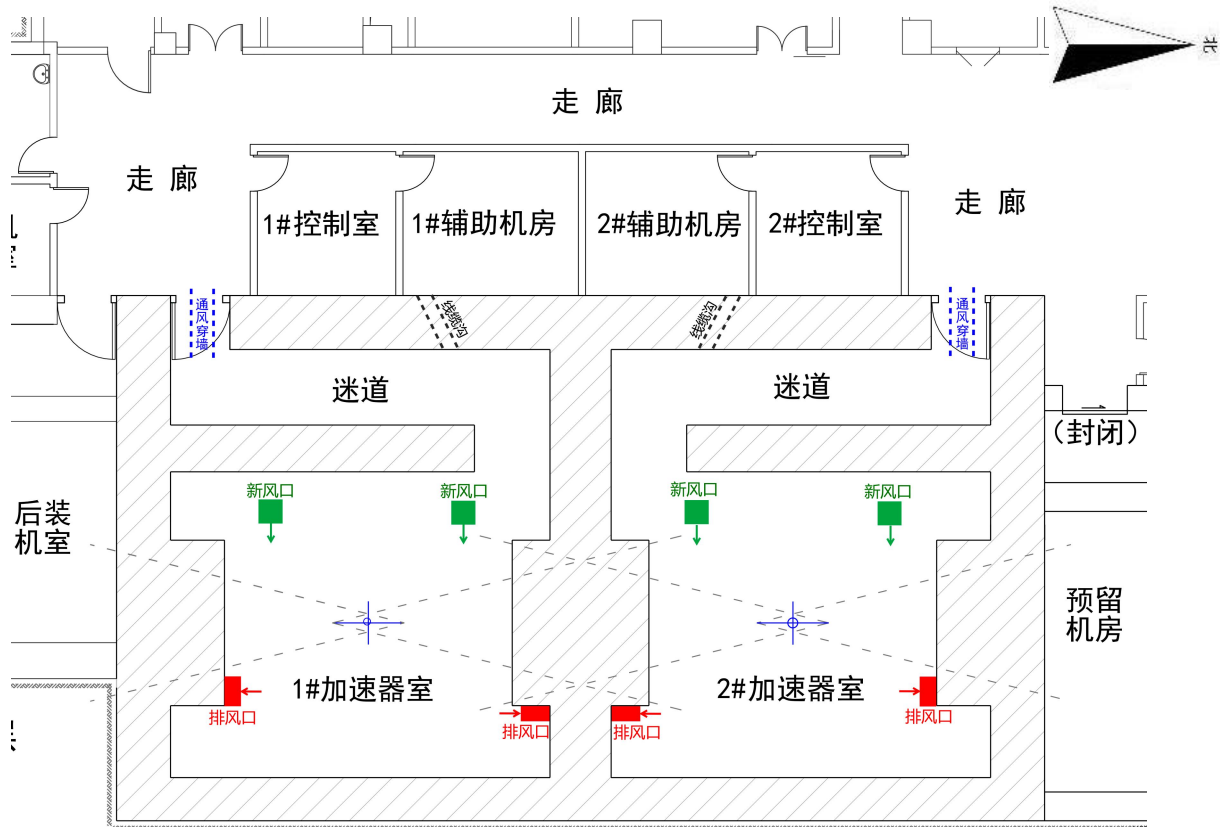


图 10.5 加速器机房通风系统布局示意图

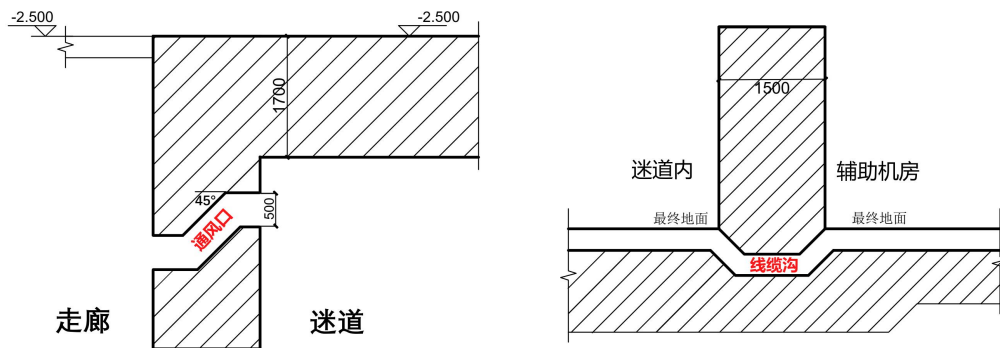


图 10.6 通风口和线缆沟穿墙示意图

10.2 后装机工作场所安全措施

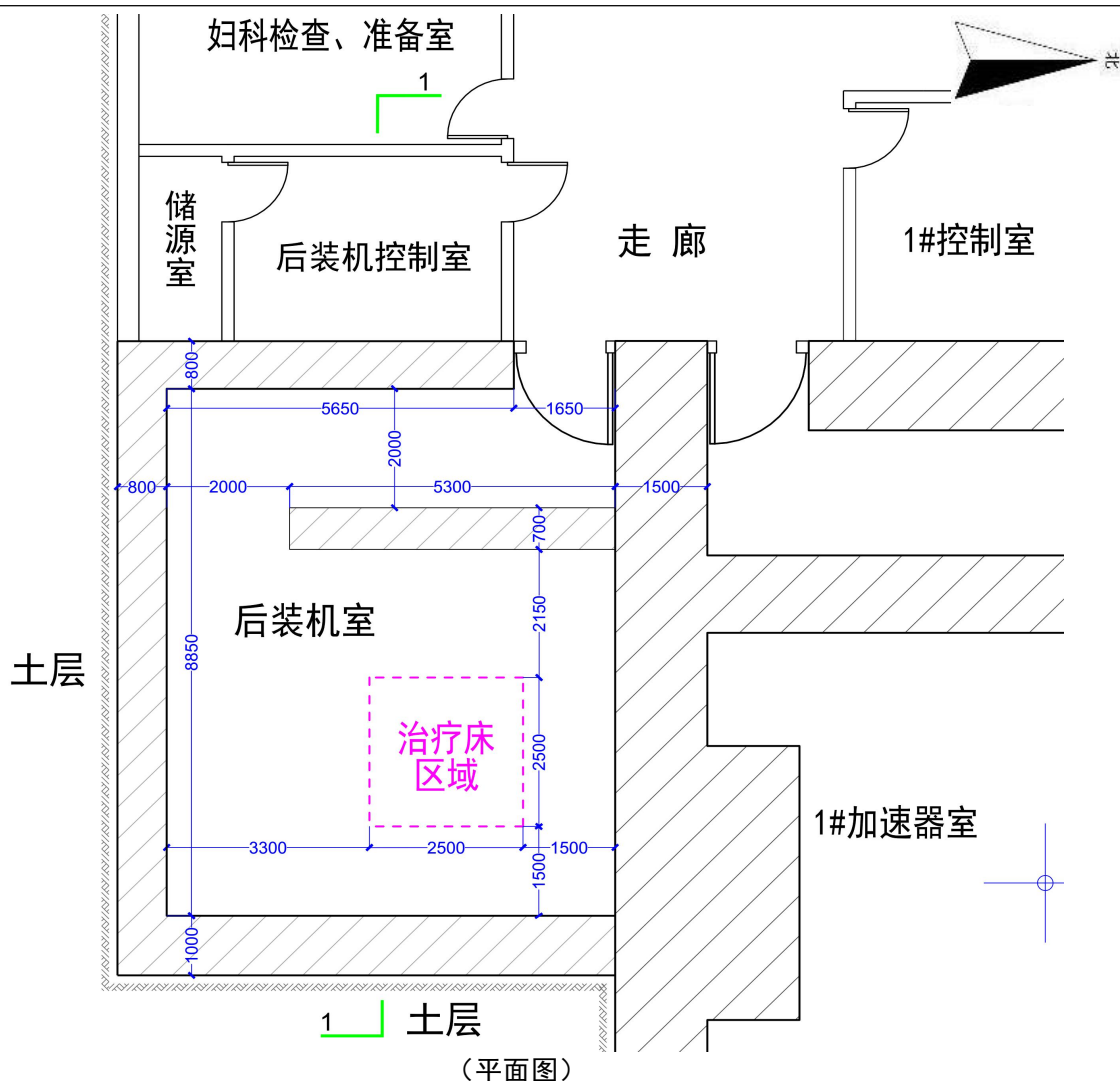
（一）实体屏蔽设计

本项目后装机室均位于急危重症楼东南角楼外地下一层，后装机室北侧为1#加速器室，东侧和南侧均为土层，西侧为后装机控制室和储源室，后装机室顶上方均为覆土层，覆土层之上为室外道路，楼下无建筑。本项目后装机室内部南北长约7.3m，东西宽约6.1m，室内净高5.1m，室内面积约为62.2m²（含迷道）。本项目后装机室实体屏蔽设计参数见表10.3，后装机室平面、剖面示意图见图10.7。

表 10.3 本项目后装机室实体屏蔽设计参数

机房名称	方位	实体屏蔽设计参数	备注
后装机室	北侧屏蔽墙	150cm~300cm 混凝土	与1#加速器室共用
	东侧屏蔽墙	100cm 混凝土	墙外为土层
	南侧屏蔽墙	80cm 混凝土	墙外为土层
	西侧屏蔽墙	迷路内墙：70cm 混凝土 迷路外墙：80cm 混凝土	迷路内墙长5.3m
	屋顶屏蔽墙	80cm 混凝土	上方为2.05m覆土层
	防护门	8mmPb 防护门	铅钢结构电动平移门

注：混凝土密度为2.35t/m³，铅密度为11.34t/m³。



(平面图)

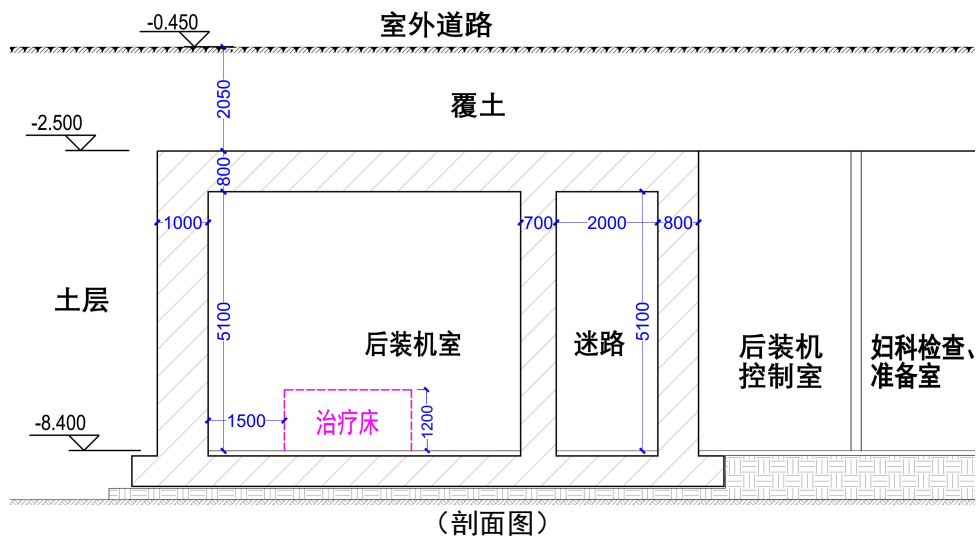


图 10.7 本项目后装机室平面、剖面布局图

(二) 辐射安全与防护措施

(1) 辐射防护：本项目后装机室（含防护门）拟采取实体屏蔽措施，保证后装机室四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员和公众的年有效剂量满足本评价提出的剂量约束值要求；

(2) 分区管理：后装机工作场所实行分区管理：将后装机室内部、储源室内部划为控制区，后装机控制室、防护门外走廊和妇科检查准备室划为监督区，控制区和监督区边界处拟设置分区管理标识。本项目后装机工作场所分区管理示意图见前文图 10.2；

(3) 警示标识：后装机设备外表面、后装机室防护门、控制室门外拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明。后装机室防护门上方拟安装工作状态指示灯，并和后装机的出源状态关联；

(4) 门源联锁：后装机室防护门拟设置门源安全联锁，只有当防护门关闭，设备才能出源；反之，如果照射过程中防护门打开，设备将自动回源。后装机室防护门拟设置防夹人和停电手动开启功能；

(5) 急停按钮：后装机工作场所共设置 7 个紧急停机按钮，其中：控制室操作台设 1 个，室内四侧墙壁设 4 个，迷道内设 1 个，后装机设备表面设 1 个，各急停按钮处应有明显标识和使用说明。急停按钮按下后，设备将立即回源。所有急停按钮只能通过手动复位；

(6) 门控制按钮：后装机控制室内拟设置开、关门按钮，后装机室防护门内侧墙壁上拟设置 1 个紧急开门按钮（后装机室内不能设关门按钮）；

(7) 固定式剂量监测：后装机室拟安装 1 套固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。辐射探头位于后装机室内部，显示面板位于控制室台上方，帮助辐射工作人员判断放射源的出源状态；

(8) 钥匙控制：后装机系统拟采用数字密码或者专用钥匙启动，由专人操作设备；

(9) 监视对讲：后装机工作场所拟设置监控系统和对讲系统。后装机室内至少设置 4 个监控探头，须保证后装机室内无死角监控，后装机防护门外设置 1 个监控探头。监视器设置在各控制室内，工作人员可观察治疗室是否有人员滞留，同时也能够观察患者状况；

(10) 监测设备：本项目放射治疗科配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪，后装机室配备 2 台个人剂量报警仪，放疗科所有辐射工作人员配备个人剂量计。工作人员开展辐射工作时应佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪；

(11) 通风系统：后装机室内拟安装机械通风换气系统，有效换气次数应不低于 4 次/h。采用上进下排方式，其中新风口设置在治疗室吊顶内，排风口设置在墙角靠近地面处，呈对角线布置。通风管道在防护门上方以“Z”形方式 45°向下斜穿屏蔽墙，后装机电缆沟以“U”形方式从地下斜穿迷路外墙；

(12) 安全保卫：按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）要求：后装机室设置视频监控、防盗功能防护门、防闯入报警装置等安防设施；储源室内配备 25mmPb 储源柜，配置双人双锁、防盗门、防闯入报警装置等措施；后装机室、储源室各项安防措施须经公安部门验收合格后，场所方可投入使用；

(13) 后装机设备配有模拟源（假源），采用假源探路、真源治疗的双重驱动系统，假源可自动穿过施源器，检查所有联接点并对可能产生打结或过度弯曲的部位报警，防止因输源通路不畅造成卡源事故；

(14) 后装机设备有完善的安全联锁保护和故障自检功能，当所有安全联锁均满足且设备自检无故障时，后装机才能出源；施源器与后装机设备联锁，施源器未插入机头时不能出源，施源器未锁紧时不能出源；

(15) 后装机室内拟配备应急储源器、长柄镊子等应急设备。设备机头内有应急回源手柄，当自动回源装置或退源电机失灵时，可使用应急回源手柄手动退源；

(16) 配备 UPS 不间断电源。若治疗期间发生停电情况，UPS 应能使放射源退回到安全位置，并留存病人的治疗记录；

(17) 后装机室内拟安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

(18) 新源运输和旧源退运均走后装机室西侧的 1#楼梯。退役 ^{192}Ir 放射源应依据 III 类放射源回收协议由供源厂家负责收回；放射源倒源操作由供源厂家负责，使用专门的程序控制，采取隔室操作，倒源人员不会接触裸源。

本项目后装机室辐射安全及防护措施示意图见图 10.8，后装机安全联锁和警示系统逻辑图见图 10.9，后装机室通风系统布局示意图见图 10.10。

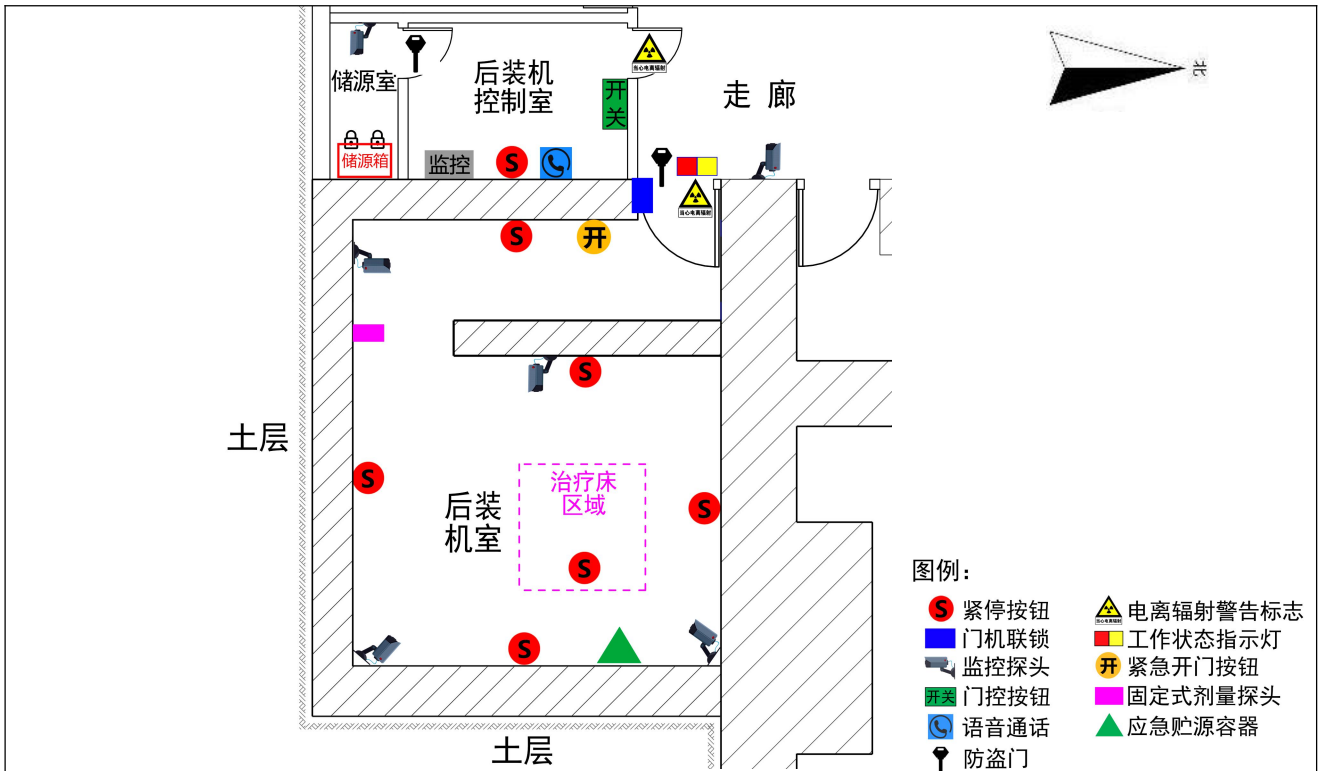


图 10.8 后装机室辐射安全及防护措施示意图

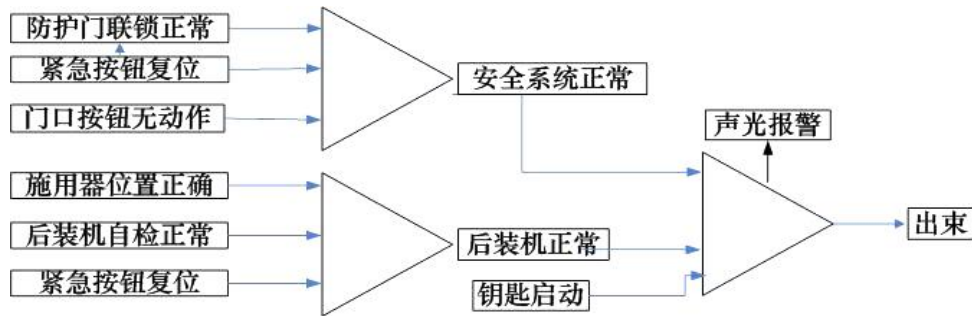


图 10.9 后装机安全联锁和警示系统逻辑图

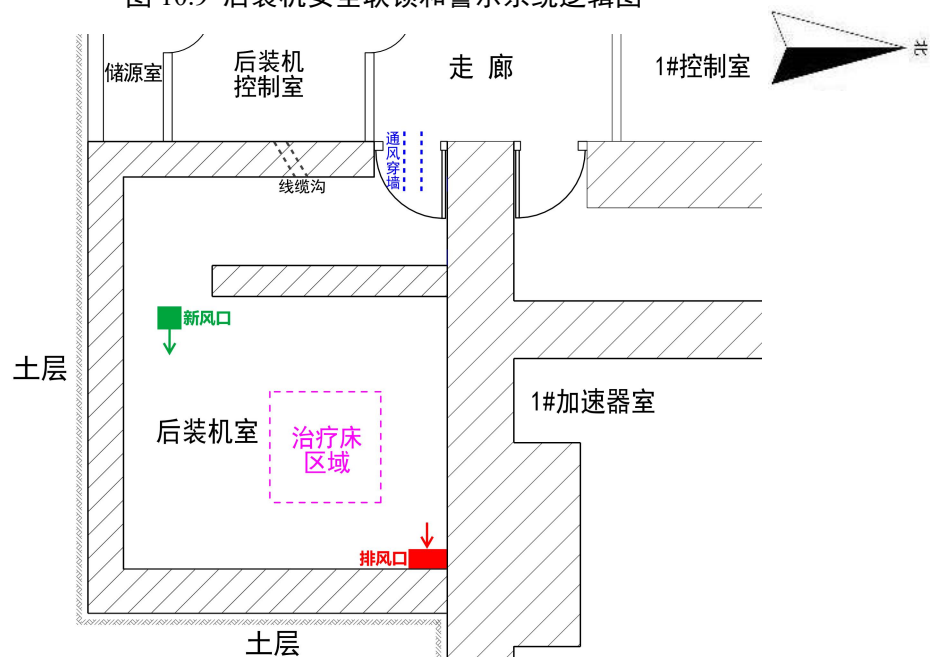


图 10.10 后装机通风系统示意图

（三）工作场所辐射安全与防护设施管理

本项目后装机工作场所拟设置的辐射安全与防护设施与《中国核与辐射安全管理体系 现场监督检查和执法程序》（2020年版）中“近距离 γ 射线治疗装置监督检查技术程序”（NNSA/HQ3-08-JD-IP-029）的对比结果分别见表 10.4。

表 10.4 后装机辐射安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	备注
1*	A 装置安全 设施	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙控制或密码启动
2*		施源器与源联锁	√	√
3*		管道遇堵自动回源	√	√
4		仿真源模拟运行	√	假源探路
5*		主机外表电离辐射标志	√	标准电离辐射警告标志
6*		控制台显示放射源位置	√	√
7*		控制台紧急停止照射按钮	√	控制台设 1 个
8*		停电或意外中断照射时自动回源装置	√	UPS 电源驱动
9*		手动回源措施	√	应急回源手柄
10*	B 场所安全 设施	治疗室迷道出入口处固定式辐射水平监测仪	√	配备 1 台
11*		治疗室有迷道	√	√
12*		治疗室门与出源联锁	√	门源联锁
13*		应急开关（放射源返回储源器）	√	治疗室内设 6 个
14*		治疗室电视监控对讲装置	√	治疗室内 4 个摄像头
15*		入口处电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
16*		入口处源工作状态显示	√	防护门上方设置
17*		停电或意外中断照射时声光报警	√	√
18*		通风设施	√	独立通风系统
19		火灾报警仪	√	√
20*		个人剂量计	√	每人 1 支
21*		工作人员进入治疗室携带个人剂量报警仪	√	配备 2 台
22*		治疗室内配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备	√	应急储源器、长柄镊子
23*		治疗室内张贴应急处置流程	√	√
24	C 放射源贮 存	后装源暂存场所	√	储源室和保险柜
25		双人双“锁”	√	√
26		防盗门窗	√	防护门

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的均划 /。不能详尽的在备注中说明。

10.3 DSA 工作场所安全措施

(一) 场所布局与实体屏蔽措施

本项目拟建 2 间 DSA 室均位于急危重症楼七层南部区域，其中：DSA1 室东侧为洁净走廊，南侧为设备间 1，西侧为污物通道，北侧为控制室 1 和污物通道，楼下为病房、护士站、治疗室等，楼上为屋面（太阳能板）。DSA2 室东侧为楼外，南侧为设备间 2，西侧为洁净走廊，北侧为控制室 2 和污物通道，楼下为病房，楼上为屋面（太阳能板）。本项目 DSA 工作场所平面布局图见图 10.11。本项目 2 间 DSA 手术室尺寸面积与 GBZ130-2020 的对照情况见表 10.5。

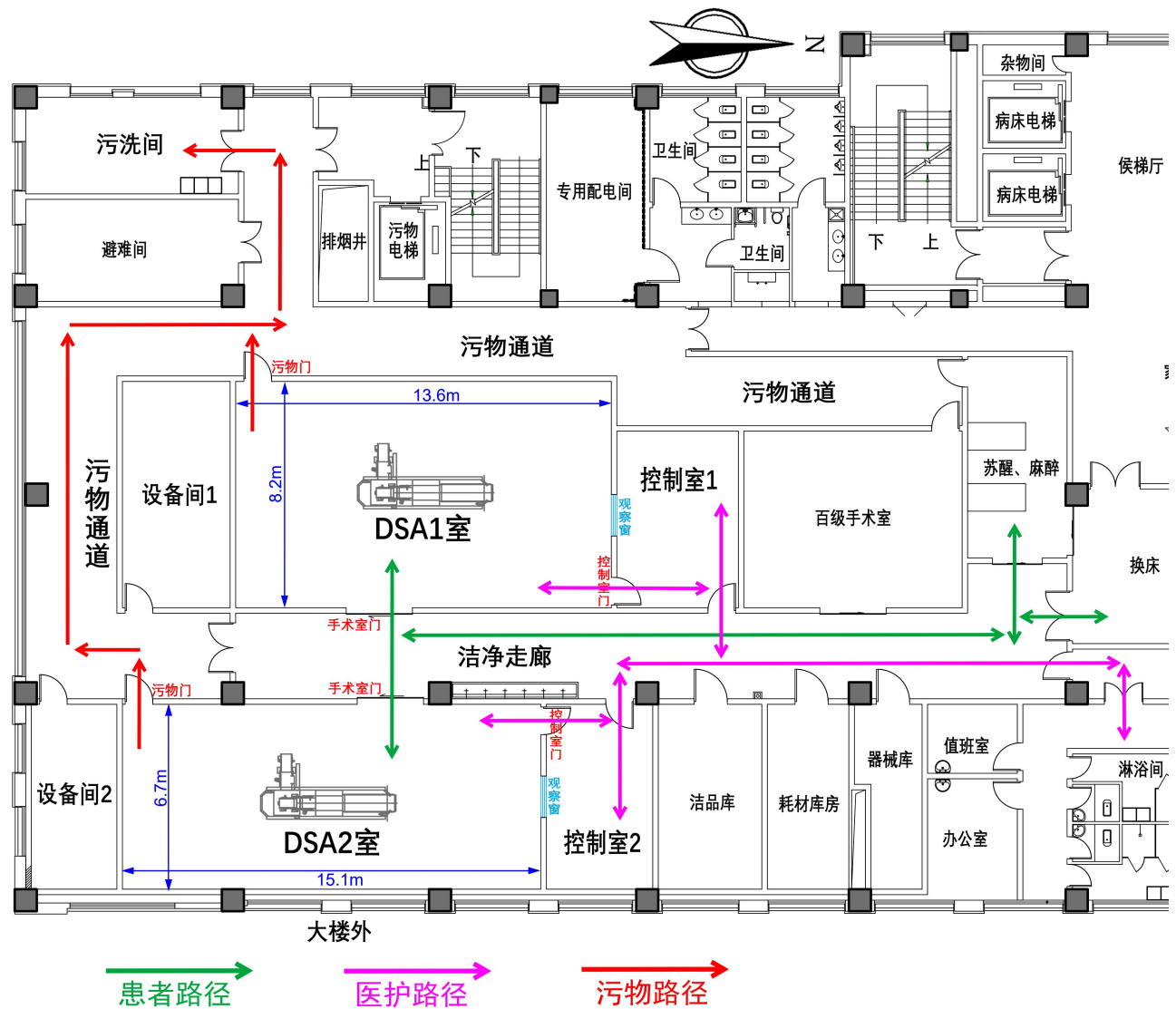


图 10.11 本项目 DSA 工作场所平面布局示意图

表 10.5 本项目拟建的 2 间 DSA 室尺寸

场所	手术室面积	手术室尺寸	GBZ130-2020 要求 最小有效使用面积	GBZ130-2020 要求 最小单边长度	符合情况
DSA1 室	44.3m ²	13.6×8.2m	30m ²	4.5m	符合
DSA2 室	53.9m ²	15.1×6.7m	30m ²	4.5m	符合

(2) 本项目拟建 2 间 DSA 室四周墙体均为 200mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡水泥，机房防护门、医用防护门和污物门均 3mmPb 防护门，各观察窗均为 3mm 铅当量铅玻璃，各 DSA 室屋顶均为 120mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡水泥，地板均为 300mm 混凝土楼板。本项目 2 间 DSA 室实体屏蔽防护情况详见表 10.6。

表 10.6 本项目 DSA 室实体屏蔽防护情况

场所名称	屏蔽方位	屏蔽材料及屏蔽厚度	等效铅当量厚度
DSA1 室 DSA2 室	四周墙体	200mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥	5.0mmPb
	各手术室防护门	3mmPb 防护门	3.0mmPb
	各控制室防护门	3mmPb 防护门	3.0mmPb
	各污物防护门	3mmPb 防护门	3.0mmPb
	各观察窗	3mm 铅当量铅玻璃	3.0mmPb
	顶棚	120mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡水泥	3.7mmPb
	地板	300mm 混凝土	4.2mmPb

注：(1) 铅密度为 11.34 t/m³，混凝土密度为 2.35t/m³，实心砖密度为 2.35t/m³，硫酸钡水泥密度不低于 3.2t/m³；

(2) 根据 GBZ130-2020 附录 C 公式 C.2 进行混凝土和砖等效铅当量换算（管电压取 90kV）。200mm 实心砖墙等效铅当量厚度为 2mmPb，120mm 混凝土等效铅当量厚度为 1.7mmPb，300mm 混凝土等效铅当量厚度为 4.2mmPb；

(3) 参考《辐射防护手册-第三分册》P62 表 3.3 的相关数据，对于 100kV 的 X 射线，17mm 钡水泥等效铅当量为 2mmPb，24mm 钡水泥等效铅当量为 3mmPb。因此，30mm 硫酸钡水泥的等效铅当量取 3mmPb，20mm 硫酸钡水泥的等效铅当量取 2mmPb。

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对 DSA 设备机房的防护要求：有用线束方向铅当量厚度不小于 2mm，非有用线束方向铅当量厚度不小于 2mm。由表 10.3 可知，本项目 2 间 DSA 室的屏蔽防护铅当量厚度满足标准要求。

（二）辐射安全与防护措施

(1) 本项目各 DSA 室拟采取实体屏蔽措施，应保证各 DSA 室周边墙（含楼上和楼下）、防护门和观察窗外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h，工作人员和公众的年有效剂量满足本报告提出的剂量约束值要求；

(2) DSA 工作场所拟实行分区管理，将各 DSA 室内部划为控制区，将各控制室、各设备间、洁净走廊、污物通道等毗邻区域划为监督区。本项目 DSA 工作场所分区管理示意图见图 10.12；

(3) 各 DSA 手术室防护门拟为搭接式电动平移防护门，拟设置内外脚触式开关，具备自动延迟关门和防挤压功能；控制室防护门、污物防护拟设置为平开防护门，并设有自动闭门装置；所有防护门外均设置明显的电离辐射警示标识和中文警示说明；

(4) 各 DSA 手术室防护门、控制室防护门和污物门上方拟设置工作状态指示灯，并显示“射线有害，灯亮勿入”字样。拟设置门灯联动装置，各工作状态指示灯拟与控制室防护门联动，当控制室防护门关闭时，各指示灯应能自动亮起；

(5) 各 DSA 室和控制室之间拟设置观察窗，并安装语音通话装置；

(6) 各 DSA 室拟安装机械通风换气系统，以防止臭氧和氮氧化物等有害气体积累；

(7) 各 DSA 设备拟采取局部屏蔽防护措施，DSA 设备应设有床侧防护帘、铅防护翻板、铅玻璃吊屏等防护设施，用于阻挡散、漏射线对辐射工作人员的照射；

(8) 各 DSA 室拟配备符合要求的个人防护用品：拟为工作人员配备 0.5mm 铅当量的铅橡胶防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅眼镜，并配备介入防护手套。拟为受检者配备 0.5mm 铅当量的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子；

(9) 本项目所有介入工作人员均配备单个人剂量计，个人剂量计应佩带在铅围裙外锁骨对应的领口位置；本项目介入手术室拟配备的 10 名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核（考核类别为“医用 X 射线诊断与介入放射学”）；

(10) 除存在临床不可接受的情况外，在摄影模式工况下，工作人员应尽量不在机房内停留。在保证影像清晰、不影响介入治疗的前提下，优化工作参数，尽可能减少医护人员和受检者的受照剂量。

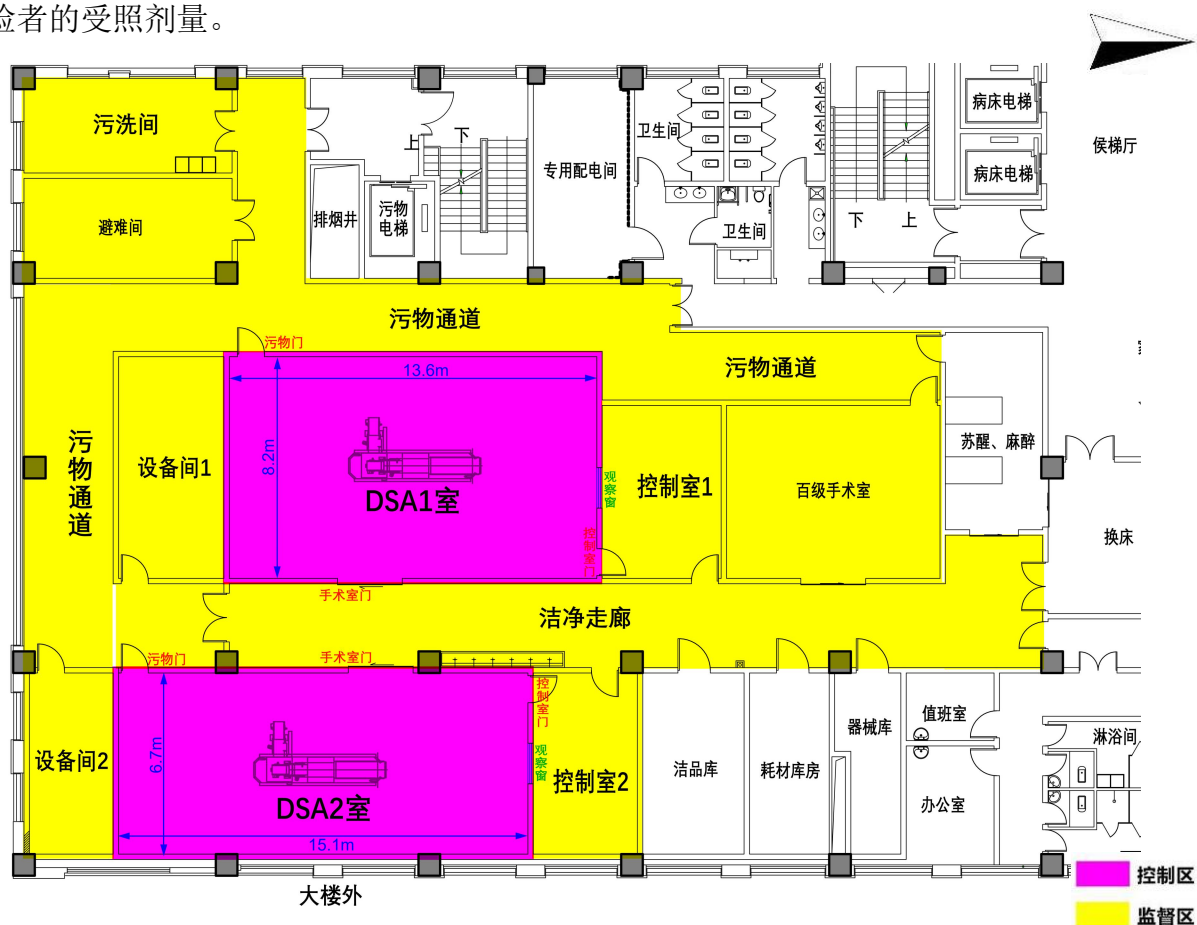


图 10.12 本项目 DSA 工作场所分区管理示意图

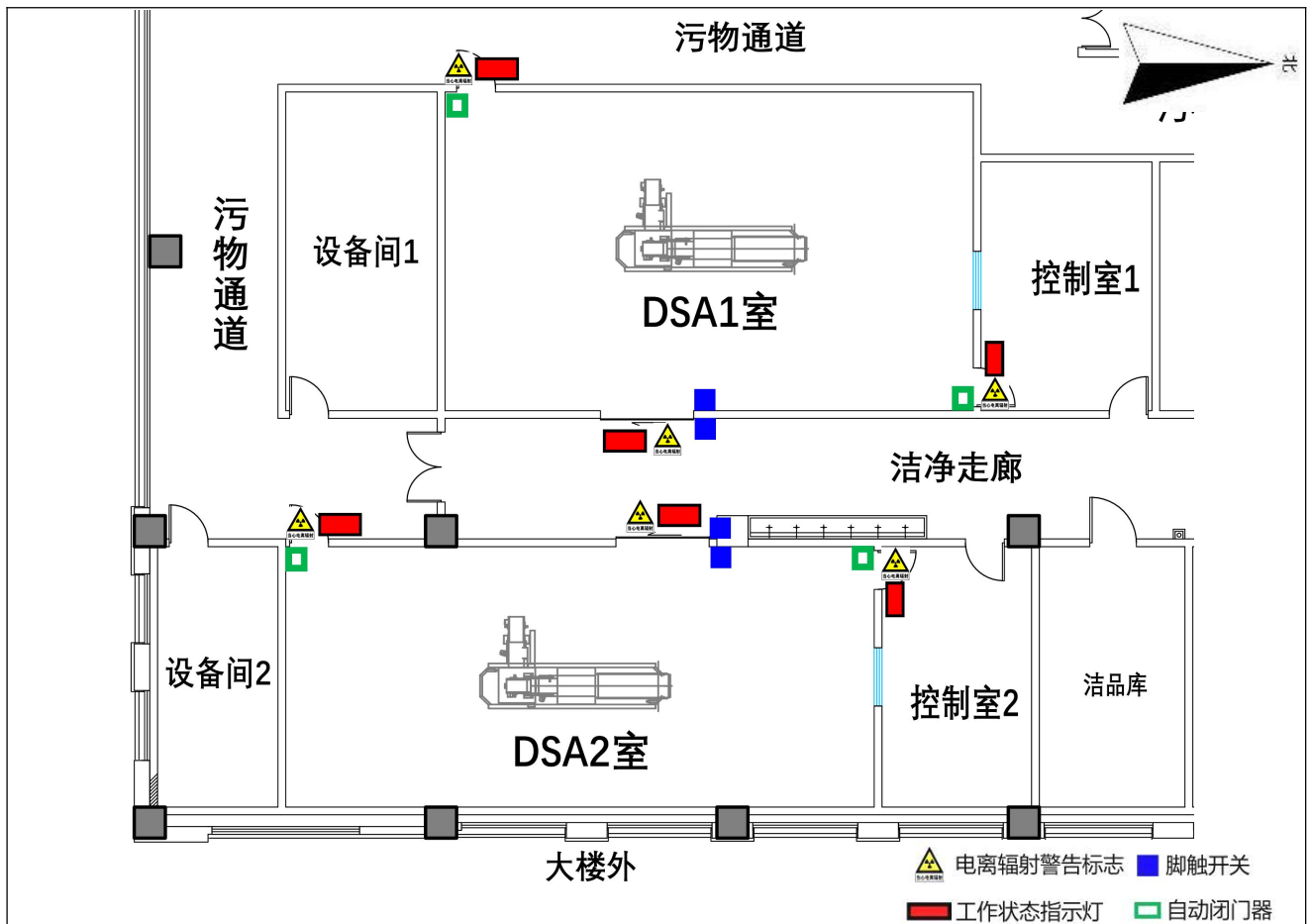


图 10.13 本项目各 DSA 室辐射安全措施示意图

(三) 工作场所辐射安全与防护设施管理

本项目各 DSA 工作场所拟设置的辐射安全防护设施与《中国核与辐射安全管理体系 现场监督检查和执法程序》（2020 年版）中“数字减影血管造影 X 射线装置（DSA）监督检查技术程序”（NNSA/HQ3-08-JD-IP-035）的对比结果见表 10.7。

表 10.7 血管造影 X 射线装置辐射安全防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	备注
1*	A 场所设施	单独机房	√	各 DSA 室为独立房间
2*		操作部位局部屏蔽防护措施	√	床侧防护帘、铅翻板、铅吊屏
3*		医护人员的个人防护	√	拟配备 8 套
4*		患者防护	√	拟配备 2 套
5*		机房门窗防护	√	各门窗均为 3mmPb
6*		闭门装置	√	自动延时闭门、脚触开关
7*		入口处电离辐射警告标志	√	各防护门外设置
8*		入口处机器工作状态显示	√	各防护门上方设置
9*	B	监测仪器	√	利用医院现有监测仪器
10*	其他	个人剂量计	√	每人 1 支

注：加*的项目是重点项，合格的划√，不合格划×，不适用或无法验证划 /。不能详尽的在备注中说明。

10.4 核医学科场所安全措施

10.4.1 工作场所选址及平面布局

本项目核医学科工作场所位于急危重症楼负一层北部区域。核医学科场所东侧、西侧和北侧均为土层，南侧为候诊区、患者通道和电梯厅。核医学工作场所顶棚上方为隔震层（高约 2m）和覆土层（厚度约 1.7m），其中隔震层之上为急危重症楼一层区域，覆土层之上为室外道路。核医学科楼下无建筑。

本项目核医学科工作场所总建筑面积约 1250m²（含衰变池区域），其中显像诊断区域和核素治疗区域分开布置，北侧为显像诊断区域，南侧为核素治疗区域。显像诊断区域内主要辐射场所包括：分装注射室、淋洗标记室（质控室）、1#储源室、1#固废间、运动平板室、肺通气室、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观兼抢救室、清洁间 1 和患者走廊等；核素治疗区域内主要辐射场所包括：控制室、分装室、2#储源室、2#固废间、服碘室、1#碘病房、2#碘病房、抢救室、污染被服间、清洁间 2 和患者走廊。

此外，核医学科的甲功室和敷贴治疗室设置在场所东部区域，衰变池系统设置在核医学科场所的北侧区域。本项目核医学科工作场所平面布局示意图见图 10.14。

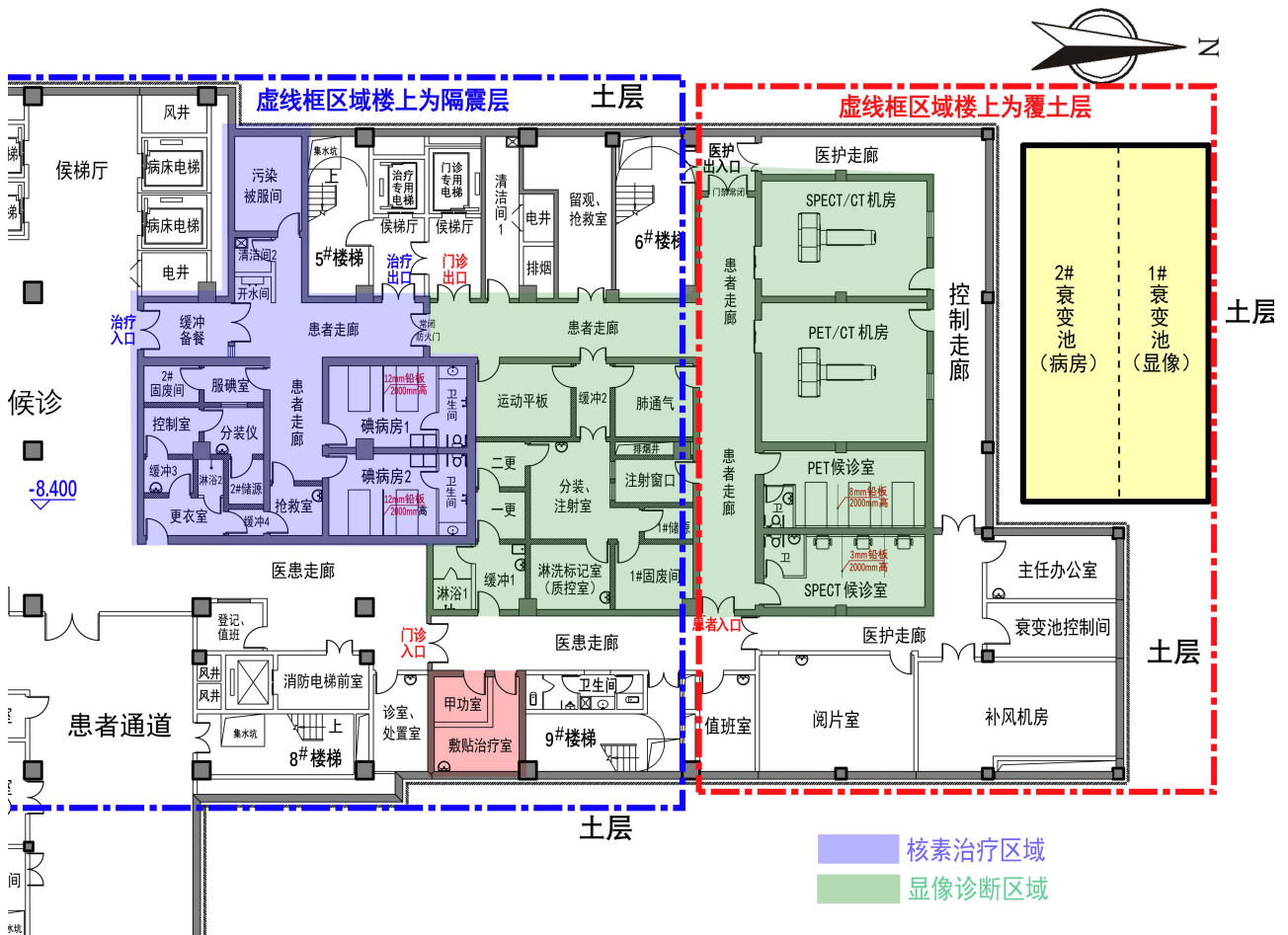


图 10.14 本项目核医学科工作场所平面布局示意图

10.4.2 工作场所分区管理

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 4.3 款，《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.1.4 款，以及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中分区管理的相关要求，结合本项目场所布局，按照使用功能将核医学科工作场所划分为控制区和监督区。

控制区：显像检查区域包括分装注射室、淋洗标记室（质控室）、注射窗口、1#储源室、1#固废间、运动平板室、肺通气室、一更、二更、缓冲间 1、淋浴间 1、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观兼抢救室、清洁间和患者走廊等；核素治疗区域包括服碘室、分装仪室、控制室、2#储源室、2#固废间、1#碘病房、2#碘病房、抢救室、污染被服间、清洁间和患者走廊等。衰变池内部均划为控制区。

监督区：主要包括诊室处置室、医患走廊、值班室、阅片室、补风机房、医护走廊、衰变池控制间、主任办公室、控制走廊，以及缓冲间 2、缓冲间 3、淋浴间 2、更衣室、缓冲备餐间、核医学患者出口候梯厅等区域

本项目核医学科分区管理示意图见图 10.15。

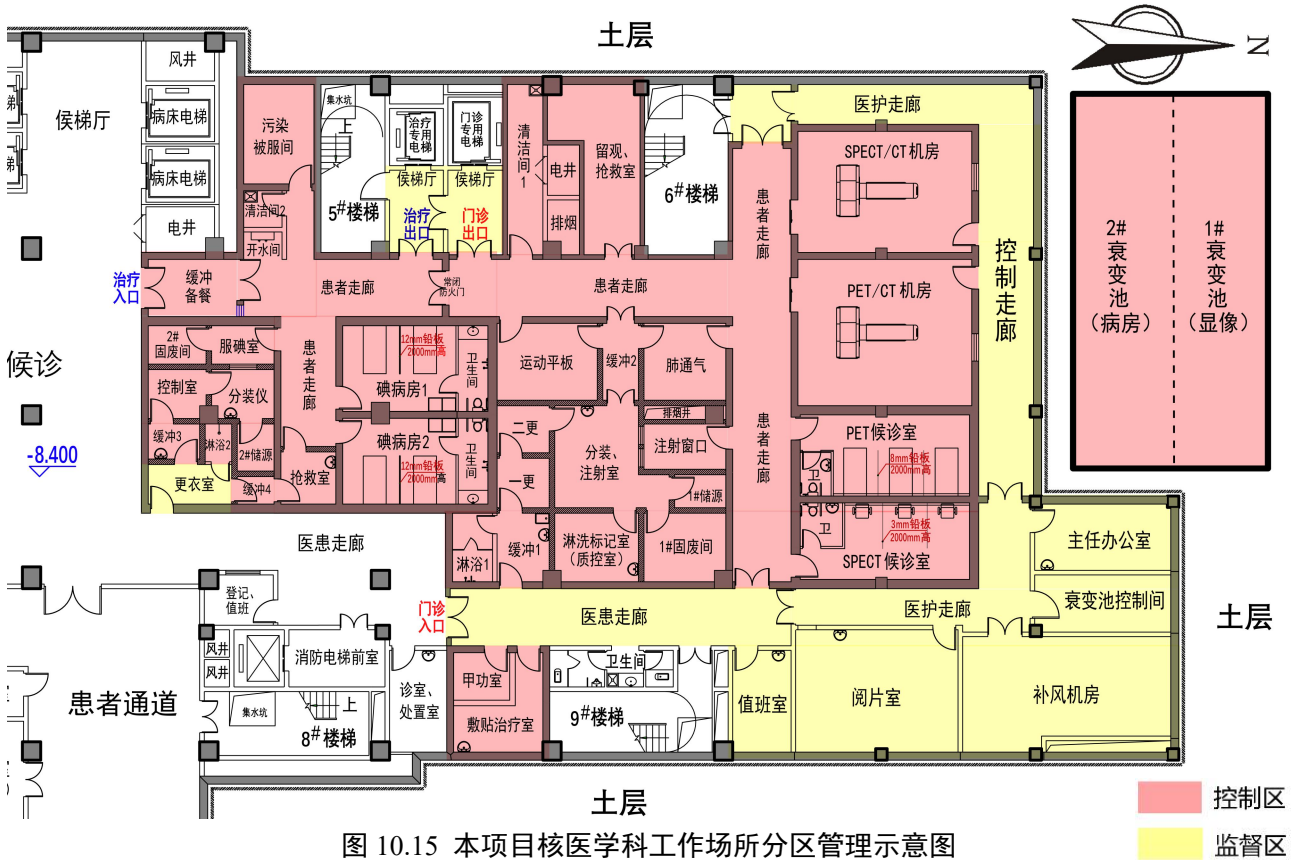


图 10.15 本项目核医学科工作场所分区管理示意图

10.4.3 场所人流、物流路径及管理措施

(一) 人流、物流路径的设计

本项目核医学科拟设置相对独立的工作人员、患者和放射性药物通道，采取空间隔离和时间隔离的方式来控制交叉污染和辐射影响。本项目核医学科人流、物流路径的设计如下：

（1）显像检查患者路径

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查患者：在候诊区候诊→从门诊入口进入医患走廊→由患者走廊入口门（设单向门禁）进入患者走廊→进入注射窗口接受药物注射（或进入运动平板室接受注射、肺通气室进行药物吸入）→进入对应的候诊室候诊→进入 PET/CT 机房或 SPECT/CT 机房进行扫描显像→在留观室留观约 10min→从门诊出口（设单向门禁）离开核医学科→乘坐门诊专用电梯到一层（该电梯无法上二楼）→离开急危重症楼。

甲功测定、敷贴治疗患者：在候诊区候诊→从门诊入口进入医患走廊→进入甲功室或敷贴治疗室实施诊疗→结束后仍从门诊入口处就近离开。

（2）核素治疗患者路径

甲癌患者：在候诊区候诊→由核素治疗入口（设门禁）进入缓冲备餐间→由患者走廊入口门（设单向门禁）进入患者走廊→进入服碘室服药→进入指定病房住院 3~5d→达到出院要求后，穿过患者走廊之间的防护门（设有门禁）进入 SPECT/CT 机房进行全身扫描→从西侧治疗出口（设单向门禁）离开核医学科→乘坐治疗专用电梯到一层（该电梯无法上二楼）→离开急危重症楼。甲癌患者出院前的全身扫描安排在当日显像检查工作全部结束后进行，与显像检查患者实现时间隔离。

甲亢患者：在候诊区候诊→由核素治疗入口（设门禁）进入缓冲备餐间→由患者走廊入口门（设单向门禁）进入患者走廊→进入服碘室服药→从西侧治疗出口（设单向门禁）离开核医学科→乘坐治疗专用电梯到一层（该电梯无法上二楼）→离开急危重症楼。

（3）医护人员路径

显像检查区域：医护人员进入医患走廊→通过缓冲间 1 进入更衣室→更衣换鞋后进入分装注射室、淋洗标记室操作药物→进入分装注射室注射药物（或进入肺通气室指导药物吸入）→操作完成后进行污染监测→经过更衣室和缓冲间离开；技师进入控制走廊→进入 PET/CT 或 SPECT/CT 机房→对患者进行摆位→退回控制走廊操作设备→离开控制走廊；

核素治疗区域：医护人员进入更衣室→通过缓冲间 2 进入控制室→进入 2#储源室取出源罐放入分装仪→进入控制室隔壁操控分装仪→进入分装室将源罐放回 2#储源室→操作完成后进行污染监测→经缓冲间 2 和更衣室离开；查房护士进入更衣室→通过缓冲间 3 进入患者走廊→完成查房后进行污染监测→经过缓冲间 3 和更衣室离开。

（4）外购药品路径

供药单位将药品运送到急危重症楼西北角入口→经 6#专用楼梯到达负一层→进入患者

走廊→进入分装注射室、淋洗标记室或 2#储源库→在分装注射室、淋洗标记室、2#储源室的摄像头下“点对点”交接→核医学工作人员记录药品规格、批次、数量和收货时间→ ^{18}F 药物暂存于 ^{18}F 分装柜内，钼锝发生器贮存于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱内， ^{131}I 源罐贮存在 2#储源室内；

此外，甲测 ^{131}I 胶囊和 ^{90}Sr 敷贴源运输期间辐射影响极小，就近从 9#楼梯进入医患走廊，送入甲功室和敷贴治疗室内， ^{131}I 胶囊暂存在甲功室保险箱内， ^{90}Sr 敷贴器暂存在敷贴治疗室保险箱内。所有外购的放射性物品均由供货厂家派专人于核医学科开诊前送达，与核医学科患者实现时间隔离。

（二）场所安全管理措施

（1）警示措施：核医学科控制区入口门外、控制区内各功能间门外以及其他重要位置处，应设置标准的电离辐射警告标志和中文警示说明。工作场所控制区出入口处应设置控制区标识（红色标识或地线），监督区出入口处应设置监督区标识（黄色标识或地线）；

（2）门禁系统：患者走廊入口门设置单向门禁（单向进），从里面出来需刷卡，患者走廊出口门设有单向门禁（单向出），从外面进入需刷卡，以实现患者单向通过目的。放射性药物操作区出入口设置门禁（进出均须刷卡），严禁无关人员进入；工作场所其他重要出入口处也应设置门禁装置，防止人员随意进出；

（3）视频监控和对讲措施：

显像诊断区域：在 1#储源室、1#固废间、分装注射室、淋洗标记室、PET 候诊室、SPECT 候诊室、留观兼抢救室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房内，以及患者走廊两端安装视频监控装置，方便观察和管理给药患者的活动。患者出入口门外的监督区内也应设有视频监控装置；在 PET 候诊室、SPECT 候诊室、留观兼抢救室以及 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、患者走廊内等区域设置语音对讲和应急呼叫系统；

核素治疗区域：在 2#储源室、2#固废间、服碘室、分装仪室、控制室、碘病房 1、碘病房 2、抢救室以及患者走廊两端均安装视频监控装置，方便观察和管理住院患者的活动。患者入口门外、工作人员出入口门外的监督区内也应设有视频监控装置；在服碘室、各碘病房、抢救室、患者走廊内等区域设置语音对讲和应急呼叫系统。

（4）路线引导：核医学科地面应设置不同颜色的导流路线和文字标识，告知患者按指定颜色路线移动，方便患者快速找到注射室、候诊室、扫描机房、服碘室、碘病房等位置；

（5）外购药物：外购的放射性物品均从 6#专用楼梯进入核医学科，并在核医学开诊前无患者的时间段送达，与就诊患者实现时间隔离。

本项目核医学科人流、物流路径示意图见图 10.16，工作场所警示标识、门禁系统和监控装置等安全措施示意图见图 10.17。

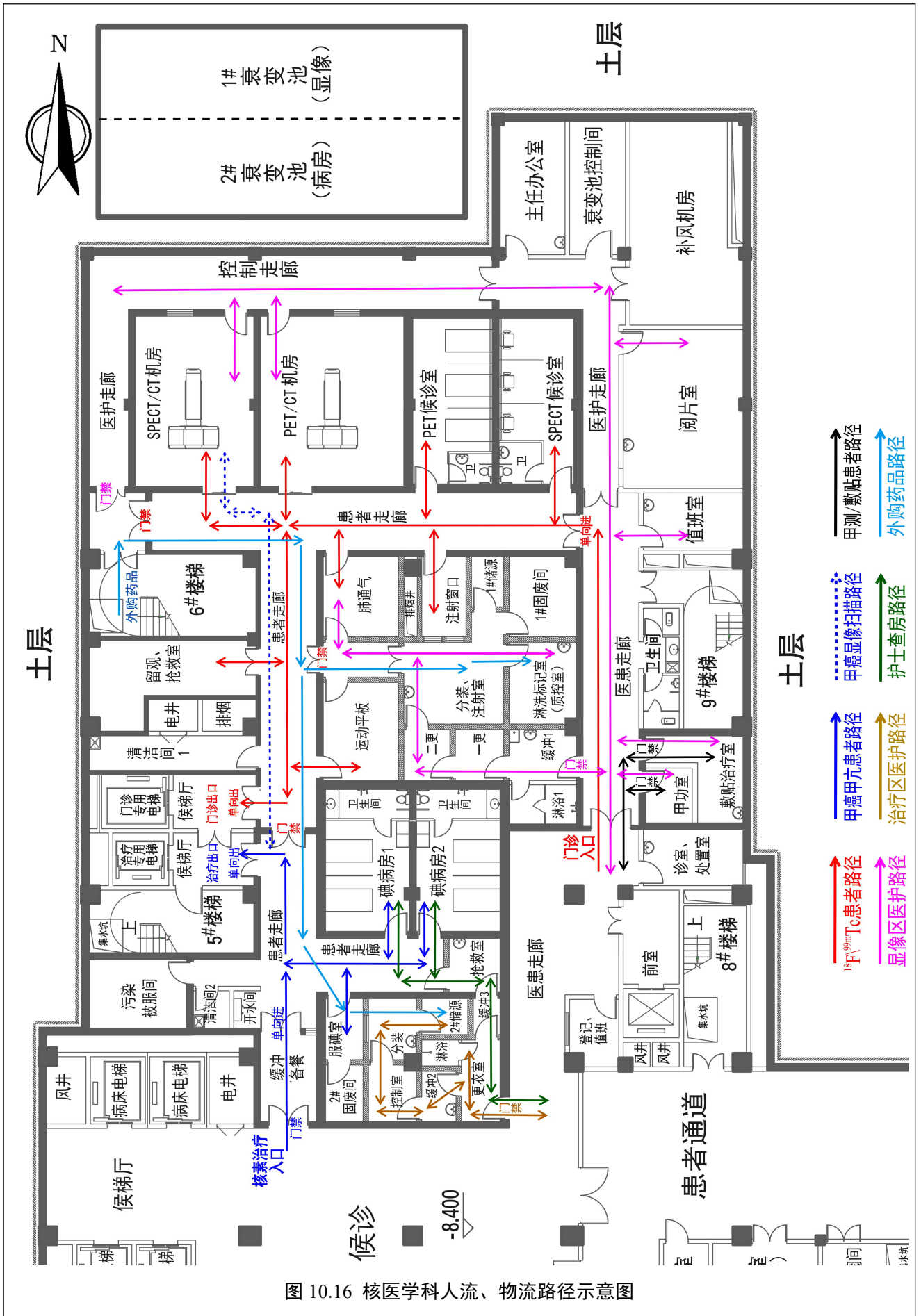
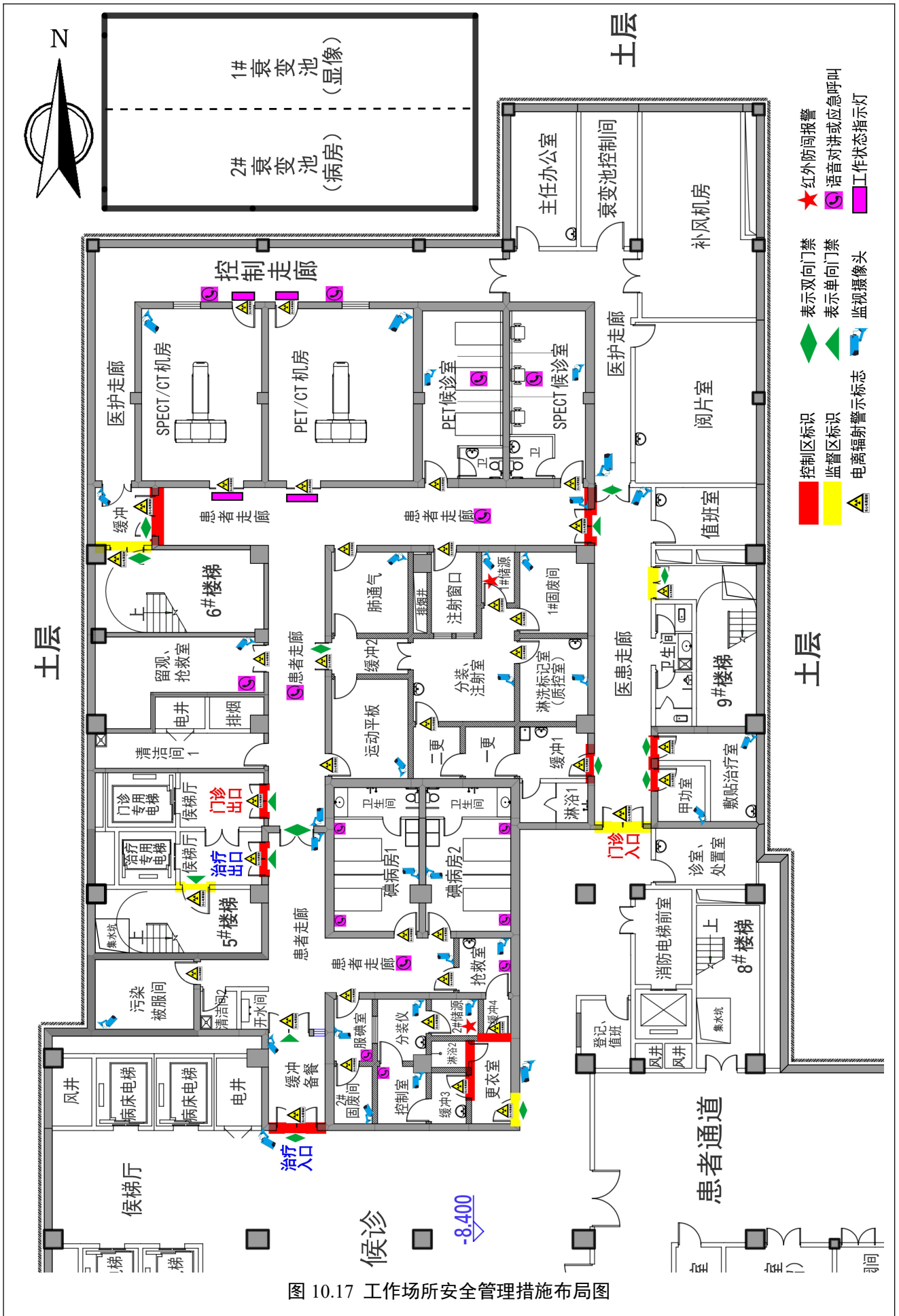


图 10.16 核医学科人流、物流路径示意图



急危重症楼外道路

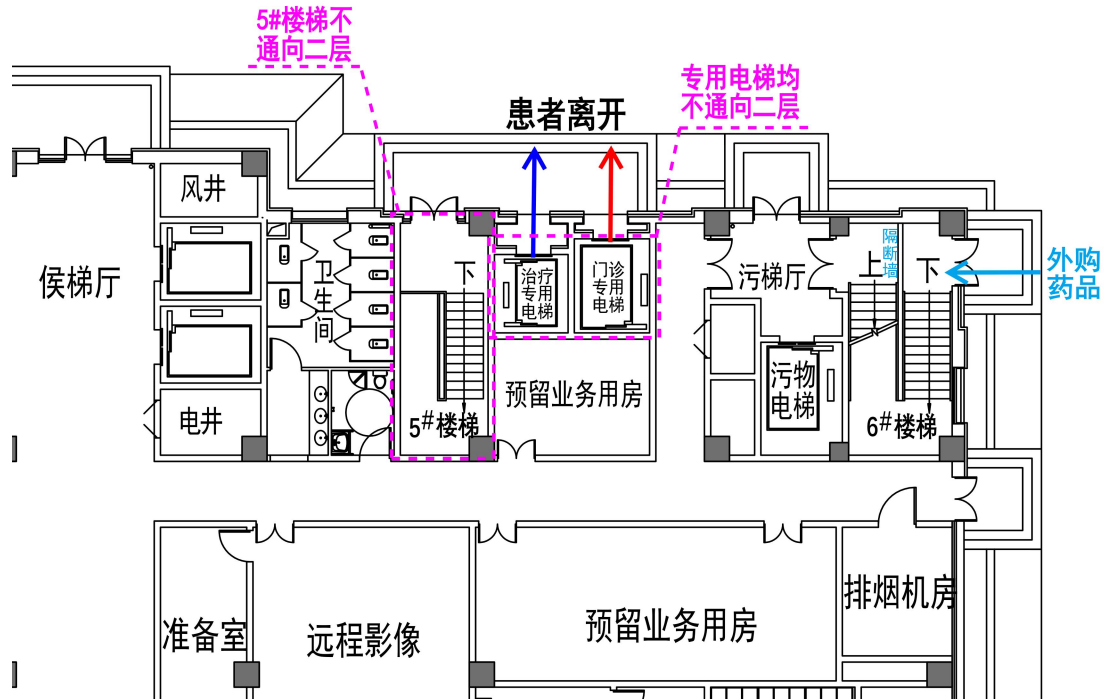


图 10.16 续 核医学患者地面出口位置附加说明（一层）

10.4.4 工作场所选址和布局合理性分析

（一）场所选址的合理性分析

本项目拟建核医学科场所位于急危重症楼负一层，工作场所南侧为患者候诊区，北侧、东侧、西侧均为土层。场所楼上为隔震层和覆土层，隔震层上方主要为更衣室、远程影像室，覆土层上方为室外道路。本项目核医学科选址与标准要求的对照分析情况见表 10.8。

表 10.8 核医学科选址与标准要求的对照分析表

《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)	《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	本项目选址情况
5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。 5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。 5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目核医学科工作场所位于急危重症楼最底层的最北端，选址独立，设有必要的物理隔离和单独的人员、物流通道；工作场所毗邻区域无产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与周围非放场所有明确的分界隔离。工作场所的药物操作区、注射后候诊区、扫描机房、核素病房的布置相对集中和独立。场所设有单独的患者出入口，出口处没有门诊大厅、收费处等人群稠密区域。 核医学排风口拟设置在急危重症楼建筑最顶端，排风口朝向天空，急危重症楼周围 50m 范围内无更高建筑物。

因此，本项目核医学科选址满足《核医学放射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求，场所选址合理。

（二）场所布局的合理性分析

本项目核医学科工作场所的显像诊断区域和核素治疗区域分开布置，北侧为显像诊断区域，南侧为核素治疗区域。工作场所拟采取分区管理标识、电离辐射警示标识、门禁系统等安全措施。本项目核医学科平面布局和分区与标准要求的对照分析情况见表 10.9。

表 10.9 核医学科场所布局和分区与标准要求的对照分析表

《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)	《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)	本项目场所情况
<p>5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。</p>	<p>4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，进行相应的管理。 4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。 4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。 4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。</p>	<p>控制区主要包括分装注射室、淋洗标记室（质控室）、注射窗口、1#储源室、1#固废间、运动平板室、肺通气室、一更、二更、缓冲间 1、淋浴间 1、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观兼抢救室、清洁间 1 和患者走廊等；核素治疗区域包括服碘室、分装仪室、控制室、2#储源室、2#固废间、1#碘病房、2#碘病房、抢救室、污染被服间、清洁间 2 和患者走廊和衰变池等区域；监督区主要包括诊室处置室、医患走廊、值班室、阅片室、补风机房、医护走廊、衰变池控制间、主任办公室、控制走廊，以及缓冲间 2、缓冲间 3、淋浴间 2、更衣室、缓冲备餐间、核医学患者出口候梯厅等区域。控制区入口均设置电离辐射警告标志和控制区标识，监督区入口处均设置监督区标识。</p>
<p>5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则： a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小； b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免干扰影像质量； c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；</p>	<p>5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。</p>	<p>本项目工作场所控制区出入口和其他重要出入口处均设置了门禁装置，可有效控制无关人员随意出入，限制给药后患者随意流动；放射性药物操作区出入口处均设置了缓冲间、更衣室和淋浴间，为工作人员提供更换衣物、防护用品、淋浴和表面污染监测设备；注射后候诊室、碘病房内均设有给药患者专用卫生间。</p>

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。		
5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间	本项目工作场所显像诊断区域和核素治疗区域分开布置；控制区相对集中，放射性药物操作区域布置均相对集中，注射窗口靠近患者候诊室，服碘室靠近碘病房；射性药物有固定的贮存位置，其中 ¹⁸ F 药物暂存于 ¹⁸ F 分装柜内，钼铯发生器贮存于 ^{99m} Tc 手套箱内， ¹³¹ I 药物源罐贮存在 2#储源室内；放射性废物分开收集， ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 废物暂存在 1#固废间内， ¹³¹ I 废物暂存在 2#固废物间内。
5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。	5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	采用空间隔离和时间隔离的方法，设置了相对独立的医护人员、患者、放射性药物、放射性废物路径，满足给药后患者路径与给药前患者路径不交叉，给药后患者路径与工作人员路径不交叉；放射性药物和放射性废物的运输均安排在工作开始前或结束后进行，与人员路径实现了时间隔离；放射性药物和放射性废物运送通道均较为短捷。便于清污工作的开展。
《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）		本项目场所功能设置
5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下： a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房； b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房； c) 诊断和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房； d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；		诊断工作区域主要包括：分装注射室、淋洗标记室（质控室）、1#储源室、1#固废间、运动平板室、肺通气室、PET 候诊室及卫生间、SPECT 候诊室及卫生间、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观兼抢救室、清洁间 1 等功能用房； 治疗工作区域主要包括：服碘室、分装室、2#储源室、2#固废间、1#碘病房及卫生间、2#碘病房及卫生间、控制室、抢救室、污染被服间、清洁间 2 等功能用房。 此外，由于甲功测定和敷贴治疗的辐射污染很小，因此甲功室和敷贴治疗室独立设置在门诊入口附近，可减少人员不必要照射和污染。
<p>本项目核医学场所“两区”划分明确，各功能区域相对独立，功能设置齐全，人流、物流路径设置合理，放射性药物和放射性废物运送通道较为短捷，可有效防止交叉污染，有助</p>		

于工作的开展，场所布局满足《核医学放射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）提出的要求。因此，总体认为本项目工作场所布局合理。

10.4.5 工作场所实体屏蔽设计

本项目使用的各种放射性核素衰变过程会产生不同能量的射线，核医学工作场所采用混凝土、硫酸钡砖、铅板和铅玻璃等作为主要屏蔽材料，其中混凝土密度不低于 2.35t/m³，硫酸钡砖密度不低于 3.2t/m³，铅板密度不低于 11.34t/m³，观察窗均采用铅玻璃观察窗。本项目核医学科工作场所的实体屏蔽设计见表 10.10。

表 10.10 本项目核医学科工作场所实体屏蔽设计情况

房间名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	屏蔽体外区域	房间尺寸
PET/CT 机房	东墙	400mm 混凝土	PET 候诊室	东西长 6.4m 南北长 7.6m 使用面积 48.6m ²
	南墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	西墙	300mm 混凝土	SPECT/CT 机房	
	北墙	300mm 混凝土	控制走廊	
	机房防护门	8mm 铅当量	患者走廊	
	医用防护门	8mm 铅当量	控制走廊	
	观察窗	8mm 铅当量	控制走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	覆土层(土层上方为道路)	
SPECT/CT 机房	东墙	300mm 混凝土	PET/CT 机房	东西长 5.3m 南北长 7.6m 使用面积 40.2m ²
	南墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	西墙	300mm 混凝土	医护走廊	
	北墙	300mm 混凝土	控制走廊	
	机房防护门	4mm 铅当量	患者走廊	
	医用防护门	4mm 铅当量	控制走廊	
	观察窗	4mm 铅当量	控制走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	覆土层(土层上方为道路)	
PET 候诊室 (含卫生间)	东墙	300mm 混凝土	SPECT 候诊室	东西长 3.4m 南北长 7.4m 使用面积 25.2m ²
	南墙	400mm 混凝土	患者走廊	
	西墙	400mm 混凝土	PET/CT 机房	
	北墙	400mm 混凝土	控制走廊	
	防护门	8mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	覆土层(土层上方为道路)	
SPECT 候诊室 (含卫生间)	东墙	400mm 混凝土	医护走廊	东西长 3.4m 南北长 7.4m 使用面积 25.2m ²
	南墙	400mm 混凝土	患者走廊	
	西墙	300mm 混凝土	PET 候诊室	
	北墙	400mm 混凝土	医护走廊	
	防护门	4mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	覆土层(土层上方为道路)	
分装注射室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	淋洗标记室	东西长 4.4m 南北长 3.6m
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	更衣室	

	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	运动平板室、缓冲间 2	面积 15.8m ²
	北墙	240mm 硫酸钡砖墙	注射窗口	
	南侧防护门	8mm 铅当量	更衣室	
	西侧防护门	8mm 铅当量	缓冲间 2	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层淋浴间）	
淋洗标记室 (质控室)	东墙	300mm 混凝土	医患走廊	东西长 3.6m 南北长 3.0m 面积 10.8m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	缓冲间 1	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	分装注射室	
	北墙	240mm 硫酸钡砖墙	1#固废间	
	西侧防护门	4mm 铅当量	分装注射室	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层淋浴间）	
注射窗口	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	1#储源室	东西长 2.0m 南北长 3.5m 面积 7.0m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	分装注射室	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	肺通气室	
	北墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	¹⁸ F 注射窗	40mm 铅当量	注射窗口	
	^{99m} Tc 注射窗	20mm 铅当量	注射窗口	
	北侧防护门	8mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层医护门厅）	
运动平板室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	更衣室、分装注射室	东西长 3.3m 南北长 4.4m 面积 14.5m ²
	南墙	400mm 混凝土	碘病房 1	
	西墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	北墙	240mm 硫酸钡砖墙	缓冲间 2	
	西侧防护门	4mm 铅当量	患者走廊	
	北侧防护门	3mm 铅当量	缓冲间 2	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层业务用房）	
肺通气室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	注射窗口	东西长 3.3m 南北长 3.6m 面积 11.8m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	缓冲间 2	
	西墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	北墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	南侧防护门	4mm 铅当量	缓冲间 2	
	北侧防护门	4mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	排烟机房	
1#固废间	东墙	300mm 混凝土	医患走廊	东西长 3.0m 南北长 3.5m 面积 10.5m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	淋洗标记室	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	1#储源室	
	北墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	西侧防护门	3mm 铅当量	分装注射室	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层医护门厅）	
1#储源室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	1#固废间	东西长 1.4m 南北长 2.2m 面积 3.1m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	分装注射室	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	注射窗口	

	北墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	南侧防护门	3mm 铅当量	分装注射室	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层医护门厅）	
留观兼抢救室	东墙	200mm 混凝土	患者走廊	东西长 7.4m 南北长 4.0m 面积 21.7m ²
	南墙	200mm 混凝土	清洁间 1	
	西墙	350mm 混凝土	土层	
	北墙	200mm 混凝土	6#楼梯	
	防护门	8mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层污梯厅）	
患者走廊 (诊断区域)	患者入口门	8mm 铅当量	医患走廊	南北向长 15m 东西向长 19m 宽度 2.5m
	西侧防护门	8mm 铅当量	医护走廊	
	患者出口门	8mm 铅当量	候梯厅	
	顶棚	300mm 混凝土	隔震层（一层走廊）	
碘病房 1	东墙	300mm 混凝土	碘病房 2	东西长 3.7m 南北长 6.3m 面积 23.3m ²
	南墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	西墙	400mm 混凝土	患者走廊	
	北墙	400mm 混凝土	运动平板室	
	防护门(含铅窗)	12mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层(一层远程影像室)	
碘病房 2	东墙	400mm 混凝土	普通走廊	东西长 3.7m 南北长 6.3m 面积 23.3m ²
	南墙	300mm 混凝土	抢救室	
	西墙	300mm 混凝土	碘病房 1	
	北墙	400mm 混凝土	更衣室	
	防护门(含铅窗)	12mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层(一层远程影像室)	
抢救室	东墙	400mm 混凝土	普通走廊	东西长 2.3m 南北长 2.4m 面积 5.5m ²
	南墙	300mm 混凝土	2#储源室	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	患者走廊	
	北墙	300mm 混凝土	碘病房 2	
	西侧防护门	10mm 铅当量	患者走廊	
	南侧防护门	10mm 铅当量	缓冲间 2	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层(一层远程影像室)	
服碘室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	分装仪室	东西长 1.7m 南北长 2.7m 面积 4.6m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	2#固废间	
	西墙	400mm 混凝土	缓冲备餐间	
	北墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	服碘窗口	10mm 铅当量	分装仪室	
	北侧防护门	10mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层(一层远程影像室)	
2#固废间	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	控制室	东西长 1.7m 南北长 2.5m 面积 4.2m ²
	南墙	300mm 混凝土	候诊区	
	西墙	400mm 混凝土	缓冲备餐间	

	北墙	240mm 硫酸钡砖墙	服碘室	
	北侧防护门	6mm 铅当量	服碘室	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层准备室）	
分装仪室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	2#储源室、淋浴间 2	东西长 2.1m 南北长 2.7m 面积 5.7m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	控制室	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	服碘室	
	北墙	300mm 混凝土	患者走廊	
	南侧防护门	10mm 铅当量	控制室	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层远程影像室）	
分装仪控制室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	缓冲间 3	东西长 2.1m 南北长 2.5m 面积 5.2m ²
	南墙	300mm 混凝土	候诊区	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	2#固废间	
	北墙	240mm 硫酸钡砖墙	分装仪室	
	东侧防护门	10mm 铅当量	缓冲间 3	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层准备室）	
储源室	东墙	240mm 硫酸钡砖墙	缓冲间 4	东西长 2.0m 南北长 1.6m 面积 3.2m ²
	南墙	240mm 硫酸钡砖墙	淋浴间 2	
	西墙	240mm 硫酸钡砖墙	分装仪室	
	北墙	300mm 混凝土	患者走廊、抢救室	
	防护门	6mm 铅当量	分装仪室	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层远程影像室）	
污染被服间	东墙	300mm 混凝土	清洁间	东西长 4.3m 南北长 3.1m 面积 13.3m ²
	南墙	300mm 混凝土	电梯井	
	西墙	350mm 混凝土	土层	
	北墙	300mm 混凝土	5#楼梯	
	防护门	6mm 铅当量	患者走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层卫生间）	
患者走廊 （治疗区域）	患者入口门	10mm 铅当量	缓冲备餐	东西长 8.2m 南北长 8.8m 宽度 2.5m
	患者出口门	10mm 铅当量	候梯厅	
	配餐传递窗	20mm 铅当量	缓冲备餐	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层远程影像室）	
其他出入口 （治疗区域）	缓冲备餐入口	10mm 铅当量	候诊区	/
	更衣室入口门	10mm 铅当量	普通走廊	
甲功室	东墙	240mm 混凝土	敷贴治疗室	东西长 2.1m 南北长 2.4m 面积 5.0m ²
	南墙	300mm 混凝土	诊室处置室	
	西墙	300mm 混凝土	医患走廊	
	北墙	240mm 混凝土	敷贴治疗室	
	防护门	3mm 铅当量	医患走廊	
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层药房）	
敷贴治疗室	东墙	350mm 混凝土	土层	东西长 2.0m 南北长 3.9m 面积 7.8m ²
	南墙	300mm 混凝土	诊室处置室	
	西墙	240mm 混凝土	甲功室	

	北墙	300mm 混凝土	9#楼梯
	防护门	3mm 铅当量	医患走廊
	屋顶	300mm 混凝土	隔震层（一层值班室）

注：1、混凝土密度 2.35t/m³，硫酸钡砖密度大于 3.2t/m³，铅密度 11.34t/m³；
2、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房，SPECT/CT 机房上方为覆土层，厚度约为 1.7m；
3、核医学科上方隔震层的顶板为 180mm 混凝土，净高约 1.9m，隔震层顶板上方为急危重症楼一层。

10.4.6 核医学工作场所的分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.2 条的要求，应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G，本项目工作场所各核素的加权活度核算结果见表 10.11。

表 10.11 本项目工作场所各核素最大加权活度核算结果

场所	核素	操作性质	日操作最大活度 (Bq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	总加权活度 (MBq)	场所分类
分装注射室、淋洗标记室、运动平板室、肺通气室、1#废物间、1#储源室（含患者走廊）	¹⁸ F	分装	1.11×10 ¹⁰	1	1	1.21×10 ⁵	I
	¹⁸ F	给药	5.55×10 ⁹	1	1		
	^{99m} Tc	分装	3.70×10 ¹⁰	1	1		
	^{99m} Tc	给药(注射)	2.32×10 ¹⁰	1	1		
	^{99m} Tc	给药(吸入)	3.70×10 ⁹	1	1		
	⁹⁹ Mo	贮存	3.70×10 ¹⁰	100	100		
	¹⁸ F	废物处理	5.55×10 ⁹	1	10		
	^{99m} Tc	废物处理	2.69×10 ¹⁰	1	10		
PET/CT 机房	¹⁸ F	诊断	5.55×10 ⁹	1	10	5.55×10 ²	II
SPECT/CT 机房	^{99m} Tc	诊断	2.69×10 ¹⁰	1	10	1.87×10 ⁴	II
	¹³¹ I	甲癌碘扫	400MBq*4	100	10		
PET 候诊室	¹⁸ F	候诊	5.55×10 ⁹	1	10	5.55×10 ²	II
SPECT 候诊室	^{99m} Tc	候诊	2.69×10 ¹⁰	1	10	2.69×10 ³	II
留观兼抢救室	¹⁸ F	患者留观	5.55×10 ⁹	1	10	3.25×10 ²	II
	^{99m} Tc	患者留观	2.69×10 ¹⁰	1	10		
分装仪室和 2#储源室	¹³¹ I	分装(甲癌)	2.96×10 ¹⁰	100	1	3.36×10 ⁶	I
	¹³¹ I	分装(甲亢)	3.70×10 ⁹	100	1		
	¹³¹ I	贮存	3.33×10 ¹⁰	100	100		
服碘室	¹³¹ I	给药(甲癌)	2.96×10 ¹⁰	100	1	3.33×10 ⁶	I
	¹³¹ I	给药(甲亢)	3.70×10 ⁹	100	1		
甲癌病房(2 间)	¹³¹ I	病床	1.48×10 ¹⁰	100	1	1.48×10 ⁶	I
抢救室	¹³¹ I	病床	7.40×10 ⁹	100	1	7.40×10 ⁵	I
2#废物间	¹³¹ I	废物处理	3.33×10 ¹⁰	100	10	3.33×10 ⁵	I
甲功室	¹³¹ I	给药	1.85×10 ⁶	100	1	1.85	III

根据表 10.11 的核算结果，本项目核医学科的 PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观兼抢救室可按 II 类场所管理，甲功室按 III 类场所管理，其他区域均按照 I 类场所进行管理。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.2.2 条的要求，本项目核医学科工作场所室内表面及结构的防护要求见表 10.12。

表 10.12 本项目核医学科工作场所室内表面及结构的防护要求

种类	分类		
	I	II	III
本项目场所	分装注射室、淋洗标记室、运动平板室、肺通气室、1#废物间、1#储源室、患者走廊。核素治疗的所有区域。	PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观兼抢救室	甲功室
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆 ^b
^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。 ^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制			

10.4.7 核医学科辐射安全与防护措施

（一）显像诊断区域辐射防护措施

（1）**表面污染控制措施：**药物操作区域、候诊室等控制区地面采用无缝隙、防渗，且易清洗去污的材料覆盖（如 PVC 地板革），墙面 1.5m 高度采用易清洗去污的防渗墙裙（如铝塑板或釉面瓷砖），并确保地面与墙壁接缝处无缝隙；放射性药物分装柜、手套箱、注射窗等工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料；所有放射性药物操作区域的洗手盆计划采用非接触感应式水龙头；为放射性药物操作人员配备防护服、乳胶手套，分装注射室器械柜内拟配备足量的去污用品和试剂；

（2）外照射防护措施：

① 场所屏蔽措施：核医学科控制区边界、药物操作区域、候诊室和扫描机房采取混凝土墙体、硫酸钡砖墙、铅防护门和铅玻璃等实体屏蔽措施，确保核医学科工作场所控制区边界外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。

② 药物操作防护：分装注射室内配备 1 个 ¹⁸F 分装柜（50mmPb），用于 ¹⁸F 药物的暂存

和分装操作；在淋洗标记室内配备 1 个 ^{99m}Tc 手套箱（20mmPb），用于钼铈发生器的贮存和 ^{99m}Tc 药物的淋洗、标记分装操作；配备 1 个 ^{18}F 注射器转运铅盒（25mmPb）和 1 个 ^{99m}Tc 转运防护罐（10mmPb），用于注射器的转运和短时存放；

③ 药物注射防护：分装注射室拟安装 2 个具有防护功能的注射窗和 1 个可移动的铅防护注射车（运动平板患者注射时使用），减少注射期间工作人员受照剂量，PET 注射窗防护厚度 40mmPb，SPECT 注射窗防护厚度 20mmPb，注射车防护厚度不低于 5mmPb；配备 2 个钨合金注射防护套，防护厚度不低于 5mmPb 和 2mmPb；

④ 铅防护废物桶：显像诊断区域计划配备 10 个铅废物桶用于固体放射性废物的收集，其中：分装注射室内配备 1 个 F-18 铅废物桶（20mmPb、容积 10L）和 1 个 Tc-99m 铅废物桶（5mmPb、容积 20L）；淋洗标记室内配备 1 个 Tc-99m 铅废物桶（5mmPb、容积 20L）；运动平板室、肺通气室、PET 候诊室、SPECT 候诊室、抢救室兼留观室内各配备 1 个 5mmPb 的铅废物桶（容积均为 20L）；1#固废间内配备 2 个 10mmPb 大废物桶（容积均为 40L），两桶交替使用；所有铅废物桶应内衬不易破损的塑料袋，废物桶外表面应张贴电离辐射警示标志。

⑤ 个人防护用品：共配备 9 套 0.5mmPb 个人防护用品，其中分装注射室配 3 套，核素治疗区更衣室配 3 套，PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房各配 2 套。

⑥ 候诊室患者防护：PET 候诊室座位之间设置 2 张 8mmPb 隔断板（尺寸 2m*2m），SPECT 候诊室座位之间设置 2 张 4mmPb 隔断板（尺寸 2m*2m），用于减少患者之间的相互照射。

⑦ 为 ^{68}Ge 校准源配备铅防护罐（不低于 20mmPb），校准源罐采取双人双锁管理措施。

（3）内照射的防护：放射性药物的操作在分装柜和手套箱内进行，一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置；分装柜和手套箱通风口处设有高效过滤器，肺通气室内配备 1 套集气罩，分装柜、手套箱和肺通气集气罩共用 1 套独立的排风系统，排风管道引至急危重症楼楼顶排放（排风口高度 35m），楼顶排风口处设有活性炭过滤装置；在分装注射室、淋洗标记室、运动平板室、肺通气室、1#废物间、1#储源室、注射窗口、PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房等其它场所均设置排风口，排风管道内安装止回阀。显像诊断区域排风通过 1 条独立排风管道引至急危重症楼楼顶排放（高度大于 30m），楼顶排风口处设有活性炭过滤装置。

（4）放射性废水的收集：显像诊断区域的分装注射室、淋洗标记室、缓冲间 1、淋浴间 1、清洁间 1、甲功室、敷贴治疗室洗手池废水和洗污废水，患者候诊室卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入的 1#衰变池；放射性废水管道均位于核医学科区域的地

下（地下无建筑），对周围的辐射影响较小；1#衰变池前端设有2个降解池轮流使用，单个降解池有效容积12.8m³；设有3个衰变槽轮流使用，单池有效容积为10.8m³，总容积为32.4m³；设有1个应急槽用于暂存应急排放废水，应急槽有效容积10.8m³。

(5)辐射监测：显像诊断区域新增配备1台表面污染监测仪和1台便携式辐射剂量率仪，用于工作场所表面污染和剂量率水平监测。辐射工作人员在进行放射性药物操作前，应穿戴防护服和乳胶手套，离开控制区前应进行体表和操作台表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，须立即采取去污措施；本项目显像诊断区域的表面污染日常监测于每日工作结束后进行，辐射剂量率水平自行监测频次不少于1次/半年，自行监测数据应记录存档；

(6) 安全保卫措施：1#储源室应安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等，落实放射源和放射性药品的三级安全防范措施，储源室须经公安机关验收后方可投入使用；工作场所应设置火灾自动报警装置、应急逃生出口指示和足量的灭火器材；

(7) 药品订购、运输、交接措施：必须根据实际预约量按需订购放射性药品。送药车辆进入医院后抵达急危重症楼的西北角，送药人员从6#楼梯下到负一层核医学科北侧入口，将药品送入分装注射室和淋洗标记室。送药时间安排在早上7点之前医院人较少的时间，以减少对周围人员的影响。核医学科设专门人员负责在分装注射室、淋洗标记室的摄像头下“点对点”接收放射性货包，核对核素名称、活度、数量等信息，登记放射性药品台账；¹⁸F 药物贮存在¹⁸F 分装柜内，钼铈发生器贮存在^{99m}Tc 手套箱内，废旧钼铈发生器在下次送药时由供货厂家回收处理；

(8) 其他措施：在PET/CT机房、SPECT/CT机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯联锁装置，控制室防护门关闭时指示灯应自动亮起；本项目核医学科拟配备的16名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核（考核类别为“核医学”）。为所有工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。

(二) 核素治疗区域辐射防护措施

(1) 表面污染控制措施：分装仪室、服碘室、碘病房、抢救室、2#储源室、2#固废间和患者走廊等控制区地面必须使用无缝隙、防渗漏、耐腐蚀且易清洗去污的材料（如PVC地板革），控制区内墙面应采用清洗去污的材料（如铝塑板或釉面瓷砖），并确保地面与墙壁接缝处无缝隙；分装仪工作台面、服碘室台面应选用表面光滑、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料（如不锈钢）；核素治疗区域内的洗手盆、花洒均采用非接触感应式水龙头；在工作人员出入口更衣室内配备防护服、乳胶手套和口罩，在分装仪室内配备足量的去污用品和试剂；

(2) 外照射防护措施：

① 场所屏蔽措施：碘药物操作区域、碘病房等区域及周边采取混凝土墙体、硫酸钡砖墙、铅防护门和铅玻璃等实体屏蔽措施，确保核医学科工作场所控制区边界外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h；

② 药物分装和服用：医院拟配备全自动核素药物分装仪对甲亢和甲癌患者服用的 ^{131}I 进行分装，分装仪置于分装仪室内，该仪器自带屏蔽，防护厚度不低于 40mmPb。进行 ^{131}I 药物分装前，工作人员穿戴防护用品，然后从 2#储源室内取出 ^{131}I 药液铅罐放入全自动分装仪内，然后退回控制室内，在控制系统上输入 ^{131}I 药物活度、标定时间等参数，设定稀释蒸馏水的体积，系统会自动完成母液稀释处理、定量分配、在线活度测量和体积配比等全部工作，处理好的药液引入设备内预先放置好的一次性杯子中，患者在服碘窗口处自行拿取药杯服用；服药区与分装室之间设置视频监控和对讲装置，工作人员在控制室内通过视频和语音指导患者服药，引导患者将服碘口杯放于指定的废物桶内；

③ 铅防护废物桶：核素治疗区域计划配备 9 个铅废物桶用于固体放射性废物的收集，其中：服碘室和分装仪室内各设 1 个 20mmPb 废物桶（容积 20L）。每个碘病房内设 1 个 10mmPb 废物桶（容积均为 40L），每个病房卫生间内设 1 个 10mmPb 废物桶（容积均为 20L）；抢救室内设 1 个 10mmPb 废物桶（容积 20L）；2#固废间内设 2 个 20mmPb 废物箱（容积均为 200L），两桶交替使用；铅废物桶内衬不易破损的塑料袋，所有铅废物桶外表面均张贴电离辐射警示标志；

④ 住院患者防护：每间碘病房可容纳 2 名患者，患者病床之间设置 10mmPb 隔断板（尺寸 2m*2m），用于减少住院患者之间的相互照射；

⑤ 住院患者使用过的被褥针头病服，应转移至污染被服间内进行存放衰变，存放至少 1 个半衰期（9 天）后再进行清洗。

（3）内照射的防护：在服碘室、分装仪室、控制室、2#固废间、2#储源室、碘病房 1、碘病房 2、抢救室、污染被服间、清洁间等场所均设置排风口，排风口处安装止回阀。核素治疗区域设有独立排风系统，场所废气经汇聚后，通过 1 条独立排风管道引至急危重症楼楼顶排放（排风口高度 35m），楼顶排风口处设有碘过滤装置（过滤效率 99%）；工作人员在进入核素治疗区域前，应穿戴防护服和乳胶手套，佩戴 N95 口罩，减少放射性气溶胶的吸入，限制暴露在污染环境中的时间。一旦核素治疗场所发生放射性污染，应及时去污，并收集污染物，视情况划定临时控制区或采取场所封闭措施，减少放射性碘污染物扩散；

（4）放射性废水的收集：核素治疗区域的分装仪室、缓冲间 3、淋浴间 2、抢救室、清洁间 2 的洗手池废水和洗污废水，碘病房卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入 2#衰变池；放射性废水管道均位于核医学科区域的地下（地下无建筑），对周围的辐

射影响较小；2#衰变池前端设有2个降解池轮流使用，单个降解池有效容积6.4m³；设有3个衰变槽轮流使用，单池有效容积为45.6m³，总容积为136.8m³；设有1个碘应急槽用于暂存应急排放废水，碘应急槽有效容积22.8m³；

(5) 辐射监测：核素治疗区域新增配备1台表面污染监测仪、1台便携式辐射剂量率仪和1台患者离院前剂量率检测仪，分别用于工作场所表面污染、工作场所剂量率水平监测和患者出院前1m处剂量率的测量；工作人员离开控制区前应进行体表和操作台表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，须立即采取去污措施；患者离院前剂量率检测仪放置在患者走廊内，患者离院前应进行剂量率检测，距离患者体表1m处周围剂量当量率低于25μSv/h方可安排出院；本项目核素治疗区域的表面污染监测于每周所有患者均出院后进行，工作场所辐射剂量率水平自行监测频次不少于1次/月，自行监测数据应记录存档；

(6) 安全保卫措施：2#储源室应安装防盗门、闭路监视系统、红外防闯入报警系统等，落实放射源和放射性药品的三级安全防范措施，储源室须经公安机关验收后方可投入使用；工作场所应设置火灾自动报警装置、应急逃生出口指示和足量的灭火器材；

(7) 药品订购、运输、交接措施：必须根据实际预约量按需订购放射性药品。送药车辆进入医院后抵达急危重症楼的西北角，送药人员从6#楼梯下到负一层核医学科北侧入口，将¹³¹I药物源罐送至2#储源室；送药时间安排在早上7点之前医院人较少的时间，以减少对周围人员的影响。核医学科设专门人员负责在2#储源室摄像头下“点对点”接收放射性货包，核对核素名称、活度、数量等信息，登记放射性药品台账；¹³¹I源罐妥善贮存在2#储源室内，源罐在下次送药时由供药厂家负责回收处理；

(8) 核素治疗病区管理措施：甲亢治疗用药量不超过370MBq（10mCi），满足出院要求，甲亢患者服药后无不良反应即离开核医学科；甲癌甲亢患者不能同时服药，且服碘室同一时间仅允许1人服药；服药前进行“三查五对”，严格按照医嘱给药，并告知患者注意事项。甲癌服药患者应视为移动放射源，医护人员与患者之间的距离应尽可能远，并尽量缩短接触时间；要求住院患者多饮水、多排便，安静在病房休息，减少走动；通常情况下，在患者住院24h内，医生和护师通过病房对讲系统查房（或在碘病房观察窗外查看），不进行碘病房的保洁工作；应以相互辐射影响最小的原则合理安排患者住院，即当周仅1名患者时，应安排在碘病房1的北侧床位；当周有2名患者时，应分别安排在碘病房1和碘病房2的北侧床位；当周有3名或4名患者时，应视具体情况合理安排，大剂量（清灶）患者与小剂量（清甲）患者尽量不住同一病房；住院患者出院前应按要求洗澡；

本项目核医学科拟配备的辐射防护设备和用品统计见表10.13。

表 10.13 本项目核医学科拟配备的辐射防护设备和用品统计

区域	设备用品名称	数量	防护厚度及规格	用途	使用位置
显像诊断 区域	¹⁸ F 分装柜	1 个	50mmPb	¹⁸ F 贮存、分装	分装注射室
	翻转式分装铅罐	1 个	40mmPb	¹⁸ F 贮存、分装	
	^{99m} Tc 手套箱	1 个	20mmPb	^{99m} Tc 淋洗标记分装	淋洗标记室
	¹⁸ F 转运铅盒	1 个	25mmPb	¹⁸ F 注射器转运	分装注射室
	^{99m} Tc 转运铅罐	1 个	10mmPb	^{99m} Tc 注射器转运	
	PET 注射窗	1 个	40mmPb	¹⁸ F 注射	
	SPECT 注射窗	1 个	20mmPb	^{99m} Tc 注射	
	移动注射车	1 个	5mmPb	^{99m} Tc 注射	运动平板室
	注射器防护套	1 个	5mmPb 的钨合金	¹⁸ F 注射	分装注射室
		1 个	2mmPb 的钨合金	^{99m} Tc 注射	分装注射室
	铅废物桶	1 个	20mmPb(容积 10L)	¹⁸ F 废物暂存	分装注射室
		2 个	5mmPb(容积 20L)	^{99m} Tc 废物暂存	分装注射室、 淋洗标记室
		5 个	5mmPb(容积 20L)	固废暂存	运动平板、肺通气、 PET 候诊、SPECT 候 诊、留观兼抢救室
		2 个	10mmPb(容积 40L)	固废暂存	1#固废间
	校准源铅罐	1 个	大于 20mmPb	校准源贮存	1#储源室
	铅隔断板	4 个	2 个 8mmPb 2 个 4mmPb	患者防护	PET 候诊、 SPECT 候诊
	个人防护用品	10 套	0.5mmPb	工作人员防护 和患者防护	药物操作区 3 套、 治疗区更衣室 3 套、 扫描各机房 2 套
	防污去污用品	足量	防护服、乳胶手套、 口罩面罩、吸水纸、 棉球、去污试剂	防污染、去污	分装注射室器械柜内
	核素治疗 区域	药物铅罐	1 各	不低于 30mmPb	¹³¹ I 贮存
¹³¹ I 全自动分装仪		1 台	不低于 40mmPb	¹³¹ I 分装	分装仪室
铅废物桶		2 个	20mmPb(容积 10L)	¹³¹ I 废物暂存	服碘室、分装仪室
		2 个	10mmPb(容积 40L)		碘病房 1、2
		2 个	10mmPb(容积 20L)		住院病房卫生间
		1 个	10mmPb(容积 20L)		抢救室
		2 个	20mmPb(200L)		2#固废间
铅隔断板	2 个	10mmPb	住院患者防护	碘病房 1、2	

	防污去污用品	足量	防护服、乳胶手套、 口罩面罩、吸水纸、 棉球、酒精等试剂	防污染、去污	分装仪器器械柜
监测仪器	表面污染监测仪	1 台	/	表面污染检测	显像诊断区域
	表面污染监测仪	1 台	/	表面污染检测	核素治疗区域
	便携式剂量率仪	1 台	/	场所辐射监测	核医学科
	离院剂量率检测仪	1 台	/	患者出院前检测	甲癌患者走廊内

(三) 甲功室、敷贴治疗室防护措施

(1) 辐射防护与安全保卫措施：甲功测定和敷贴治疗均设有专用的独立用室，甲功室防护门和敷贴治疗室防护门均设置门禁装置，防护门外均张贴电离辐射警示标识和中文警示说明，室内均安装监控装置；

甲功室内配备铅保险箱用于贮存 ^{131}I 胶囊，保险箱外表面应标明放射性物品名称，并张贴电离辐射警示标志；保险箱应上锁并采取固定措施，不能随意移动；

敷贴治疗室内配备专用贮源箱用于贮存 ^{90}Sr 敷贴器，贮源箱设有双人双锁管理，采取固定措施，不能随意移动。贮源箱外表面应标有放射性物品名称、活度、电离辐射警示标志和负责人员的联系方式。距 ^{90}Sr 敷贴器贮源箱外表面 5cm 和 100cm 处周围剂量当量率不得超过 10 $\mu\text{Sv/h}$ 和 1 $\mu\text{Sv/h}$ ，建议贮源箱防护厚度为 8mmPb，内层为 1cm 厚的有机玻璃；

(2) 污染控制措施：甲功室防护门和敷贴治疗室内地面、墙面应使用易清洗去污的装修材料；本项目甲功测定使用 ^{131}I 成品胶囊，胶囊具有良好的密封性，每粒胶囊活度仅为 5 μCi （豁免活度水平），且患者在甲功室服药后直接离开核医学科，正常工作期间产生的放射性固废量极少（主要为胶囊包装）且表面污染水平极低，甲功室内拟配备 2 个专用废物桶（脚踏式），用于 ^{131}I 胶囊包装固废的贮存衰变，两桶轮流使用，以 80 天为轮换周期（即 10 倍的 ^{131}I 半衰期）。 ^{131}I 胶囊包装固废贮存满 80 天后，利用监测仪器进行监测，未检出表面污染后，按普通医疗废物处理。正常情况下，甲功测定和敷贴治疗环节不产生放射性废水和放射性废气，对周围环境和公众辐射影响可以忽略；

(3) 辐射监测：本项目甲功室和敷贴治疗室区域配备 1 台 β 污染监测仪器，定期开展 β 表面污染监测；

(4) 其他措施：敷贴治疗期间不能将 ^{90}Sr 敷贴器带出治疗室外，不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用时应避免锐器损坏源窗面，治疗完成后应立即放回贮源箱内贮存；敷贴治疗期间，医务人员应采取个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩、使用远距离操作工具；敷贴治疗室配备橡胶板或橡皮泥用于保护患者病灶周围的正常皮肤。

10.4.8 放射性“三废”的防治措施

(一) 放射性固体废物防治措施

(1) 本项目核医学科放射性固废主要包括：①¹⁸F、^{99m}Tc 药物淋洗、标记、分装、注射环节产生的废弃注射器、针头、空药瓶、吸水纸、去污废物等；②^{99m}Tc 肺通气施药产生的一次性吸气管、咬嘴、过滤器、石墨坩埚和去污废物等；③¹³¹I 核素治疗区域产生的服碘口杯、患者生活垃圾如一次性餐具、纸巾纸杯、药盒等和去污废物；④废旧钼铊发生器、退役放射源（⁶⁸Ge 和 ⁹⁰Sr）、废排风管道滤芯等放射性固废。

(2) **¹⁸F/^{99m}Tc 固废和 ¹³¹I 固废分开收集、暂存和解控：**其中分装注射室、淋洗标记室和运动平板室内铅桶主要用于废弃注射器、针头、吸水纸、去污废物的收集；肺通气室铅桶用于肺通气施药的一次性吸气管、咬嘴、过滤器、石墨坩埚、去污废物的收集；PET 候诊室、SPECT 候诊室、留观兼抢救室铅桶主要用于患者候诊、留观期间的废物收集；服碘室和分装仪室铅桶主要用于服碘口杯和去污废物的收集，碘病房和卫生间铅桶主要用于住院患者生活垃圾的收集；所有铅桶均内衬专用的塑料袋收纳废物，废针头应装入针帽内再丢进铅桶。

放射性固废的收集均安排在工作结束后或开始前、住院患者离院后核医学科无病人的时间段进行，工作人员将固废按核素种类分开收集、打包密封（单包废物重量不应超过 20kg），并标注所含核素种类和收集日期后，转移至 1#固废间和 2#固废间的铅桶内暂存；1#固废间和 2#固废间内各设有 2 个大铅桶交替使用（第一桶存满后启用第二桶），各固废间内不得堆放与放射性固废暂存无关的任何其他物品。

(3) **固废暂存与解控：**含 ¹⁸F/^{99m}Tc 核素的放射性固废在 1#固废间铅桶内暂存不少于 30 天，含 ¹³¹I 核素的放射性固废在 2#固废间铅箱内暂存至少 180 天后，使用监测仪器进行检测，废物袋表面辐射剂量率处于环境本底水平且β表面污染水平小于 0.8Bq/cm² 时，可进行清洁解控，按普通医疗废物处理；放射性固废的清洁解控均安排在每日工作结束后进行。医院应建立放射性固废暂存和解控管理台账，详细记录解控废物所含的核素名称、重量、废物产生起始日期、处置人员、处置日期和监测结果等信息；

(4) **其他放射性固废：**核医学科排风系统的所有活性炭滤芯、碘过滤器和高效过滤器计划每年更换 1 次，显像诊断区域的活性炭滤芯、过滤器密封包装后暂存在 1#固废间内，核素治疗区域的碘过滤器密封包装后暂存在 2#固废间内。上述滤材应当按照放射性固废的要求进行暂存和清洁解控。此外，废旧钼铊发生器在下次送药时由供货厂家负责回收处理，退役 ⁶⁸Ge 校准源和退役 ⁹⁰Sr 敷贴器由供源厂家负责回收或送交有放射性废物贮存资质单位贮存。

本项目放射性废物的转移路径如图 10.6 所示。

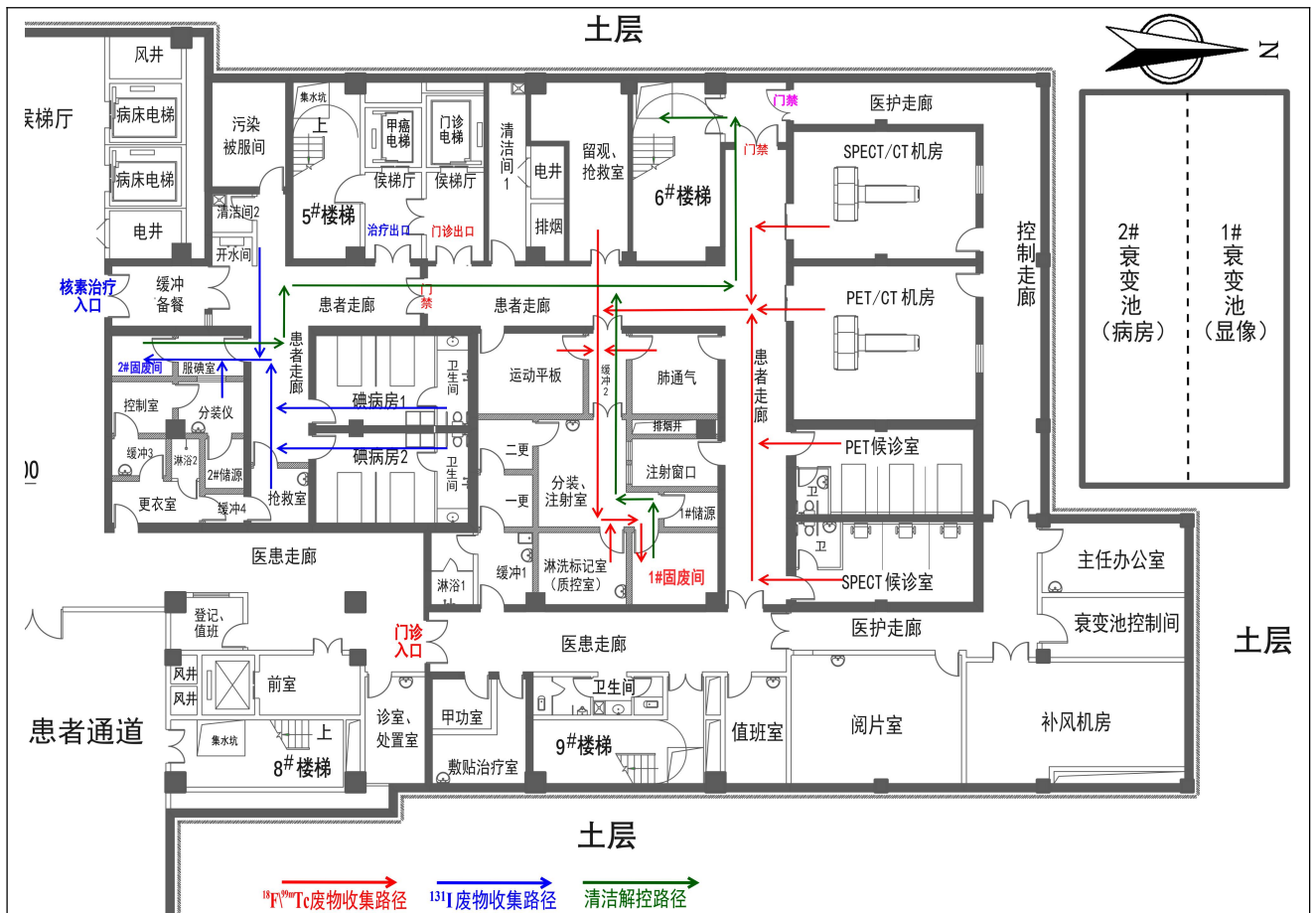


图 10.18 放射性固体废物收集和解控路径示意图

(二) 放射性废水防治措施

本项目放射性废水主要来自药物操作区的洗手池废水、洗污废水、患者卫生间冲厕废水，显像诊断场所废水和核素治疗场所废水分开收集和暂存。显像诊断区域废水经独立排水管道排入 1#衰变池，核素治疗区域废水经独立排水管道排入 2#衰变池。

(1) **衰变池容量：**本项目核医学科废水衰变系统包含 2 套独立的衰变池，1#衰变池用于收集显像诊断区域放射性废水（含短半衰期核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ），2#衰变池用于收集核素治疗区域放射性废水（含 ^{131}I 核素）。1#衰变池为三槽并联衰变池，单槽有效容积均为 10.8m^3 ，总容积为 32.4m^3 ，另设有 1 个应急槽，有效容积为 10.8m^3 ，前端设有 2 个降解池，有效容积均为 12.8m^3 ；2#衰变池为三槽并联衰变池，单槽有效容积均为 45.6m^3 ，总容积为 136.8m^3 ，另设有 1 个应急槽，有效容积为 22.8m^3 ，前端设有 2 个降解池，有效容积均为 6.4m^3 。

(2) **衰变池结构与设计：**本项目 2 套衰变池均位于核医学科北侧地下，为地埋式钢筋混凝土结构，衰变池底标高为 -4.0m ，池顶标高为 -1.6m ，池顶上方为检修通道，检修通道顶板上方为室外道路。衰变池系统采用整体浇筑，各池体四壁、池底、池顶和检修通道顶板均为 200mm 混凝土，混凝土强度等级为 C30，抗渗等级应不小于 S8，衰变池（含应急槽、降解池）壁内表面及池底涂抹防水砂浆及耐酸碱腐蚀涂料，采用防水卷材加强防渗效果，确保放射性

废液在暂存期间不发生任何渗漏；污水管道均采用耐腐蚀金属管道，废液收集管道均铺设在核医学科地下土层内；井盖拟采用不锈钢含铅盖板，防护能力不低于 10mmPb，地面井盖处采取散水及密闭措施，防止雨水倒灌；检修通道顶板设通气口，防止超压。

（3）废液暂存与排放控制：

① 废水衰变系统由程控式 PLC 控制系统自动控制（2 套独立控制系统），可在无人值守状态下实现长时间稳定运行。各衰变槽设有电动进排水球阀和电动液位计，控制系统设有状态提醒及异常报警功能，各控制柜均设置在核医学科衰变池控制间内。

② 废水衰变系统整体采用“储存式衰变”方式，各衰变槽独立工作、循环使用。为防止液位控制装置失灵导致的废水超位溢流，各衰变槽之间设溢流孔（各 $^{18}\text{F}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废水槽和各 ^{131}I 废水槽之间完全隔离无溢流孔），溢流孔设置在衰变槽“液位上限”上方 15cm 处。若衰变池液位控制系统故障导致电动阀不能自动切换，则超位废液可以自行溢流到另外下一个衰变槽内（后续轮流使用的衰变槽），避免废液溢出槽外。

③ 以 ^{131}I 衰变系统控制流程为例：衰变系统运行时，先开启 1 槽进水管电动阀，关闭 2 槽、3 槽和应急槽进水管电动阀——待 1 槽水位达到程控液位后，关闭 1 槽进水管电动阀，开启 2 槽进水管电动阀，废水进入 2 槽——待 2 槽水位达到程控液位后，关闭 2 槽进水管电动阀，开启 3 槽进水管电动阀，废水进入 3 槽——待 3 槽达到程控液位之前，1 槽废水已暂存超过 180 天，委托有资质单位对废水进行检测，监测结果经生态环境主管部门认可批准后，打开 1 槽排水阀门和潜水泵进行解控排放，排完后关闭 1 槽潜水泵和排水阀——待 3 槽水位达到程控液位后，关闭 3 槽进水管电动阀，开启 1 槽进水管电动阀，废水进入 1 槽（此时 1 槽已是排空状态）——待 1 槽达到程控液位之前，2 槽废水已暂存超过 180 天……依照上述流程循环往复运行；

（4）**废水解控要求：**根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求：显像诊断区域放射性废水（含短半衰期核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）暂存时间应超过 30 天，1#衰变池设有检测槽进行取样监测，废水暂存时间超过 30 天且监测达标后（总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ）可直接解控排放；核素治疗区域放射性废水（含 ^{131}I 核素）暂存时间应超过 180 天，2#衰变池设有检测槽，衰变槽内废水暂存超过 180 天后，通过检测槽进行取样监测，监测达标（总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 、 $^{131}\text{I}\leq 10\text{Bq/L}$ ）并且监测结果经生态环境主管部门认可并同意后，进行解控排放；解控废水均排入医院污水处理站进行集中处理，最后排入市政管网。医院应安排专人负责放射性废液的暂存、解控工作，建立放射性废水暂存和解控管理台账，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；

（5）其他管理措施：

① 碘病房排水管道位置应有适当标记，方便进行检测和维修；碘病房排水管道应采用包铅或铅板进行防护。

② 衰变池所有井盖上设置电离辐射警示标志和警示语，并设有详细编号和文字标识；衰变池上方地面计划作为填土种植区，并在周边设立围栏；

③ 碘病房患者卫生间采用节水马桶设计，淋浴装置应采取合理的水量控制措施，规定患者每日洗澡次数不应超过 1 次。在甲癌患者住院宣教时，应提醒患者节约用水，尽量减少生活废水的产生。

本项目放射性废水收集排放系统设计图见图 10.19，放射性废水组织路径示意图见图 10.20，衰变池平面和剖面布局图分别见图 10.21 和图 10.22。

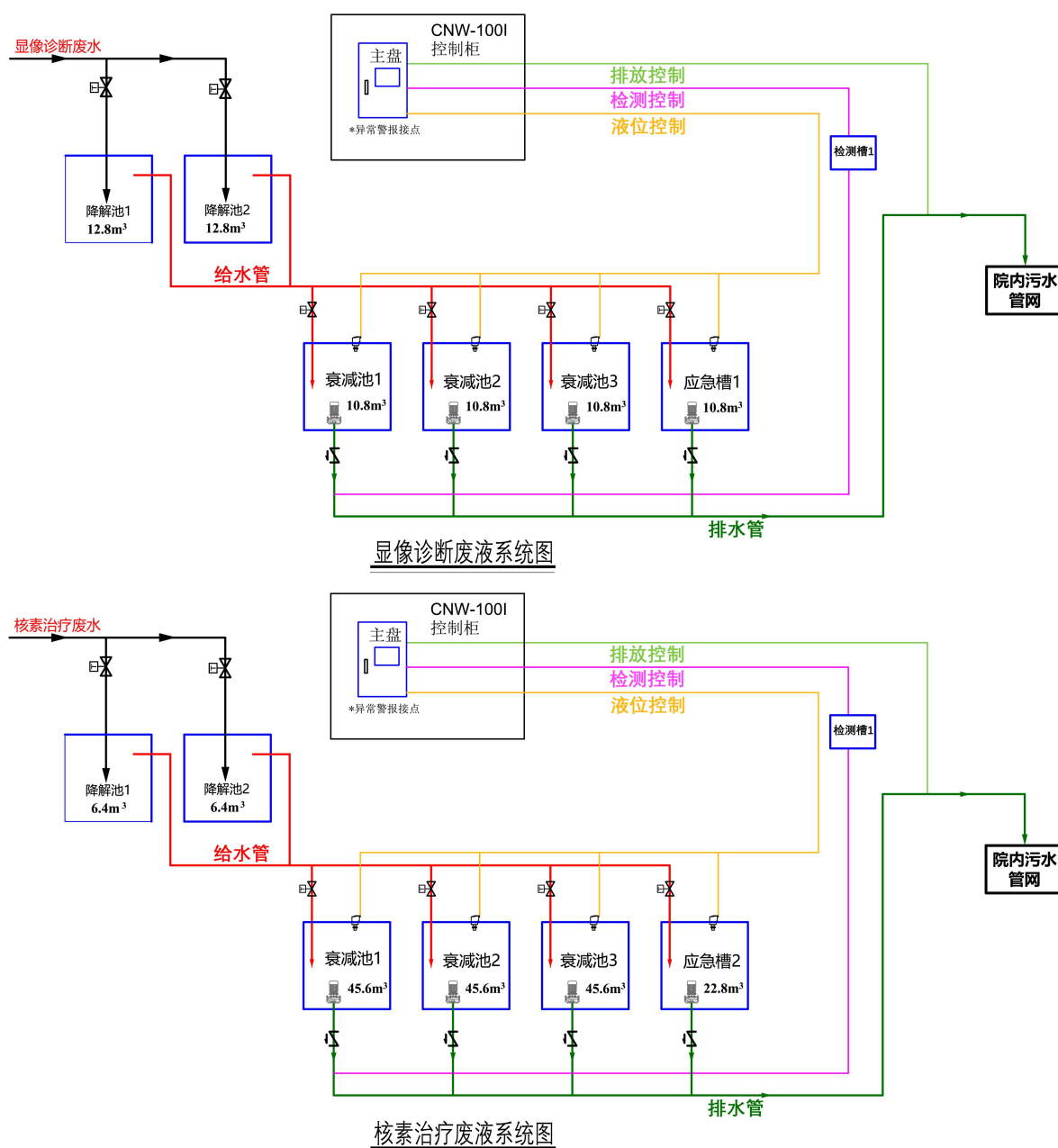


图 10.19 放射性废水收集排放系统设计图

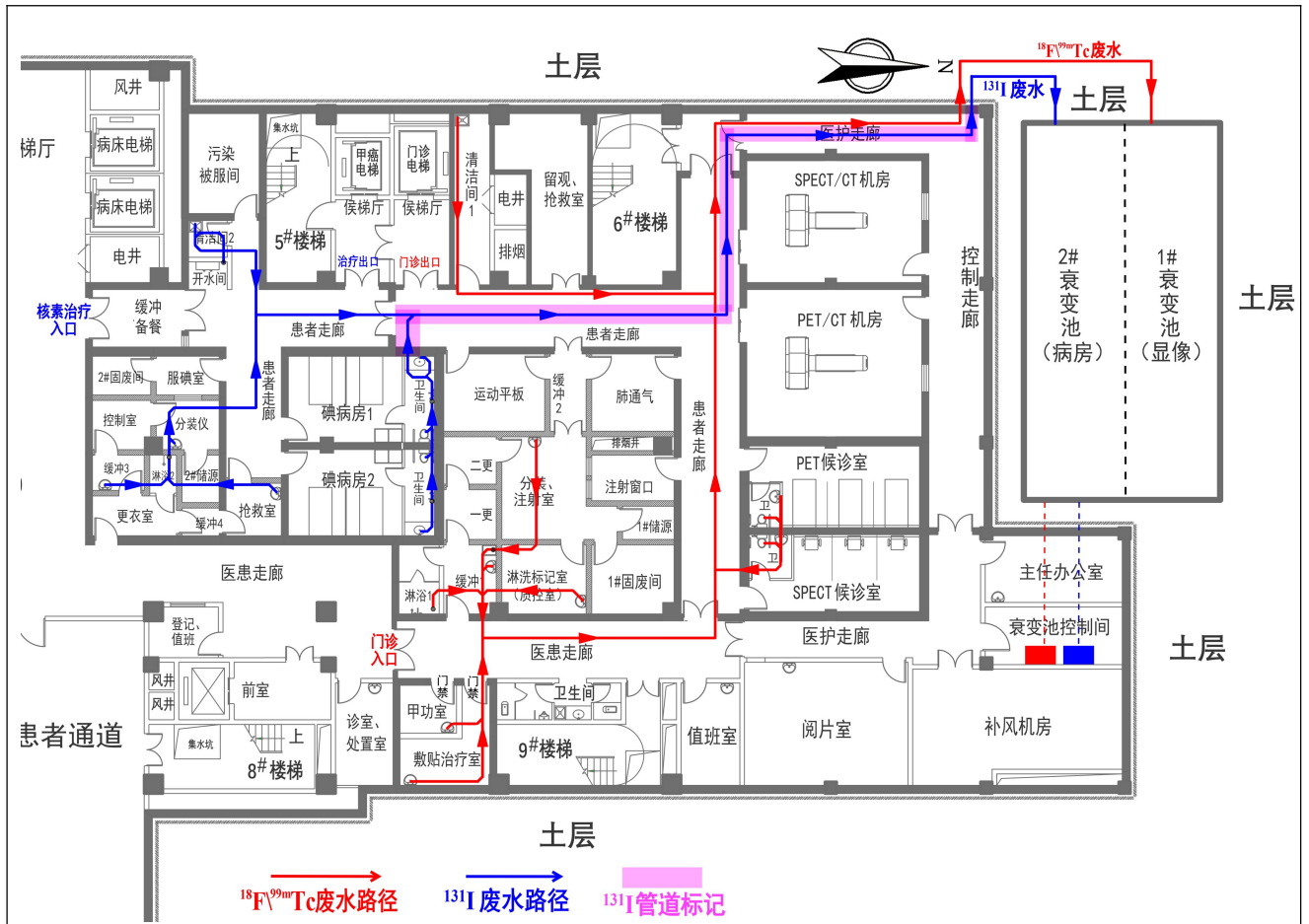


图 10.20 放射性废水组织路径示意图

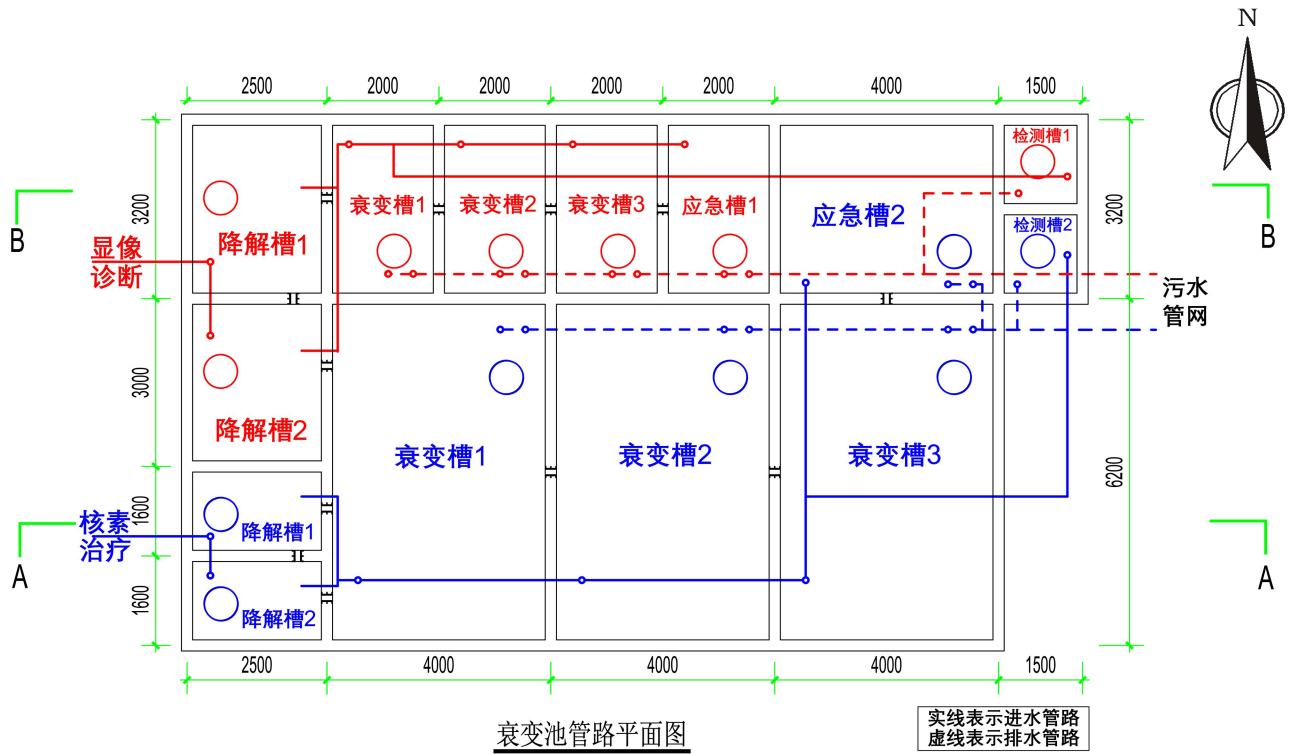


图 10.21 本项目核医学科衰变池平面布局和管路图

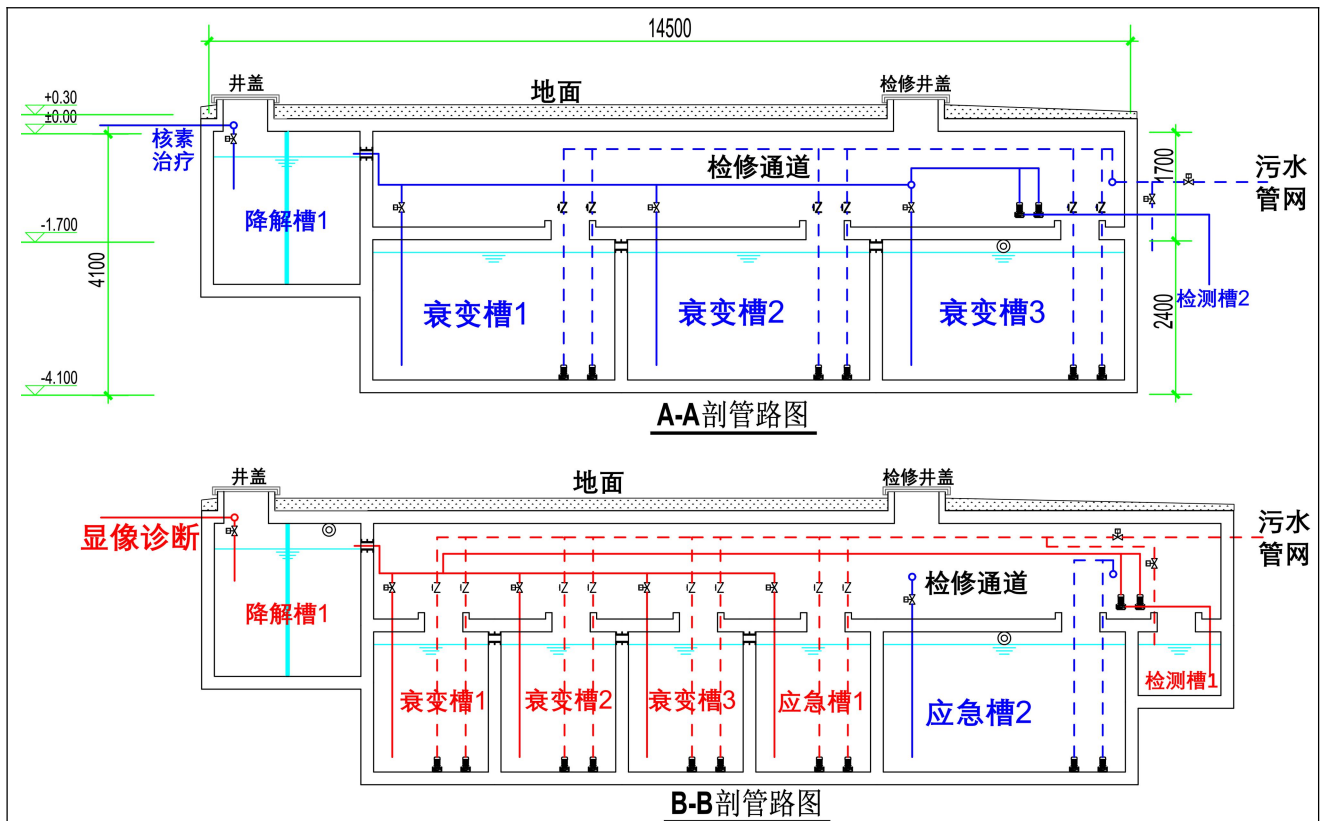


图 10.22 本项目核医学科衰变池剖面布局和管路图

(3) 放射性废气防治措施

本项目核医学科共设置 3 套独立的负压排风系统，工作场所气流组织按照监督区向控制区的流向设置，所有排风口均设有止回阀，防止气体倒流。核医学科 3 套排风系统包括：

① 核医学科显像诊断区域设置 1 套独立排风系统：在分装注射室、淋洗标记室、运动平板室、肺通气室、1#废物间、1#储源室、注射窗口、各候诊室和各扫描机房内均设置排风口，场所废气通过 1 条独立排风管道直通急危重症楼楼顶，并朝向天空排放，排风口高度为 35m，排风口处设有活性炭过滤装置；此外，甲功室和敷贴治疗室等区域也设有排风口。

② ^{18}F 分装柜、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱和肺通气室集气罩共用 1 套独立排风系统，分装柜、手套箱和集气罩出风口处均设有高效过滤器，废气汇集到 1 条独立排风管道后直通急危重症楼楼顶，朝向天空排放，排风口高度为 35m，排风口处设有活性炭过滤装置；

③ 核素治疗区域设置 1 套独立负压排风系统，在服碘室、分装仪室、控制室、2#固废间、2#储源室、碘病房 1、碘病房 2、抢救室、污染被服间、清洁间等场所均设置排风口，场所废气经汇聚到 1 条主管道，主管道从抢救室西侧穿出，主管道穿出控制区外的部分拟采用 5mmPb 铅皮进行包裹，以减少对周围场所及公众的辐射影响。主管道在独立风井内直通急危重症楼楼顶，并朝向天空排放，排风口高度为 35m，楼顶排风口处设有高效碘过滤装置（过滤效率大于 99%）。

本项目核医学科工作场所排风系统设计示意图见图 10.23。

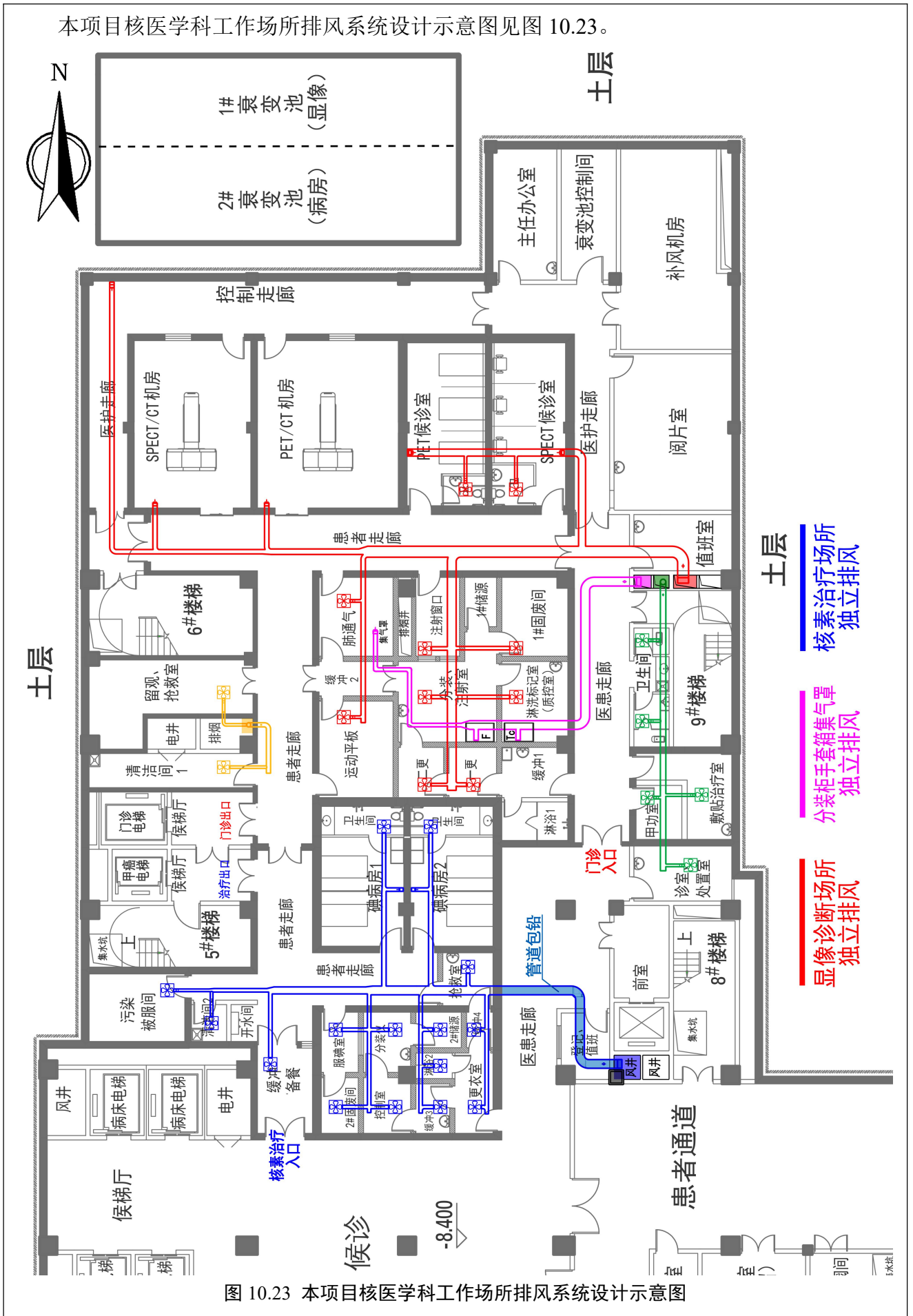


图 10.23 本项目核医学科工作场所排风系统设计示意图

10.4.9 工作场所辐射安全与防护设施管理

本项目核医学科工作场所拟设置的辐射安全防护设施与《中国核与辐射安全管理体系 现场监督检查和执法程序》（2020年版）中“非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序”（NNSA/HQ-08-JD-IP-030）的对比结果见表 10.14。与“医用放射性核素发生器利用场所监督检查技术程序”（NNSA/HQ-08-JD-IP-031）的对比结果见表 10.15。

表 10.14 非密封放射性物质医学应用场所管理要求

序号	项目	检查内容	是否拟设置	备注
1*	A 场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	场所分区布局满足 HJ1188-2021 和 GBZ120-2020 的要求，设置控制区标识、监督区标识、门禁等措施
2*		电离辐射警告标志	√	在控制区各出入口门外、控制区内各功能间门外、其他重要出入口设置
3*		独立的通风设施	√	显像诊断场所独立排风、核素治疗场所独立排风、放射性药物操作柜独立排风
4*		治疗病房病人之间防护	/	碘病床之间设 10mmPb 隔断板
5*		给药操作人员屏蔽	√	铅注射窗（车）、注射器转运铅容器、钨合金注射套、铅衣铅围脖等
6		易去污的工作台面	√	表面光洁，易清洗，易去污
7*		病人专用卫生间	√	各候诊室内患者专用卫生间、各碘病房内患者专用卫生间
8*		放射性核素暂存场所或设施	√	分装柜、手套箱、2 间储源室，监控系统、防盗门、红外防闯入设施
9*	B 监测设备	表面污染监测仪	√	拟配 2 台
10*		便携式辐射水平监测仪	√	拟配 1 台
11*		个人剂量计	√	16 支
12		个人剂量报警仪	/	/
13*	C 放射性废物和废液	放射性废液处理排放系统及标识	√	新建 2 套槽式衰变池，碘废水管道标记、井盖上放射性标志、地面围栏等
14*		放射性固体废物暂存场所或设施	√	2 间固废间，铅废物桶共配 19 只
15*	D 防护器材	个人防护用品	√	配 10 套铅衣、铅裙、铅围脖等
16*		放射性表面去污用品和防污染材料	√	防护服、橡胶手套，口罩面罩、各类去污用品和试剂

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的均划 /。不能详尽的在备注中说明。

表 10.15 医用放射性核素发生器利用场所管理要求

序号	项目	检查内容	是否拟设置	备注
1	A 场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	√	场所分区布局满足 HJ1188-2021 和 GBZ120-2020 的要求，设置控制区标识、监督区标识、门禁等措施
2		电离辐射警告标志	√	在控制区各出入口门外、控制区内各功能间门外、其他重要出入口设置

3		卫生通过间（乙级及以上）	√	一更、二更和淋浴间
4		人员出口配备污染监测仪（乙级及以上）	/	配备 1 台表面污染监测仪
5		独立通风设施	√	手套箱独立排风
6		放射性核素暂存场所或设施	√	手套箱、储源室，监控系统、防盗门、红外防闯入设施
7		屏蔽防护设施	√	钼铯发生器自带铅防护、手套箱铅防护
8		放射性废液处理排放系统及标识	√	槽式衰变池，井盖上放射性标志、地面围栏等
9		放射性固体废物暂存场所或设施		固废间，铅废物桶
10	B 监测设备	表面污染监测仪	√	拟配 2 台
11		便携式辐射水平监测仪	√	拟配 1 台
12		个人剂量计	√	16 支
13		个人剂量报警仪	/	/
14	C 防护器材	个人防护用品	√	配 10 套铅衣、铅裙、铅围脖等
15		放射性表面去污用品和防污染材料	√	防护服、橡胶手套，口罩面罩、各类去污用品和试剂

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的均划 /。不能详尽的在备注中说明。

10.5 环保投资

本项目总投资 11825 万元，环保投资 931 万元，占总投资的 7.87%，环保投资估算列表见详见表 10.16

表 10.16 本项目环保投资估算列表

工作场所	项目	环保设施	数量	预计投资（万元）
核医学科	工作场所土建、防护工程	场所实体屏蔽墙	1 处	320.0
		铅防护门窗、铅防护板	若干	
	场所安全措施和监测设备	门禁、监控系统、安防设施	若干	18.0
		电离辐射警示标志、警示灯	若干	
		便携式剂量率仪	2 台	
		表面沾污监测仪	3 台	
		离院剂量率监测设备	1 台	
	放射性废物三废防治	放射性废水收集系统及衰变池系统	2 套	170.0
		放射性固废收集桶	19 只	
		放射性废气通风系统	3 套	
	防护设备	分装柜 1 个、手套箱 1 个、注射窗 2 个、注射车 1 台、转运容器 2 个、碘药物全自动分装仪	若干	40.0
	个人防护用品	铅衣、铅围裙、铅围脖等	9 套	2.0
去污用品	放射性污染防护服、乳胶手套、口罩面罩、去污用品、去污试剂	若干	1.0	

	小计			551.0
加速器机房（2间）	场所安全措施	监视系统和对讲设备	2套	25.0
		门机联锁装置	2套	
		紧急停机按钮、紧急开门按钮	2套	
		工作状态指示灯	2套	
	监测仪器及警示标志	个人剂量报警仪	4台	10.0
		电离辐射警示标志	若干	
		便携式剂量率仪	1台	
		固定式辐射剂量监测仪	2套	
	废气防治	通风系统	2套	30.0
土建、防护工程	实体屏蔽墙体、防护门	2间	144.0	
小计			209.0	
后装机室（1间）	场所安全措施	监视设备和对讲设备	1套	20.0
		门机联锁装置	1套	
		紧急停机按钮、紧急开门按钮	1套	
		自动(手动)回源装置	1套	
		铅贮存箱、长柄夹子	1套	
	监测仪器及警示标志	个人剂量报警仪	2台	3.0
		电离辐射警示标志	若干	
		工作状态指示灯	1套	
		固定式辐射剂量监测仪	1套	
	安防措施	防盗门、防闯入报警装置	2套	3.0
铅储源箱、双人双锁		1套		
废气防治	通风系统	1套	12.0	
土建、防护工程	实体屏蔽墙体、防护门	1间	55.0	
小计			93.0	
DSA室（2间）	场所措施	电离辐射警示标志	若干	15.0
		通风系统	2套	
	个人防护用品	铅衣、铅手套、铅眼镜、铅围脖 铅防护屏风、介入防护手套	6套	3.0
	土建、防护工程	屏蔽墙体、硫酸钡涂层	2间	60.0
		铅防护门及工作指示灯、闭门器	6套	
		铅玻璃观查窗	2个	
小计			78.0	
总计	931.0			

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，不会对周围环境产生辐射影响。

本项目建设阶段涉及到土建施工、建筑装饰、设备安装等，在项目建设期间，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。工程建设阶段各项非放污染的防治已在急危重症楼工程建设项目环评中进行了详细评价，本项目仅作简要说明。

（一）施工期噪声污染防治措施：

加强管理，文明施工，尽量减少人为噪声；优先选用低噪声施工机械，严格控制施工时间；合理优化施工工艺，采用静压打桩方式；施工现场设置禁止鸣笛、慢行标志牌及车辆指引牌；同一施工地点应避免安排大量动力机械设备；固定施工机械设备可安装排气管消声器和隔离发动机振动部件；通过采取上述综合降噪措施后，可有效降低施工噪声对医院环境产生的不利影响，减轻对周围环境的影响

（二）施工期大气污染防治措施：

大气污染物主要来源于施工扬尘与装修产生的有机废气。施工现场安装遮挡设施，实行封闭式施工；对有可能产生二次扬尘的作业面应洒水降尘，使其保持一定湿度；易产生扬尘的路段车辆应慢速行驶，车辆出入口路面保持清洁、湿润；定期洒水抑尘，遮盖易产生扬尘的施工材料；装修期间采用环保型油漆、涂料、胶粘剂及装饰材料，做好室内通风换气。

（三）施工期废水防治措施：

施工期废水主要是施工人员产生的生活污水和施工废水。生活污水应经化粪池收集后一同经地下污水处理设施处理后达标排放；施工废水主要为施工机械冲洗废水，施工废水严格依托固原市人民医院污水处理设施妥善处理。

（四）施工期固体废物防治措施：

施工期间固体废物主要为建筑垃圾和生活垃圾，建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。遗留在现场的建筑废弃物、土方应及时清运或回填；运送建筑垃圾的车辆应加盖篷布；建筑金属废物在施工现场应及时回收；建筑金属废物在施工现场应及时回收；尽量减少降低固体废物对周围环境产生的不利影响。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行非放污染的防治，并加强监管，将本项目施工阶段对周围环境的影响降到最低。

11.2 医用加速器运行阶段环境影响分析

11.2.1 设备技术参数

本项目拟新增使用 2 台医用电子直线加速器，使用场所分别位于急危重症楼负一层放射治疗中心 1#加速器室和 2#加速器室。根据医院提供的信息，拟新增的 2 台医用加速器型号均未确定，但 2 台加速器基本配置和射线源最高参数均已确定，本报告将采用加速器射线源最高参数进行评价。

本项目拟新增的 2 台加速器的 X 射线最大能量均为 10MV，配有 X 射线 6MV/10MV 双能量档位，拟配置 FFF 治疗模式。2 台加速器在 X 射线常规治疗模式下，有用线束中心轴上距靶 1m 处 X 射线最大输出剂量率均为 600cGy/min；在 6MV 档位的 FFF 模式下，X 射线最大输出剂量率均为 1400cGy/min；在 10MV 档位的 FFF 模式下，X 射线最大输出剂量率均为 2400cGy/min；电子线最大能量为 18MeV，电子线治疗时最大输出剂量率均为 600cGy/min。

本项目拟新增的 2 台医用电子直线加速器技术参数详见表 11.1。

表 11.1 本项目拟新增的 2 台医用电子直线加速器技术参数表*

设备名称	医用电子直线加速器	
数量	2 台（型号均待定）	
使用场所	急危重症楼负一层放疗中心 1#加速器室和 2#加速器室	
治疗模式	可开展调强适形放疗，均配有 FFF 模式	
射线种类和能量	X 射线能量：6MV/10MV；电子线能量：6~18MeV	
最大输出剂量率	X 射线	常规治疗模式：600cGy/min（6MV/10MV）； 6MV 档位 FFF 模式：1400cGy/min； 10MV 档位 FFF 模式：2400 cGy/min；
	电子线	电子线：600cGy/min
泄漏率	<0.1%	
主射束张角	±14°	
最大射野尺寸	X 射线：40cm×40cm（SSD=100cm）	
机架旋转范围	±180°	
CBCT 参数	最大管电压 150kV，最大管电流 500mA	
注*：本项目拟新增的 2 台加速器各项技术参数均不超出表中所列数值。		

11.2.2 使用规划

（1）工作负荷：根据医院提供的信息，本项目加速器运行后，预计单台加速器设备每日最多治疗 60 人次，每周工作 5 天，年工作 50 周，年累计工作 250 天。即本项目单台加速器设备治疗量不超过 15000 人次/年，2 台设备累计治疗量不会超过 30000 人次/年；

(2) 出束时间：常规放射治疗在常用的 600cGy/min 照射条件下，平均每人次待照射区照射剂量为 2~3Gy，实际出束时间约为 0.5min/人次。适形调强放疗（IMRT）与常规放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的，但调强时照射野较小，需要更长的照射时间，本项目调强因子（IMRT）取 N=5，则调强治疗实际出束时间约为 2.5min/人次。通常情况下，需要接受调强治疗的患者占 90%以上，保守考虑所有患者都需要接受调强治疗。综上，本项目保守以单台加速器日出束时间不超过 150min，单台加速器年累计出束时间不超过 625h 进行评价。

本项目 2 台加速器均计划配置 FFF 高剂量率模式（即“无均整模式”），在 FFF 模式下，加速器的输出剂量率会得到明显提高，距靶点 1m 处的 X 射线输出剂量率最高可达 1400cGy/min（6MV）和 2400cGy/min（10MV），输出剂量率的提高可有效缩短治疗时间，故单台加速器年实际出束时间将小于 625h。但从辐射防护的角度考虑，保守起见，本评价仍以单台加速器年出束 625h 来估算辐射工作人员和公众的年有效剂量。

(3) 使用因子：加速器机头向下（0°）的出束时间占年工作量的 55%，考虑调强治疗的使用，将机头 90°、180°、270°出束时间的占比均提高至 25%，据此估算加速器机房主束区外人员的年有效剂量。

(4) 能量挡位使用情况：根据医院提供的信息，使用 6MV X 射线治疗的患者占 80%，使用 10MV X 射线治疗的患者占 20%。电子线治疗使用次数很少（不足 X 射线治疗量的 1%）。

11.2.3 评价内容

(1) 射线类型

本项目加速器可开展 X 射线治疗和电子线治疗，考虑到电子线治疗次数有限（不足 X 射线治疗量的 1%），且电子线治疗过程中，电子线被集中在限束筒内，且电子束与限束筒、机床、人体等组织作用产生的韧致辐射 X 射线能量和强度均远低于撞击钨靶产生的治疗 X 射线，如果加速器机房屏蔽墙和防护门能够满足治疗 X 射线的屏蔽防护要求，就能够满足电子线以及电子线所产生的韧致辐射 X 射线的防护要求，故本项目对电子束的环境影响不作具体评价。

本项目拟新增的 2 台加速器均配套有 CBCT 影像引导系统，CBCT 最大管电压 150kV，最大管电流为 500mA，即 CBCT 产生的 X 射线能量和输出剂量率均远远小于治疗 X 射线，若放射治疗期间机房实体屏蔽能够满足本评价提出的剂量率控制水平，则 CBCT 运行对周围环境的辐射影响将极其轻微。

(2) 射线能量

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）第 4.7.4 条款，对于大于 10MV 的 X 射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑 X 射线和“杂散”

中子的散射辐射及中子俘获 γ 射线。本项目拟新增的 2 台加速器 X 射线能量均不大于 10MV，因此不需考虑中子、感生放射性以及中子活化的辐射影响问题。

(3) 辐射影响分析

本次评价主要分析加速器运行期间，机房屏蔽墙及防护门对有用束直接照射、泄漏辐射、散射辐射的屏蔽效果；加速器运行对辐射工作人员、公众成员的年附加有效剂量；进行主屏蔽墙宽度、X 射线侧向散射、CBCT 运行和有害气体影响分析等。

综上所述，本评价取加速器 X 射线 6MV、1400cGy/min(FFF 模式)和 10MV、2400cGy/min(FFF 模式)两种最大工况作为源项，对本项目 2 台加速器运行期间对周围人员和环境产生的辐射影响进行评价。

11.2.4 附加剂量率估算方法

主要分析加速器运行过程中，工作场所周围关注点处的瞬时剂量率是否满足本评价提出的剂量率控制要求。本评价以 X 射线 6MV (1400cGy/min) 和 10MV (2400cGy/min) 两种工况估算 2 台加速器运行时工作场所周围附加剂量率水平。

(1) 有用线束估算方法

参考 NCRP NO.151 中式 2.1 ~ 2.4，初级 X 射线的屏蔽可由式 (11-1)、式 (11-2) 和式 (11-3) 计算得到。

$$H_{pri} = \frac{B_{pri} W U T}{d_{pri}^2} \quad (11-1)$$

$$B_{pri} = 10^{-[1+(\frac{X_e - TVL_1}{TVL_e})]} \quad (11-2)$$

$$X_e = X / \cos \theta \quad (11-3)$$

式中： H_{pri} — 关注点处附加当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

B_{pri} — 主屏蔽墙的屏蔽透射因子；

W — 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处最高输出剂量率，X 射线能量 6MV 时， W 取 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，X 射线能量 10MV 时， W 取 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ (保守按 1Gy 等效 1Sv)；

T — 居留因子，计算瞬时剂量率取 1；

U — 使用因子，计算瞬时剂量率取 1；

d_{pri} — 靶点至关注点的距离，m；

X — 屏蔽墙厚度，cm

X_e — 有效屏蔽厚度，cm；

θ — 斜射角；

TVL_l — 初级束第一个十分之一值层厚度，见表 11.2；

TVL_e — 初级束平衡时的十分之一值层厚度，见表 11.2。

表 11.2 X 射线对应不同材料的 TVL 值

射线类型		混凝土 (cm)		铅 (cm)	
		TVL_l	TVL_e	TVL_l	TVL_e
初级束	6MV	37	33	5.7	5.7
	10MV	41	37	5.7	5.7
泄漏辐射	6MV	34	29	5.7	5.7
	10MV	35	31	5.7	5.7

注:数据取自 NCRP REPORT NO.151 附录表 B.2、B.7。

(2) 泄漏辐射估算方法

参考 NCRP NO.151 中式 2.8，泄漏辐射剂量率按初级辐射剂量率的 0.1% 计，泄漏辐射的屏蔽可由式 (11-4) 和式 (11-5) 计算得到。

$$H_L = \frac{B_L WT}{1000 d_L^2} \quad (11-4)$$

$$B_L = 10^{-[1+(\frac{X_e - TVL_l}{TVL_e})]} \quad (11-5)$$

式中： H_L — 关注点处附加当量剂量率 $\mu\text{Sv/h}$ ；

1/1000— 泄漏辐射比率，取 0.1%；

B_L — 屏蔽透射因子；

W — 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处最高输出剂量率，X 射线 6MV 时， W 取 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，X 射线 10MV 时， W 取 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ （保守按 1Gy 等效 1Sv）；

T — 居留因子，计算瞬时剂量率取 1；

d_L — 靶点距关注点的距离，m；

X_e — 有效屏蔽厚度，cm，按式 (11-3) 计算；

TVL_l — 泄漏辐射第一个十分之一值层厚度，见表 11.2；

TVL_e — 泄漏辐射平衡时的十分之一值层厚度，见表 11.2。

(3) 患者散射辐射估算方法

参考 NCRP NO.151 中式 2.7，散射辐射的屏蔽可由式 (11-6) 和式 (11-7) 计算得到。

$$H_{ps} = \frac{B_{ps} \alpha WT}{d_{sca}^2 d_{sec}^2} \frac{F}{400} \quad (11-6)$$

$$B_p = 10^{-\frac{X_e}{TVL_{sca}}} \quad (11-7)$$

式中： H_{ps} — 关注点处附加当量剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

B_{ps} — 屏蔽透射因子；

α — 患者体表对初级辐射束的散射比，由入射 X 射线能量及散射角度决定，参照 NCRP NO.151 表 B.4，6MV X 射线对应的散射比取 2.77×10^{-3} (30°)、 1.39×10^{-3} (45°)，10MV X 射线对应的散射比取 3.18×10^{-3} (30°)、 1.35×10^{-3} (45°)；

W — 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处最高输出剂量率，X 射线 6MV 时， W 取 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，X 射线 10MV 时， W 取 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$ （保守按 1Gy 等效 1Sv）；

T — 居留因子，计算瞬时剂量率取 1；

F — 患者表面照射野面积，取 $(40 \times 40) \text{cm}^2$ ；

d_{sca} — 靶点至患者的距离，取 1m；

d_{sec} — 患者至关注点的距离，m；

X_e — 有效屏蔽厚度，cm，按式（11-3）计算；

TVL_{sca} — 普通混凝土对患者散射辐射的十分之一值层厚度，见表 11.3。

表 11.3 普通混凝土对病人散射线以不同角度散射所致的 TVL_{sca}

屏蔽材料	工况	散射角					
		15°	30°	45°	60°	90°	135°
混凝土 (cm)	6MV	34	26	23	21	17	15
	10MV	39	28	25	22	18	15

注:数据取自 NCRP REPORT NO.151 附录表 B.5a。

表 11.4 本项目加速器工作场所周围附加剂量率估算参数汇总表

射线能量	有用线束	泄漏辐射	散射辐射
6MV	$W: 8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$; $TVL_l: 37\text{cm}$; $TVL_e: 33\text{cm}$;	$W: 8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$; 泄漏率: 1/1000; $TVL_l: 34\text{cm}$; $TVL_e: 29\text{cm}$; $TVL_{Pb}: 5.7\text{mm}$;	$W: 8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$; $\alpha: 2.77 \times 10^{-3}$ (30°)、 1.39×10^{-3} (45°); $F: 1600\text{cm}^2$; $d_{sca}: 1.0\text{m}$; $TVL_{sca}: 26\text{cm}$ (30°)、 23cm (45°);
10MV	$W: 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$; $TVL_l: 41\text{cm}$; $TVL_e: 37\text{cm}$;	$W: 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$; 泄漏率: 1/1000; $TVL_l: 35\text{cm}$; $TVL_e: 31\text{cm}$; $TVL_{Pb}: 5.7\text{mm}$;	$W: 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv/h}$; $\alpha: 3.18 \times 10^{-3}$ (30°)、 1.35×10^{-3} (45°); $F: 1600\text{cm}^2$; $d_{sca}: 1.0\text{m}$; $TVL_{sca}: 28\text{cm}$ (30°)、 25cm (45°);

(4) 剂量关注点的选取

本项目 2 间加速器室周围关注点的平面、剖面示意图分别见图 11.1、11.2。

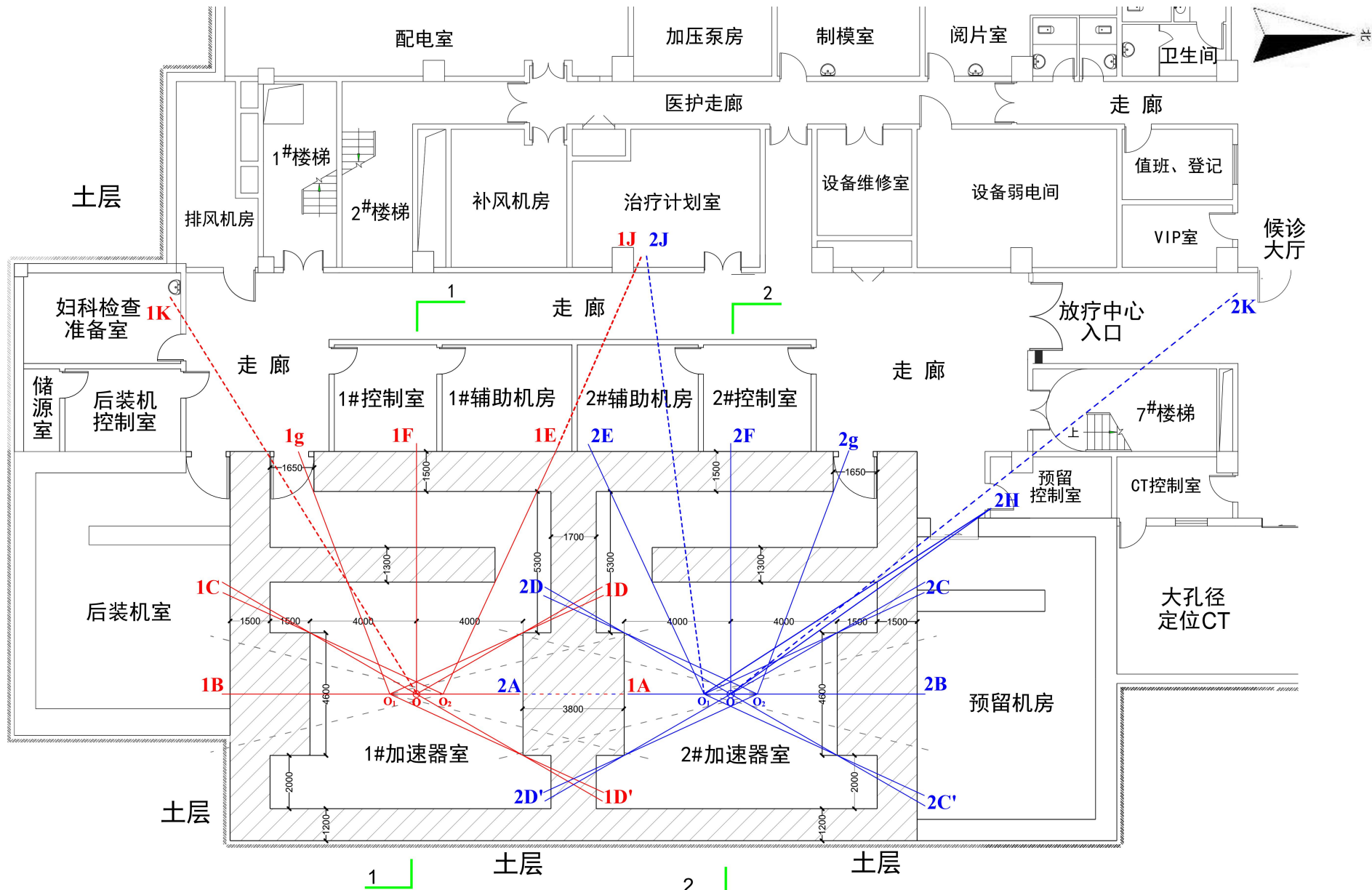
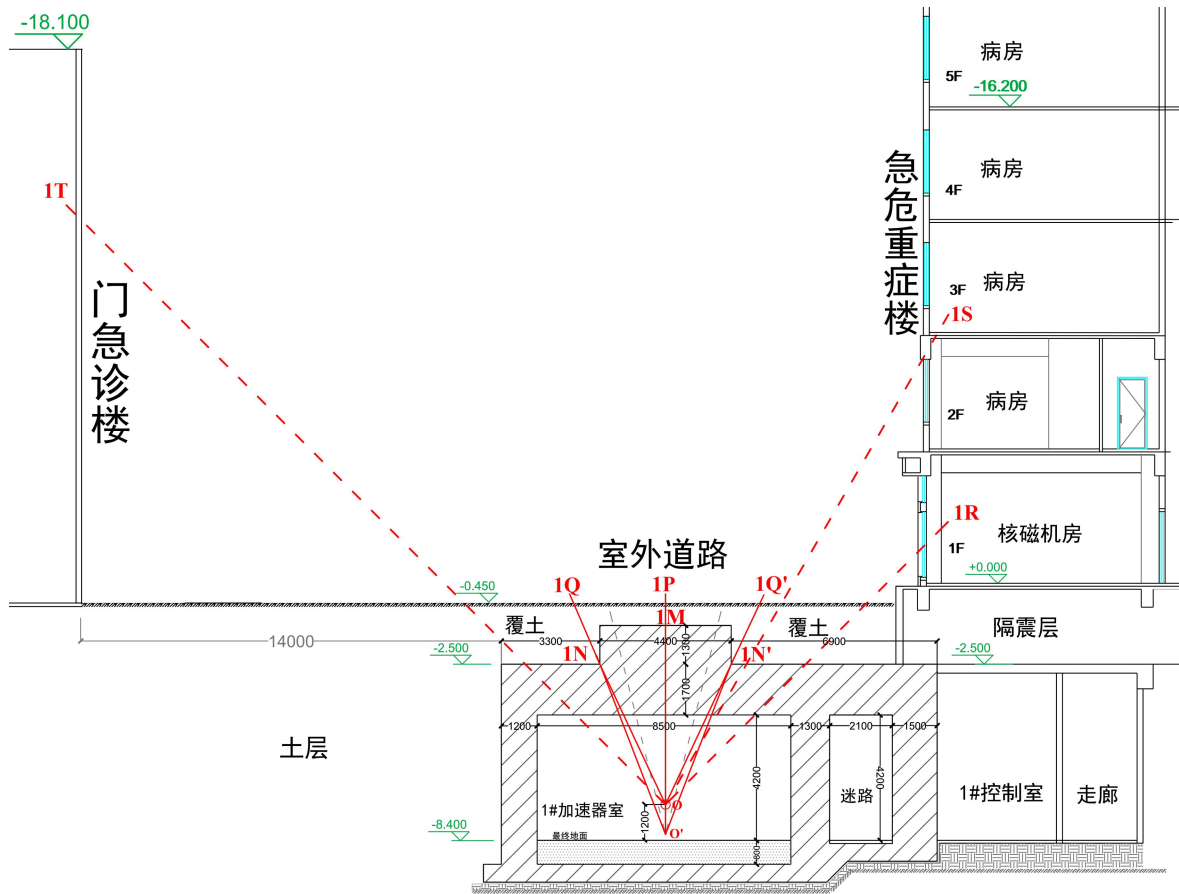
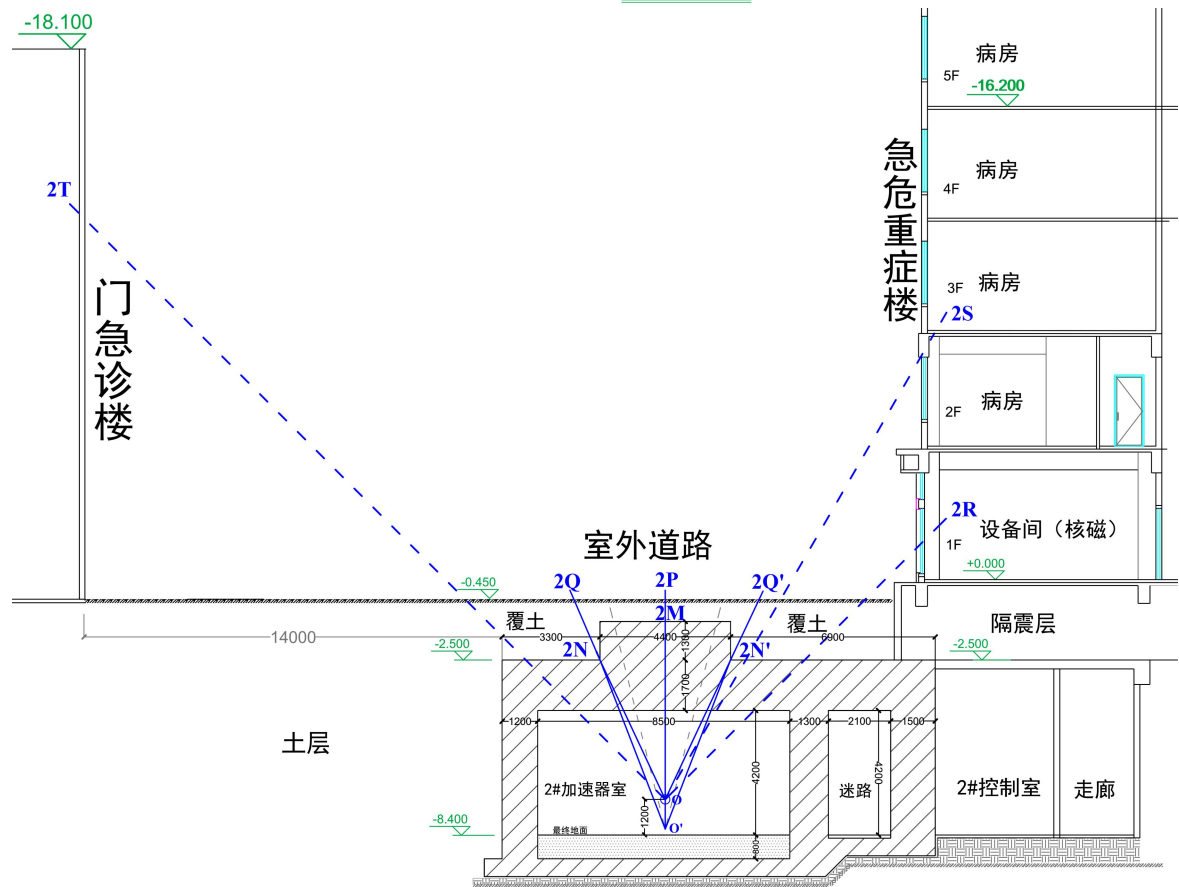


图 11.1 本项目加速器室周围关注点平面示意图（尺寸单位：mm）



1-1剖面图



2-2剖面图

图 11.2 本项目加速器室周围关注点剖面示意图（尺寸单位：mm）

11.2.5 附加剂量率估算结果

根据上述附加剂量率估算方法和表 11.4 的计算参数,本项目 2 台医用电子直线加速器在 X 射线 6MV (1400cGy/min) 和 10MV (2400cGy/min) 两种工况下运行时, 1#加速器室和 2#加速器室周围各关注点附加剂量率估算结果分别见表 11.5、表 11.6、表 11.7 和表 11.8。

表 11.5 1#加速器室周围各关注点剂量率估算结果 (运行工况: 6MV、1400cGy/min)

点位	主要射线束	照射路径	距离(m)	屏蔽材料及有效屏蔽厚度*	透射因子	附加剂量率 (μSv/h)	
1A 北墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束 (0°入射)	O ₁ -1A	9.1	380cm 混凝土	4.04×10 ⁻¹²	4.10×10 ⁻⁵	
1B 南墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束 (0°入射)	O ₂ -1B	8.3	300cm 混凝土	1.07×10 ⁻⁹	1.31×10 ⁻²	
1C 南墙次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -1C	9.1	165cm 混凝土	3.04×10 ⁻⁶	3.08×10 ⁻²	6.01×10 ⁻²
	散射辐射 (30°斜射)	O-1C	8.4	173cm 混凝土	2.22×10 ⁻⁷	2.93×10 ⁻²	
1D 北墙次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₁ -1D	8.8	187cm 混凝土	5.30×10 ⁻⁷	5.75×10 ⁻³	1.47×10 ⁻²
	散射辐射 (30°斜射)	O-1D	8.0	196cm 混凝土	2.89×10 ⁻⁸	8.90×10 ⁻³	
1E 西侧墙外 30cm 1#辅助机房	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -1E	10.3	165cm 混凝土	3.04×10 ⁻⁶	2.41×10 ⁻²	
1F 西侧墙外 30cm 1#控制室	泄漏辐射 (0°入射)	O-1F	9.4	130cm 混凝土 +150cm 混凝土	3.29×10 ⁻¹⁰	3.13×10 ⁻⁶	
1g 1#加速器室 防护门外	泄漏辐射 (20°斜射)	O ₁ -1g	9.7	138cm 混凝土 +15mmPb	1.41×10 ⁻⁵	1.26×10 ⁻¹	
1J 治疗计划室	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -1J	17.8	165cm 混凝土	3.04×10 ⁻⁶	8.06×10 ⁻³	
1K 妇科检查准备室	泄漏辐射 (30°斜射)	O-1K	17.2	150cm 混凝土 +15mmPb	5.46×10 ⁻⁶	1.55×10 ⁻²	
1M 屋顶主屏蔽墙外 30cm 处	主束 (0°入射)	O'-1M	7.3	300cm 混凝土	1.07×10 ⁻⁹	1.69×10 ⁻²	
1N 屋顶次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-1N	6.4	183cm 混凝土	7.28×10 ⁻⁷	1.49×10 ⁻²	2.38×10 ⁻²
	散射辐射 (30°斜射)	O-1N	5.5	196cm 混凝土	2.89×10 ⁻⁸	8.90×10 ⁻³	
1P 屋顶主屏蔽区 室外道路	主束 (0°入射)	O'-1P	8.0	300cm 混凝土	1.07×10 ⁻⁹	1.41×10 ⁻²	
1Q 屋顶次屏蔽区 室外道路	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-1Q	8.6	183cm 混凝土	7.28×10 ⁻⁷	8.27×10 ⁻³	1.28×10 ⁻²
	散射辐射 (30°斜射)	O-1Q	7.7	196cm 混凝土	2.89×10 ⁻⁸	4.54×10 ⁻³	

1R 急危重症楼一层 核磁机房	泄漏辐射 (45°斜射)	O-1R	12.8	240cm 混凝土	7.88×10^{-9}	4.04×10^{-5}	4.15×10^{-5}
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	3.67×10^{-11}	1.05×10^{-6}	
1S 急危重症楼内 病房	泄漏辐射 (30°斜射)	O-1S	18.7	196cm 混凝土	2.59×10^{-7}	6.23×10^{-4}	1.39×10^{-3}
	散射辐射 (30°斜射)			196cm 混凝土	2.89×10^{-8}	7.70×10^{-4}	
1T 东侧门急诊楼内	泄漏辐射 (45°斜射)	O-1T	28.4	240cm 混凝土	7.88×10^{-9}	8.21×10^{-6}	8.42×10^{-6}
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	3.67×10^{-11}	2.13×10^{-7}	

注：混凝土密度为 2.35t/m^3 ，铅密度为 11.34t/m^3 。保守计算，不考虑室顶覆土的防护效果。

表 11.6 1#加速器室周围各关注点剂量率估算结果（运行工况：10MV、2400cGy/min）

点位	主要射线束	照射路径	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
1A 北墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O ₁ -1A	9.1	380cm 混凝土	6.88×10^{-11}	1.20×10^{-3}	
1B 南墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O ₂ -1B	8.3	300cm 混凝土	1.00×10^{-8}	2.09×10^{-1}	
1C 南墙次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -1C	9.1	165cm 混凝土	6.40×10^{-6}	1.11×10^{-1}	2.83×10^{-1}
	散射辐射 (30°斜射)	O-1C	8.4	173cm 混凝土	6.63×10^{-7}	1.72×10^{-1}	
1D 北墙次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₁ -1D	8.8	187cm 混凝土	1.25×10^{-6}	2.32×10^{-2}	5.18×10^{-2}
	散射辐射 (30°斜射)	O-1D	8.0	196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	2.86×10^{-2}	
1E 西侧墙外 30cm 1#辅助机房	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -1E	10.3	165cm 混凝土	6.40×10^{-6}	8.69×10^{-2}	
1F 西侧墙外 30cm 1#控制室	泄漏辐射 (0°入射)	O-1F	9.4	130cm 混凝土 +150cm 混凝土	1.25×10^{-9}	2.04×10^{-5}	
1g 1#加速器室 防护门外	泄漏辐射 (20°斜射)	O ₁ -1g	9.7	138cm 混凝土 +15mmPb	2.60×10^{-5}	3.97×10^{-1}	
1J 治疗计划室	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -1J	17.8	165cm 混凝土	6.40×10^{-6}	2.91×10^{-2}	
1K 妇科检查准备室	泄漏辐射 (35°斜射)	O-1K	17.2	150cm 混凝土 +15mmPb	1.06×10^{-5}	5.18×10^{-2}	
1M 屋顶主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O'-1M	7.3	300cm 混凝土	1.00×10^{-8}	2.70×10^{-1}	
1N 屋顶次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-1N	6.4	183cm 混凝土	1.68×10^{-6}	5.91×10^{-2}	1.20×10^{-1}
	散射辐射 (30°斜射)	O-1N	5.5	196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	6.06×10^{-2}	

1P 屋顶主屏蔽区 室外道路	主束	O'-1P	8.0	300cm 混凝土	1.00×10^{-8}	2.25×10^{-1}	
1Q 屋顶次屏蔽区 室外道路	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-1Q	8.6	183cm 混凝土	1.68×10^{-6}	3.27×10^{-2}	6.36×10^{-2}
	散射辐射 (30°斜射)	O-1Q	7.7	196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	3.09×10^{-2}	
1R 急危重症楼一层 核磁机房	泄漏辐射 (45°斜射)	O-1R	12.8	240cm 混凝土	2.44×10^{-8}	2.14×10^{-4}	2.26×10^{-4}
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	2.51×10^{-10}	1.19×10^{-5}	
1S 急危重症楼内 病房	泄漏辐射 (30°斜射)	O-1S	18.7	196cm 混凝土	6.40×10^{-7}	2.64×10^{-3}	7.88×10^{-3}
	散射辐射 (30°斜射)			196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	5.24×10^{-3}	
1T 东侧门急诊楼内	泄漏辐射 (45°斜射)	O-1T	28.4	240cm 混凝土	2.44×10^{-8}	4.35×10^{-5}	4.60×10^{-5}
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	2.51×10^{-10}	2.42×10^{-6}	

注：混凝土密度为 $2.35t/m^3$ ，铅密度为 $11.34t/m^3$ 。保守计算，不考虑室顶覆土的防护效果。

表 11.7 2#加速器室周围各关注点剂量率估算结果（6MV、1400cGy/min）

点位	主要射线束	照射路径	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射因子	附加剂量率 ($\mu Sv/h$)	
2A 南墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O ₁ -2A	9.1	380cm 混凝土	4.04×10^{-12}	4.10×10^{-5}	
2B 北墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O ₂ -2B	8.3	300cm 混凝土	1.07×10^{-9}	1.31×10^{-2}	
2C 北墙次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -2C	9.1	165cm 混凝土	3.04×10^{-6}	3.08×10^{-2}	6.01×10^{-2}
	散射辐射 (30°斜射)	O-2C	8.4	173cm 混凝土	2.22×10^{-7}	2.93×10^{-2}	
2D 南墙次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₁ -2D	8.8	187cm 混凝土	5.30×10^{-7}	5.75×10^{-3}	1.47×10^{-2}
	散射辐射 (30°斜射)	O-2D	8.0	196cm 混凝土	2.89×10^{-8}	8.90×10^{-3}	
2E 西侧墙外 30cm 2#辅助机房	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -2E	10.3	165cm 混凝土	3.04×10^{-6}	2.41×10^{-2}	
2F 西侧墙外 30cm 2#控制室	泄漏辐射 (0°入射)	O-2F	9.4	130cm 混凝土 +150cm 混凝土	3.29×10^{-10}	3.13×10^{-6}	
2g 2#加速器室 防护门外	泄漏辐射 (20°斜射)	O ₁ -2g	9.7	138cm 混凝土 +15mmPb	1.41×10^{-5}	1.26×10^{-1}	
2H 北侧预留控制室	泄漏辐射 (30°斜射)	O ₁ -2H	12.6	173cm 混凝土	1.61×10^{-6}	8.52×10^{-3}	1.46×10^{-2}
	散射辐射 (35°斜射)	O-2H	11.8	183cm 混凝土	9.15×10^{-8}	6.12×10^{-3}	

2J 治疗计划室	泄漏辐射 (0°入射)	O ₁ -2J	16.2	130cm 混凝土 +150cm 混凝土	3.29×10 ⁻¹⁰	1.05×10 ⁻⁶	
2K 放疗中心入口及 候诊区域	泄漏辐射 (35°斜射)	O-2K	24.0	183cm 混凝土	7.28×10 ⁻⁷	1.06×10 ⁻³	2.54×10 ⁻³
	散射辐射 (35°斜射)			183cm 混凝土	9.15×10 ⁻⁸	1.48×10 ⁻³	
2M 屋顶主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O'-2M	7.3	300cm 混凝土	1.07×10 ⁻⁹	1.69×10 ⁻²	
2N 屋顶次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-2N	6.4	183cm 混凝土	7.28×10 ⁻⁷	1.49×10 ⁻²	2.38×10 ⁻²
	散射辐射 (30°斜射)	O-2N	5.5	196cm 混凝土	2.89×10 ⁻⁸	8.90×10 ⁻³	
2P 屋顶主屏蔽区 室外道路	主束	O'-2P	8.0	300cm 混凝土	1.07×10 ⁻⁹	1.41×10 ⁻²	
1Q 屋顶次屏蔽区 室外道路	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-2Q	8.6	183cm 混凝土	7.28×10 ⁻⁷	8.27×10 ⁻³	1.28×10 ⁻²
	散射辐射 (30°斜射)	O-2Q	7.7	196cm 混凝土	2.89×10 ⁻⁸	4.54×10 ⁻³	
2R 急危重症楼一层 核磁设备间	泄漏辐射 (45°斜射)	O-2R	12.8	240cm 混凝土	7.88×10 ⁻⁹	4.04×10 ⁻⁵	4.15×10 ⁻⁵
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	3.67×10 ⁻¹¹	1.05×10 ⁻⁶	
2S 急危重症楼 病房区域	泄漏辐射 (30°斜射)	O-2S	18.7	196cm 混凝土	2.59×10 ⁻⁷	6.23×10 ⁻⁴	1.39×10 ⁻³
	散射辐射 (30°斜射)			196cm 混凝土	2.89×10 ⁻⁸	7.70×10 ⁻⁴	
2T 东侧门急诊楼	泄漏辐射 (45°斜射)	O-2T	28.4	240cm 混凝土	7.88×10 ⁻⁹	8.21×10 ⁻⁶	8.42×10 ⁻⁶
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	3.67×10 ⁻¹¹	2.13×10 ⁻⁷	

注：混凝土密度为 2.35t/m³，铅密度为 11.34t/m³。保守计算，不考虑室顶覆土的防护效果。

表 11.8 2#加速器室周围各关注点剂量率估算结果（10MV、2400cGy/min）

点位	主要射线束	照射路径	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射因子	附加剂量率 (μSv/h)	
2A 南墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O ₁ -2A	9.1	380cm 混凝土	6.88×10 ⁻¹¹	1.20×10 ⁻³	
2B 北墙主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O ₂ -2B	8.3	300cm 混凝土	1.00×10 ⁻⁸	2.09×10 ⁻¹	
2C 北墙次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -2C	9.1	165cm 混凝土	6.40×10 ⁻⁶	1.11×10 ⁻¹	2.83×10 ⁻¹
	散射辐射 (30°斜射)	O-2C	8.4	173cm 混凝土	6.63×10 ⁻⁷	1.72×10 ⁻¹	
2D 南墙次屏蔽墙外	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₁ -2D	8.8	187cm 混凝土	1.25×10 ⁻⁶	2.32×10 ⁻²	5.18×10 ⁻²

30cm 处	散射辐射 (30°斜射)	O-2D	8.0	196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	2.86×10^{-2}	
2E 西侧墙外 30cm 1#辅助机房	泄漏辐射 (25°斜射)	O ₂ -2E	10.3	165cm 混凝土	6.40×10^{-6}	8.69×10^{-2}	
2F 西侧墙外 30cm 1#控制室	泄漏辐射 (0°入射)	O-2F	9.4	130cm 混凝土 +150cm 混凝土	1.25×10^{-9}	2.04×10^{-5}	
2g 1#加速器室 防护门外	泄漏辐射 (20°斜射)	O ₁ -2g	9.7	138cm 混凝土 +15mmPb	2.60×10^{-5}	3.97×10^{-1}	
2H 北侧预留控制室	泄漏辐射 (30°斜射)	O ₁ -2H	12.6	173cm 混凝土	3.53×10^{-6}	3.21×10^{-2}	7.04×10^{-2}
	散射辐射 (35°斜射)	O-2H	11.8	183cm 混凝土	2.91×10^{-7}	3.83×10^{-2}	
2J 治疗计划室	泄漏辐射 (0°入射)	O ₁ -2J	16.2	130cm 混凝土 +150cm 混凝土	1.25×10^{-9}	6.86×10^{-6}	
2K 放疗中心入口及 候诊区域	泄漏辐射 (35°斜射)	O-2K	24.0	183cm 混凝土	1.68×10^{-6}	4.20×10^{-3}	1.35×10^{-2}
	散射辐射 (35°斜射)			183cm 混凝土	2.91×10^{-7}	9.26×10^{-3}	
2M 屋顶主屏蔽墙外 30cm 处	主束	O'-2M	7.3	300cm 混凝土	1.00×10^{-8}	2.70×10^{-1}	
2N 屋顶次屏蔽墙外 30cm 处	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-2N	6.4	183cm 混凝土	1.68×10^{-6}	5.91×10^{-2}	1.20×10^{-1}
	散射辐射 (30°斜射)	O-2N	5.5	196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	6.06×10^{-2}	
2P 屋顶主屏蔽区 室外道路	主束	O'-2P	8.0	300cm 混凝土	1.00×10^{-8}	2.25×10^{-1}	
1Q 屋顶次屏蔽区 室外道路	泄漏辐射 (22°斜射)	O'-2Q	8.6	183cm 混凝土	1.68×10^{-6}	3.27×10^{-2}	6.36×10^{-2}
	散射辐射 (30°斜射)	O-2Q	7.7	196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	3.09×10^{-2}	
2R 急危重症楼一层 核磁设备间	泄漏辐射 (45°斜射)	O-2R	12.8	240cm 混凝土	2.44×10^{-8}	2.14×10^{-4}	2.26×10^{-4}
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	2.51×10^{-10}	1.19×10^{-5}	
2S 急危重症楼 病房区域	泄漏辐射 (30°斜射)	O-2S	18.7	196cm 混凝土	6.40×10^{-7}	2.64×10^{-3}	7.88×10^{-3}
	散射辐射 (30°斜射)			196cm 混凝土	1.00×10^{-7}	5.24×10^{-3}	
2T 东侧门急诊楼	泄漏辐射 (45°斜射)	O-2T	28.4	240cm 混凝土	2.44×10^{-8}	4.35×10^{-5}	4.60×10^{-5}
	散射辐射 (45°斜射)			240cm 混凝土	2.51×10^{-10}	2.42×10^{-6}	

注：混凝土密度为 2.35t/m^3 ，铅密度为 11.34t/m^3 。保守计算，不考虑室顶覆土的防护效果。

综合表 11.5~表 11.8 的估算结果可知：本项目 2 台加速器以最大工况运行时，1#加速器室

实体屏蔽墙外 30cm 处最大附加剂量率为 0.283 μ Sv/h（1#加速器室南侧后装机室），2#加速器室实体屏蔽墙外 30cm 处最大附加剂量率为 0.283 μ Sv/h（2#加速器室北侧预留机房），满足本评价提出的加速器室实体屏蔽墙外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

本项目 2 间加速器室相邻，需要考虑 2 台加速器同时运行时的剂量率叠加，需要考虑叠加的位置主要包括加速器室西侧辅助机房和屋顶区域。对于加速器室西侧辅助机房，考虑 1E 点位和 2E 点位的叠加，叠加结果 0.174 μ Sv/h；对于加速器室屋顶区域，保守考虑 2 间加速器室主屏蔽墙外的叠加，叠加结果 0.54 μ Sv/h；叠加结果仍满足不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

11.2.6 迷道口内侧辐射水平估算

本项目加速器室迷道口内侧的辐射水平主要考虑患者散射、X 射线主束和泄漏辐射的散射，根据 NCRP REPORT NO.151，迷路口内侧的辐射剂量率考虑下列贡献：

- ① 泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS} ；
- ② 主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{PS} ；
- ③ 主束穿过患者并经屏蔽墙二次散射的剂量率贡献 H_{SS} ；
- ④ 泄漏辐射穿过迷路内墙的剂量率贡献 H_{LT} 。

本项目 2 间加速器室的空间尺寸和屏蔽设计均相同，2 台加速器基本配置和射线源最高参数也一致，因此 2 间加速器室迷道口内侧辐射水平计算结果是相同的，本节以 1#加速器室为例进行估算，具体如下：

（1）加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS} ：

机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射示意图见图 11.3，参考 NCRP NO.151 中式 2.10：

$$H_{LS} = \frac{L_f \cdot W \cdot U \cdot \alpha_1 \cdot A_1}{(d_{sec} \cdot d_{zz})^2} \quad (11-8)$$

式中：

H_{LS} — 预测点处辐射剂量率， μ Sv/h；

L_f — 泄漏辐射比率，取 0.1%；

W — X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率；

U — 墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

α_1 — 散射墙对泄漏辐射的反散射系数（见表 11.9）；

A_1 — 迷道入口处可见散射墙的面积， m^2 ；

d_{sec} — 靶点至散射墙迷路中心线对应点的距离，m；

d_{zz} — 散射墙到入口处的距离，m。

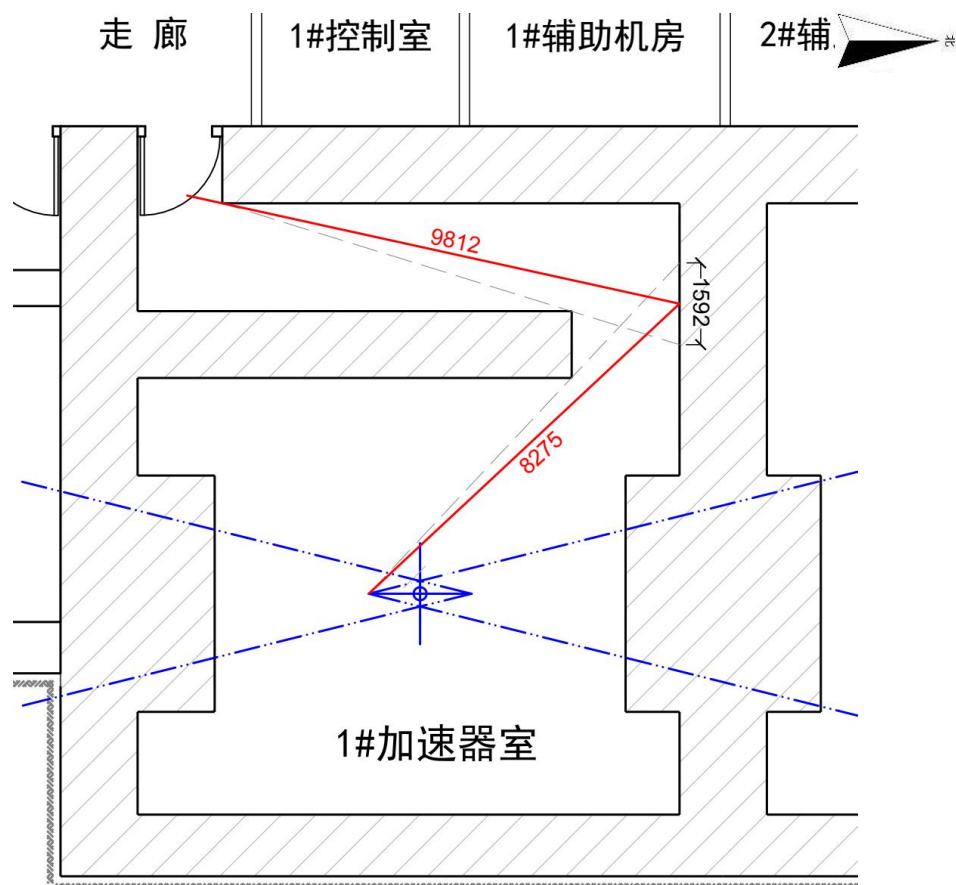


图 11.3 泄漏辐射经屏蔽墙一次散射示意图

(2) 主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{PS} :

主束经患者和屏蔽墙各一次散射示意图见图 11.4，参考 NCRP NO.151 中计算式 2.11：

$$H_{ps} = \frac{\alpha(\theta) \cdot W \cdot U \cdot (F/400) \cdot \alpha_1 \cdot A_1}{(d_{sca} \cdot d_{sec} \cdot d_{zz})^2} \quad (11-9)$$

式中：

H_{PS} —预测点处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

W —X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率；

U —墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

F —等中心点 1m 处照射野面积，取 $(40 \times 40) \text{ cm}^2$ ；

$\alpha(\theta)$ —患者对初级辐射的散射比（见表 11.9）；

α_1 —散射墙对患者散射辐射的反射系数（见表 11.9）；

A_1 —迷道入口处可见散射墙的面积， m^2 ；

d_{sca} —靶点至患者的距离，取 1m；

d_{sec} —靶点至散射墙迷路中心线对应点的距离，m；

d_{zz} —散射墙到入口处的距离，m。

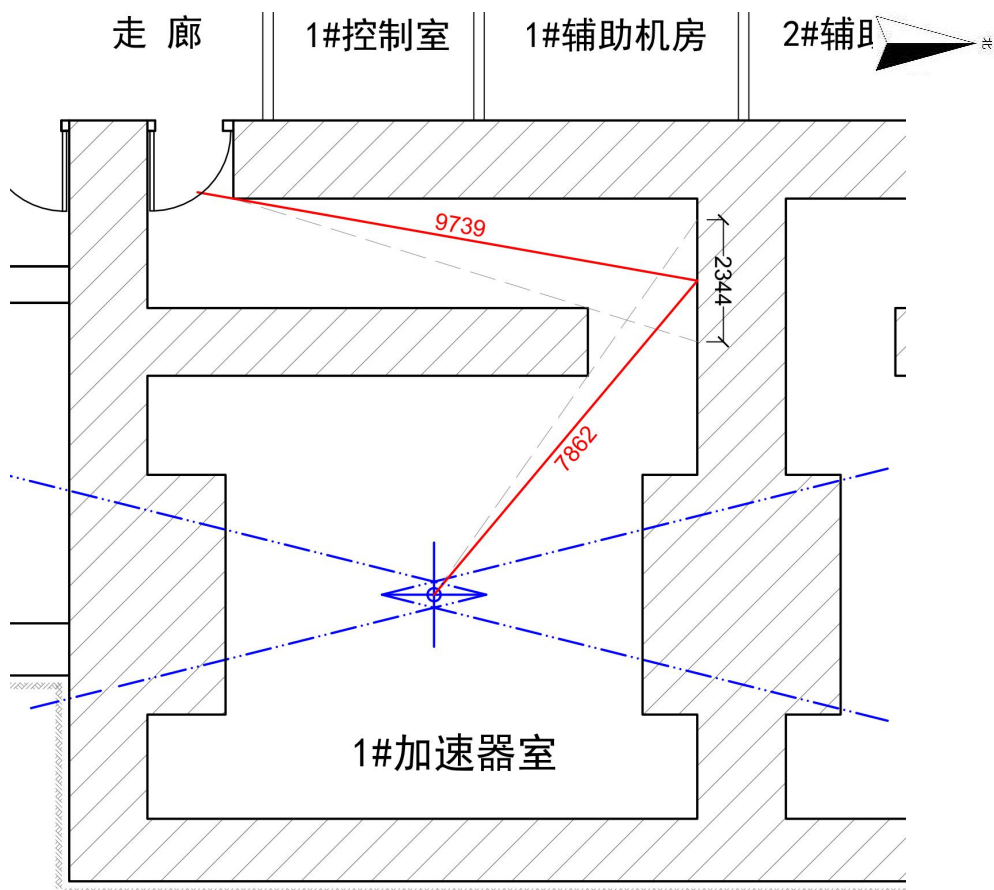


图 11.4 主束经患者散射和屏蔽墙散射示意图

(3) 主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射的剂量率贡献 H_{SS} :

主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射示意图见图 11.5，参考 NCRP NO.151 中式 2.9:

$$H_{SS} = \frac{W \cdot U \cdot \alpha_0 \cdot A_0 \cdot \alpha_z \cdot A_z}{(d_h \cdot d_r \cdot d_z)^2} \quad (11-10)$$

式中:

H_{SS} — 预测点处辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

W — X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率;

U — 墙的使用因子, 计算瞬时剂量率时取 1;

α_0 — 主束散射面的散射系数 (见表 11.9);

A_0 — 等中心 1 m 处最大照射野投影在主屏蔽墙上的面积, m^2 ;

α_z — 主束到达二次散射墙发生第二次散射的反散射系数 (见表 11.9);

A_z — 主束的散射线到达二次散射墙时的二次散射面积, m^2 ;

d_h — 靶点至主束散射面的距离, m;

d_r — 主束散射面中心点至迷路中心线的距离, m;

d_z — 迷路中心线到防护门入口处的距离, m。

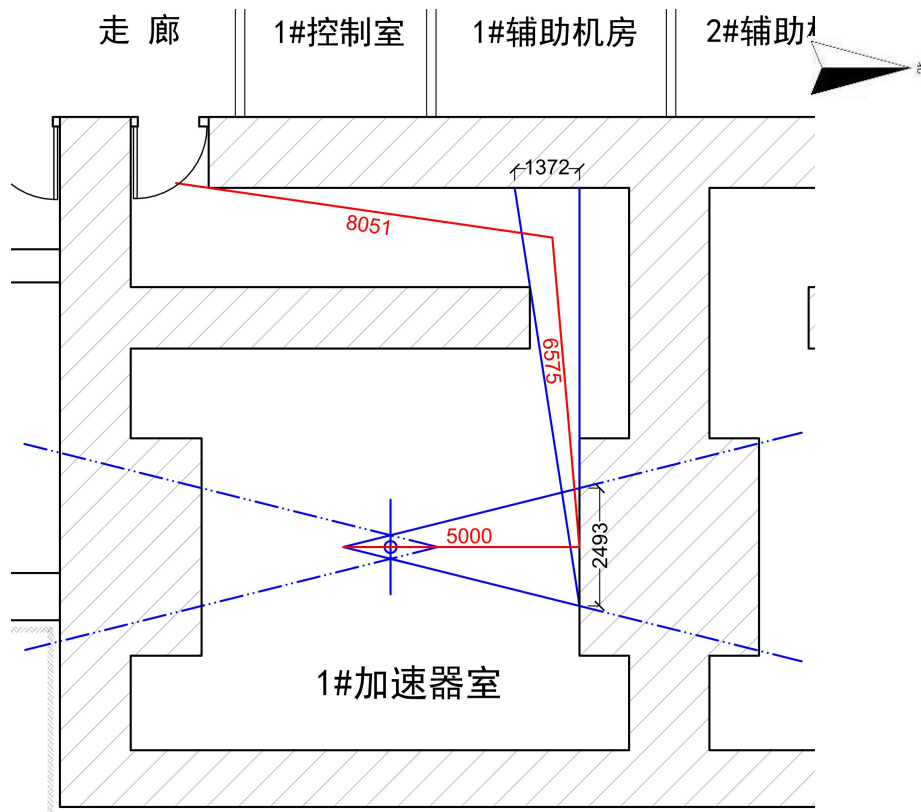


图 11.5 主束穿过患者经屏蔽墙二次散射示意图

(4) 泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的剂量率贡献 H_{LT} :

由表 11.5~表 11.8 的估算结果可知, 泄漏辐射穿过迷道内墙和防护门的辐射贡献值为 $1.26 \text{E-}01 \mu\text{Sv/h}$ (6MV、1400cGy/min) 和 $3.97 \text{E-}01 \mu\text{Sv/h}$ (10MV、2400cGy/min)

本项目 1#加速器室迷道口内侧的总剂量率贡献值列于表 11.9。

表 11.9 1#加速器室迷路口内侧剂量率计算参数及结果

剂量率贡献	参数		数值	单位	计算依据
泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}	H_{LS}	6MV	6.55	$\mu\text{Sv/h}$	依式 (11-8) 计算
		10MV	8.75		
	W	6MV	$8.40 \text{E}+08$	$\mu\text{Sv/h}$	设备参数
		10MV	$1.44 \text{E}+09$		
	L_f		0.001	-	设备参数
	α_1	6MV	$7.7 \text{E-}03$	-	NCRP REPORT 151 TableB.8b/60°
		10MV	$6.0 \text{E-}03$		
	A_1		6.7	m^2	设计资料
d_{sec}		8.3	m	设计资料	
d_{zz}		9.8	m	设计资料	
主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{PS}	H_{PS}	6MV	92.41	$\mu\text{Sv/h}$	依式 (11-9) 计算
		10MV	143.42		
	W	6MV	$8.40 \text{E}+08$	$\mu\text{Sv/h}$	设备参数
		10MV	$1.44 \text{E}+09$		
	F		1600	cm^2	设备参数
	α_0	6MV	$8.24 \text{E-}04$	-	NCRP REPORT 151 TableB.4/60°
10MV		$7.46 \text{E-}04$			
α_1		$2.0 \text{E-}02$	-	NCRP REPORT 151 TableB.8b (60°/0.5 MeV)	

	A_l		9.8	m ²	设计资料
	d_{sec}		7.9	m	设计资料
	d_{zz}		9.7	m	设计资料
主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射的剂量率贡献 H_S ;	H_{SS}	6MV	21.06	μSv/h	依式 (11-10) 计算
		10MV	28.08		
	W	6MV	8.40E+08	μSv/h	设备参数
		10MV	1.44E+09		
	α_0	6MV	2.7E-03	-	NCRP REPORT 151 TableB.8a/30°
		10MV	2.1E-03		
	α_z		1.8E-02	-	NCRP REPORT 151 TableB.8b (75°/0.5MeV)
	A_0		6.2	m ²	设计资料
	A_z		5.8	m ²	设计资料
	d_h		5.0	m	设计资料
d_r		6.6	m	设计资料	
d_z		8.0	m	设计资料	
泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的剂量率贡献	H_{LT}	6MV	1.26E-01	μSv/h	表 11.5~表 11.8 的计算结果
		10MV	3.97E-01		

NCRP NO.151 报告给出，迷道口内侧来自有用线束和机头泄漏射线的散射 X 射线能量较低，平均值约为 0.2MeV，在铅中的 TVL 值取 5mm。本项目 1#加速器室防护门防护厚度为 15mmPb，根据表 11.9 的计算结果可得，1#加速器室防护门外附加剂量率为：

$$6MV: (6.55+92.41+21.06) \times 10^{-(15/5)} + 0.126 = 0.246\mu\text{Sv/h}.$$

$$10MV: (8.75+143.42+28.08) \times 10^{-(15/5)} + 0.397 = 0.577\mu\text{Sv/h}.$$

2#加速器室防护门外的附加剂量率与上述计算结果相同。

由上述估算结果可得：本项目 2 间加速器室防护门外附加剂量率最大值为 0.577μSv/h，满足本项目提出的加速器室防护门外不大于 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。

本项目 1#加速器室防护门与后装机室防护门相邻，需考虑剂量率叠加，根据表 11.15 的计算结果，则 1#加速器机房防护门外附加剂量率不超过 0.577μSv/h+0.182μSv/h=0.759μSv/h，仍满足本项目提出的加速器室防护门外不大于 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。

考虑到辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，以及加速器室周围土层和建筑物的屏蔽作用，预计本项目 2 间加速器室周围 50m 评价范围内各保护目标处的附加剂量率将远远小于 2.5μSv/h，基本可维持在正常本底水平。

11.2.7 其他辐射影响分析

(1) 天空反散射和侧向散射分析

本项目 2 间加速器室顶上方为室外道路，加速器室顶上方两侧有较高建筑物，其中室顶西侧为急危重症楼（标高大于 30m），室顶东侧为门急诊楼（标高约 18m）。

本项目 2 间加速器室均位于地下一层，天空反散射对加速器室顶周围地面区域的辐射影响极小，因此不再考虑天空反散射的影响。本项目加速器运行对急危重症楼和门急诊楼的辐射影响主要为侧向散射，侧向散射路径见图 11.6。

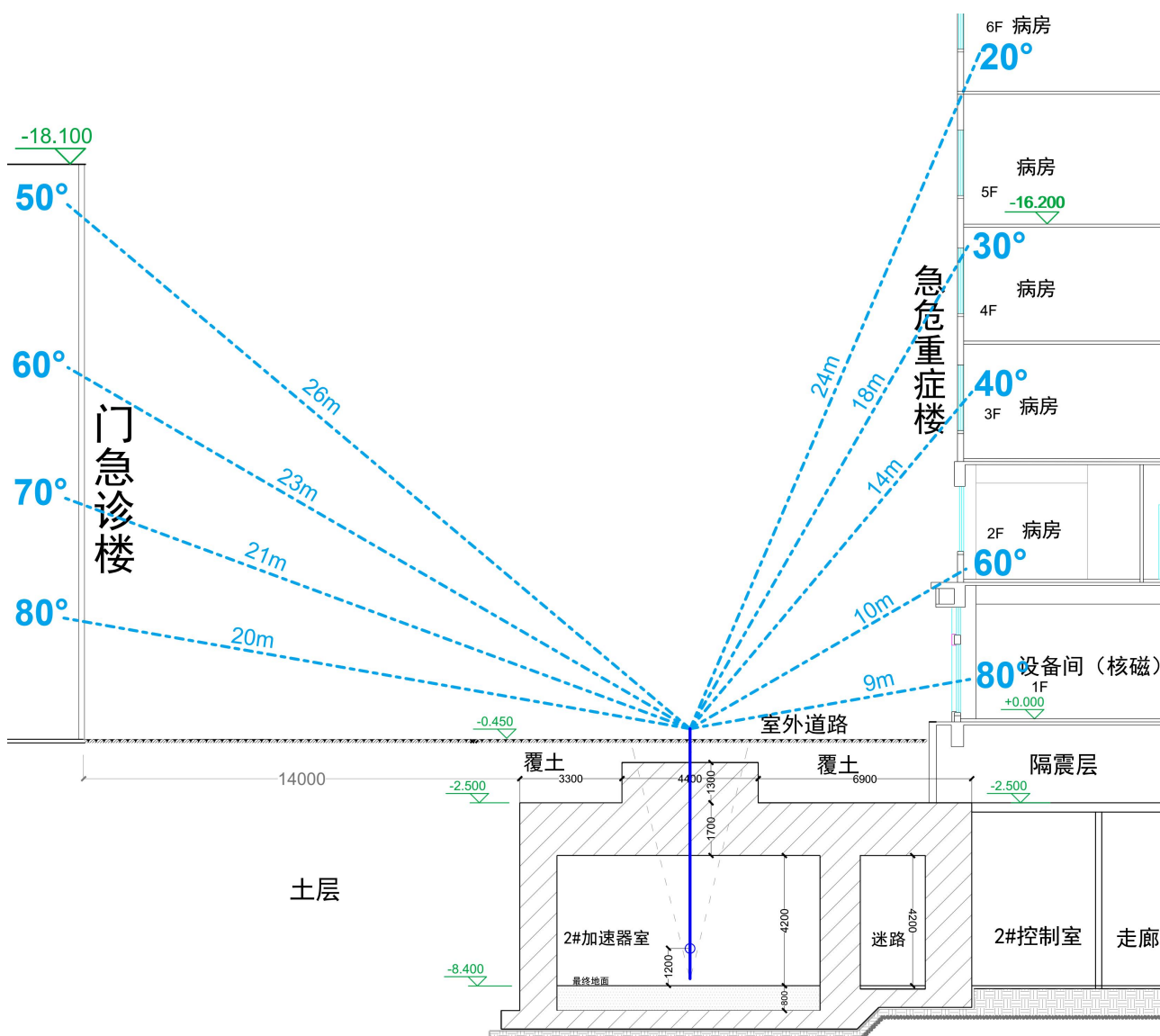


图 11.6 2#加速器室顶侧向散射路径示意图

参考 NCRP NO.151 中式 5.5 的侧向散射计算方法，侧向散射的计算结果详见表 11.11：

$$H_S = \frac{D_0 F f(\theta)}{d_R^2 10^{1 + \left[\frac{(t - TVL_1)}{TVL_e} \right]}} \quad (11-11)$$

式中：

H_S — 侧向散射所致关注点处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

D_0 — X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

F — 等中心点 1m 处照射野面积，取 0.16m^2 ；

$f(\theta)$ — 顶层散射光子的角分布函数，详见表 11.10；

d_R — 在屋顶的射束中心点到估算点的距离，m，见图 11.6；

TVL_e 、 TVL_l — 主射线的平衡什值层和第一什值层厚度，cm，详见表 11.2。

表 11.10 2#加速器室屋顶侧向散射估算结果

建筑物	楼层	θ (°)	$f(\theta)$	d_R (m)	H_S ($\mu\text{Sv/h}$)
急危重症楼	一层	80	0.014	9	3.98×10^{-4}
	二层	60	0.065	10	1.50×10^{-3}
	三层	40	0.16	14	1.88×10^{-3}
	四层	30	0.26	18	1.85×10^{-3}
	五层	20	0.38	24	1.52×10^{-3}
门急诊楼	一层	80	0.014	20	8.06×10^{-5}
	二层	70	0.035	21	1.83×10^{-4}
	三层	60	0.065	23	2.83×10^{-4}
	四层	50	0.10	26	3.41×10^{-4}

注：2#加速器运行工况 10MV、2400cGy/min。

由上述估算结果可得：本项目加速器室屋顶两侧急危重症楼和门急诊楼位置处，X 射线侧向散射剂量率最高不超过 $1.88 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

当加速器治疗束向室顶照射时才会产生 X 射线侧向散射，本项目单台加速器年运行时间为 625h，治疗束向上照射的使用因子取 25%。保守假设大楼内公众的居留因子均取 1，并考虑 2 台加速器同时运行的剂量率叠加，则 X 射线侧向散射所致大楼内公众的受照剂量最高不超过 $1.88 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h} \times 625\text{h/a} \times 25\% \times 1 \times 2(\text{台}) = 0.59 \mu\text{Sv/a}$ 。由上述分析结果可知，加速器室顶上方 X 射线侧向散射对急危重症楼和门急诊楼内公众的辐射影响很小。

(2) 主屏蔽墙宽度分析

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），加速器主屏蔽墙宽度 Y_P 应满足：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \times \tan\theta + 0.3] \quad (11-12)$$

式中：

Y_P — 加速器室有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD — 源轴距，本项目取 1m；

θ — 有用线束最大半张角，取 14° ；

a — 等中心点到主屏蔽相连接的次屏蔽墙内表面的距离（内凸形式），或等中心点到主屏蔽区墙的外表面的距离（外凸形式），m；

本项目 2 间加速器室空间尺寸和屏蔽设计一致，以 1#加速器室为例进行分析。

1#加速器室南侧主屏蔽墙为内凸形式，等中心点至南侧次屏蔽墙内表面的距离 a 为 5.5m，

由式（11-12）计算可得南侧主屏蔽墙宽度应不小于 3.84m，南侧主屏蔽墙设计宽度为 4.60m，宽度满足要求；

1#加速器室北侧主屏蔽墙为内凸形式，等中心点至北侧次屏蔽墙内表面的距离 a 为 5.05m，由式（11-12）计算可得北侧主屏蔽墙宽度应不小于 3.62m，北侧主屏蔽墙设计宽度为 4.60m，宽度满足要求；

1#加速器室屋顶主屏蔽墙为外凸形式，等中心点至屋顶主屏蔽墙外表面的距离 a 为 6.0m，由式（11-12）计算可得屋顶主屏蔽墙宽度应不小于 4.10m，北侧主屏蔽墙设计宽度为 4.40m，宽度满足要求；

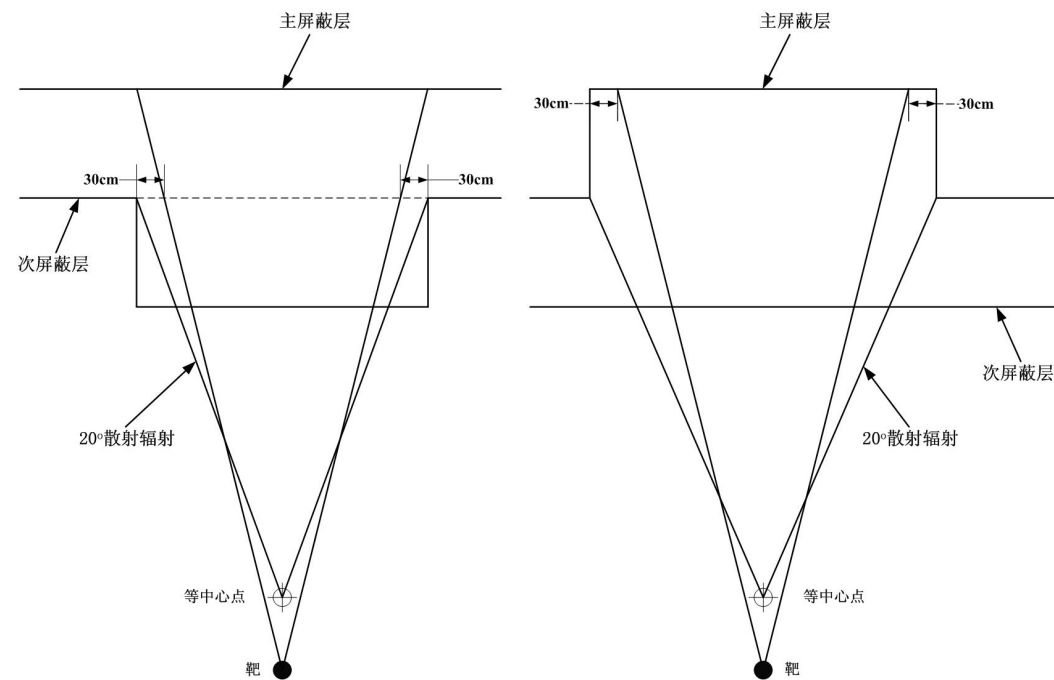


图 11.7 主屏蔽墙宽度要求示意图

（3）通风口、线缆沟屏蔽补偿分析

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.3 条要求“管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿”。本项目加速器室的通风洞口位于防护门上方，并采用“Z”形向下斜穿的方式穿越屏蔽墙。加速器室线缆沟位于迷道外墙，采用“U”形方式从地下穿越屏蔽墙。通风口和线缆沟的穿墙方式均不影响加速器室的屏蔽效果，因此不必再进行额外的屏蔽补偿。

由于加速器室迷道内的杂散 X 射线剂量率和能量都比较低，且杂散 X 射线还需要再经历 2~3 次散射才能从通风口和线缆沟内穿出，预计通风口和线缆沟外侧的附加剂量率将处于极低水平，且通风口和线缆沟出口处人员居留因子较小，对周围人员的辐射影响很小，不再进一步分析计算。

（4）CBCT 运行环境影响分析

本项目加速器设备自带 CBCT 的 X 射线最大能量为 150kV，其射线能量和输出剂量率均远小于 MV 量级的治疗束。根据 ICRP 33 号出版物 P78 表 3 可知，150kV 的宽束 X 射线在混凝土中的十分之一值层厚度为 7cm，对于 150cm 厚的混凝土墙，计算可得 150kV 宽束 X 射线的透射因子 $B=3.73 \times 10^{-22}$ ，比治疗束透射因子低十几个数量级，因此 CBCT 正常运行时产生的辐射影响极小，不再考虑。

11.2.8 人员附加剂量估算

(1) 附加剂量估算公式

本项目职业人员、公众附加剂量估算可按照如下公式计算：

$$H = \dot{H} \times t \times T \times U \quad (11-13)$$

式中： H — 人员附加剂量， $\mu\text{Sv/a}$ ；

\dot{H} — 关注点处的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t — 出束时间， h/a ；

T — 居留因子，取值参考 GBZ121-2020 附录 A 表 A.1；

U — 治疗束朝向的使用因子；

(2) 加速器使用规划

① 出束时间：本项目 2 台加速器投入运行后，预计每台加速器每天最多治疗 60 人/次，年工作 250 天，单台加速器日出束时间不超过 150min/d，年累计出束时间不超过 625h；

② 使用工况：6MV 工况和 10MV 工况分别占总治疗量的 80%和 20%，即 6MV 工况年出束时间为 500h，10MV 工况年出束时间为 125h；

③ 使用因子：加速器机头朝各主束墙方向的使用因子均取为 25%。

(3) 职业人员、公众附加剂量估算结果

各关注点处剂量率参照表 11.4~表 11.10 的估算结果，本项目 2 台加速器运行期间所致职业人员和周围公众的年附加剂量估算结果见表 11.11。

表 11.11 本项目 2 台加速器运行期间职业人员和公众年附加剂量估算结果

关注点位	6MV		10MV		使用因子	居留因子	年附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)	估算对象
	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h/a)	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h/a)				
1#控制室内 (1F)	3.13×10^{-6}	500	2.04×10^{-5}	125	100%	1	4.12×10^{-3}	职业人员
2#控制室内 (2F)	3.13×10^{-6}	500	2.04×10^{-5}	125	100%	1	4.12×10^{-3}	职业人员
1#加速器室防护门外 (1g)	0.246	500	0.577	125	100%	1/4	48.8	职业人员
2#加速器室防护门外 (2g)	0.246	500	0.577	125	100%	1/4	48.8	职业人员

1#辅助机房 (1E)	2.41×10^{-2}	500	8.69×10^{-2}	125	100%	1/16	2.86 (2台叠加)	职业人员*
2#辅助机房 (2E)	2.41×10^{-2}	500	8.69×10^{-2}	125	100%	1/16		
治疗计划室 (1J)	8.06×10^{-3}	500	2.91×10^{-2}	125	100%	1	7.67 (2台叠加)	职业人员*
治疗计划室 (2J)	1.05×10^{-6}	500	6.86×10^{-6}	125	100%	1		
妇科检查准备室 (1K)	1.55×10^{-2}	500	5.18×10^{-2}	125	100%	1	14.2	职业人员
北侧预留控制室 (2H)	1.46×10^{-2}	500	7.04×10^{-2}	125	100%	1	16.1	职业人员
南侧后装机室 (1C)	6.01×10^{-2}	500	2.83×10^{-1}	125	100%	1/8	8.18	职业人员
北侧预留机房 (2C)	6.01×10^{-2}	500	2.83×10^{-1}	125	100%	1/8	8.18	职业人员
1#加速器室防护门外 (1g)	0.246	500	0.577	125	100%	1/16	12.2	公众
2#加速器室防护门外 (2g)	0.246	500	0.577	125	100%	1/16	12.2	公众
放疗入口及候诊区 (2K)	2.54×10^{-3}	500	1.35×10^{-2}	125	100%	1	2.96	公众
1#屋顶上方道路(主屏蔽)	1.41×10^{-2}	500	2.25×10^{-1}	125	25%	1/16	1.10 (2台叠加)	公众*
2#屋顶上方道路(主屏蔽)	1.41×10^{-2}	500	2.25×10^{-1}	125	25%	1/16		
1#屋顶上方道路(次屏蔽)	1.28×10^{-2}	500	6.36×10^{-2}	125	100%	1/16	1.79 (2台叠加)	公众*
2#屋顶上方道路(次屏蔽)	1.28×10^{-2}	500	6.36×10^{-2}	125	100%	1/16		
重症楼病房区域	1.39×10^{-3}	500	7.88×10^{-3}	125	100%	1	3.36 (2台叠加)	公众*
重症楼病房区域	1.39×10^{-3}	500	7.88×10^{-3}	125	100%	1		
门急诊楼内	8.42×10^{-6}	500	4.60×10^{-5}	125	100%	1	0.02 (2台叠加)	公众*
门急诊楼内	8.42×10^{-6}	500	4.60×10^{-5}	125	100%	1		
注*: 考虑 2 台加速器同时运行的剂量叠加。								

由表 11.11 可知, 本项目 2 台加速器运行所职业人员附加剂量不超过 $48.8\mu\text{Sv/a}$, 考虑与后装机防护门外剂量叠加后, 附加剂量不超过 $55.6\mu\text{Sv/a}$ (见表 11.16); 本项目 2 台加速器运行所致公众人员受照剂量不超过 $12.2\mu\text{Sv/a}$, 考虑与后装机防护门外剂量叠加后, 公众的附加剂量不超过 $13.9\mu\text{Sv/a}$ (见表 11.18)。以上估算结果均满足本评价设定的职业人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

考虑到辐射剂量率与距离的平方成反比的规律以及加速器室周围土层和建筑物的屏蔽作用, 预计本项目 2 间加速器室周围 50m 评价范围内各保护目标的年附加剂量将远低于本项目公众剂量约束值 0.1mSv/a 。此外, 以上剂量估算结果是假定加速器始终以 FFF 模式运行计算得到的, 因此加速器实际运行后, 职业人员和公众的年附加剂量还将进一步降低。

11.2.9 有害气体的环境影响

加速器开机运行期间，空气中的 O₂ 和 N₂ 在强 X 射线的作用下会生成自由基，与空气中的 O₂ 和 N₂ 结合，生成臭氧、氮氧化物等有害气体，O₃ 的主要毒性是氧化作用，对粘膜有很强的刺激作用，中毒症状为肺功能下降，呼吸道感染、鼻炎等。因此，须对加速器运行期间产生的有害气体进行分析。

依据某国际机构 188 号报告《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和王时进等人发表的《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志，1994 年第 14 卷第 2 期，P101）给出的公式估算加速器 X 射线所致臭氧的产额和浓度。由于本项目 2 间加速器室空间尺寸一致，加速器运行参数也一致，因此以 1#加速器室为例进行估算即可。

① 臭氧的危害影响

臭氧来源包括有用线束的臭氧产额和泄漏辐射的臭氧产额两部分。

有用线束的臭氧产额可由式（11-14）计算得到。

$$Q = 2.43D_0(1 - \cos \theta)RG \quad (11-14)$$

式中：

Q — O₃ 的产额；

D_0 — 有用线束在距等中心点 1m 处的输出量，取 24Gy/min；

R — 射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，取 4m；

G — 空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，取 10；

θ — 有用束的半张角，取 $\theta = 14^\circ$ 。

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑加速器室墙壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%，臭氧产额可由式（11-15）计算得到。

$$Q_0 = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{\frac{1}{3}} \quad (11-15)$$

其中： $D_0 = 24\text{Gy/min}$ （最大值）； $G = 10$ ；1#加速器室内部体积（含迷道部分） $V = 432\text{m}^3$ 。

根据计算式（11-14）可得，有用线束 O₃ 产额为 69.3mg/h。

根据计算式（11-15）可得，泄漏辐射和散射辐射的 O₃ 产额 6.0mg/h。

则加速器运行时臭氧的总产率为： $69.3\text{mg/h} + 6.0\text{mg/h} = 75.3\text{mg/h}$ 。

考虑连续排风和臭氧的分解时，治疗室空气中臭氧的平均浓度可由式（11-16）计算：

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-(t/T)}) \quad (11-16)$$

其中

$Q(t)$ — 治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度， mg/m^3 ；

Q_0 —臭氧的产生率, mg/h;

V —治疗室的体积(含迷道部分), $V=432\text{m}^3$;

T —有效清除时间, h。

如果照射时间很长($t \gg T$), 则:

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \quad (11-17)$$

若以 t_v 表示换气一次所需时间 h ; t_d 表示臭氧的有效分解时间(取 0.83h), 则有效清除时间为:

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (11-18)$$

式中,

t_v —换气一次所需时间, h;

t_d —臭氧的有效分解时间, 0.83h ;

本项目 1#加速器室和 2#加速器的有效换气次数均达到 4 次/h 以上, 按 $t_v = 0.25\text{h}$ 保守计算, 由式(11-18)计算得有效清除时间 $T = 0.192\text{h}$ 。

当 $t \gg T$ 时, 臭氧达饱和浓度, 由式(11-17)计算可得, 在正常排风时加速器室内臭氧的平均浓度为 $3.35\text{E-}02\text{mg}/\text{m}^3$, 远低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)中臭氧浓度限值 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。1#加速器室内的臭氧通过排风系统高空排放, 经大气的稀释和扩散作用, 其浓度将进一步降低, 远低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及其修改单中“臭氧 1h 平均浓度 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ”的浓度限值要求。

② 氮氧化物对环境的影响

加速器运行时还会产生各类氮氧化物 NO_x (以 NO_2 为主), 产额约为 O_3 的一半, 约为 $1.67\text{E-}02\text{mg}/\text{m}^3$, 远低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)中氮氧化物浓度限值 $5\text{mg}/\text{m}^3$, 也远低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及其修改单中“二氧化氮 1h 平均浓度 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ”的浓度限值要求。

可见, 本项目加速器运行期间, 2 间加速器室内产生的臭氧和氮氧化物有害气体通过排风系统排放, 有害气体浓度均远低于相关国家标准限值, 对加速器工作场所和周围大气环境的影响十分轻微。

11.3 后装机运行阶段环境影响分析

11.3.1 设备参数和使用规划

本项目拟新增使用的 1 台后装机设备的具体型号未定，根据医院提供的信息，本项目后装机设备计划使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大新源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)，属于 III 类放射源，使用场所位于急危重症楼负一层放疗中心后装机室。本项目后装机设备基本参数见表 11.12。

表 11.12 本项目后装机基本参数

设备厂家	待定
放射源厂家	待定
放射源核素种类	^{192}Ir
最大装源活度	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)
半衰期	74d
γ 射线能量均值	0.37 MeV
空气比释动能率常数 K_{γ}	$0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$
贮源器表面泄漏辐射水平*	工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
注*：依据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017) 中表 1 的相关规定。	

根据医院提供的信息，本项目后装机预计最大工作量情况为：每周治疗患者人数为 30 人，年工作 50 周，年累计治疗量约为 1500 人次。新装源（活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）时，每位患者的治疗照射时间 5-10min，平均为 6min。由于 ^{192}Ir 放射源半衰期较短（74.0d），通常半年左右更换一次放射源，约经过 2 个半衰期，放射源活度约降低 4 倍。随着 ^{192}Ir 放射源活度的降低，每人次的治疗照射时间将相应延长，在放射源使用末期，每人次治疗时间大约需要 30~40 分钟。

本评价以最大装源活度（10Ci）为源项估算后装机室屏蔽体周围的附加剂量率，为了便于计算，本评价将治疗照射时间折合为新装源的治疗时间，即平均每位患者的治疗照射时间为 6min，周治疗照射时间约为 3h，年累积治疗照射时间约 150h，并以此来计算职业人员和公众年受照剂量。

11.3.2 附加剂量率估算方法

从偏安全角度考虑，本评价将放射源视为点状裸源，裸源为 4π 方向出束，因此后装机室应考虑裸源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对屏蔽墙和室顶的直接照射及其散射辐射在治疗室入口处的照射。本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中推荐的方法来估算后装机室周围附加剂量率水平。

(1) 初级辐射的剂量率估算

初级辐射的屏蔽计算方法参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治

疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中式（2）、式（4）以及式（7）、式（8）进行计算：

$$H = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-19)$$

$$B = 10^{-\frac{X \cdot \cos\theta}{TVL}} \quad (11-20)$$

式中：

H — 关注点处附加剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A — 放射源最大活度，取值为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ （10Ci）；

K_{γ} — 放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时 K_{γ} 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；根据 GBZ/T201.3-2014 中附录 C 表 C.1， ^{192}Ir 核素的 K_{γ} 常数取 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

f — 对有用线束取 1；

B — 屏蔽墙的屏蔽透射因子；

X — 屏蔽墙的厚度；

θ — 斜射角，入射线方向与屏蔽体平面的法线的夹角；

TVL — 辐射在屏蔽物质中的什值层厚度，根据 GBZ/T201.3-2014 中附录 C 表 C.1， ^{192}Ir 发出的 γ 射线在混凝土中的什值层厚度取 152mm，在铅中的什值层厚度取 16mm；

R — 放射源至关注点的距离，m；

（2）散射辐射的剂量率估算

后装机室防护门内侧的散射辐射计算方法参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中式（16）进行计算：

$$H_g = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-21)$$

式中：

H_g — 防护门内侧散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A — 放射源最大活度，取值为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ （10Ci）；

K_{γ} — 放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时 K_{γ} 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；根据 GBZ/T201.3-2014 中附录 C 表 C.1， ^{192}Ir 核素的 K_{γ} 常数取 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

S_w — 迷路口墙的散射面积，为放射源和迷道入口共同可见墙区面积， m^2 ；

α_w — 散射墙对 45° 入射辐射的散射因子，根据 GBZ/T201.3-2014 中附录 C 表 C.4，考虑

^{192}Ir 的 γ 射线 45° 入射和 15° 反散射，保守取 0.25MeV 的散射因子，取值为 3.50×10^{-2} ；

R_1 — 放射源至散射墙中心点的距离，m；

R_2 — 散射墙中心点至防护门内侧的距离，m；

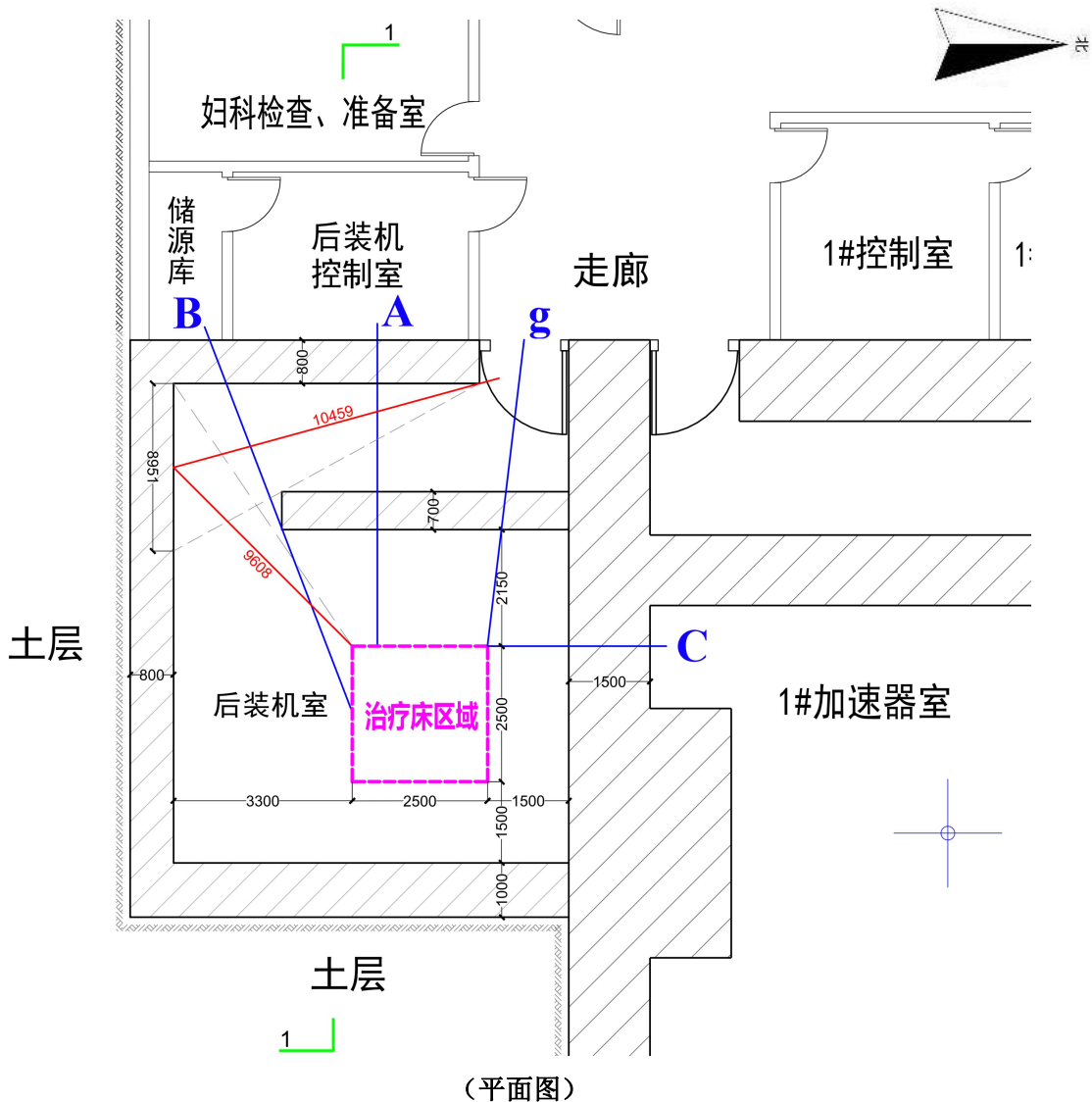
本项目后装机室屏蔽防护计算参数汇总详见表 11.13。

表 11.13 本项目后装机室周围附加剂量率估算参数汇总表

源项	初级辐射	散射辐射
^{192}Ir 裸源 (10Ci)	$A : 3.7 \times 10^5 \text{ MBq};$ $K_\gamma : 0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq});$ $TVL_{\text{Fe}} : 152\text{mm};$ $TVL_{\text{Pb}} : 16\text{mm};$	$A : 3.7 \times 10^5 \text{ MBq};$ $K_\gamma : 0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq});$ $S_w : 45.65\text{m}^2;$ $\alpha_w : 3.50 \times 10^{-2};$ $R_1 : 9.6\text{m};$ $R_2 : 10.4\text{m};$

(3) 剂量关注点选取

本项目后装机室周围关注点平面和剖面示意图见图 11.8，其中治疗床区域为放射源可能的使用区域，放射源与关注点的距离均取最短距离。



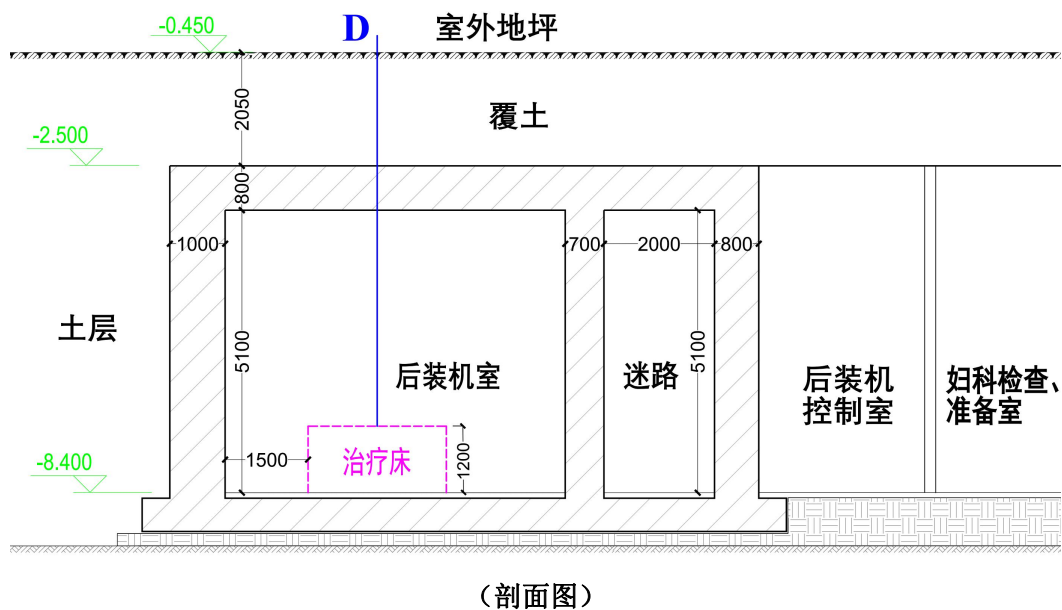


图 11.8 后装机室周围关注点平面和剖面示意图

11.3.3 附加剂量率估算结果及分析

本项目后装机室周围各关注点处附加剂量率估算结果见表 11.14、表 11.15。

表 11.14 后装机室周围各关注点剂量率估算结果

点位	放射源活度 (MBq)	K_γ 常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$)	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	斜射角	透射因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A 西墙外 30cm 处后装机控制室	3.7×10^5	0.111	5.9	700mm 混凝土 +800mm 混凝土	0°	1.35×10^{-10}	1.60×10^{-7}
B 西墙外 30cm 处储源室			7.6	800mm 混凝土	20°	2.51×10^{-6}	1.78×10^{-3}
C 北墙外 30cm 处 1#加速器室			3.3	1500mm 混凝土	0°	1.35×10^{-10}	5.11×10^{-7}
D 屋顶上方 30cm 处室外道路			7.0	800mm 混凝土	0°	5.46×10^{-6}	4.57×10^{-3}
g 后装机室防护门外			5.7	700mm 混凝土 +8mmPb	0°	7.85×10^{-6}	9.92×10^{-3}

注: 混凝土密度为 2.35t/m^3 , 铅密度为 11.34t/m^3 , 计算时未考虑后装机室顶覆土的防护。

表 11.15 防护门外散射辐射剂量率估算结果

放射源活度 $A(\text{MBq})$	3.7×10^5
K_γ 常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$)	0.111
散射面积 $S_w(\text{m}^2)$	45.65
散射因子 α_w	3.50×10^{-2}
$R_1(\text{m})$	9.6
$R_2(\text{m})$	10.4

计算结果 H_g ($\mu\text{Sv/h}$)

6.85

根据表 11.15 的估算结果，后装机防护门内侧散射辐射剂量率为 $6.85\mu\text{Sv/h}$ ，本项目后装机室防护门防护厚度为 8mmPb ，防护门内侧散射辐射能量约为 0.2MeV ，其在铅中的 TVL 值取 5mm 。经 8mmPb 防护门屏蔽后，防护门外散射辐射剂量率降为 $0.172\mu\text{Sv/h}$ ，与表 11.14 中关注点 g 的计算结果叠加后，本项目后装机防护门外的最大附加剂量率为 $0.182\mu\text{Sv/h}$ 。

综合上述估算结果可知：本项目后装机在最大装源活度时正常使用，后装机室屏蔽墙体和防护门外 30cm 处最大附加剂量率为 $0.182\mu\text{Sv/h}$ （防护门外 30cm 处），估算结果满足本评价提出的后装机室的四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

本项目后装机室防护门与 1#加速器室防护门相邻，考虑剂量率叠加后，后装机室防护门外附加剂量率不超过 $0.577\mu\text{Sv/h}+0.182\mu\text{Sv/h}=0.759\mu\text{Sv/h}$ ，仍满足本项目提出的后装机室防护门外不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

后装机室顶上方地面道路处辐射剂量率仅为 $4.57\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，远远低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平，因此不再考虑天空反散射的影响。由于计算时未考虑后装机室顶 2m 厚覆土层的防护效果，预计后装机实际运行期间对室顶上方地面的辐射影响将极其轻微。

11.3.4 职业人员受照剂量估算

(1) 设备操作

根据医院提供的信息，本项目后装机每周治疗不超过 30 人/次，年工作 50 周，年累计治疗量约为 1500 人次。为了便于计算，本评价将治疗照射时间折合为新装源的治疗时间，即平均每位患者的治疗照射时间为 6min ，周治疗照射时间约为 3h ，年累积治疗照射时间约 150h/a 。后装机设备操作受照剂量估算结果见表 11.16。

表 11.16 后装机设备操作受照剂量估算结果

关注点位	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)	居留因子	年附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)	估算对象
控制室内	1.60×10^{-7}	150	1	2.40×10^{-5}	职业人员
防护门外	0.182	150	1/4	6.83	职业人员

由于后装机室防护门和 1#加速器室防护门相邻，考虑剂量叠加后，则后装机防护门外辐射工作人员的受照剂量不超过 $6.83\mu\text{Sv/a}+48.8\mu\text{Sv/a}=55.6\mu\text{Sv/a}$ 。

(2) 患者摆位

后装机辐射工作人员在机房协助患者摆位时，不可避免的受到 ^{192}Ir 密封放射源泄漏辐射影响，从而增加其所受的辐射剂量。由于本项目后装机设备型号和生产厂家尚未确定，无法获

取最大装源量时贮源器表面的泄漏辐射数据，因此本评价参考《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中表 1 的相关规定：工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目后装机每周治疗不超过 30 人/次，年工作 50 周，年累计治疗量约为 1500 人次，假设辐射工作人员每次治疗前、后在床旁各操作 1min，则辐射工作人员在后装机贮源罐（>100cm 处）周围的累计停留时间约 50h/a，贮源器表面 100cm 处周围剂量当量率保守按照 $5\mu\text{Sv/h}$ 进行计算，则患者摆位期间辐射工作人员受照剂量最高为 $5\mu\text{Sv/h}\times 50\text{h/a}=250\mu\text{Sv/a}$ 。

实际上，随着 ^{192}Ir 活度随时间的衰减，贮源器表面 100cm 处的泄漏辐射剂量率将会降低，工作人员摆位期间的受照剂量将低于上述计算值。

（3）旧源的暂存

根据医院及设计院提供的信息，本项目后装机换源后，旧源源罐需要在后装机控制室南侧的储源室内暂存一段时间（约 5~7 天），随后由供源厂家派专用运输工具将旧源返回原生产单位或者原出口方。

医院拟在后装机储源室内配备 1 个的储源保险箱，其防护厚度为 25mmPb，并采取防盗门、双人双锁、监控等安防措施。参考《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）中 5.8 条的规定，距离装有活度为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ 以上的密封 γ 放射源容器外表面 100cm 处任意一点辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h 。

后装机旧源活度按新源活度的 30% 计算（新源、旧源使用同一源罐），距源罐外表面 1m 处的空气比释动能率保守按 0.06mGy/h （取 $60\mu\text{Sv/h}$ ），根据公式（11-19）和表 11.13 的估算参数，旧源贮存时，后装机储源室周围附加剂量率估算结果见表 11.17。

表 11.17 旧源贮存期间储源室周围剂量率估算结果

点位	距旧源源罐 1m 处最高剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	屏蔽材料及屏蔽厚度	透射因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A 储源室北侧控制室	60 $\mu\text{Sv/h}$	2.0	25mmPb	2.74×10^{-2}	0.411
B 储源室西侧妇科检查、准备室		3.0	25mmPb	2.74×10^{-2}	0.183
C 储源室屋顶上方道路		7.0	25mmPb+ 250mm 混凝土	6.20×10^{-4}	7.60×10^{-4}

旧源的暂存时间按 7 天计算，每年最多换源 3 次，年最多暂存 21 天。旧源储存期间，工作人员在控制室停留时间按 8h/d 计算，控制室内最大附加剂量率为 $0.411\mu\text{Sv/h}$ ，计算可得，旧源暂存所致工作人员受照剂量为 $0.411\mu\text{Sv/h}\times 8\text{h/d}\times 21\text{d/a}=69\mu\text{Sv/a}$ 。

(4) 职业人员受照剂量统计

综合上述计算结果，本项目后装机辐射工作人员年有效剂量总计为：

$55.6\mu\text{Sv/a}+250\mu\text{Sv/a}+69\mu\text{Sv/a}=375\mu\text{Sv/a}$ ，满足本评价设定的放疗科职业人员不大于 5mSv/a 的剂量约束值要求。

11.3.5 公众有效剂量估算

本项目后装机运行期间所致周围公众的年附加剂量估算结果见表 11.18。

表 11.18 后装机运行所致公众年有效剂量估算结果

关注点位	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)	居留因子	年附加剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)	估算对象
后装室防护门外	0.182	150	1/16	1.71	公众
后装室上方道路	4.57×10^{-3}	150	1/16	0.04	公众

由表 11.18 可知，本项目后装机运行所公众附加剂量不超过 $1.71\mu\text{Sv/a}$ ，考虑与 1#加速器防护门外剂量叠加后，公众的附加剂量不超过 $13.9\mu\text{Sv/a}$ （见表 11.11），满足本评价设定的公众 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

11.3.6 其他环境影响分析

(1) 放射源运输由供源厂家负责，医院仅负责安排车辆进场。源罐的运输时间短，运输路线短捷且不经过人员密集区域；新源运输和旧源退运均从急危重症楼南侧的 1#楼梯进入负一层，1#楼梯与急危重症大楼其他均区域不相通，对周围公众人员的辐射影响很小；

(2) 放射源倒装由供源厂家派专业人员负责，装采用隔室操作，安排在放疗科无病人的时间段进行；因此，放射源倒装对周围人员和环境辐射影响很小，不再进行具体估算；

(3) 后装机换源或退役时将产生废旧 ^{192}Ir 密封源，废源活度约 3Ci ，每年至多产生 3 枚，废源由供源厂家负责回收处理；

(4) 后装机出源治疗期间，治疗室内空气在电离辐射的作用下会产生少量的臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO_x) 等有害气体，本项目后装机室拟采取机械通风措施，有效换气次数不低于 4 次/h，因此有害气体对周围环境和人员的影响极小，可以忽略。

11.4 DSA 运行阶段环境影响分析

11.4.1 设备参数和运行情况

(1) 设备参数

根据医院提供的信息，本项目 2 台 DSA 设备均为双球管设备，各球管的最大管电压均为 125kV ，最大管电流均为 1000mA ，使用场所分别位于急危重症楼 7 层的 DSA1 室和 DSA2 室。本项目 2 台 DSA 设备手术床均呈南北方向摆放，床下球管均为向上照射，横向球管均水平照

射。

(2) 运行情况

根据医院提供的信息，本项目 2 台 DSA 设备投入运行后，预计 2 台设备年手术总量不超过 1500 台。医院计划配备 6 名辐射工作人员，包括 6 名介入手术医师、2 名技师和 2 名护师。6 名介入手术医师两两分组，轮流承担每年 1500 台手术任务，每组医师年手术量不超过 500 台；每台 DSA 设备配备 1 名技师和 1 名护师。根据环评经验数据，DSA 手术类型、工作模式及曝光时间统计见表 11.19。

表 11.19 DSA 手术类型、每台手术平均曝光时间

手术类型	透视时间 (min)	摄影时间 (min)
冠状动脉造影/放置支架	12	1
先心病介入治疗	5	1
起搏器植入、射频消融	5	0.5
外周血管介入诊疗	10	2
脑血管介入诊疗	10	1

根据 NCRP NO.147 报告，心脏血管造影比其他手术类型的工作负荷、泄漏辐射与侧向散射的空气比释动能都大，保守起见，在估算工作人员和周围公众的年附加剂量时，选取表 11.19 中单台手术透视和摄影工作状态的累计最长出束时间，分别取为 12min 和 2min，750 台手术透视模式和摄影模式累计出束时间为 150h 和 25h。

根据北京协和医院介入手术调研情况：1) 心血管介入时多数情况使用床下管，使用双管球同时曝光的占比不足 20%。2) 双球管只在透视模式下使用。本项目保守按照透视模式 20% 采用双管球，摄影模式采用单管球，来估算工作人员的受照剂量。

11.4.2 附加剂量率估算方法

DSA 设备工作模式分为透视和摄影两种，设备具有自动曝光控制功能 (AEC)，能根据患者条件等差异，自动调节曝光参数和 X 射线辐射剂量。即如果受检者体型偏瘦，管电流 (功率) 自动降低。反之管电流 (功率) 自动增强。实际使用时，为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，管电压和管电流通常留有较大的裕量。实际使用时，透视工况管电压通常为 90kV，透视工况管电流通常为 10mA 左右。摄影工况管电压不超过 90kV，但管电流较大，通常为几百 mA，约为透视工况电流的 50 倍。

本项目 2 台 DSA 设备透视和摄影均采用数字脉冲曝光，帧频包括 3.75 帧/秒、7.5 帧/秒、15 帧/秒等。计算 DSA 室外剂量率水平时，透视工况的参数取 90kV、10mA (透视工况保守不考虑数字脉冲方式)，摄影工况参数的取 90kV、500mA、15 帧/s、10ms/帧，透视曝光时间取 12min、摄影曝光时间取 2min，可估算出每名介入手术患者的工作负荷为

10mA×12min+500mA×2min×15 帧/s×0.01s/帧=270mA·min，计算结果大于 NCRP REPORT NO.147 报告中给出的心脏血管造影最大 160mA·min/患者的工作负荷，因此本项目估算条件是保守的。

根据 NCRP REPORT NO.147 附录 B 图 B.1，管电压为 90kV 时，距 X 射线管靶点 1m 处输出量约为 3.777mGy/mA·min。计算可得，在透视工况下距离球管靶点 1 米处的输出量为 3.777mGy/mA·min×10mA×60min/h=2.27Gy/h；摄影工况按 15 帧/s、10ms/帧考虑，计算可得距离球管靶点 1 米处的输出量为 3.777mGy/mA·min×500mA×60min/h×15 帧/s×0.01s/帧=17.0Gy/h。将 X 射线管靶点视为点源，铅和混凝土的透射系数依据 GBZ130-2020 附录 C 计算，再结合距离衰减，进而估算机房周围各关注点的剂量率水平，双球管运行时，源强按照单球管的 2 倍进行估算。

考虑到 DSA 的图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP REPORT NO.147 中 4.1.6 节指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射，故本项目重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

(1) X 射线泄漏辐射

依据辐射剂量率与距离成平方反比关系，距靶点 R(m)处的泄漏剂量当量率可由式(11-22)计算得到，透射因子由式(11-23) (GBZ130-2020 中式 C.1) 计算得到：

$$H_{\text{泄漏}} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{H_0 \cdot B}{R^2} \quad (11-22)$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha}\right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11-23)$$

式中： $H_{\text{泄漏}}$ —关注点处的泄漏剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —距 X 射线管靶点 1m 处的剂量当量率，透视工况取 $2.27 \times 10^6 \mu\text{Sv/h}$ ，摄影工况取 $1.70 \times 10^7 \mu\text{Sv/h}$ （保守认为 1Gy 等效于 1Sv）；

1/1000 — 泄漏辐射剂量率取初级辐射束的 0.1%；

R — 靶点到关注点的距离，m；

B — 透射因子；可依据公式(11-23)和 GBZ130-2020 附录 C 表 C.2 中的参数求得；

X — 屏蔽材料厚度，mm；

α, β, γ — 屏蔽材料对不同管电压 X 射线辐射衰减有关的拟合参数，取值参考 GBZ130-2020 附录 C 表 C.2，本次计算涉及的拟合参数详见表 11.20。

表 11.20 X 射线辐射衰减拟合参数

管电压 (kV)	铅			混凝土		
	α	β	γ	α	β	γ

90	3.067	18.83	0.7726	0.04228	0.1137	0.4690
----	-------	-------	--------	---------	--------	--------

(2) X 射线散射辐射

$$H_{\text{散射}} = \frac{H_0}{R_S^2 \cdot R_0^2} \frac{\alpha \cdot F}{400} B \quad (11-24)$$

式中： $H_{\text{散射}}$ — 关注点的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 — 距 X 射线管靶点 1m 处的剂量当量率，透视工况取 $2.27 \times 10^6 \mu\text{Sv/h}$ ，摄影工况取 $1.70 \times 10^7 \mu\text{Sv/h}$ （保守认为 1Gy 等效于 1Sv）；

R_S — 散射体中心到关注点的距离，m；

R_0 — X 射线管靶点到散射体的距离，m；此处 R_0 取最小值 0.6m（X 射线管距离平板探测器最小距离约为 90cm，距离患者体表的最短距离约为 0.6m）；

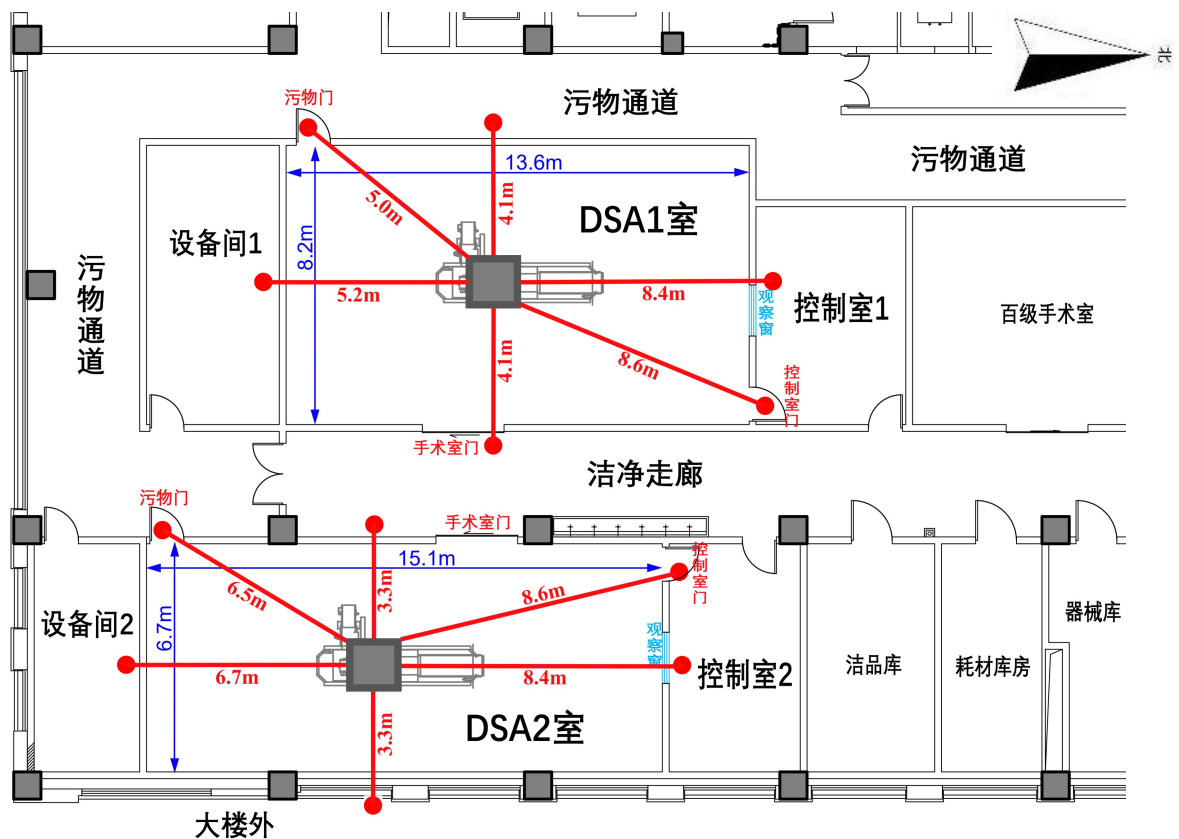
F — 距靶点 R_0 处的射野面积，取 400cm^2 ；

α — 散射比，定义为入射辐射被面积为 400cm^2 水模体散射至距其 1m 处的散射辐射所占入射辐射的份额， 90° 散射是散射辐射的主要成分。依据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1，90kV 的 X 射线 90° 散射比取 1.3×10^{-3} ；

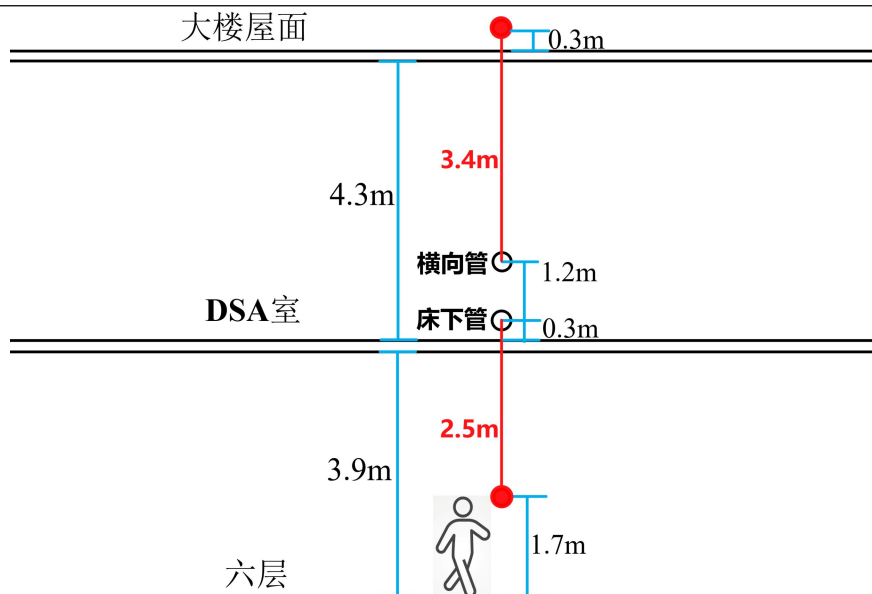
B — 透射因子，可依据公式（11-23）计算。

(3) 关注点选取

本项目 DSA1 室和 DSA2 室周围关注点示意图见图 11.9。



(平面图)



(剖面图)

图 11.9 本项目 DSA 室周围关注点示意图

11.4.3 附加剂量率估算结果

本项目 DSA1 室内部空间尺寸为 13.6m（南北）×8.2（东西）×4.3m（净高），设备使用期间，球管会小范围移动，移动幅度不超过 1m×1m，X 射线球管靶点至 DSA1 室周围关注点处的距离见图 11.9，本项目 DSA 设备在单球管运行期间，DSA1 室周围附加剂量率估算结果见表 11.21。

表 11.21 本项目 DSA1 室周围的附加剂量率估算结果（单球管运行）

工作模式	关注点描述	屏蔽防护 铅当量厚度	距离 (m)	射线束 类型	透射 因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
X 线透视	北墙外 30cm 处	5mmPb	8.4	泄漏	1.72×10^{-8}	5.53×10^{-7}	2.55×10^{-6}
				散射	1.72×10^{-8}	2.00×10^{-6}	
	东墙外 30cm 处	5mmPb	4.1	泄漏	1.72×10^{-8}	2.32×10^{-6}	1.07×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	8.39×10^{-6}	
	南墙外 30cm 处	5mmPb	5.2	泄漏	1.72×10^{-8}	1.44×10^{-6}	6.65×10^{-6}
				散射	1.72×10^{-8}	5.21×10^{-6}	
	西墙外 30cm 处	5mmPb	4.1	泄漏	1.72×10^{-8}	2.32×10^{-6}	1.07×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	8.39×10^{-6}	
	手术室门外 30cm 处	3mmPb	4.1	泄漏	7.93×10^{-6}	1.07×10^{-3}	4.94×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	3.87×10^{-3}	
	控制室门外 30cm 处	3mmPb	8.6	泄漏	7.93×10^{-6}	2.43×10^{-4}	1.12×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	8.79×10^{-4}	
	观察窗外 30cm 处	3mmPb	8.4	泄漏	7.93×10^{-6}	2.55×10^{-4}	1.18×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	9.21×10^{-4}	
污物门外 30cm 处	3mmPb	5.0	泄漏	7.93×10^{-6}	7.20×10^{-4}	3.32×10^{-3}	
			散射	7.93×10^{-6}	2.60×10^{-3}		

	距楼顶上方 30cm 处	3.7mmPb	3.4	泄漏	9.27×10^{-7}	1.82×10^{-4}	8.39×10^{-4}
				散射	9.27×10^{-7}	6.57×10^{-4}	
	距六层地面 1.7m 处	4.2mmPb	2.5	泄漏	2.00×10^{-7}	7.26×10^{-5}	3.35×10^{-4}
				散射	2.00×10^{-7}	2.62×10^{-4}	
X 线摄影	北墙外 30cm 处	5mmPb	8.4	泄漏	1.72×10^{-8}	4.14×10^{-6}	1.91×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	1.50×10^{-5}	
	东墙外 30cm 处	5mmPb	4.1	泄漏	1.72×10^{-8}	1.74×10^{-5}	8.02×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	6.28×10^{-5}	
	南墙外 30cm 处	5mmPb	5.2	泄漏	1.72×10^{-8}	1.08×10^{-5}	4.98×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	3.90×10^{-5}	
	西墙外 30cm 处	5mmPb	4.1	泄漏	1.72×10^{-8}	1.74×10^{-5}	8.02×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	6.28×10^{-5}	
	手术室门外 30cm 处	3mmPb	4.1	泄漏	7.93×10^{-6}	8.02×10^{-3}	3.70×10^{-2}
				散射	7.93×10^{-6}	2.90×10^{-2}	
	控制室门外 30cm 处	3mmPb	8.6	泄漏	7.93×10^{-6}	1.82×10^{-3}	8.40×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	6.58×10^{-3}	
	观察窗外 30cm 处	3mmPb	8.4	泄漏	7.93×10^{-6}	1.91×10^{-3}	8.81×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	6.90×10^{-3}	
	污物门外 30cm 处	3mmPb	5.0	泄漏	7.93×10^{-6}	5.39×10^{-3}	2.49×10^{-2}
				散射	7.93×10^{-6}	1.95×10^{-2}	
	距楼顶上方 30cm 处	3.7mmPb	3.4	泄漏	9.27×10^{-7}	1.36×10^{-3}	6.28×10^{-3}
				散射	9.27×10^{-7}	4.92×10^{-3}	
距六层地面 1.7m 处	4.2mmPb	2.5	泄漏	2.00×10^{-7}	5.44×10^{-4}	2.50×10^{-3}	
			散射	2.00×10^{-7}	1.96×10^{-3}		

本项目 DSA2 室内部空间尺寸为 15.1m（南北）×6.7（东西）×4.3m（净高），设备使用期间，球管会小范围移动，移动幅度不超过 1m×1m，X 射线球管靶点至 DSA2 室周围关注点处的距离见图 11.9，本项目 DSA 设备在单球管运行期间，DSA2 室周围附加剂量率估算结果见表 11.22。

表 11.22 本项目 DSA2 室周围的附加剂量率估算结果（单球管运行）

工作模式	关注点描述	屏蔽防护 铅当量厚度	距离 (m)	射线束 类型	透射 因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
X 线透视	北墙外 30cm 处	5mmPb	8.4	泄漏	1.72×10^{-8}	5.53×10^{-7}	2.55×10^{-6}
				散射	1.72×10^{-8}	2.00×10^{-6}	
	东墙外 30cm 处	5mmPb	3.3	泄漏	1.72×10^{-8}	3.58×10^{-6}	1.66×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	1.30×10^{-5}	
	南墙外 30cm 处	5mmPb	6.7	泄漏	1.72×10^{-8}	8.67×10^{-7}	4.00×10^{-6}
				散射	1.72×10^{-8}	3.14×10^{-6}	
	西墙外 30cm 处	5mmPb	3.3	泄漏	1.72×10^{-8}	3.58×10^{-6}	1.66×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	1.30×10^{-5}	

	手术室门外 30cm 处	3mmPb	3.3	泄漏	7.93×10^{-6}	1.65×10^{-3}	7.62×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	5.97×10^{-3}	
	控制室门外 30cm 处	3mmPb	8.6	泄漏	7.93×10^{-6}	2.43×10^{-4}	1.12×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	8.79×10^{-4}	
	观察窗外 30cm 处	3mmPb	8.4	泄漏	7.93×10^{-6}	2.55×10^{-4}	1.18×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	9.21×10^{-4}	
	污物门外 30cm 处	3mmPb	6.5	泄漏	7.93×10^{-6}	4.26×10^{-4}	1.96×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	1.54×10^{-3}	
	距楼顶上方 30cm 处	3.7mmPb	3.4	泄漏	9.27×10^{-7}	1.82×10^{-4}	8.39×10^{-4}
				散射	9.27×10^{-7}	6.57×10^{-4}	
	距六层地面 1.7m 处	4.2mmPb	2.5	泄漏	2.00×10^{-7}	7.26×10^{-5}	3.35×10^{-4}
				散射	2.00×10^{-7}	2.62×10^{-4}	
X 线摄影	北墙外 30cm 处	5mmPb	8.4	泄漏	1.72×10^{-8}	4.14×10^{-6}	1.91×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	1.50×10^{-5}	
	东墙外 30cm 处	5mmPb	3.3	泄漏	1.72×10^{-8}	2.69×10^{-5}	1.24×10^{-4}
				散射	1.72×10^{-8}	9.69×10^{-5}	
	南墙外 30cm 处	5mmPb	6.7	泄漏	1.72×10^{-8}	6.51×10^{-6}	3.00×10^{-5}
				散射	1.72×10^{-8}	2.35×10^{-5}	
	西墙外 30cm 处	5mmPb	3.3	泄漏	1.72×10^{-8}	2.69×10^{-5}	1.24×10^{-4}
				散射	1.72×10^{-8}	9.69×10^{-5}	
	手术室门外 30cm 处	3mmPb	3.3	泄漏	7.93×10^{-6}	1.24×10^{-2}	5.72×10^{-2}
				散射	7.93×10^{-6}	4.48×10^{-2}	
	控制室门外 30cm 处	3mmPb	8.6	泄漏	7.93×10^{-6}	1.82×10^{-3}	8.40×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	6.58×10^{-3}	
	观察窗外 30cm 处	3mmPb	8.4	泄漏	7.93×10^{-6}	1.91×10^{-3}	8.81×10^{-3}
				散射	7.93×10^{-6}	6.90×10^{-3}	
	污物门外 30cm 处	3mmPb	6.5	泄漏	7.93×10^{-6}	3.19×10^{-3}	1.47×10^{-2}
				散射	7.93×10^{-6}	1.15×10^{-2}	
	距楼顶上方 30cm 处	3.7mmPb	3.4	泄漏	9.27×10^{-7}	1.36×10^{-3}	6.28×10^{-3}
				散射	9.27×10^{-7}	4.92×10^{-3}	
距六层地面 1.7m 处	4.2mmPb	2.5	泄漏	2.00×10^{-7}	5.44×10^{-4}	2.50×10^{-3}	
			散射	2.00×10^{-7}	1.96×10^{-3}		

由表 11.21 和表 11.22 的估算结果可知：

(1) 各 DSA 设备以透视工况（单球管）运行时，DSA1 室周围附加剂量率最大值为 $4.94 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ （机房防护门外 30cm 处），DSA2 室周围附加剂量率最大值为 $7.62 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ （机房防护门外 30cm 处）；考虑到透视模式下双球管同时使用时，手术室外的附加剂量率水平为单球管时的 2 倍，则在双球管透视工况下，DSA1 室周围附加剂量率最大值为 $9.88 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ （手术室防护门外 30cm 处），DSA2 室周围附加剂量率最大值为 $1.52 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$

(手术室外 30cm 处)；

(2) 摄影工况仅使用单球管，各 DSA 设备以摄影工况运行时，DSA1 室周围附加剂量率最大值为 $3.70 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ (机房防护门外 30cm 处)，DSA2 室周围附加剂量率最大值为 $5.72 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ (机房防护门外 30cm 处)；

(3) 对于 2 间 DSA 手术室防护门外的洁净走廊，考虑剂量率叠加，叠加后洁净走廊处的附加剂量率不超过 $3.70 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h} + 5.72 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h} = 9.42 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

以上估算结果均满足本报告提出的各 DSA 室周边墙 (含楼上和楼下)、防护门和观察窗外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。考虑到辐射剂量率与距离的平方成反比的规律以及评价范围内其他建筑物墙体的屏蔽，预计本项目各 DSA 手术室周围 50m 评价范围内保护目标所处区域的附加剂量率将远远小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

上述估算结果是基于保守假设而得出的，且未考虑治疗床旁的辅助屏蔽措施。同时，患者身体对 X 射线也会有部分吸收，约衰减 1-2 个量级 (NCRP147 号报告)。预计本项目实际运行后，2 间 DSA 室周围附加剂量率可基本维持在本底水平。

11.4.4 工作人员年附加有效剂量估算

(一) 工作时间

根据医院提供的信息和上文分析，每名介入手术医师年手术量最多 500 台，每名医师在透视工况下年工作时间累计为 100h，摄影工况下年工作时间累计为 16.7h。技师和护士始终处于控制室内协助开展介入诊疗工作，保守考虑技师、护士参与全部手术 (750 台/年)，则技师和护士在透视工况和摄影工况下的累积工作时间分别为 150h 和 25h。

本项目 DSA 设备为双球管设备，双球管同时使用占比不超过年手术量的 20%，且双球管仅在透视模式下同时使用，摄影模式仅使用单球管。考虑到双球管的使用，本项目辐射工作人员工作时间统计见表 11.23。

表 11.23 本项目辐射工作人员工作时间统计

人员类型	工作模式	年工作时间	工作量
介入手术医师	同室透视 (单球管)	80h/a	500 台/年
	同室透视 (双球管)	20h/a	
	同室摄影 (单球管)	16.7/a	
技师、护士	隔室透视 (单球管)	120h/a	750 台/年
	隔室透视 (双球管)	30h/a	
	隔室摄影 (单球管)	25/a	

(二) 隔室操作人员

附加年剂量当量计算公式： $E=H \times t \times T$

其中： E --年附加有效剂量， $\mu\text{Sv/a}$ ；

H --关注点附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，详见表 11.21 和表 11.22；

t --人员年工作时间， h/a ；

T --居留因子，参考《辐射防护手册第三分册 辐射安全》（李德平编）P80，居留因子 T 按三种情况取值（1）全居留因子 $T=1$ ，（2）部分居留 $T=1/4$ ，（3）偶然居留 $T=1/16$ 。

根据以上分析，DSA 技师、护士的年附加剂量当量估算结果见表 11.24。

表 11.24 DSA 技师、护士年附加剂量当量估算结果

估算对象	位置	运行模式	最大附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) *	工作时间 (h/a)	居留 因子	年附加有效剂量 (mSv/a)
DSA 手术室 技师、护士	控制室 1	隔室透视（单球管）	1.18×10^{-3}	120	1	4.33×10^{-4}
		隔室透视（双球管）	2.36×10^{-3}	30		
		隔室摄影（单球管）	8.81×10^{-3}	25		
	控制室 2	隔室透视（单球管）	1.18×10^{-3}	120	1	4.33×10^{-4}
		隔室透视（双球管）	2.36×10^{-3}	30		
		隔室摄影（单球管）	8.81×10^{-3}	25		
	手术室门外 洁净走廊	隔室透视（单球管）	1.26×10^{-2}	120	1/4	1.16×10^{-3}
		隔室透视（双球管）	2.51×10^{-2}	30		
		隔室摄影（单球管）	9.42×10^{-2}	25		

注：（1）双球管透视模式附加剂量率按单球管透视模式的 2 倍进行计算；
（2）手术室门外洁净走廊处已考虑 2 台设备同时运行的剂量率叠加。

依据表 11.24 的估算结果，本项目 DSA 手术室的技师、护士的附加有效剂量不超过 $1.16 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，远小于本项目提出的辐射工作人员 5mSv/a 的剂量约束值要求。

（三）同室操作人员

根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）中“表 B.1 X 射线透视设备的检测项目与技术要求”规定：“非直接荧光屏透视设备，在透视防护区测试平面上周围剂量当量率应不大于 $400 \mu\text{Sv/h}$ ”。除存在临床不可接受的情况外，摄影工况图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留。

估算假设：1）在单球管透视工况下，医师手术位的附加剂量率水平取规范限值 $400 \mu\text{Sv/h}$ ，医师居留因子取 1（全居留）。双球管透视工况下，医师手术位附加剂量率水平保守以规范限值的 2 倍考虑，即双球管透视时取 $800 \mu\text{Sv/h}$ ；2）摄影工况电流为透视工况的 50 倍，摄影工况按常规参数 15 帧/s、10ms/帧考虑，可得摄影模式下医师手术位的附加剂量率水平将增加 7.5 倍（即 $15 \text{帧/s} \times 10 \text{ms/帧} \times 50$ 倍），取 $3000 \mu\text{Sv/h}$ ，医师居留因子取 1/16（偶然居留）。

根据 GBZ130-2020，工作人员将采取铅衣、铅眼镜、铅围脖（均为 0.5mm 铅当量）等屏蔽措施，手术医师主要受散射及泄漏辐射影响。在 90kV 工况下进行透视和摄影时，根据公式（11-2）和表 11.3 的拟合参数计算可得，0.5mmPb 防护用品对应的透射因子为 0.025，即在透视和摄影工况下，铅衣后的剂量当量率保守分别取 10 μ Sv/h 和 75 μ Sv/h，双球管透视工况相应值取 20 μ Sv/h。

本项目依照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中术者受照剂量的评价模式，考虑肢体屏蔽部位和裸漏部位的有效剂量：

$$E = \alpha H_u + \beta H_0 \quad (11-25)$$

式中： E — 同室操作外照射年有效剂量，单位为 mSv；

α — 系数，取 0.79（有甲状腺屏蔽）；

H_u — 铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv；

β — 系数，取 0.051（有甲状腺屏蔽）；

H_0 — 铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。

计算 H_u 时，单球管透视工况和摄影工况时手术位铅衣内剂量率分别取 10 μ Sv/h 和 75 μ Sv/h，双球管透视工况取 20 μ Sv/h。计算 H_0 时，单球管透视工况和摄影工况时手术位剂量率保守取剂量率上限值，即 400 μ Sv/h 和 3000 μ Sv/h，双球管透视工况取 800 μ Sv/h。

本项目介入手术医师的年附加有效估算结果见表 11.25。

表 11.25 介入手术医师年附加有效剂量估算结果

估算对象	运行模式	手术位剂量率 (μ Sv/h)	工作时间 (h)	居留 因子	H_u (mSv)	H_0 (mSv)	年附加有效剂量 (mSv)
介入手术医师 (同室操作)	同室透视 (单球管)	10 (铅衣内) 400 (铅衣外)	80	1	0.80	32.0	2.264
	同室透视 (双球管)	20 (铅衣内) 800 (铅衣外)	20	1	0.40	16.0	1.132
	同室摄影 (单球管)	75 (铅衣内) 3000 (铅衣外)	16.7	1/16	0.08	3.13	0.223
合计							3.62

由表 11.25 的估算结果可知，本项目介入手术医师最大年有效剂量约 3.62mSv/a，该数据是基于“透视防护区测试平面剂量率水平上限 400 μ Sv/h”保守计算得出的。实际上，在正确使用了手术床旁防护措施后，操作位剂量率水平多处于 200~300 μ Sv/h 之间，故本项目介入医师的最大年有效剂量预计为 3mSv/a 左右。本项目 DSA 介入手术医师均不从事其他辐射工作，剂量估算结果满足本项目设定的辐射工作人员不超过 5mSv/a 的剂量约束值要求。

尽管在采取合理的防护措施后,介入手术操作人员的受照剂量将低于本环评设定的剂量约束值,但介入医师受照剂量仍有可能明显高出其它放射性职业照射。医院须针对介入工作人员的受照剂量可能过高的特殊性,采取合理和必要的辐射防护措施,如合理安排介入手术人员在设备出束状态下的工作时间,加强工作人员培训工作,增强防护意识,提高手术熟练程度,尽可能降低介入手术医师的受照剂量水平。

11.4.5 公众年附加有效剂量估算

本项目公众成员的年附加有效剂量估算结果见表 11.26。估算结果表明,本项目 2 台 DSA 投入运行后,公众附加有效剂量将不超过 $6.73E-04mSv/a$,远低于本项目设定的 $0.1mSv/a$ 的剂量约束值。

表 11.26 本项目公众年附加受照剂量估算结果

工作场所	估算位置	最大附加剂量率 ($\mu Sv/h$) *	年运行时间 (h/a)	居留因子	年附加剂量 (mSv)	
DSA1 室	南侧洁净走廊	透视 (单球管)	1.26×10^{-2}	120	1/16	2.89×10^{-4}
		透视 (双球管)	2.51×10^{-2}	30		
		摄影 (单球管)	9.42×10^{-2}	25		
	北侧污物通道	透视 (单球管)	3.32×10^{-3}	120	1/16	7.63×10^{-5}
		透视 (双球管)	6.64×10^{-3}	30		
		摄影 (单球管)	2.49×10^{-2}	25		
	楼下护士站、病房、处置室	透视 (单球管)	3.35×10^{-4}	120	1	1.23×10^{-4}
		透视 (双球管)	6.70×10^{-4}	30		
		摄影 (单球管)	2.50×10^{-3}	25		
DSA1 室	北侧洁净走廊	透视 (单球管)	1.26×10^{-2}	120	1/16	2.89×10^{-4}
		透视 (双球管)	2.51×10^{-2}	30		
		摄影 (单球管)	9.42×10^{-2}	25		
	北侧污物通道	透视 (单球管)	1.96×10^{-3}	120	1/16	4.50×10^{-5}
		透视 (双球管)	3.92×10^{-3}	30		
		摄影 (单球管)	1.47×10^{-2}	25		
	楼下病房	透视 (单球管)	3.35×10^{-4}	120	1	1.23×10^{-4}
		透视 (双球管)	6.70×10^{-4}	30		
		摄影 (单球管)	2.50×10^{-3}	25		

注: 双球管透视模式剂量率按单球管透视模式的 2 倍进行计算

根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律以及评价范围内固有建筑物的屏蔽,预计本项目 2 间 DSA 手术室周围 50m 评价范围内公众成员的年附加有效剂量将远远低于本项目设定的剂量约束值 $0.1mSv/a$ 。

11.4.6 有害气体的影响

DSA 设备在开机运行期间，发出的 X 射线会产生非常微量的臭氧、氮氧化物等有害气体。本项目 2 间 DSA 手术室均采用机械通风措施，保证手术室的有效换气，因此有害气体对周围环境和人员的影响极小，可以忽略。

11.5 核医学科运行阶段环境影响分析

11.5.1 核医学科使用规划

本项目核医学科拟使用放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 开展核医学显像诊断工作，其中 ^{99m}Tc 药物拟使用外购的钼铯发生器进行淋洗标记， ^{18}F 全部为外购药物；拟使用放射性核素 ^{131}I 开展甲癌治疗、甲亢治疗和甲状腺功能测定工作， ^{131}I 药物全部外购；本项目核医学科放射性核素种类用途和使用量统计详见表 11.27。

表 11.27 本项目核医学科放射性核素使用情况表

核素种类	用途	日最大诊疗量 (人次)	单名患者最大用量 (Bq)	年计划运行时长	年最大诊疗量 (人次)
^{18}F	PET 显像	15 人	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	250 天	3750
^{99m}Tc	SPECT 显像	25 人	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)	250 天	6250
	肺通气检查	2 人	$7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)	250 天	500
^{131}I	甲癌治疗	4 人	$7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)	50 周	160
	甲亢治疗	10 人	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	50 周	500
	甲功测定	10 人	$1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ (5 μCi)	50 周	500

11.5.2 估算公式和参数选取

在进行工作场所周围剂量率估算时，将患者、药物注射器等源项近似视为点源，依照辐射剂量率和距离成平方反比衰减的规律，同时考虑墙壁、防护门和防护窗的屏蔽作用。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，所有核素（如 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法，参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，本项目核医学科工作场所周围剂量率可由式（11-26）计算得到：

$$H_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-\frac{X}{TVL}} \quad (11-26)$$

式中： H_P — 屏蔽体外关注点的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 — 单个患者或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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；

r — 关注点距放射源间的距离

X —屏蔽体的厚度，mm；

TVL — γ 射线的十分之一层厚度，mm。

本项目核医学科涉及的放射性核素相关计算参数见表 11.28。

表 11.28 核医学科涉及的放射性核素相关计算参数

核素	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	什值层厚度 (mm)	
		混凝土	铅
^{18}F	注射前：0.143 患者体内：0.092	176	16.6
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射前：0.0303 患者体内：0.0207	110	1.0
^{131}I	注射前：0.0595 患者体内：0.0583	170	11
^{99}Mo	0.0216	27.7	19

注： ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 相关数据取自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 H、附录 I、附录 L； ^{99}Mo 的相关数据参考《 γ 射线屏蔽参数手册》和《放射性核素和辐射防护数据手册》等。

11.5.3 显像诊断区域辐射影响分析

(一) 估算参数及源项分析

(1) PET/CT 显像诊断的 ^{18}F 药物用量按最大用量 370MBq/人次 (10mCi/人次) 进行计算。根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中表 H.1, 核素 ^{18}F 的周围剂量当量率常数 (裸源) 为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。将活度为 370MBq 的 ^{18}F 药液看作裸源, 则距其 1m 处剂量率约为 $52.9\mu\text{Sv}/\text{h}$; 根据 GBZ120-2020 表 L.1, ^{18}F 药物进入患者体内后, 其周围剂量当量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$, 则距患者 1m 处剂量率为 $34\mu\text{Sv}/\text{h}$; 受检者平均候诊 60min 后进入 PET/CT 机房开展显像扫描, 根据 AAPM Task Group 108 报告, 注射 ^{18}F 核素经过 60min 后的活度衰减因子为 0.68, 则受检者平均候诊 60min 后进入 PET/CT 机房开展显像扫描, 此时距受检者 1m 处的剂量率降为 $23.2\mu\text{Sv}/\text{h}$;

(2) SPECT/CT 显像诊断的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射量按最大 925MBq/人次 (25mCi/人次) 进行计算, 肺通气检查用药量按 740MBq/人次计算。根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中表 H.1, 核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的周围剂量当量率常数 (裸源) 为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。将活度为 925MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药液看作裸源, 则距其 1m 处剂量率约为 $28.0\mu\text{Sv}/\text{h}$; 根据 GBZ120-2020 表 L.1, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物进入患者体内后, 其周围剂量当量率常数取 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$, 注射 925MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物患者 1m 处的剂量率为 $19.2\mu\text{Sv}/\text{h}$, 距施用 740MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物患者 1m 处的剂量率为 $15.3\mu\text{Sv}/\text{h}$; 此外, 甲癌患者出院后需要接受 SPECT 全身扫描, 出院的甲癌患者 1m 处的剂量率为按 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 计算;

(3) 本项目 PET 候诊室最多可容纳 3 名受检者同时候诊, SPECT 候诊室最多可容乃 3

名受检者同时候诊。留观兼抢救室通常只有 1 名受检者停留，SPECT 患者正常情况下不需要留观，保守考虑留观室同时有 2 名 PET 受检者留观。考虑到候诊床或者座椅间隔布置，在计算 PET 候诊室和 SPECT 候诊室周围剂量率时，考虑剂量叠加效果。

(3) 外购的 ^{18}F 药物需要在分装注射室的 ^{18}F 分装柜内进行分装。核医学科 ^{18}F 药物每日最大使用量为 150mCi，每日最大送药量为 300mCi（即 15 人次用药量，并考虑 2 倍的衰减裕量）。若将活度 300mCi 的 ^{18}F 药液视为裸源，距其 1m 处的剂量率约为 1588 $\mu\text{Sv/h}$ ， ^{18}F 药物密闭存放于 40mmPb 分装铅罐中，并放置在 50mmPb 的分装柜内（90mmPb 的衰减因子为 3.79E-06），则药物贮存期间，分装柜外 30cm 处（距离取 0.6m）剂量率为 1.67E-02 $\mu\text{Sv/h}$ ，药物贮存状态下的辐射影响很小。假设 ^{18}F 药物分装时铅罐盖子打开（即药物正上方没有铅罐屏蔽），药物活度取最大 300mCi，药物距分装柜上表面 30cm 处的距离至少 1m 以上，经过 50mmPb 分装柜屏蔽后（衰减因子为 9.73E-04），则铅罐开盖时分装柜上表面 30cm 处的剂量率约为 1.54 $\mu\text{Sv/h}$ ；保守考虑，每次 ^{18}F 药物分装时最多只有 740MBq（20mCi）的药物在铅罐外，经过 50mmPb 分装柜的屏蔽后（衰减因子为 9.73E-04），则 ^{18}F 药物分装期间分装柜外 30cm 处的剂量率不超过 2.86E-01 $\mu\text{Sv/h}$ （距离取 0.6m）。因此， ^{18}F 药物贮存和分装期间分装柜外表面 30cm 处的周围剂量当量率可满足小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(4) 本项目拟使用外购的钼铯发生器自行淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物，年计划购买 50 个。单个钼铯发生器最大规格不超过 800mCi，每次淋洗量为 720mCi（淋洗效率按 90% 计算）。钼铯发生器暂存在淋洗标记室的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱内。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的淋洗、标记和分装工作均在 20mmPb 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱内进行，每次淋洗活度按 720mCi 估算，将活度为 925MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药液看作裸源，则距其 1m 处剂量率约为 808 $\mu\text{Sv/h}$ ，经 20mmPb 的手套箱屏蔽后（衰减因子为 1.00E-20），则 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱外 30cm 处的剂量率为 2.24E-17 $\mu\text{Sv/h}$ （距离取 0.6m），因此， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物操作期间的辐射影响很小。

主要对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱外造成辐射影响的主要是钼铯发生器中的 ^{99}Mo 核素，本项目使用的钼铯发生器最大规格为 800mCi（29600MBq）， ^{99}Mo 的 K_T 常数为 0.0216 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，将活度为 29600MBq 的 ^{99}Mo 柱近似看作点源，在无屏蔽的情况下距其 1m 处剂量率约为 640 $\mu\text{Sv/h}$ 。本项目拟购的钼铯发生器内部自带 41mmPb 的屏蔽体，经 41mmPb 屏蔽体和 20mmPb 的手套箱屏蔽后（61mmPb 的衰减因子为 6.16E-04），距钼铯发生器 1m 处剂量率约为 0.40 $\mu\text{Sv/h}$ 。距 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱外表面 30cm 处人员操作位的剂量率预计不超过 1.09 $\mu\text{Sv/h}$ （距离取 0.6m）。因此，钼铯发生器贮存和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物操作期间，距手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率可满足小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(5) 分装注射室配备的 ^{18}F 铅废物桶的防护厚度为 20mmPb，保守假设每次注射器中残留

0.1mCi 的 ^{18}F 药液，经 20mmPb 铅桶屏蔽后（衰减因子为 $6.24\text{E-}02$ ），距铅桶外 30cm 处（距离取 0.5m）的附加剂量率为 $0.13\mu\text{Sv/h}$ ，每日最多实施 15 次注射，考虑到注射器废物的叠加以及 ^{18}F 的衰变，则当天最后 1 名患者注射完成后， ^{18}F 废物的活度将达到最大，此时距废物桶外 30cm 处（距离取 0.5m）的辐射剂量率不会超过 $1\mu\text{Sv/h}$ ；核医学科配备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 铅废物桶的防护厚度为 5mmPb， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物每日最大使用量为 665mCi， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 固体废物活度保守按每日最大使用量的 5% 计算，则 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 固体废物活度约为 33mCi，经 5mmPb 铅废物桶屏蔽后（衰减因子为 $1.00\text{E-}05$ ），距铅桶外 30cm 处（距离取 0.5m）的附加剂量率为 $1.49\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ 。

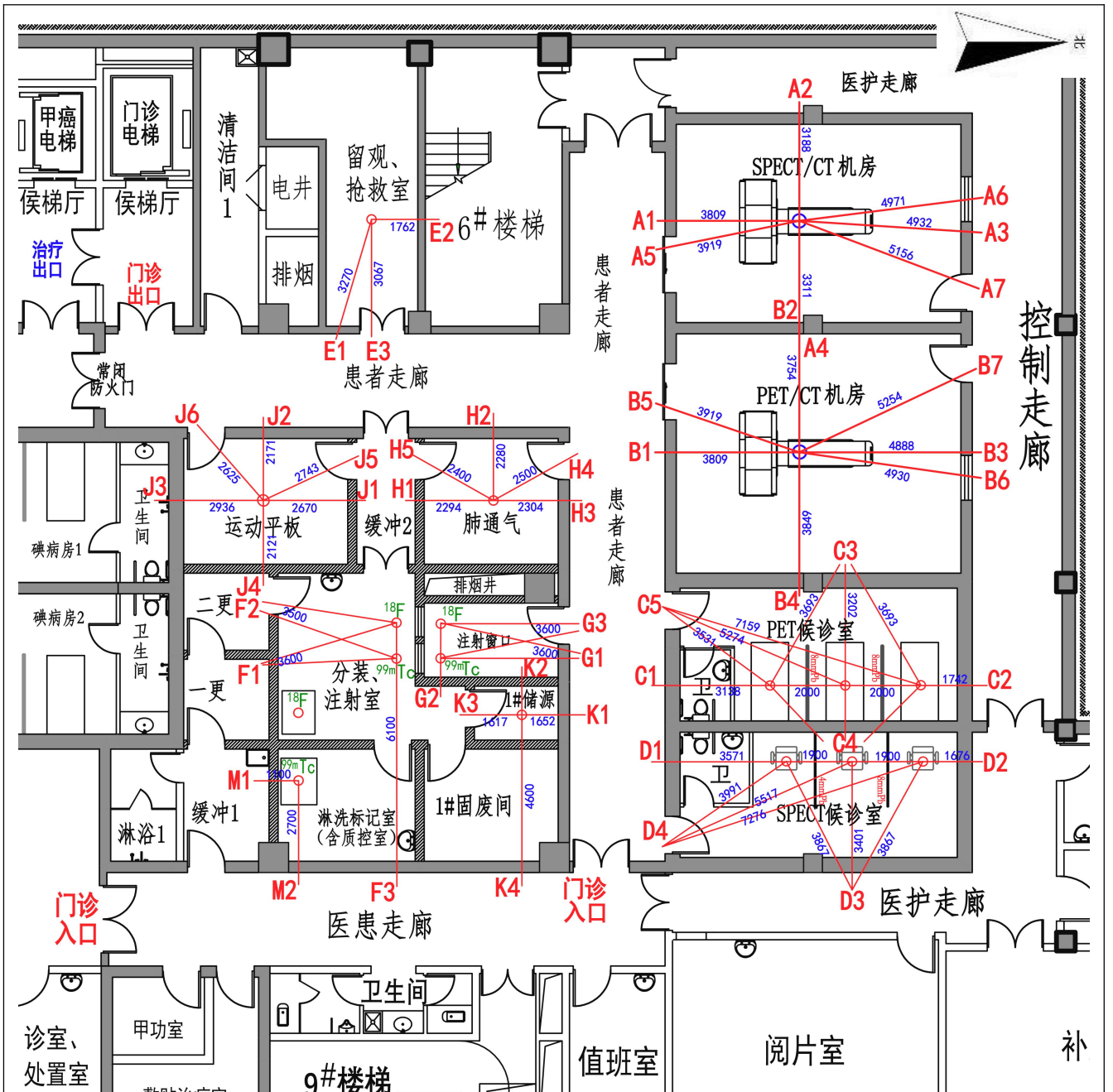
^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物操作区域的放射性固废于下周第一天上班前标注日期后转移至废物间，废物间的废物桶防护厚度不低于 10mmPb，由于废物的放射性活度已大大降低（距废物桶 30cm 处的剂量率一般不超过 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ），因此能够满足距废物桶 30cm 处剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(6) ^{18}F 注射窗的防护厚度为 40mmPb，将活度为 370MBq（10mCi）的 ^{18}F 药液看作裸源，则距其 1m 处剂量率约为 $52.9\mu\text{Sv/h}$ ，经过 40mmPb 注射窗屏蔽后（衰减因子为 $3.89\text{E-}03$ ），人员注射位的剂量率为 $8.24\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （距离取 0.5m）； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射车的防护厚度为 5mmPb，将活度为 925MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药液看作裸源，则距其 1m 处剂量率约为 $28.0\mu\text{Sv/h}$ ，经过 5mmPb 注射窗屏蔽后（衰减因子为 $1.00\text{E-}05$ ），人员注射位的剂量率为 $1.12\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ （距离取 0.5m）；因此能够满足注射窗外 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

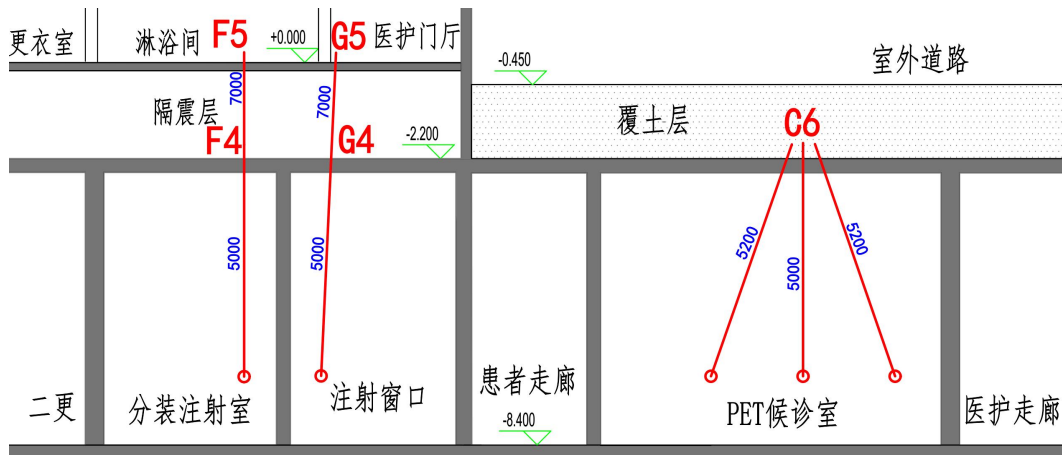
(7) 本项目 PET/CT 设备计划使用 ^{68}Ge 密封源开展 PET/CT 设备校验，3 枚校准源的总活度不大于 300MBq，3 枚校准源均贮存在源罐内，源罐的防护厚度不低于 20mmPb。 ^{68}Ge 核素平均光子能量仅为 9.2keV，但其衰变子体 ^{68}Ga 可发生 β^+ 衰变并产生湮灭辐射，进而发射 511keV 的 γ 光子，因此 ^{68}Ge 密封源主要考虑 ^{68}Ga 的辐射影响。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中表 H.1，核素 ^{68}Ga 的周围剂量当量率常数（裸源）为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，假设将 3 枚校准源整体视为 1 个裸源，则距裸源 1m 处的剂量率为 $40.2\mu\text{Sv/h}$ ，经 20mmPb 源罐防护后，则源罐 1m 处的剂量率约为 $2.51\mu\text{Sv/h}$ 。因此，本项目距校准源源罐 1m 处的剂量率按 $2.51\mu\text{Sv/h}$ 进行估算。

（二）关注点的选取

参考 AAPM108 号报告给出关注点选取原则，本项目工作场所周围关注点取各房间屏蔽墙、防护门窗外 30cm 处，楼上关注点位置取地面上方 30cm 处。工作场所各房间内部净高均为 5.9m，将药物和受检者均视为点源，点源距场所地面的平均高度取 1.5m。本项目显像诊断区域及周围关注点示意图详见图 11.10。



(平面图)



(南北向剖面图)

图 11.10 核医学科工作场所周围关注点示意图

(三) 剂量率估算结果

基于上述源项和估算方法,保守估算各房间周围以及楼上、楼下各关注点处的附加剂量率,本项目显像诊断区域及周围附加剂量率估算结果见表 11.29。

表 11.29 显像诊断区域及周围各关注点附加剂量率估算结果

关注点位置		源项	距离 (m)	屏蔽材料与厚度*	衰减因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
SPECT/CT 机房 (A)	A1 南墙外患者走廊	1 名注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的扫描患者 ($19.2\mu\text{Sv/h}$)	3.8	300mm 混凝土	$1.87\text{E-}03$	$2.49\text{E-}03$
	A2 西墙外医护走廊		3.2	300mm 混凝土	$1.87\text{E-}03$	$3.51\text{E-}03$
	A3 北墙外控制走廊		4.9	300mm 混凝土	$1.87\text{E-}03$	$1.50\text{E-}03$
	A4 西墙外 PET/CT 机房		3.3	300mm 混凝土	$1.87\text{E-}03$	$3.30\text{E-}03$
	A5 机房防护门外 30cm		3.9	4mmPb	$1.00\text{E-}04$	$1.26\text{E-}04$
	A6 机房观察窗外 30cm		4.9	4mmPb	$1.00\text{E-}04$	$8.00\text{E-}05$
	A7 医用防护门外 30cm		5.1	4mmPb	$1.00\text{E-}04$	$7.38\text{E-}05$
	A8 屋顶上方室外道路		6.7	300mm 混凝土	$1.87\text{E-}03$	$8.00\text{E-}04$
SPECT/CT 机房 (A)	A1 南墙外患者走廊	1 名甲癌出院 患者 ($25\mu\text{Sv/h}$)	3.8	300mm 混凝土	$1.72\text{E-}02$	$2.98\text{E-}02$
	A2 西墙外医护走廊		3.2	300mm 混凝土	$1.72\text{E-}02$	$4.20\text{E-}02$
	A3 北墙外控制走廊		4.9	300mm 混凝土	$1.72\text{E-}02$	$1.79\text{E-}02$
	A4 西墙外 PET/CT 机房		3.3	300mm 混凝土	$1.72\text{E-}02$	$3.95\text{E-}02$
	A5 机房防护门外 30cm		3.9	4mmPb	$4.33\text{E-}01$	$7.12\text{E-}01$
	A6 机房观察窗外 30cm		4.9	4mmPb	$4.33\text{E-}01$	$4.51\text{E-}01$
	A7 医用防护门外 30cm		5.1	4mmPb	$4.33\text{E-}01$	$4.16\text{E-}01$
	A8 屋顶上方室外道路		6.7	300mm 混凝土	$1.72\text{E-}02$	$9.58\text{E-}03$
PET/CT 机房 (B)	B1 南墙外患者走廊	1 名注射 ^{18}F 的 扫描患者 ($23.2\mu\text{Sv/h}$)	3.8	300mm 混凝土	$1.97\text{E-}02$	$3.17\text{E-}02$
	B2 西墙外 SPECT/CT 机 房		3.7	300mm 混凝土	$1.97\text{E-}02$	$3.35\text{E-}02$
	B3 北墙外控制走廊		4.9	300mm 混凝土	$1.97\text{E-}02$	$1.91\text{E-}02$
	B4 东墙外 PET 候诊室		3.8	400mm 混凝土	$5.34\text{E-}03$	$8.57\text{E-}03$
	B5 机房防护门外 30cm		3.9	8mmPb	$3.30\text{E-}01$	$5.03\text{E-}01$
	B6 机房观察窗外 30cm		4.9	8mmPb	$3.30\text{E-}01$	$3.19\text{E-}01$
	B7 医用防护门外 30cm		5.2	8mmPb	$3.30\text{E-}01$	$2.83\text{E-}01$
	B8 屋顶上方室外道路处		6.7	300mm 混凝土	$1.97\text{E-}02$	$1.02\text{E-}02$
PET 候诊室 (C)	C1 南墙外患者走廊	3 名 ^{18}F 候诊患者 ($34\mu\text{Sv/h}$)	3.1	400mm 混凝土	$5.34\text{E-}03$	$2.16\text{E-}02$
			5.1	400mm 混凝土+8mmPb	$1.76\text{E-}03$	
			7.1	400mm 混凝土+16mmPb	$5.80\text{E-}04$	

	C2 北墙外控制走廊	3名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h)	1.7	400mm 混凝土	5.34E-03	6.88E-02	
			3.7	400mm 混凝土+8mmPb	1.76E-03		
			5.7	400mm 混凝土+16mmPb	5.80E-04		
	C3 西墙外 PET/CT 机房	3名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h)	3.2	400mm 混凝土	5.34E-03	2.98E-02	
			3.7	400mm 混凝土 (30°斜射)	2.38E-03		
			3.7	400mm 混凝土 (30°斜射)	2.38E-03		
	C4 东墙外 SPECT 候诊室	3名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h)	1.5	300mm 混凝土	1.97E-02	3.64E-01	
			2.0	300mm 混凝土 (45°斜射)	3.89E-03		
			2.0	300mm 混凝土 (45°斜射)	3.89E-03		
	C5 防护门外 30cm 处	3名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h)	3.5	8mmPb	3.30E-01	1.08	
			5.2	8mmPb+8mmPb	1.09E-01		
			7.1	8mmPb+16mmPb	3.58E-02		
	C6 屋顶上方 30cm 处	3名 ¹⁸ F 候诊患者 (34μSv/h)	5.0	300mm 混凝土	1.97E-02	7.63E-02	
			5.2	300mm 混凝土	1.97E-02		
			5.2	300mm 混凝土	1.97E-02		
	SPECT 候诊室 (D)	D1 南墙外患者走廊	3名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.2μSv/h)	3.5	400mm 混凝土	2.31E-04	3.62E-04
				5.4	400mm 混凝土+4mmPb	2.31E-08	
				7.3	400mm 混凝土+8mmPb	2.31E-12	
D2 北墙外医护走廊		3名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.2μSv/h)	1.6	400mm 混凝土	2.31E-04	1.73E-03	
			3.5	400mm 混凝土+4mmPb	2.31E-08		
			5.4	400mm 混凝土+8mmPb	2.31E-12		
D3 东墙外医护走廊		3名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.2μSv/h)	3.4	400mm 混凝土	2.31E-04	4.03E-04	
			3.8	400mm 混凝土 (45°斜射)	7.20E-06		
			3.8	400mm 混凝土 (45°斜射)	1.37E-02		
D4 防护门外 30cm 处		3名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.2μSv/h)	4.0	4mmPb	1.00E-04	1.20E-04	
			5.5	4mmPb+4mmPb	1.00E-08		
			7.2	4mmPb+8mmPb	1.00E-08		
D5 屋顶上方 30cm 处		3名 ^{99m} Tc 候诊患者 (19.2μSv/h)	5.0	300mm 混凝土	1.87E-03	4.10E-03	
			5.2	300mm 混凝土	1.87E-03		
			5.2	300mm 混凝土	1.87E-03		
抢救留观室 (E)	E1 东墙外患者走廊	1名 ¹⁸ F 留观患者 (23.2μSv/h)	3.2	200mm 混凝土	7.31E-02	1.66E-01	
	E2 北墙外 6#楼梯		1.8	200mm 混凝土	7.31E-02	5.23E-01	
	E3 防护门外 30cm 处		3.1	8mmPb	3.30E-01	7.97E-01	
	E4 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.97E-02	1.83E-02	
	E5 一层污物电梯厅		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.87E-03	8.85E-04	
分装注射室 (F)	F1 南墙外更衣室	保守按 10mCi 的 ¹⁸ F 药液裸 源进行计算	3.6	326mm 混凝土	1.41E-02	5.74E-02	
	F2		3.5	8mmPb	3.30E-01	1.43	

	南侧入口门外 30cm	(52.9 μ Sv/h)				
	F3 东侧医护走廊		6.1	300mm 混凝土	1.97E-02	2.80E-02
	F4 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.97E-02	4.17E-02
	F5 一层淋浴间		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.87E-03	2.02E-03
分装注射室 (F)	F1 南墙外更衣室	保守按 25mCi 的 ^{99m} Tc 药液 裸源进行计算 (28.0 μ Sv/h)	3.6	326mm 混凝土	1.09E-03	2.35E-03
	F2 南侧入口门外 30cm		3.5	8mmPb	1.00E-08	2.29E-08
	F3 东侧医护走廊		6.1	300mm 混凝土	1.87E-03	1.41E-03
	F4 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.87E-03	2.09E-03
	F5 一层淋浴间		7.0	300mm+180mm 混凝土	4.33E-05	2.47E-05
注射窗口 (G)	G1 北墙外患者走廊	保守按 10mCi 的 ¹⁸ F 药液裸 源进行计算 (52.9 μ Sv/h)	3.6	300mm 混凝土	1.97E-02	8.04E-02
	G2 东墙外分装注射室		1.5	326mm 混凝土	1.41E-02	3.32E-01
	G3 北侧防护门外 30cm		3.6	8mmPb	3.30E-01	1.35
	G4 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.97E-02	4.17E-02
	G5 一层医护门厅		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.87E-03	2.02E-03
注射窗口 (G)	G1 北墙外患者走廊	保守按 25mCi 的 ^{99m} Tc 药液 裸源进行计算 (28.0 μ Sv/h)	3.6	300mm 混凝土	1.87E-03	4.04E-03
	G2 东墙外分装注射室		1.5	326mm 混凝土	1.09E-03	1.36E-02
	G3 北侧防护门外 30cm		3.6	8mmPb	1.00E-08	2.16E-08
	G4 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.87E-03	2.09E-03
	G5 一层医护门厅		7.0	300mm+180mm 混凝土	4.33E-05	2.47E-05
肺通气室 (H)	H1 南墙外缓冲间 2	1 名肺通气 吸药患者 (15.3 μ Sv/h)	2.3	326mm 混凝土	1.09E-03	3.15E-03
	H2 西墙外患者走廊		2.3	300mm 混凝土	1.87E-03	5.41E-02
	H3 北墙外患者走廊		2.3	300mm 混凝土	1.87E-03	5.41E-02
	H4 北侧防护门外 30cm		2.5	4mmPb	1.00E-04	2.45E-04
	H5 南侧防护门外 30cm		2.4	4mmPb	1.00E-04	2.45E-04
	H6 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.87E-03	4.89E-06
	H7 一层排烟机房		7.0	300mm+180mm 混凝土	4.33E-05	1.35E-05
运动平板室 (J)	J1 北墙外缓冲间 2	1 名 ^{99m} Tc 受药患者 (19.2 μ Sv/h)	2.6	326mm 混凝土	1.09E-03	3.09E-03
	J2 西墙外患者走廊		2.1	300mm 混凝土	1.87E-03	8.14E-03
	J3 南墙外碘病房 1		2.9	326mm 混凝土	1.09E-03	2.48E-03
	J4 东墙外更衣室		2.1	326mm 混凝土	1.09E-03	4.74E-03
	J5 北侧防护门外 30cm		2.7	4mmPb	1.00E-04	2.63E-04
	J6 西侧防护门外 30cm		2.6	4mmPb	1.00E-04	2.84E-04
1#储源室	K1 北墙外患者走廊	校准源铅罐	1.6	300mm 混凝土	1.97E-02	1.93E-02

(K)	K2 西墙外注射窗口	(铅罐 1m 处剂量率 2.51 μ Sv/h)	1.5	326mm 混凝土	1.41E-02	1.57E-02
	K3 南侧防护门外 30cm		1.6	3mmPb	6.60E-01	6.47E-01
	K4 东侧医患走廊		4.6	300mm+326mm 混凝土	2.77E-04	3.29E-05
	K5 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.97E-02	1.98E-03
	K6 一层医护门厅		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.87E-03	9.60E-05
淋洗标记室 (M)	M1 南墙外缓冲间	^{99m} Tc 手套箱 (外表面剂量率 1.09 μ Sv/h) 主要考虑 ^{99m} Mo- ^{99m} Tc 器的 贮存	1.1	326mm 混凝土	6.65E-02	5.99E-02
	M2 东墙外医患走廊		2.7	300mm 混凝土	8.26E-02	1.23E-02
	M3 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	8.26E-02	3.60E-03
	M4 一层淋浴间		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.85E-02	4.12E-04
注: 1) 混凝土密度 2.35t/m ³ , 硫酸钡砖墙密度大于 3.2t/m ³ , 铅密度 11.34t/m ³ ; 2) 硫酸钡砖按密度折算为普通混凝土进行计算, 240mm 硫酸钡砖墙相当于 326mm 混凝土。						

由表 11.1 的估算结果可知, 本项目核医学科诊断场所控制区边界外 30cm 处的附加剂量率最大为 7.12E-01 μ Sv/h (SPECT/CT 机房防护门外 30cm 处), 控制区内各房间周围的最大附加剂量率为 1.43 μ Sv/h。以上估算结果均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h 的限值要求。综合以上分析结果可知, 本项目核医学科显像诊断区域的实体屏蔽设计可行。

(四) X 射线装置机房

本项目 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房四周墙体混凝土和屋顶均为混凝土, PET/CT 机房防护门、医用防护门防护厚度均为 8mmPb, 观察窗为 8mm 铅当量铅玻璃。SPECT/CT 机房防护门、医用防护门防护厚度均为 4mmPb, 观察窗为 4mm 铅当量铅玻璃。

本项目 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房的设计情况详见表 11.30 和表 11.31。

表 11.30 核医学科射线装置机房空间尺寸

机房名称	机房尺寸	机房面积	GBZ130-2020 要求	符合情况
PET/CT 机房	东西长 6.4m 南北长 7.6m	使用面积 48.6m ²	机房内最小单边长度 4.5m 机房内最小有效使用面积 30m ²	符合
SPECT/CT 机房	东西长 5.3m 南北长 7.6m	使用面积 40.2m ²		

表 11.31 核医学科射线装置机房屏蔽设计情况

场所名称	屏蔽材料及屏蔽厚度		等效铅当量厚度	GBZ130-2020 要求	符合情况
PET/CT 机房	东墙	400mm 混凝土	5.42mmPb	有用线束方向和非有用 线束方向铅当量厚度均 不小于 2.5mm	符合
	南墙	300mm 混凝土	3.79mmPb		
	西墙	300mm 混凝土	3.79mmPb		
	北墙	300mm 混凝土	3.79mmPb		

	机房防护门	8mm 铅当量	8mmPb		
	医用防护门	8mm 铅当量	8mmPb		
	观察窗	8mm 铅当量	8mmPb		
	屋顶	300mm 混凝土	3.79mmPb		
SPECT/CT 机房	东墙	300mm 混凝土	3.79mmPb	有用线束方向和非有用 线束方向铅当量厚度均 不小于 2.5mm	符合
	南墙	300mm 混凝土	3.79mmPb		
	西墙	300mm 混凝土	3.79mmPb		
	北墙	300mm 混凝土	3.79mmPb		
	机房防护门	4mm 铅当量	4mmPb		
	医用防护门	4mm 铅当量	4mmPb		
	观察窗	4mm 铅当量	4mmPb		
	屋顶	300mm 混凝土	3.79mmPb		
注：（1）铅密度为 11.34 t/m ³ ，混凝土密度为 2.35t/m ³ ； （2）根据 GBZ130-2020 附录 C 公式 C.2 进行混凝土和砖等效铅当量换算（管电压取 140kV）。300mm 混凝土等效铅当量厚度为 3.79mmPb，400mm 混凝土等效铅当量厚度为 5.42mmPb；					

由表 11.30 和表 11.31 可知，本项目 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房的尺寸和屏蔽防护设计均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。本项目 PET/CT 的 CT 机最大管电压最高为 140kV，实际运行时的最大管电流在通常在 300mA 左右，与普通影像科 CT 的工况基本一致。环评单位查阅了普通影像诊断 CT（140kV）的剂量率分布曲线，距 CT 机 1m 处的杂散 X 射线剂量率为 0.052 μ Gy/mAs（垂直）和 0.051 μ Gy/mAs（水平），电流通常不超过 300mA，因此距离 CT 机 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h，故以此为例评价 PET/CT 设备和 SPECT/CT 设备的 CT 机运行时叠加辐射影响。

根据本项目 PET/CT 机房的屏蔽设计，屏蔽防护铅当量厚度最低为 3.79mmPb，依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算得，屏蔽透射因子为 2.31E-05，CT 机靶点至机房外关注点的最近距离取 3.0m，计算可得 CT 机运行所致周围的附加剂量率不大于 1.44E-01 μ Sv/h。患者检查期间 PET/CT 机房周围最大附加剂量率为 5.03E-01 μ Sv/h，考虑 CT 机扫描的剂量率叠加后，PET/CT 机房周围 30cm 处附加剂量率最高为 6.47E-01 μ Sv/h，仍满足不大于 2.5 μ Sv/h 的剂量率限值要求；

根据本项目 SPECT/CT 机房的屏蔽设计，屏蔽防护铅当量厚度最低为 3.79mmPb，屏蔽透射因子为 2.31E-05，CT 机靶点至机房外关注点的最近距离取 3.0m，计算可得 CT 机运行所致周围的附加剂量率不大于 1.44E-01 μ Sv/h。患者检查期间 SPECT/CT 机房周围最大附加剂量率为 7.12E-01 μ Sv/h，考虑 CT 机扫描的剂量率叠加后，SPECT/CT 机房周围 30cm 处附加剂量率最高为 8.56E-01 μ Sv/h，仍满足不大于 2.5 μ Sv/h 的剂量率限值要求；

假设所有 PET/CT 显像诊断患者均进行 CT 扫描（全年 3750 人次），每人 CT 扫描时间保守按照 30s 计，则全年 CT 扫描时间不超过 31.3h，则 CT 扫描对 PET/CT 机房外 30cm 处全居留人员的最大附加剂量贡献不超过 4.5 μ Sv/a。

假设所有 SPECT/CT 显像诊断患者均进行 CT 扫描，全年 6910 人次（含甲癌出院患者），每人 CT 扫描时间保守按照 30s 计，则全年 CT 扫描时间不超过 57.6h，则 CT 扫描对 SPECT/CT 机房外 30cm 处全居留人员的最大附加剂量贡献不超过 8.3 μ Sv/a。

因此，在保证 PET/CT 和 SPECT/CT 机房辐射防护施工工艺的前提下，2 台设备的 CT 机在扫描期间对周围人员和环境辐射影响很小。

11.5.4 核素治疗辐射影响分析

（一）估算参数和源项分析

（1）甲癌患者服药量保守按 7400MBq/人（200mCi/人）进行估算。根据 GBZ120-2020 表 H.1， ^{131}I 核素的周围剂量当量率常数（裸源）为 0.0595 μ Sv \cdot m²/(MBq \cdot h)，将活度为 7400MBq（200mCi）的 ^{131}I 药液看作裸源，则距其 1m 处剂量率为 440.3 μ Sv/h；根据 GBZ120-2020 表 L.1， ^{131}I 核素在患者体内时，患者周围剂量当量率常数取 0.0583 μ Sv \cdot m²/(MBq \cdot h)，则距甲癌患者 1m 处剂量率为 431.4 μ Sv/h；

（2）甲亢患者服药量为 370MBq/人（10mCi/人），将活度为 370MBq（10mCi）的 ^{131}I 药液看作裸源，则距其 1m 处剂量率为 22.0 μ Sv/h；甲亢患者服药后，距患者 1m 处剂量率为 21.6 μ Sv/h，满足出院标准，甲亢患者服药后无异常即离开核医学科，不进行留观；

（3）本项目核素治疗使用的 ^{131}I 药物均为外购药物，供药单位根据订购活度将药物装入药瓶中，然后贮存在铅罐中（30mmPb），运抵核医学科 2#储源室内贮存。本项目核医学科每周最多实施 4 次甲癌治疗和 10 次甲亢治疗，每周使用 ^{131}I 药物的总活度不超过 900mCi，若将活度 900mCi 的 ^{131}I 药液视为裸源，距其 1m 处剂量率约为 1981 μ Sv/h，经 30mmPb 铅罐屏蔽后（30mmPb 的衰减因子为 1.87E-03），距源罐外 1m 处剂量率的理论计算值为 3.7 μ Sv/h；

（3） ^{131}I 药物使用自动分装仪（40mmPb）分装，工作人员将源罐放入自动分装仪内，然后在控制室内隔室操作分装仪，并通过视频及语音系统指导患者服药；

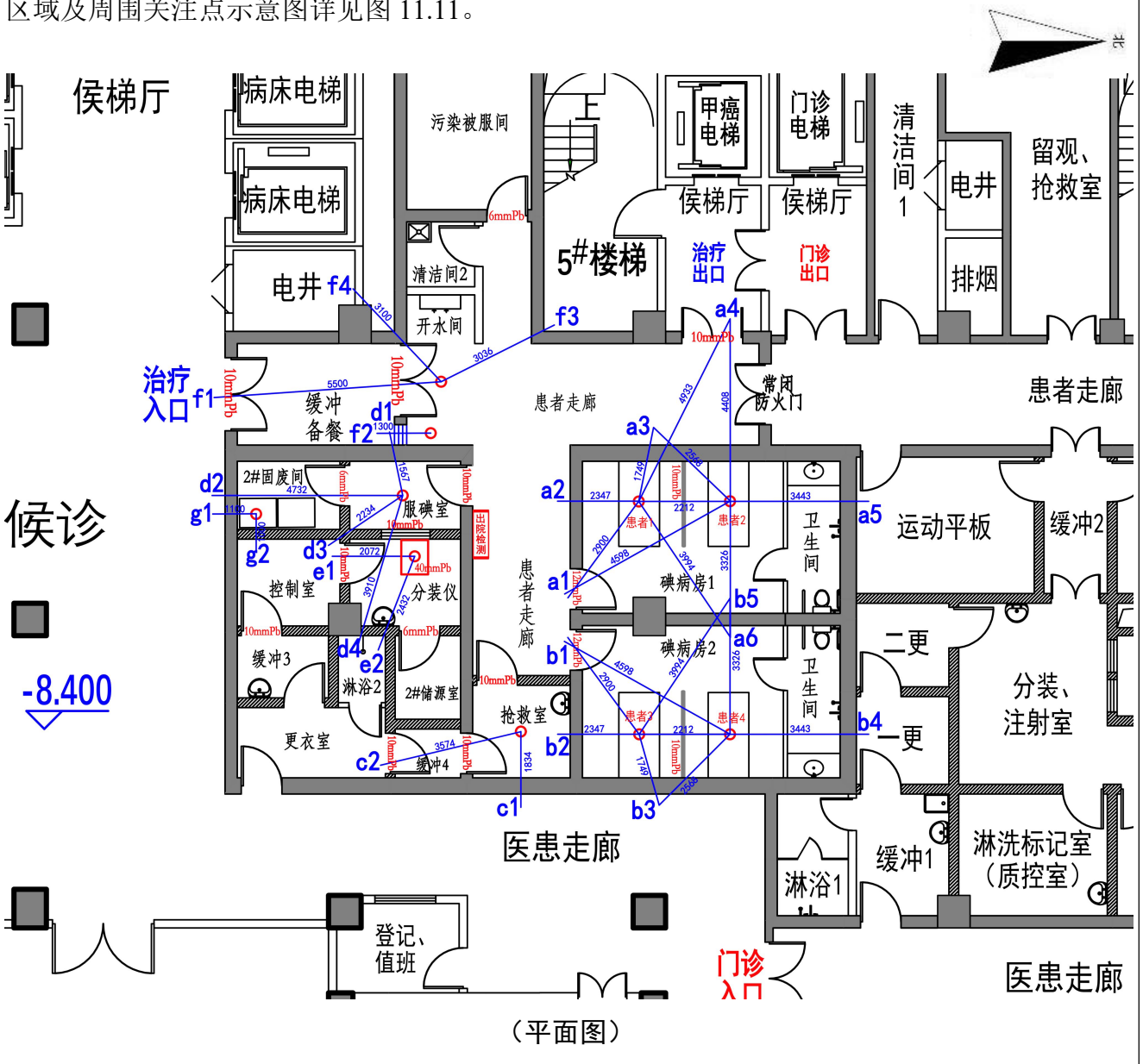
（4） ^{131}I 服药均在服碘室内进行，甲癌患者和甲亢患者不同时服药，且服碘室同一时间仅允许 1 人服药。因此，甲癌患者服药期间服碘室周围主要受到 200mCi 的 ^{131}I 药液影响；甲亢患者服药期间服碘室周围主要受到 10mCi 的 ^{131}I 药液影响；

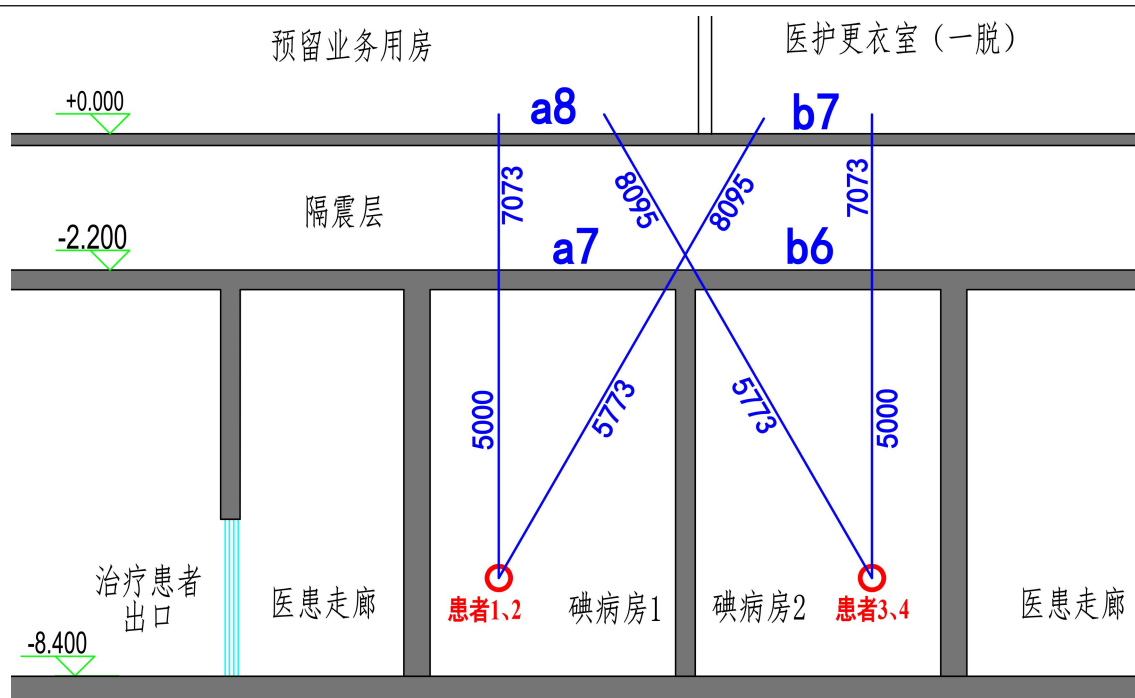
（5）服碘室内配备 20mmPb 的铅废物桶，正常情况下，保守认为每次服药时口杯中残留了 1%的 ^{131}I 药液，按每周服药 900mCi 计算，则服碘室废物桶内 ^{131}I 废物活度不超过 9mCi，经 20mmPb 铅桶屏蔽后（20mmPb 的衰减因子为 1.52E-02），则距铅废物桶外 30cm 处（距离

取 0.5m) 的附加剂量率不超过 $1.20\mu\text{Sv/h}$; 2#固废间内配备 2 个 20mmPb 铅废物箱轮流使用, 正常情况下, 每周产生的放射性固废活度至多不超过周最大用药量的 5% (保守按 5%计), 则 2#固废间内 ^{131}I 废物活度至多 45mCi, 经 20mmPb 铅桶屏蔽后 (20mmPb 的衰减因子为 $1.52\text{E-}02$), 则距 2#固废间铅废物箱外 30cm 处 (距离取 1m) 的附加剂量率不超过 $1.52\mu\text{Sv/h}$ 。能够满足距废物桶 30cm 处剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(二) 关注点的选取

本项目工作场所周围关注点取各房间屏蔽墙、防护门窗外 30cm 处。工作场所楼上关注点取各房间屋顶上方 30cm 处和急危重症楼一层地面上方 30cm 处。工作场所各房间内部净高均为 5.9m, 各房间屋顶上方均为隔震层 (净高 1.9m), 隔震层上方为急危重症楼一层。将服药后患者、 ^{131}I 药物均视为点源, 点源距场所地面的平均高度取 1.5m。本项目核医学科核素治疗区域及周围关注点示意图详见图 11.11。





(核素病房东西向剖面图)

图 11.11 核素治疗区域及周围关注点示意图

(三) 剂量率估算结果

基于上述源项和估算方法，并考虑 γ 射线的斜射，估算各房间周围以及楼上各关注点的附加剂量率，本项目核素治疗区域内及周围附加剂量率估算结果见表 11.32。

表 11.32 本项目工作场所周围各关注点附加剂量率估算结果

关注点位置		源项	距离 (m)	屏蔽材料与厚度*	衰减因子	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
碘病房 1 (a)	a1 防护门外 30cm	2 名甲癌患者 (200mCi/人)	2.9	12mmPb (45°斜射)	2.86E-02	1.57
			4.6	12mmPb+10mmPb (30°斜射)	4.90E-02	
	a2 南墙外患者走廊	2 名甲癌患者 (200mCi/人)	2.3	300mm 混凝土	1.72E-02	1.45
			4.5	300mm 混凝土+10mmPb	2.12E-03	
	a3 西墙外患者走廊	2 名甲癌患者 (200mCi/人)	1.7	400mm 混凝土	4.44E-03	7.08E-01
			2.5	400mm 混凝土 (45°斜射)	4.70E-04	
	a4 西侧治疗出口门外	2 名甲癌患者 (200mCi/人)	4.9	400mm 混凝土 (30°斜射)	1.92E-03	4.44E-01
			4.4	400mm 混凝土	4.44E-03	
	a5 北墙外运动平板室	2 名甲癌患者 (200mCi/人)	5.6	400mm 混凝土	4.44E-03	2.27E-01
			3.4	400mm 混凝土	4.44E-03	
	a6 东墙外碘病房 2	2 名甲癌患者 (200mCi/人)	4.0	300mm 混凝土 (30°斜射)	9.17E-03	9.29E-01
			3.3	300mm 混凝土	1.72E-02	
	a7 屋顶上方隔震层	4 名甲癌患者 (200mCi/人)	5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	8.29E-01
			5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	
5.8			300mm 混凝土 (30°斜射)	9.17E-03		
			5.8	300mm 混凝土 (30°斜射)	9.17E-03	

	a8 一层预留业务用房	4名甲癌患者 (200mCi/人)	7.0	300+180mm 混凝土	1.50E-03	3.36E-02
			7.0	300+180mm 混凝土	1.50E-03	
			8.1	300+180mm 混凝土(30°斜射)	5.49E-04	
			8.1	300+180mm 混凝土(30°斜射)	5.49E-04	
碘病房 2 (b)	b1 防护门外 30cm	2名甲癌患者 (200mCi/人)	2.9	12mmPb(45°斜射)	2.86E-02	1.57
			4.6	12mmPb+10mmPb(30°斜射)	4.90E-02	
	b2 南墙外抢救室	2名甲癌患者 (200mCi/人)	2.3	300mm 混凝土	1.72E-02	1.45
			4.5	300mm 混凝土+10mmPb	2.12E-03	
	b3 东墙外医患走廊	2名甲癌患者 (200mCi/人)	1.7	400mm 混凝土	4.44E-03	7.08E-01
			2.5	400mm 混凝土(45°斜射)	4.70E-04	
	b4 北墙外更衣室	2名甲癌患者 (200mCi/人)	5.6	400mm 混凝土	4.44E-03	2.27E-01
			3.4	400mm 混凝土	4.44E-03	
	b5 西墙外碘病房 1	2名甲癌患者 (200mCi/人)	4.0	300mm 混凝土(30°斜射)	9.17E-03	9.29E-01
			3.3	300mm 混凝土	1.72E-02	
	b6 屋顶上方防震层	4名甲癌患者 (200mCi/人)	5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	8.29E-01
			5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	
			5.8	300mm 混凝土(30°斜射)	9.17E-03	
			5.8	300mm 混凝土(30°斜射)	9.17E-03	
	b7 一层医护更衣室	4名甲癌患者 (200mCi/人)	7.0	300mm+180mm 混凝土	1.50E-03	3.36E-02
			7.0	300mm+180mm 混凝土	1.50E-03	
8.1			300+180mm 混凝土(30°斜射)	5.49E-04		
8.1			300+180mm 混凝土(30°斜射)	5.49E-04		
抢救室 (c)	c1 东墙外医患走廊	1名甲癌患者 (200mCi/人)	1.8	400mm 混凝土	4.44E-03	5.91E-01
	c2 南侧缓冲间 4 门外		3.6	10mmPb+10mmPb	1.52E-02	5.06E-01
	c7 屋顶上方防震层		5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	2.97E-01
	c8 一层远程影像室		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.50E-03	1.32E-02
服碘室 (d)	d1 西墙外缓冲备餐间	甲癌服药 200mCi ¹³¹ I 药物	1.6	400mm 混凝土	4.44E-03	7.64E-01
	d2 南侧候诊区		4.7	300mm 混凝土+6mmPb	4.90E-03	9.76E-02
	d3 南侧控制室		2.2	326mm 混凝土(45°斜射)	1.94E-03	1.77E-01
	d4 东侧淋浴室 2		3.9	10mmPb+326mm 混凝土	1.49E-03	4.31E-02
	d5 屋顶上方防震层		5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	3.03E-01
	d6 一层远程影像室		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.50E-03	1.35E-02
	d1 西墙外缓冲备餐间	甲亢服药 10mCi ¹³¹ I 药物	1.6	400mm 混凝土	4.44E-03	3.82E-02
	d2 南侧候诊区		4.7	300mm 混凝土+6mmPb	4.90E-03	4.88E-03
	d3 南侧控制室		2.2	326mm 混凝土(45°斜射)	1.94E-03	8.83E-03
	d4 东侧淋浴室 2		3.9	326mm 混凝土+10mmPb	1.49E-03	2.16E-03

	d5 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	1.52E-02
	d6 一层远程影像室		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.50E-03	6.74E-04
分装仪室 (e)	分装仪表面 5cm	分装仪内 900mCi ¹³¹ I 药物	0.3	40mmPb	2.31E-04	5.08
	分装仪表面 30cm		0.6	40mmPb	2.31E-04	1.27
	e1 南侧控制室		2.0	40mmPb+10mmPb	2.85E-05	1.41E-02
	e2 东侧淋浴室 2		2.4	40mmPb+326mm 混凝土	2.79E-06	9.60E-04
	e3 屋顶上方隔震层		5.0	40mmPb+300mm 混凝土	3.97E-06	3.15E-04
2#固废间 (g)	g1 南侧候诊区	铅废物箱 (距铅箱 1m 处剂量率按 1.52μSv/h 计算)	1.1	300mm 混凝土	1.72E-02	2.19E-02
	g2 东侧控制室		1.0	326mm 混凝土	1.21E-02	1.84E-02
	g3 一层准备室		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.50E-03	4.66E-05
患者走廊	f1 核素治疗入口门外	1 名甲癌患者 (200mCi/人)	5.5	10mmPb+10mmPb	1.52E-02	2.17E-01
	f2 配餐传递窗外 30cm		1.3	30mmPb	1.87E-03	4.78E-01
	f3 西侧 5#楼梯		3.0	300mm 混凝土	1.72E-02	8.24E-01
	f4 西侧病窗电梯		3.1	300mm 混凝土 ((45°斜射)	3.19E-03	1.43E-01
	f5 屋顶上方隔震层		5.0	300mm 混凝土	1.72E-02	2.97E-01
	f6 一层远程影像室		7.0	300mm+180mm 混凝土	1.50E-03	1.32E-02
注: 1) 混凝土密度 2.35t/m ³ , 硫酸钡砖墙密度大于 3.2t/m ³ , 铅密度 11.34t/m ³ ; 2) 硫酸钡砖按密度折算为普通混凝土进行计算, 240mm 硫酸钡砖墙相当于 326mm 混凝土。						

由表 11.32 的估算结果可知, 本项目核医学科核素治疗区域控制区界外 30cm 处的普通区域和监督区, 如医患走廊、候诊区、核素治疗患者出入口和楼上等位置, 最大附加剂量率为 0.829μSv/h (碘病房屋顶隔震层内)。控制区内碘病房门外的最大附加剂量率为 1.57μSv/h。以上估算结果均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h 的限值要求。¹³¹I 药物分装期间, 距分装仪外表面 5cm 处附加剂量率最大为 5.08μSv/h, 距分装仪外表面 30cm 处附加剂量率最大为 1.27μSv/h, 满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中分装柜外表面 5cm 处辐射剂量率不超过 25μSv/h 的限值要求, 也满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中放射性药物分装设备外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的限值要求。

综合以上分析结果可知, 本项目核医学科核素治疗区域的实体屏蔽设计可行。

(四) 甲功、敷贴治疗环境影响分析

(1) 甲功室

本项目甲状腺吸碘功能测定使用的药物为成品的 ¹³¹I 胶囊, 单粒胶囊活度为 0.185MBq

(5 μ Ci)，将 0.185MBq¹³¹I 胶囊视为裸源，则距裸源 1m 处剂量率为 $1.10 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，大致相当于环境本底水平的 10%，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，预计患者在服用 ¹³¹I 胶囊期间，甲功室周围的附加剂量率将处于可忽略的水平。

医院周最多订购 10 粒 ¹³¹I 胶囊，总活度为 1.85MBq，¹³¹I 胶囊贮存在甲功室的保险箱内，保守不考虑保险箱的防护效果，预计距保险箱 1m 处剂量率为 0.11 μ Sv/h，因此 ¹³¹I 胶囊在贮存期间对甲功室周围的辐射影响很小，满足本项目提出的小于 2.5 μ Sv/h 的剂量率限值要求。

(2) 敷贴治疗室

⁹⁰Sr 核素为衰变类型为 β^- (100%)， β 射线最大能量为 0.546MeV，⁹⁰Y 核素的衰变类型为 β^- (99.99%)，放出的 β 射线平均能量为 0.934MeV，最大能量约为 2.29MeV， β 粒子的能量较高。⁹⁰Sr-⁹⁰Y 敷贴器内的 ⁹⁰Sr 核素密封在包壳内，除活性面的源窗较薄外，其余五面均由铝质材料包裹，如 401 生产的 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 敷贴源外壳尺寸为 28 \times 28mm²，源窗的活性面积为 20 \times 20mm²，外包壳材质为铝。⁹⁰Sr-⁹⁰Y 敷贴源实际属于 V 类密封源，正常使用不会发生泄漏。因此，⁹⁰Sr-⁹⁰Y 敷贴器使用期间主要考虑 β 射线外照射防护和 β 射线所致韧致辐射的防护。

① **β 射线**： β 射线的穿透能力较弱，当屏蔽材料的厚度等于或大于 β 粒子在该材料中的最大射程时，即可将 β 粒子完全挡住。参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审）中公式 4.13，当 $0.01 < E_{\beta} < 2.5\text{MeV}$ 时， β 粒子在低 Z 材料的射程经验公式为：

$$R = 0.412 E^{(1.265 - 0.0954 \ln E)} \quad (11-27)$$

式中： R — β 粒子在低 Z 物质中的射程（质量厚度），g/cm²；

E — β 粒子的最大能量，取 2.29MeV；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；

经计算，⁹⁰Y 核素发射的 2.29MeV 的 β 粒子在常见物质中的射程见表 11.33。

表 11.33 ⁹⁰Y 核素发射的 β 粒子在常见物质中的最大射程 ($R=1.1\text{g/cm}^2$)

屏蔽物质种类	空气	人体皮肤	有机玻璃	混凝土	铝	铁	铅
密度 (g/cm ³)	0.00129	0.85	1.18	2.35	2.7	7.9	11.34
射程 (cm)	853	1.30	0.93	0.47	0.41	0.14	0.10

可见，⁹⁰Sr-⁹⁰Y 敷贴器的 β 粒子在铝中的最大射程仅为 4.1mm，敷贴器源包壳基本可以将 β 粒子完全挡住，因此，本项目工作场所的辐射水平主要取决于 β 射线所致韧致辐射。

② **β 射线所致韧致辐射**：参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审）中公式 4.20，对于平均能量为 E_b 的 β 射线，在屏蔽材料中产生韧致辐射的空气吸收剂量率为：

$$D = 4.58 \times 10^{-14} AZ_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho) \quad (11-28)$$

式中： D — 屏蔽层中由 β 粒子产生的韧致辐射在距离 r 处的空气吸收剂量率，Gy/h；

A — 源的活度，取 1.48×10^9 Bq（即40mCi）；

Z_e — 屏蔽材料的有效原子序数，取13（铝）、5.85（有机玻璃）；

E_b — 韧致辐射的平均能量，取0.934MeV；

μ_{en}/ρ — 平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质能吸收系数，取 $2.138 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$ ；

经计算，距离 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器源不同距离处空气吸收剂量率计算结果见表11.34。

表 11.34 距离敷贴器源不同距离处空气吸收剂量率

屏蔽材料 有效原子序数	不同距离处空气吸收剂量率 (Gy/h)						
	0.3m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
5.85（有机玻璃）	8.22	2.96	0.74	0.33	0.18	0.12	0.08
13（铝）	18.26	6.58	1.64	0.73	0.41	0.26	0.18

由表11.34可知，敷贴治疗期间按屏蔽材料源包壳屏蔽材料为铝计算，距离 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器源0.3m处空气吸收剂量率为 $18.26 \mu\text{Gy/h}$ ，1m处空气吸收剂量率为 $1.64 \mu\text{Gy/h}$ ，1.5m处空气吸收剂量率为 $0.73 \mu\text{Gy/h}$ ，3m处空气吸收剂量率降至 $0.18 \mu\text{Gy/h}$ ；

实际敷贴过程中，敷贴器距离治疗室四周墙体外30cm处的距离大于1.5m，韧致辐射X射线能量保守取1MV，在混凝土中的半值层为15cm（数值取自ICRP33号报告表3），敷贴治疗室墙为300mm混凝土，剂量率可降低2个数量级，计算可得敷贴室墙外附加剂量率不超过 $7.3 \text{E}-03 \mu\text{Sv/h}$ ；敷贴器距离防护门外30cm处的距离约4m，由表11.28可得推算可得敷贴室防护门外约为 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 。可见，敷贴治疗对治疗室外的辐射影响很小，满足本项目提出的小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。

通过表11.33和11.34分析可知，储源状态下若要满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“距离贮源箱表面5cm和100cm处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 $10 \mu\text{Sv/h}$ 和 $1 \mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求，需要贮源箱具有一定的屏蔽能力，韧致辐射X射线在铅中的半值层为8mm（数值取自ICRP33号报告表3）。因此，本环评建议敷贴器贮源箱防护厚度为8mmPb，并在箱内附上一层1cm厚的有机玻璃，即可满足限值要求。

11.2.6 周围公众受照剂量估算

本项目核医学科位于急危重症楼负一层北部，工作场所外围公众可到达的区域主要包括：核医学科南侧候诊区、碘病房东侧患者走廊，以及核医学科正上方区域（包括隔震层和急危重症楼一层）。

人员年受照剂量的估算公式为 $E = H \times T \times t$;

其中： E 表示年有效剂量， μSv ； H 表示关注点处的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ； T 表示该区域公众居留因子； t 表示年受照时间， h/a ；本项目核医学科各房间的使用时间统计如下：

(1) 显像诊断患者的平均候诊时间为 1h，PET 候诊室和 SPECT 候诊室的全年累计使用时间均取 2000h/a (8h/d×250d/a)；保守假设每位 PET 患者均需要留观，留观时间平均取 10min/人，则留观兼抢救室的累计使用时间为 625h/a；

(2) PET/CT 机房年显像检查次数最多 3750 人次，显像检查平均约为 15min/人次，则 PET/CT 机房累计使用时间为 938h/a。SPECT/CT 机房年显像检查次数最多 6750 人次，显像检查平均约为 15min/人次，则 SPECT/CT 机房累计使用时间为 1563h/a；考虑甲癌患者出院后全身碘扫环节，每年 160 人次，显像检查平均约为 20min/人次，则 SPECT/CT 机房累计使用时间为 53.4h。

(3) 按 10%的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射患者做运动负荷试验，每人每次约 20min 左右，运动平板室累计使用时间为 208h/a；肺通气全年 500 名患者，每人平均停留时间取 20min，肺通气室年使用时间为 166.7；

(4) 分装注射室 ^{18}F 药物累计注射时间取 62.5h/a， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物累计注射时间取 104.2h/a；1#储源室使用时间保守按全年 8760h 计算；

(5) 平均每位甲癌患者住院 4 天，每年使用 50 周，碘病房周围及楼上相邻场所的年使用时间按 2000h 计算 (8h/d×250d/a)。

碘病房周围最大瞬时剂量率是基于甲癌患者刚完服药时估算得到的，实际情况下患者排泄将导致碘病房外附加剂量率迅速降低，以最大瞬时剂量率估算公众的受照剂量显然不符合实际情况。参考 ICRP 第 94 号出版物的数据，患者体内大约 55%施予活度的 ^{131}I 在服药后 24h 内排出体外。参考汤敏敏等《日尿排泄 ^{131}I 值估算甲状腺癌患者体内残留活度》(中国医药前沿，2013 年 3 月第 8 卷第 6 期)的报道，35 例甲癌服药患者 24h 排泄尿液的活度占服用活度的 64.9%。可见，甲癌患者服用 ^{131}I 核素的 50%以上会在 24h 内排出到衰变池系统。因此，在进行碘病房周围公众年受照剂量时，碘病房周围的平均附加剂量率水平保守取最大瞬时剂量率的 50% (考虑患者住院第二天)。

(6) ^{131}I 药物分装和服药时间用时总计约 8min。甲癌患者每年 160 人，年累计分装服药时间为 21.3h；甲亢患者每年 500 人，年累计分装服药时间为 66.7h；2#废物间的使用时间保守按全年 8760h 计算；

(7) 核医学科屋顶上方隔震层检修人员可以进入，年累计检修时间保守按 50h/a 计算；根据上述工作时间和计算模式，结合表 11.29、表 11.32 的计算结果，本项目核医学科周

围公众成员的年受照剂量估算结果见表 11.35。可见，公众的受照剂量不超过 0.045mSv/a（碘病房楼上远程影像室），估算结果满足本项目设定的公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

表 11.35 核医学科周边公众成员的年受照剂量估算结果

公众停留区域	关注点位置	最大瞬时剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年照射时间 (h/a)	居留因子	年最大受照剂量 ($\mu\text{Sv/a}$)
核医学科南侧候诊区	d2	9.76E-02	21.3	1/16	12.1
		4.88E-03	66.7		
	g1	2.19E-02	8760		
碘病房 2 东侧医患走廊	b3	7.08E-01	2000	1/16	44.3
核医学科屋顶隔震层	a7	8.29E-01	50	1	20.7
碘病房楼上预留业务用房	a8	3.36E-02	2000	1	33.6
碘病房楼上远程影像室	a8	3.36E-02	2000	1	33.6
碘病房楼上更衣室（一脱）	a8	3.36E-02	2000	1/4	8.4
服碘室楼上远程影像室	d6	1.35E-02	21.3	1	0.33
		6.74E-04	66.7		
PET 候诊室上方室外道路	C6	7.63E-02	2000	1/16	9.54
SPECT 候诊室上方室外道路	D5	4.10E-03	2000	1/16	0.51
PET 候诊室上方室外道路	B8	1.02E-02	938	1/16	0.60
SPECT 候诊室上方室外道路	A8	8.00E-04	1689	1/16	0.12
		9.58E-03	53.4		
留观室上方污物电梯厅	E5	8.85E-04	625	1/4	0.14
肺通气室上方排烟机房	H7	1.35E-05	166.7	1/16	<0.01
分装注射室上方淋浴间	F5	2.02E-03	62.5	1/4	0.03
		2.47E-05	104.2		
1#储源室上方医护门厅	K6	9.60E-05	8760	1/4	0.21
淋洗标记室上方淋浴间	M4	4.12E-04	8760	1/4	0.90

本项目核医学科工作场所实行分区和门禁管理，放射性药物操作、病人用药、候诊、住院和显像检查区域及周边场所，无关人员通常无法进入，通常只有患者停留，患者不按公众考虑；患者亲属等陪诊人员，可能在周围监督区内有偶尔驻留（无固定驻留且时间很短），他们不属于主要的辐射防护对象。甲癌患者治疗期结束出院后，体内残留 ^{131}I 的放射性也可能对周围公众产生外照射辐射。本项目甲癌患者出院前，进行患者剂量检测，确认患者 1m 处剂量率低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 后方可安排出院。

11.2.7 职业人员附加剂量估算

（一）显像诊断环节工作人员剂量估算

（1） ^{99m}Tc 药物制备：

^{99m}Tc 药物淋洗、标记和分装均在淋洗标记室的 ^{99m}Tc 手套箱内进行。工作人员每日使用钼铈发生器淋洗 ^{99m}Tc 药物， ^{99m}Tc 药物淋洗的操作时间平均为 10min，每天至多淋洗 2 次，年淋洗时间累计为 83.3h/a。药物淋洗完成后需要对 ^{99m}Tc 淋洗液进行标记和分装操作，每日最多进行 27 次（25 名注射患者和 2 名吸入患者），每次标记分装的操作时间不超过 2min，年标记分装时间累计不超过 225h。距 ^{99m}Tc 手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率保守按 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 计算。

（2） ^{18}F 药物分装：

^{18}F 药物的分装和活度测量操作均在 ^{18}F 分装柜内完成，每个工作日至多进行 15 次 ^{18}F 药物分装操作。 ^{18}F 药物分装时间为 2min/次，年累计药物分装时间为 125h/a，距 ^{18}F 分装柜外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率保守按 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 计算。

（3）药物转运环节：

^{18}F 药物注射器运输使用转运铅盒（防护厚度为 25mmPb）运输，每次从分装柜运送至注射位的时间按 10s/次，年累计运输时间为 10.4h。运送过程中工作人员距铅盒约 30cm，10mCi 的 ^{18}F 药物经 25mmPb 的运输铅盒屏蔽后（衰减因子为 $3.12\text{E}-02$ ），则铅盒外 30cm 处的剂量率约为 $18.3\mu\text{Sv/h}$ ； ^{99m}Tc 药物注射器转运铅罐防护厚度为 10mmPb，每次运送时间按 20s/次，年累计运输时间为 37.5h。25mCi 的 ^{99m}Tc 药物经 10mmPb 铅罐屏蔽后（衰减因子为 $1.00\text{E}-10$ ），则铅罐表面 5cm 处剂量率不超过 $1.12\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，工作人员受照剂量约为 $4.2\text{E}-05\mu\text{Sv}$ ，因此 ^{99m}Tc 药物转运对工作人员的附加剂量可以忽略。

（4）药物注射环节：

《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry.98(1), 2002]给出：活度为 1MBq 的 ^{18}F 药液，对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为 $1.81\text{E}-03\text{mSv/h}$ ，注射 370MBq（10mCi）的 ^{18}F 药液时，距药液 30cm 处人的深部当量剂量率约为 $670\mu\text{Sv/h}$ 。 ^{18}F 药物注射时使用防护厚度为 40mmPb 的注射窗进行防护，剂量率至少可降低两个数量级，由于注射窗不能完全屏蔽人体所有部位，注射窗口人员操作位的剂量率保守按 $10\mu\text{Sv/h}$ 计算。 ^{18}F 药物平均注射时间为 1min/人次，全年药物注射总时间为 62.5h/a。

参照《放射性核素和辐射防护数据手册》，将活度为 1MBq 的 ^{99m}Tc 药液看作点源，对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为 $2.61\text{E}-04\text{mSv/h}$ 。所以，注射 25mCi（925MBq） ^{99m}Tc 药物时距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $241\mu\text{Sv/h}$ 。 ^{99m}Tc 药物注射时使用 20mmPb 的注射窗或 5mmPb 的注射车（衰减因子分别为 $1.0\text{E}-20$ 和 $1.0\text{E}-05$ ），注射窗和注射车可能不能完全屏蔽

人体的所有部位，因此人员操作位剂量率保守按降低两个量级 $2.41\mu\text{Sv/h}$ 进行估算。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物平均注射时间为 1min/人次 ，全年药物注射总时间为 104.2h/a 。

(5) 锝气制备与施用环节

① 加样：制备 Technegas 前，工作人员需向锝气发生器舟型坩埚中注入 20mCi 高锝酸钠注射液，该过程操作药物的时间不超过 1 分钟。参照《放射性核素和辐射防护数据手册》， 1MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 点源对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为 $2.61\text{E-}04\text{mSv/h}$ ，操作 20mCi (740MBq) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物时距 30cm 处人的深部当量剂量率为 $192\mu\text{Sv/h}$ 。按全年最多 500 例病人进行计算，年累计加样操作时间为 8.33h ，工作人员加样时穿戴 0.5mmPb 铅衣（衰减因子为 $3.16\text{E-}01$ ），则工作人员加样环节所受年附加剂量为 $505\mu\text{Sv/h}$ （操作距离保守取 30cm ）。

② 锝气施用： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体制备好后，由工作人员指导患者吸入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体。病人吸气后约 20MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体被吸收（主要在沉积在肺部），另有约 20MBq 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体吸附在 PAS 过滤装置内，吸药患者（ 20MBq ）和过滤装置（ 20MBq ）会对工作人员产生外照射影响，施用过程中工作人员距患者和过滤装置取 1m ，吸入气体及观察过程用时约 5min ，距离 $40\text{MBq}^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物 1m 处剂量率为 $0.94\mu\text{Sv/h}$ ，则锝气施用过程对工作人员的外照射剂量为 $0.94\mu\text{Sv/h}\times 5\text{min}/60\text{h}\times 500 = 39.2\mu\text{Sv}$ 。计算中未考虑患者身体的衰减作用。

本次理论估算出 1 次 Technegas 制备和给药过程操作者受到的外照射剂量是 $1.09\mu\text{Sv}$ 。根据李蓓蕾等《Technegas 肺通气显像中医务人员的辐射剂量水平监测与评价》，在整个 Technegas 制备和施药过程中，操作者受到的外照射累积剂量是 $0.38\sim 1.0\mu\text{Sv}$ ，与本项目理论估算结果接近。工作人员在实际操作中，应规范操作，增加熟练程度，尽量缩短操作时间。

③ 内照射剂量：Technegas 制备和施药期间会有少量的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气体逸散到周围空气中，JJ.LLOYD 等对肺通气场所的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶浓度做了检测评价分析，根据《Contamination levels and doses to staff arising from the use of Technegas》检测数据，不考虑通风情况下制备和给药场所 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶的浓度范围为 $17\sim 195\text{kBq/m}^3$ 。每次 Technegas 制备和给药过程工作人员在肺通气室内停留时间按 10min 考虑，年累计停留时间 5000min ，工作人员每分钟吸入空气体积取 0.02m^3 ，根据《辐射安全手册》单位活度 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 所致人有效剂量约 $10\mu\text{Sv/MBq}$ ，则工作人员内照射剂量为 $195\times 10^{-3}\text{MBq/m}^3\times 0.02\text{m}^3/\text{min}\times 5000\text{min}\times 10\mu\text{Sv/MBq}=195\mu\text{Sv}$ 。制备施给过程均在核医学科肺通气室进行，肺通气室设计有排风系统，工作人员操作期间佩戴防护口罩。因此实际内照射剂量要远小于理论估算值。

综上，锝气制备和施用期间工作人员的年附加剂量为 $505\mu\text{Sv}+39\mu\text{Sv}+195\mu\text{Sv}=740\mu\text{Sv}$ 。

(6) 患者摆位和设备操作环节

PET 患者开展显像检查前已经过 1h 候诊，此时距离受检者 1m 处的剂量率取 $23.2\mu\text{Sv/h}$ ，

技师摆位时与患者的平均距离取 1m, 患者摆位时间平均 30s/人次, 年累计摆位时间为 31.3h; PET 患者平均扫描时间为 15min/人次, PET/CT 设备年累计操作时间为 938h;

注射 925MBq^{99m}Tc 药物患者 1m 处的剂量率取 19.2 μ Sv/h, 技师摆位时与患者的平均距离取 1m, 摆位时穿戴 0.5mmPb 铅衣(衰减因子为 3.16E-01), 则技师铅衣后的剂量率为 6.07 μ Sv/h。SPECT 患者摆位时间平均 30s/人次, 全年 6750 人次(含 500 名肺通气显像患者), 则年累计摆位时间为 56.3h。SPECT 患者平均扫描时间为 15min/人次, SPECT/CT 设备年操作时间为 1563h;

此外, 甲癌患者出院后需要进行 SPECT 全身碘扫, 出院后的甲癌患者 1m 处剂量率保守取 25 μ Sv/h, 技师摆位时与患者的平均距离取 1m, 摆位时穿戴 0.5mmPb 铅衣(衰减因子为 0.9), 则技师铅衣后的剂量率为 22.5 μ Sv/h。甲癌患者摆位时间平均 30s/人次, 全年 160 人次, 则年累计摆位时间为 1.34h。甲癌患者平均扫描时间保守取 20min/人次, SPECT/CT 设备年操作时间为 53.4h;

(7) 设备和药物质控环节

① SPECT/CT 设备质控

物理师定期进行 SPECT/CT 的质控检测(包括均匀性、平面灵敏度、计数率等指标), 假设每年设备质控总计需要用掉 740MBq 的 ^{99m}Tc 药物, 操作距离取 30cm, 740MBq 的 ^{99m}Tc 药物距 30cm 处人的深部当量剂量率为 193.1 μ Sv/h, 操作人员穿戴 0.5mmPb 铅衣(衰减因子为 3.16E-01), 则铅衣后的剂量率为 61 μ Sv/h。每次设备质控的操作时间保守取 1h。

② ^{99m}Tc 药物质检

每次新购钼铯发生器在首次淋洗后, 需要取 3.7MBq (0.1mCi) 的 ^{99m}Tc 淋洗液到质控室检验其放化纯度等指标, 3.7MBq 的 ^{99m}Tc 药物距 30cm 处人的深部当量剂量率为 0.96 μ Sv/h, 经 0.5mmPb 的铅衣(衰减因子为 3.16E-01)屏蔽后为 0.31 μ Sv/h。每次药物质检操作时间保守取 30min, 每周操作 1 次, 年累计操作时间为 25h。

③ PET/CT 设备质控

物理师每周使用 ⁶⁸Ge 密封源进行 1 次 PET/CT 质控检测, 该环节需将校准源从源罐内取出并放于 PET/CT 扫描床上, 然后在控制室进行操作。检测完成后将校准源放回源罐, 送回 1# 储源室。本项目单枚 ⁶⁸Ge 校准源活度最大为 100MBq, 主要考虑 ⁶⁸Ge 核素衰变子体 ⁶⁸Ga 的影响, ⁶⁸Ga 的 K_T 常数为 0.134 μ Sv·m²/(MBq·h), 操作距离取 50cm, 则操作位剂量率为 53.6 μ Sv/h, 每次操作裸源的时间至多 2min, 年操作 50 周, 年累计操作时间为 1.67h;

(9) 显像诊断环节工作人员年附加剂量小结

根据前文分析, 核医学科显像诊断环节工作人员年附加有效剂量统计结果见表 11.36。

表 11.36 显像诊断环节工作人员年附加有效剂量

人员岗位	工作环节	操作位附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h/a)	附加剂量 (mSv/a)	总附加剂量 (mSv/a)	备注
护师	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物制备	2.5	308.3	0.771	2.42	2 名 护师轮岗
	^{18}F 药物分装	2.5	125	0.313		
	^{18}F 药物转运	18.3	10.4	0.190		
	^{18}F 药物注射	2.5	62.5	0.156		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射	2.4	104.2	0.250		
	肺通气施药	/	/	0.740		
技师 (PET)	PET 患者摆位	23.2	31.3	0.726	1.03	2 名 技师轮岗
	PET 设备操作	3.19E-01	938	0.299		
技师 (SPECT)	门诊患者摆位	6.07	56.3	0.342	0.93	2 名 技师轮岗
	甲癌患者摆位	22.5	1.34	0.030		
	设备操作(门诊)	3.19E-01	1689	0.539		
	设备操作(甲癌)	4.51E-01	53.4	0.024		
物理师	PET 设备质控	53.6	1.67	0.090	0.16	1 名
	SPECT 设备质控	61.0	1.0	0.061		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物质检	0.31	25	0.008		

由表 11.36 可知，本项目显像诊断环节中，护师岗位的年附加剂量不超过 2.42mSv/a，技师岗位年附加剂量不超过 1.03mSv/a，物理师年附加剂量为 0.16mSv/a，以上估算结果均满足本评价设定的职业人员 5mSv/a 的剂量约束值要求。本项目核医学科的工作人员不从事其他辐射工作，不再考虑剂量叠加。

(二) 核素治疗环节工作人员剂量估算

^{131}I 核素治疗环节工作人员的受照剂量主要来自 γ 射线外照射和吸入内照射。

(1) 药物分装和指导服药：

① 外照射剂量：本项目核素治疗场所年累计治疗 660 人次（即 500 名甲亢患者和 160 名甲癌患者）。 ^{131}I 药物分装使用碘自动分装仪，工作人员隔室操作分装仪，通过视频监控和语音系统指导患者服药，不近距离接触服药患者。工作人员在进行药物分装前需要将 ^{131}I 药物源罐转运至自动分装仪内，分装完成后将源罐运回 2#储源室贮存。每次转运时间保守取 60s，年累计转运时间不超过 11h，转运过程中工作人员与源罐的距离取 0.5m，核医学科每周使用 ^{131}I 药物的总活度最多为 900mCi，经过 30mmPb 铅罐屏蔽后（衰减因子 1.87E-03），距源罐 0.5m 处剂量率为 14.8 $\mu\text{Sv/h}$ ，则药物转运环节工作人员年受照剂量为 14.8 $\mu\text{Sv/h}$ ×11h/a=163 $\mu\text{Sv/a}$ ；

工作人员隔室操作自动分装仪，每次分装的平均操作时间取 5min，年累计操作分装仪的

时间不超过 55h，药物分装期间，控制室内的附加剂量率为 $1.41\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，则药物分装环节工作人员年受照剂量为 $0.0141\mu\text{Sv/h}\times 55\text{h/a}=0.77\mu\text{Sv/a}$ ；

病人服药平均时间取 3min，则甲癌患者年累计服药时间为 8h，甲亢患者服药年累计服药时间为 25h。甲癌患者服药时控制室内附加剂量率为 $1.77\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，甲亢患者服药时控制室内附加剂量率为 $8.83\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ，则指导患者服药环节工作人员年受照剂量为 $0.177\mu\text{Sv/h}\times 8\text{h/a} + 8.83\text{E-}03\mu\text{Sv/h}\times 25\text{h/a}=1.64\mu\text{Sv/a}$ ；

② 内照射剂量：参考张震等《4 家核医学工作场所空气中 ^{131}I 活度浓度的监测》（工业卫生与职业病 2013 年第 39 卷第 3 期）中对 4 家三甲医院的 ^{131}I 分装室空气中 ^{131}I 活度浓度的监测结果，4 家医院核医学科 ^{131}I 分装室、服药室的空气中， ^{131}I 活度浓度范围为 $5.8\sim 320\text{Bq/m}^3$ ，保守取值为 320Bq/m^3 ；本项目工作人员每周在分装仪室内的停留时间取 1h，年累计停留 50h，工作人员每小时吸入空气体积取 1.2m^3 ，则年吸入 ^{131}I 的活度为 $320\text{Bq/m}^3\times 1.2\text{m}^3/\text{h}\times 50\text{h/a}=19200\text{Bq/a}$ 。根据 GB18871 附录 B 表 B3，吸入放射性碘剂量转换系数取 $1.1\times 10^{-8}\text{Sv/Bq}$ ，则工作人员年吸入 ^{131}I 的内照射剂量为 $211.2\mu\text{Sv/a}$ ；

(2) 医生护师查房：

① 外照射剂量：医生和护师每周的查房时间不超过 1h，年累计查房时间不超过 50h。参考 ICRP 第 94 号出版物数据，患者体内大约 55% 施予活度的 ^{131}I 在服药后 24h 内排出体外。通常情况下，在患者住院的前 24h 内，医生和护师只通过病房对讲系统查房，甲癌患者服用 $7400\text{MBq}^{131}\text{I}$ 药物 24h 后，据患者 1m 处剂量率降为 $237.3\mu\text{Sv/h}$ ，距患者 2m 处（工作人员查房停留的距离）剂量率为 $59.3\mu\text{Sv/h}$ ，则医生和护师查房的年受照剂量为 $59.3\mu\text{Sv/h}\times 50\text{h/a} = 2.965\text{mSv/a}$ ；考虑工作人员查房时穿戴 0.5mmPb 铅衣（衰减因子为 0.9），则年附加剂量为 2.67mSv/a 。

② 内照射剂量：参考 ICRP 第 94 号出版物报道，呼出气中放射性碘含量为服用活度的 $0.008\sim 0.03\%$ ，治疗后第 1d 内每小时平均呼出活度为 $1.5\times 10^{-6}\text{Bq}/(\text{h}\cdot\text{Bq}$ 服用活度)；服药后 2d 内 ^{131}I 的呼出气浓度为 $20\sim 190\text{Bq/L}$ 。房间空气的平均浓度为 $80\sim 440\text{Bq/m}^3$ 。保守取值为 440Bq/m^3 ，每小时吸入空气体积取 1.2m^3 ，年累计查房时间 50h，则预计内照射有效剂量为 $440\text{Bq/m}^3\times 1.2\text{m}^3/\text{h}\times 50\text{h/a}\times 1.1\times 10^{-5}\text{mSv/Bq} = 0.29\text{mSv}$ 。

(3) 核素治疗环节工作人员年附加剂量小结

根据前文分析，核医学科核素治疗环节工作人员年附加有效剂量统计结果见表 11.37。

表 11.37 核素治疗环节工作人员年附加有效剂量

人员岗位	工作内容	照射类型	附加剂量 (mSv/a)	总附加剂量 (mSv/a)
技师	药物分装和	外照射	0.165	0.376

	指导服药	内照射	0.211	
查房医生和护师	查房	外照射	2.67	2.96
		内照射	0.29	

由表 11.37 可知，本项目核素治疗环节中，医生和护师的年附加剂量不超过 2.96mSv/a，技师的年附加剂量不超过 0.376mSv/a。估算结果均满足本评价设定的职业人员 5mSv/a 的剂量约束值要求。本项目核素治疗工作人员与显像诊断工作人员的工作内容不交叉，不再进行剂量叠加。

（三）甲功、敷贴治疗环节工作人员剂量估算

（1）甲状腺功能测定：

甲状腺吸碘功能测定使用的 ^{131}I 胶囊每粒活度为单粒胶囊活度为 0.185MBq（5 μCi ），距胶囊 1m 处剂量率为 $1.10 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。甲功测定检查每年 500 位患者，工作人员与每位患者的平均接触时间取 10min，年累计接触时间 83.3h，按工作人员距离患者 1m 进行计算，则工作人员年附加剂量不超过 1 $\mu\text{Sv/a}$ 。因此甲状腺功能测定环节的年附加剂量可忽略。

（2）敷贴治疗环节：

由前文表 11.34 的计算结果可知，距离 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器源 0.3m 处空气吸收剂量率为 18.26 $\mu\text{Gy/h}$ ，1m 处空气吸收剂量率为 1.64 $\mu\text{Gy/h}$ ，3m 处空气吸收剂量率降至 0.18 $\mu\text{Gy/h}$ ；根据医院提供的信息， ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器年计划治疗 100 名患者，假设患者病灶处需要进行 10 次敷贴，每次敷贴操作工作人员贴源的时间约 20s，则工作人员每年贴源的时间为预计不超过 10h，工作人员进行贴源操作时距源约 30~50cm，则估算可得敷贴器操作人员年有效剂量约为 0.1mSv/a。与核医学科显像诊断、核素治疗工作人员的年有效剂量叠加后，仍满足本项目设定的工作人员 5mSv/a 的剂量约束值要求

由于敷贴源自身就会产生一定强度的韧致辐射，因此工作人员在操作期间，应注意充分利用时间、距离和屏蔽防护手段，操作时避免正对源窗，增大操作距离，提高操作熟练程度，减少操作时间，穿戴个人防护用品。

10.5.8 放射性“三废”环境影响分析

（一）放射性固体废物

（1）显像诊断废物分析

显像诊断区域放射性固废主要包括： ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物分装、注射、质控环节产生的废弃注射器、针头、吸水纸、去污废物、被污染的一次性用品等； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物淋洗、标记环节产生的空药瓶、药盒、吸水纸和去污废物； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气施药环节产生的一次性吸气管、咬嘴、过滤

器、石墨坩埚和去污废物等。此外还包括排风口的活性炭滤芯、高效过滤器、废钼铈发生器和废旧 ^{68}Ge 校准源等。

本项目核医学科全年开展 ^{18}F 显像检查 3750 人次，全年开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查 6250 人次，平均每人次检查产生放射性固体废物 0.02kg，全年显像检查产生放射性固体废物约 200kg；每日开展 1 次 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物淋洗标记，年工作 250 天，平均每次淋洗标记产生放射性固体废物按 0.2kg，全年产生放射性固体废物预计 50kg；全年开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气检查不超过 500 人次，平均每人次施药产生放射性固体废物按 0.1kg，全年产生放射性固体废物预计 50kg；根据以上分析，显像诊断区域满负荷运行年产生放射性固废预计为 300kg。

放射性固废的收集均安排在显像诊断工作结束后或开始前无病人的时间段进行，使用不易破损的塑料袋收集密封，并标注所含核素种类和收集日期后，转移至 1#固废间的铅桶内暂存；显像诊断区域每月产生放射性固废约 25kg，1#固废间的 2 个铅废物桶容积均为 40L，1 个废物桶可满足超过 30 天暂存要求，两桶轮流使用。

此外，显像检查区域排风系统的 2 个活性炭滤芯（每个不大于 5kg）和分装柜、手套箱、集气罩的 3 个高效过滤器（每个不大于 2kg）计划每年更换 1 次，预计将额外产生 16kg 的固体废物，上述废弃滤材将妥善收集，密封包装后暂存在 1#固废间内，按照放射性固废的要求进行暂存。

无使用价值的废旧钼铈发生器在下次送药时由供货厂家回收处理，退役 ^{68}Ge 校准源和退役 ^{90}Sr 敷贴器由供源厂家负责回收或送交有放射性废物贮存资质的单位贮存。

（2）核素治疗废物分析

核素治疗区域放射性固废主要包括服碘口杯、去污废物和生活垃圾、排风口活性炭滤芯等。本项目核医学科全年开展 ^{131}I 甲癌治疗 160 人次，全年开展 ^{131}I 甲亢治疗 500 人次，平均每人次服药产生的放射性固体废物 0.1kg（主要为服碘口杯、一次性用品及去污废物等），预计全年产生放射性固体废物 66kg（甲癌服药+甲亢服药）；此外，甲状腺功能测定使用 ^{131}I 成品胶囊，每粒胶囊活度仅为 $5\mu\text{Ci}$ ，按需订购，且患者在甲功室服药后直接离开核医学科，正常情况下不产生放射性废物。

甲癌住院患者使用过的各类物品，以及生活垃圾如一次性餐具、纸巾纸杯、废弃用品等固体废物，会有不同程度的放射性污染，应当按产生日期集中收集并暂存。甲癌患者使用过的污染被褥枕头和病服应统一收集至污染被服间，至少存放衰变 9 天后再进行清洗。对于上述固废，按照按每位患者每天平均产生 0.5kg 进行估算，核医学科每年最多收治 160 名甲癌患者，每位患者平均住院时间为 4 天，预计年产生固废 320kg。根据以上分析，核素治疗区满负荷运行年产生放射性固废约 400kg 左右。

核素治疗区域放射性固废的收集均安排在周末进行，使用不易破损的塑料袋收集密封，并标注所含核素种类和收集日期后，转移至 2#固废间的铅箱内暂存。核素治疗区域每周产生放射性固废约 10kg，2#固废间的 2 个铅废物箱，总容积为 400L，预计可满足 ^{131}I 放射性固废的暂存超过 180 天的要求。此外，核素治疗区域排风系统的碘过滤器计划每年更换 1 次，预计将额外产生 50kg 的固体废物，废旧滤芯应妥善收集、密封包装后转移至 2#固废间内，按照 ^{131}I 放射性固废的要求进行暂存。

核医学科根据实际预约量按需订购 ^{131}I 药物，通常不会有剩余，如遇特殊情况患者未能就诊，多余的药物仍贮存在 ^{131}I 铅罐内并暂存在 2#储源室，对周围环境辐射影响很小。 ^{131}I 药物铅罐在下次送药时由供药厂家负责回收处理，医院不得自行处理。

(3) 固废解控

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，本项目放射性废物将根据放射性核素种类进行分类收集和分别处理。含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天，含 ^{131}I 核素的放射性固废暂存超过 180 天后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行检测，辐射剂量率为所处环境本底水平且 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时，对废物进行清洁解控并作为医疗废物处理。在放射性固废暂存和解控管理台账上详细记录解控废物所含的核素名称、重量、废物产生起始日期、废物处置人员、处置日期和监测结果等信息。

(二) 放射性废水

(1) 显像诊断废水

显像诊断区域的分装注射室、淋洗标记室、缓冲间 1、淋浴间 1、清洁间 1、甲功室、敷贴治疗室洗手池废水和洗污废水，患者候诊室卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入的 1#衰变池。

核医学科 PET 候诊室和 SPECT 候诊室设置患者专用卫生间，按照所有患者每人入厕 1 次，每次入厕和洗手的平均用水量按 6L/次， ^{18}F 显像检查 3750 人次， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查 6250 人次，预计年产生废水量为 60m^3 。分装注射室、淋洗标记室工作人员洗手池废水量按 60L/天，年产生废水量为 15m^3 ，工作场所清洁废水量按 60L/天，年产生废水量为 15m^3 ；药物质控废水每次 1L，每月开展 4 次，年产生废水量 0.05m^3 ；假设每年出现 2 次应急情况，应急废水总排放量为 2m^3 。此外，甲功室和敷贴治疗室洗手池非放废水按 20L/d 计算，年产生废水量为 5m^3 ；根据以上分析，显像诊断区满负荷运行年产生放射性废水量约为 97.1m^3 。

本项目 1#衰变池设有 3 个衰变槽轮流使用，单槽有效容积为 10.8m^3 ，注满单个衰变槽所用时间约 40 天。单个衰变槽住满后，该槽内放射性废水最多可继续暂存 80 天（即另外两槽依

次注满的时间)，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天”要求。

（2）核素治疗废水

核素治疗区域的分装仪室、缓冲间 3、淋浴间 2、抢救室、清洁间 2 的洗手池废水和洗污废水，碘病房卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入 2#衰变池；

本项目核医学科全年计划收治 160 名甲癌患者，患者用水量按每人每天 150L 考虑，按人均住院 4 天计算，则年产生废水量 96m³。工作人员每次分装药物产生的洗手、去污用水按平均 5L/次考虑，甲癌年给药 160 次，甲亢年给药 500 次，则年产生废水量 3.3m³；工作场所清洁时清洗废水量按 200L/周，年接诊 40 周，则年产生废水量 8m³；假设每年出现 1 次辐射应急情况，应急淋浴用水总量保守按 3m³；甲亢患者服药后无异常即离开核医学科，不使用核医学科的厕所和洗手池，不产生放射性废水。

根据以上分析，核素治疗区满负荷运行年产生放射性废水量约为 110.3m³，平均每天产生废水量约为 0.302m³。本项目 2#衰变池设有 3 个衰变槽轮流使用，单槽有效容积为 45.6m³，注满单个衰变槽所用时间约为 150 天。单个衰变槽住满后，该槽内放射性废水最多可继续暂存 300 天（即另外两槽依次注满的时间），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）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（含 ¹³¹I 核素的暂存超过 180 天）”要求。

（3）放射性废水达标排放分析

显像诊断场所废水主要含短半衰期的 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 核素，半衰期分别为 109.8min 和 6.02h，按暂存时间超过 30 天后可直接解控排放，废水解控前 ^{99m}Tc 核素至少经历了 119 个半衰期，因此 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 核素的活度浓度水平极低，可达标排放。本项目仅核素治疗场所 ¹³¹I 废水达标排放进行分析。

参考国际放射防护委员会（ICRP）第 94 号出版物，甲状腺癌治疗患者服用放射性碘后，约 85%会在住院前 5 天内排出到衰变池，本项目保守按 ¹³¹I 核素摄入量的 85%排入到衰变池进行计算。参考杨勇《核医学放射性废水槽式衰变池容积的评价与设计》（中华放射医学与防护杂志,2022,42(3):219-224）中推荐的评价方法，本项目核素治疗场所废水中 ¹³¹I 的放射性活度浓度计算方法如下：

$$C = \frac{1000A}{V} \quad (11-29)$$

$$A = \frac{A_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1}) \cdot e^{-\lambda t_2} \quad (11-30)$$

式中： C — 解控前废水中 ^{131}I 核素的放射性活度浓度， Bq/L ；

A — 解控前废水中 ^{131}I 核素的放射性活度， MBq ；

V — 单个衰变槽的有效容积，取 45.6m^3 ；

A_0 — 单位时间（天）内注入衰变池的 ^{131}I 活度， MBq/d 。本项目保守按每名甲癌患者服药 7400MBq ，则 160 名患者的年服药总量为 $1.184\times 10^6\text{MBq/a}$ ，排入衰变池的活度按 85% 计算，则平均每日注入衰变池的 ^{131}I 活度 $A_0\approx 2760\text{MBq/d}$ （按 1 年 365d 计算）；

λ — ^{131}I 核素的衰变常数，单位取 d^{-1} ，数值取 8.64×10^{-2} ；

t_1 — 注满单个衰变槽的时间，取 150d；

t_2 — 衰变槽注满后的继续暂存衰变的时间，取最短暂存时间 180d；

将上述各参数代入式（11-29）和（11-30）计算可得，单个衰变槽注满 ^{131}I 废水后继续暂存 180 天，则衰变槽中 ^{131}I 核素的活度浓度约为 0.124Bq/L 。本项目 ^{131}I 废水最长暂存时间可到 300 天，若 t_2 取最长暂存时间 300d，则该衰变槽中 ^{131}I 核素的活度浓度仅为 $3.99\times 10^{-6}\text{Bq/L}$ 。上述计算结果低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性废液排放口总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L ”的排放限值要求。根据 GB18871 附录 B， ^{131}I 核素的一次排放活度导出限值 $ALI_{\min}=9.1\times 10^5\text{Bq}$ ，本项目解控排放的废水中 ^{131}I 核素活度浓度保守取 0.124Bq/L （暂存 180 天），单次排放量为 45600L ，可得一次排放的活度为 $5.65\times 10^3\text{Bq}$ ，远小于一次排放导出限值 ALI_{\min} 。综合上述分析可知，本项目核素治疗场所 ^{131}I 废水可达标排放。

本项目衰变池系统为地埋式钢筋混凝土结构，废水池均位于地下，采用钢筋混凝土整体浇筑，各池体四壁、池底、池顶以及检修通道顶板均为 200mm 混凝土，检修通道顶板上方计划作为填土种植区，并在周边设立围栏、警示标识等安全措施。因此，预计放射性废水的暂存和排放对周围环境和人员的影响很小。

（三）放射性废气

（1）显像诊断区域废气分析

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的淋洗、标记、分装操作均在手套箱内进行， ^{18}F 药物的分装在分装柜内进行。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 药物的物理性质稳定，药物操作环节挥发到空气中的份额可以忽略不计。

核医学科显像诊断工作场所设置 1 套独立的负压排风管道， ^{18}F 分装柜、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱和肺通气室集气罩共用 1 套独立负压排风管道，工作场所气流组织按照监督区流向控制区的流向设置，管道内均设有止回阀。各排风管道均引至急危重症楼高空排放（高度 35m ），楼顶排风口处均设有活性炭过滤装置，计划每年更换 1 次活性炭滤芯，保证过滤装置有效性。

此外，甲功室和敷贴治疗室均设有独立的排风管道，虽然 ^{131}I 具有一定的挥发性，但甲功测定

使用 ^{131}I 胶囊具有良好的密封性，每粒胶囊活度仅为 $5\mu\text{Ci}$ ，且患者在甲功室服药后直接离开核医学科，故在正常操作过程中，挥发进入空气的 ^{131}I 核素极少，在正常排风条件下对周围环境影响可以忽略。正常运行期间，显像诊断区域的放射性废气对周围环境的影响十分轻微，不再详细评价。

(2) 核素治疗区域废气分析

本项目核素治疗区域设置 1 套独立的负压排风管道，排风管道引至急危重症楼楼顶上方高空排放（高度 35m），楼顶排风口处安装高效的碘过滤器（过滤效率不低于 99%），以减少废气中放射性碘含量。

本项目甲癌和甲亢治疗使用的是 ^{131}I 液态口服药剂，正常服药期间对工作环境造成空气污染较小。本项目采用 ^{131}I 药液全自动分装仪进行活度测定、质检、分装等操作，上述操作均在全自动分装仪内完成，分装仪室、服碘室内均设有排风口，排风管道引至急危重症楼楼顶上方高空排放，排风口高效碘过滤器的过滤效率不低于 99%，预计对公众和周围环境影响很小。

放射性废气主要还来自患者体内代谢的 ^{131}I 随呼出气进入空气，以及放射性表面污染物的挥发。参考 ICRP 第 94 号出版物报道，呼出气中放射性碘含量为服用活度的 0.008~0.03%，治疗后第 1d 内每小时平均呼出活度为 $1.5 \times 10^{-6}\text{Bq}/(\text{h} \cdot \text{Bq 服用活度})$ ；服药后 2d 内 ^{131}I 的呼出气浓度为 20~190Bq/L。房间空气的平均浓度为 80~440Bq/m³。为了防止 ^{131}I 在病房内蓄积，影响周围的医护人员和其它公众，碘病房设置有负压排风管道，碘病房内有效换气次数不低于 6 次/h。每间病房的卫生间和房间内各设 1 个通风口，含碘废气有组织排放，风管内均设置止回阀，防止废气倒流至其他区域。楼顶排风口处碘过滤器的过滤效率不低于 99%，因此，预计核素治疗区域的外排废气中 ^{131}I 浓度 $<4.4\text{Bq}/\text{m}^3$ ，经过环境空气稀释和扩散后最大落地浓度至少降低 1~2 个数量级，低于本评价建议的公众 DAC 限值 $5.6\text{Bq}/\text{m}^3$ 要求，对周围公众和环境的影响轻微。

11.3 异常事件分析与防范建议

11.3.1 医用加速器异常事件分析与防范建议

(1) 本项目医用电子直线加速器在运行期间，主要存在以下事故风险：

① 门机连锁失效：机房门机安全连锁失效，加速器在出束状态下人员误入机房，或者防护门未完全关闭的情况下加速器开机出束，导致人员受到误照射；

② 人员误留机房：人员误留机房内或工作人员在机房内开展准备工作未撤出机房时，控制台操作人员误开机出束，导致人员受到误照射。

加速器可能发生的最严重辐射事故是门机连锁失效，无关人员误入加速器机房而受到误照

射。事故情境：加速器以 X 射线 10MV、2400cGy/min（FFF 模式）治疗过程中，人员误入机房后到达迷道内口处，看到加速器机床上有患者正在接受治疗，急速返回。假设该人员在迷道内口处停留时间 20s，据此估算误入人员最大受照剂量。

考虑最不利情况，该误入人员的受照剂量主要由三部分组成：①机头的泄漏辐射；②主束经主屏蔽墙的散射；③患者的散射辐射；依照本报告表 11.2.6 节的估算模式，计算得该误入人员可能的受照剂量为：

$$\text{① 机头的泄漏辐射：} \frac{1440\text{Gy}/h \times 0.1\%}{(6.8\text{m})^2} \times \frac{20}{3600} h \times 10^3 \text{mSv}/\text{Gy} = 0.173\text{mSv}$$

$$\text{② 主束经主屏蔽墙的散射：} \frac{1440\text{Gy}/h \times 2.1 \times 10^{-3} \times 6.2\text{m}^2}{(5.0\text{m})^2 \times (4.8\text{m})^2} \times \frac{20}{3600} h \times 10^3 \text{mSv}/\text{Gy} = 0.181\text{mSv}$$

$$\text{③ 患者的散射辐射：} \frac{1440\text{Gy}/h \times 7.46 \times 10^{-4} \times \left(\frac{40 \times 40}{400}\right)}{(1\text{m})^2 \times (6.9\text{m})^2} \times \frac{20}{3600} h \times 10^3 \text{mSv}/\text{Gy} = 0.501\text{mSv}$$

经分析，人员误入加速器室 1 次的最大受照剂量为
 $0.173\text{mSv} + 0.181\text{mSv} + 0.501\text{mSv} = 0.855\text{mSv}$ ，该剂量的照射不会对误入人员的健康造成严重影响。

对于这种事故，本项目 2 间加速器室防护门配备了可靠的门机安全联锁，各治疗室门外设有电离辐射警示标识和工作指示灯，各治疗室内设有急停按钮、紧急开门、迷道、闭路监视系统等安全措施，可以有效防止此类事件发生。

(2) 针对加速器运行期间可能发生的辐射事故（件），建议采取以下防范措施：

① 为避免加速器出束状态时人员误入机房或防护门未完全关闭时开机出束，加速器室须设置可靠的门机安全联锁系统，以保证加速器的安全运行。同时，门机联锁的可靠性并不能排除其失效的风险，工作人员还应在每日工作前检查门机连锁装置是否正常，并做好日常维护保养、定期检查，保证安全联锁系统始终处于正常状态。

② 为防止人员误留在加速器室内受到误照射，要求工作人员每次关闭防护门之前，必须进入机房检查，工作人员进入加速机房时应携带个人剂量报警仪；加速器出束前应有声音报警，提醒工作人员及时从加速器机房撤出。定期检查机房内紧急停机按钮、紧急开门按钮等装置，保证其可靠性。

③ 加速器控制系统应配备 UPS，保证电脑的不间断供电，记录放疗患者已接受的累积剂量。加速器室内应安装应急照明装置，机房防护门应具有停电手动开启功能，使患者能够安全转移；加速器室内应安装火灾报警装置，配备灭火器材。

11.3.2 ^{192}Ir 后装机异常事件分析与防范建议

(1) 本项目后装近距离治疗机在运行期间，主要存在以下事故风险：

- ① 后装机使用和换源期间发生卡源故障、源脱落事故，且需要进入治疗室处理的；
- ② 门-源安全联锁失效，后装机处于治疗状态时人员误入治疗室，或者防护门未完全关闭时后装机就开始出源治疗，可能导致工作人员和周围公众受到误照射。
- ③ 自动回源装置失效，停电或照射意外中断时无无法自动回源。
- ④ 后装机贮源容器损坏或放射源包壳破损，导致人员受到额外照射和环境放射性污染。
- ⑤ 放射源使用和换源期间由于管理不善，导致Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，可能引发环境放射性污染，导致较严重的辐射照射事故。

本项目后装机室工作场所和后装机设备具有良好的屏蔽设计、监控装置、安保系统和安全联锁系统，满足正常安全运行的要求，但仍不能排除其失效导致的紧急情况。后装机可能发生的风险率最大的事故卡源和源脱落事故。如果发生卡源时，首先应使用后装机操作系统的紧急回源程序或按钮进行紧急回源处理。后装治疗机的源开关控制系统均配有手动机械复位应急装置，当控制系统出现故障导致自动关源系统失效时，通过手动机械复位机构将使放射源回到储源状态。如果源已经卡死，紧急回源装置无法回源时，只能采取进入机房摇动人工回源手柄进行回源处理。如果发生放射源脱落掉在地上，只能通过工作人员现场使用长柄镊子将放射源转移到应机房内应急贮源容器内。

处理此类事故时，工作人员应穿上铅衣、铅帽、铅围脖，戴上铅眼镜，并佩带个人剂量计和个人剂量报警仪（个人剂量报警仪须调到累积剂量模式），进入机房后，应在尽可能短的时间内，将放射源旋回后装机的贮源系统内或者转移至铅罐内。

假设工作人员在距离放射源 50cm 的位置处理事故，处理事件取 0.5min，故完成手摇回源或者捡拾放射源处理的事故受照剂量可能为（不考虑铅衣的防护效果）：

$$\frac{41.1\text{mSv}\cdot\text{m}^2/\text{h}}{(0.5\text{m})^2}\times\frac{0.5}{60}\text{h}\approx 1.37\text{mSv}$$

可见，该事故剂量未超出年剂量约束值，不会对事故处理人员的健康造成严重影响。

后装机 ^{192}Ir 源属于Ⅲ类放射源，发生放射源丢失、被盗、失控事故后，对环境和人员的造成的事故后果将较为严重。根据原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号）和《关于印发〈宁夏回族自治区生态环境厅辐射事故应急预案〉的通知》（宁环办发[2021]69号），发生Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控事故时，现场人员应保护现场并立即向医院辐射防护负责人报告，医院应立即启动《辐射事故应急预案》，由医院辐射事故应急领导小组组长统一指挥，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报

告表》，上报当地生态环境主管部门、公安部门和卫生行政部门。

(2) 针对后装机运行期间可能发生的辐射事故（件），建议采取以下防范措施：

① 医院应定期检查后装机室安全联锁系统和设备各项功能，保证安全联锁系统的有效性，发现问题应立即停止辐射工作，联系设备厂家维修处理。做好设备日常维护，工作开始前对设备性能进行日常检查，防止卡源事故发生。后装机室内配备储源容器和长柄镊子等必要的应急物品，应急设备处张贴应急指示。

② 制定完善的《后装机操作规程》和《辐射事故应急预案》，制度应当上墙。对后装机操作人员进行定期培训，熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应当先观察监控确保治疗室内无人员滞留。制定的《辐射事故应急预案》中应包括放射源卡源、停电应急、人员误入应急以及人员受到超剂量照射应急等内容。

③ 后装机室和储源室应做好防盗措施，设置防盗门（防护门）、双人双锁、红外防闯入报警等安全防范措施；须满足《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）中的二级治安防范要求，经组织验收合格后方可投入使用。

④ 新源运输、放射源倒装和旧源退运工作均由供源厂家排专业人员负责。医院应制定并落实放射源台账管理制度并指派专人负责。换源活动结束后，应在完成之日起 20 日内向当地生态环境主管部门备案。

⑤ 发生卡源故障、源脱落事故时，工作人员在第一时间使用操作系统的紧急回源程序或按钮进行紧急回源处理。如仍无法回源，报告医院辐射防护负责人并启动医院《辐射事故应急预案》。应分析事故具体情况，制定应急行动方案。需穿戴个人防护用品，携带个人剂量报警仪（累积剂量测量模式），进入机房迅速完成手摇回源或用长柄镊子将脱落的放射源放进应急储源容器内，同时记录处理时间和估算受照剂量。通过设备控制系统及固定式剂量监测仪器确认放射源已处于安全位置；分析事故原因，必要时请求设备厂家人员协助处理，确保设备功能全部正常后方可再次投入使用；

⑥ 经核实发生放射源丢失、被盗事件时，应立即保护好现场，立即向医院辐射防护负责人报告，医院应立即启动《辐射事故应急预案》。查证放射源名称、数量、活度情况，被偷盗、丢失的可能时间、发生地点和嫌疑人等。在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》向当地生态环境主管部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的还应向卫生部门报告。医院应积极配合公安部门、生态环境部门对事故的调查、案件侦破和放射源追缴工作；可能造成辐射损伤的人员，立即估算受照剂量，采取应急救援措施，将其送至指定医院接受检查和治疗。辐射事故处理结束后，医院应及时整理资料，填写《辐射事故（件）后续报告表》并根据生态环境主管部门要求进行记录材料的上报；查找事故原因及教训，修订相关辐射安全管理制度和

应急预案，杜绝同类事故的再次发生。

11.3.3 DSA 异常事件分析与防范建议

(1) 本项目 DSA 设备在运行期间，可能存在以下事故风险：

- 1) 在射线装置工作状态下，人员误入机房受到不必要的照射；
- 2) 在射线装置工作状态下，未关闭防护门或突然被打开，对附近经过或停留人员产生误照射。

本项目可能发生的事故是无关人员误入手术室受到误照射，受照剂量估算情景：患者正在进行血管造影，有人员突然误入手术室，控制室工作人员发现该误入人员，并命令其立即撤离机房。依据公式（11.18）和公式（11.20）计算该人员的受照剂量，摄影工况下距靶点 1 米处的剂量当量率为 21.1Gy/h，假设该人员距离治疗床 1m 处停留了 30 秒。该人员未使用任何防护用品，透射因子 B 取 1。

根据以上情况，计算出误入人员可能的受照剂量约为：

$$(21.1\text{Gy}/h \times 0.1\% + \frac{2.11\text{Gy}/h}{0.6^2} \times 0.0013) \times \frac{1}{120} h \times 10^3 m\text{Sv}/\text{Gy} \approx 0.811 m\text{Sv}$$

可见，该剂量的照射不会对误入人员的健康造成严重影响。

对于人员误入手术室的情况，本项目 DSA 手术室及周边为封闭式管理的洁净区域，出入口设门禁，无关人员通常无法进入该区域。且各 DSA 室防护门均具有自动延迟关门功能，并配备了门灯连锁装置，所有防护门外设有电离辐射警示标识和工作状态指示灯，可有效防止无关人员误入 DSA 手术室。

(2) DSA 运行期间发生辐射事故的机率很小，关键在于预防，建议采取以下防范措施：

(1) 设备发生故障时，须采取紧急手段，切断设备高压发生器或总电源；定期开展设备状态监测，监测频次为 1 次/年，检测记录妥善存档；加强工作人员培训工作，

(2) 规范工作秩序，严格执行《操作规程》和《辐射防护和安全保卫制度》等规章制度；加强工作人员操作培训工作，提高手术操作的熟练程度，增强防护意识；

(3) 定期检查各 DSA 手术室防护门电离辐射警示标志、中文警告说明和工作状态指示灯是否正常，核实门-灯连锁装置是否有效；加强工作场所分区管理，严格限制无关人员进入监督区；

(4) 为辐射工作人员和患者配备种类齐全、数量足够的个人防护用品；定期检查个人防护用品的有效性，及时更换老化、断裂的防护用品。

11.3.4 核医学科异常事件分析与防范建议

(1) 本项目核医学科在运行期间，主要存在以下事故风险：

① 药物意外洒漏：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等意外事件，会对工作场所内部及周围环境造成外照射和 β 放射性表面污染等辐射影响，还有可能被食入或吸入人体体内形成内照射危害；

② 放射性物品保管不当，发生遗失或被盜：放射性药物、钼铯发生器、放射源失控可能造成局部环境的放射性污染，对工作人员和公众造成额外照射；

③ 放射性废物管理不善：放射性固体废物和放射性废水未暂存足够时间或者未按解控规定擅自处理，可能会造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众造成辐射危害；

④ 钼铯发生器意外破裂：钼铯发生器使用期间可能发生侧翻、跌落、外力撞击或误操作，导致发生器屏蔽体和密封装置裂缝、破损，可能造成放射性物质泄漏，会对工作人员和周围环境造成放射性危害；

⑤ ^{99m}Tc 气溶胶泄漏或逸出：施药时配合度差，导致 ^{99m}Tc 气溶胶泄漏或逸出；未按操作规程施药造成 ^{99m}Tc 气溶胶弥散；铯气发生器密闭装置泄漏导致 ^{99m}Tc 气溶胶泄漏或逸出；

⑥ 核素治疗管理不善：服药剂量偏离处方剂量较大；弄错患者导致错误给药；未核实情况下对怀孕、哺乳期妇女实施了不当的核素治疗。甲癌患者体内核素活度或 1m 处剂量率未降至出院水平以下即出院离开，对公众造成额外照射。

(2) 针对核医学科运行期间可能发生的辐射事故（件），建议采取以下防范措施：

① 建立放射性药物使用管理制度，制定放射性药物操作规程，并对操作放射性药物的人员进行严格培训，须熟练掌握放射性药物操作技能和辐射防护基本知识后方可上岗工作。若放射性同位素操作过程中因容器破碎，药物意外泼洒造成放射性污染时，应迅速用吸附衬垫吸干泼洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从泼洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边缘向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面污染监测仪监测污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

② 核医学科工作场所的操作台面、地面、墙面应采用光滑、无渗漏、易去污的材料覆盖，在放射性药物操作区域出入口处设置缓冲间，工作人员进出控制区需更换工作服和工作鞋，可有效避免放射性污染的扩散。

③ 1#、2#储源室设置闭路监视和防侵入报警系统，安装防盗门，依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）落实相关要求，贮源场所通过公安部门验收后投入使用。此外，放射性药品由专业公司送达医院后，核医学科工作人员与送药人员在摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失或被盜。若发生放射性药物或放射源遗失或被盜，核医学科当值人员应保护好现场，立即向医院的辐射安全管理专职人员报

告，启动医院辐射事故应急预案，并上报当地公安部门和生态环境主管部门，并协助公安部门开展侦查和追缴；

④ 核医学科分装注射、淋洗标记室和服碘室、碘病房内均配置放射性废物铅桶， $^{18}\text{F}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 固废和 ^{131}I 固废分开收集，含 $^{18}\text{F}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性固废在 1#固废间铅桶内暂存不少于 30 天，含 ^{131}I 核素的放射性固废在 2#固废间铅箱内暂存至少 180 天，达到解控水平后办理清洁解控，可有效避免放射性固废对环境造成污染和影响；显像诊断场所废水和核素治疗场所废水分开收集和暂存，显像诊断区域放射性废水暂存时间应超过 30 天，核素治疗区域放射性废水暂存时间应超过 180 天，达到解控水平后排放，可有效防止放射性废水对环境造成污染和影响；显像诊断区域和核素治疗区域设置独立的排风系统，并高于急危重症楼楼顶排放，排风口设置有活性炭过滤器和碘过滤器，可有效减少放射性废水排放对环境的影响；

⑤ 病人注射或者服碘前，要认真核对患者的姓名、性别、给药量，防止因错误给药导致患者受到事故性照射，或者因给偏离处方剂量影响治疗效果。甲癌患者服碘后，在碘病房住院 4 天，配备患者离院前剂量率检测仪，患者离院前应进行剂量率检测，距离患者体表 1m 处周围剂量当量率低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 方可安排出院，避免患者体内核素活度未降至出院标准而对公众造成不必要照射。

⑥ 严格落实个人剂量监测制度和辐射工作场所监测方案，利用辐射监测仪器开展辐射环境自行监测，监测记录存档。辐射安全管理小组须定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正；

⑦ 发生意外事件与事故时，工作人员应当立即向科室负责人、辐射安全管理专职人员报告，启动辐射事故应急预案。辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，保卫科负责保护现场，控制范围，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。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，保障工作人员的健康与安全，固原市人民医院设立了辐射防护安全管理小组，组长由院长担任，小组成员包括医院各部门领导、放射科室总负责人等，辐射防护安全管理小组全权负责全院辐射安全管理工作。医院已配备 1 名辐射安全防护专职管理人员，负责具体开展医院辐射安全与防护的具体工作。

12.2 辐射安全管理规章制度

固原市人民医院依照《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》，结合医院实际情况，已制定一套相对完善的辐射安全管理规章制度，现有各项辐射安全管理制度均已得到严格贯彻落实。

本项目实施后，固原市人民医院辐射安全许可的种类和范围将发生较大的变化。固原市人民医院应结合新项目的开展，组织相关人员修订并完善医院的辐射安全管理制度，并增加本项目工作场所辐射防护和安全保卫制度、台账管理制度、放射性药物外购、药物使用、放射性废物处置等相关规定，本项目医院拟新增完善的管理规章制度主要包括：

- 《核医学科辐射防护和安全保卫管理制度》
- 《核医学科放射性药品采购、交接与暂存管理制度》
- 《核医学科放射性药品使用登记管理制度》
- 《核医学科放射性药品台账管理制度》
- 《核医学科核素治疗病房安全管理制度》
- 《核医学科放射性废物暂存与解控管理制度》
- 《放射治疗科辐射防护与安全保卫制度》
- 《放射源与射线装置台账管理制度》
- 《放射源管理规定》
- 《辐射监测仪器使用与校验管理制度》
- 《辐射安全和防护设施维护维修管理制度》等

本项目应新增的操作规程主要包括《核医学科放射性药物操作规程》、《核医学科钼铈发生器操作规程》、《核医学科显像诊断设备操作规程》、《放射治疗科医用加速器操作规程》《后装机操作规程》、《DSA 操作规程》、《敷贴治疗操作规程》，各项操作规程应在对应的操作位置张贴上墙。

医院应修订并完善工作场所辐射监测方案和辐射事故应急预案，将本项目 2 间加速器室、

1 间后装机室、2 间 DSA 室以及核医学科辐射工作场所纳入医院监测方案和辐射事故应急预案进行管理。医院应当确保全部辐射工作有章可循，并根据辐射实践中发现的问题与经验，对辐射安全管理规章制度的不足之处进行及时修订，不断增强各项制度的适应性和可操作性，提升辐射安全管理的水平。

12.3 辐射安全与防护培训

医院已制定辐射安全培训制度，所有辐射工作人员严格持证上岗制度。目前，医院从事辐射工作的职业人员和管理人员均通过了辐射安全与防护考核。此外，医院计划利用内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织辐射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全法规和规范防护新知识培训。

本项目放射治疗科拟新增 15 名辐射工作人员，核医学科拟新增 16 名辐射工作人员，介入手术室拟新增 10 名辐射工作人员。医院将及时安排其参加辐射安全与防护网上考核，考核类别分别为“放射治疗”、“核医学”、“医用 X 射线诊断与介入放射学”，辐射安全与防护考核通过后，方可上岗从事辐射工作。

12.4 辐射监测

（一）个人剂量监测

航天中心医院依据现有的监测方案开展个人剂量监测工作，所有从事辐射工作的人员均配备了个人剂量计，并按每季度一次的频度委托有资质的机构开展个人剂量监测。航天中心医院按照《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第 55 号）的要求建立了放射工作人员个人剂量档案并终生保存。

（二）辐射工作场所监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，医院每年应委托有 CMA 资质的检测机构对射线装置和非密封放射性物质工作场所进行 1 次工作场所环境辐射水平和表面污染水平监测；每次放射性废水排放前应委托有资质的检测机构对废水中的总 α 、总 β 和 ^{131}I 活度浓度进行监测，所有监测数据应记录并存档。本项目建设完成投入试运行的 3 个月内，须完成竣工环境保护验收监测。

（三）自行监测

为加强辐射安全管理，医院拟利用本项目配备的 X- γ 剂量率仪和表面污染监测仪开展辐射工作场所自行监测。自行监测采取定点监测和巡测相结合的方式进行，在各点位附近进行巡测（一般为距地面 1m 处），重点对 X- γ 辐射剂量率较高的位置进行测量。所有自行监测结果应连同监测工况、监测人员、监测时间等一同记录并妥善保存。本项目个辐射工作场所的自

行监测要求如下：

(1) 放射治疗科

- ▶ 监测项目：X- γ 剂量率；
- ▶ 监测设备：X- γ 剂量率仪；
- ▶ 监测频次：不少于1次/季度
- ▶ 监测点位：加速器室监测点位包括控制室工作人员操作位、加速器室实体屏蔽墙外30cm处、加速器室防护门外和四周门缝30cm处、加速器屋顶上方地面道路处等点位；后装机室监测点位包括控制室工作人员操作位、后装机室实体屏蔽墙外30cm处、后装机室防护门外和四周门缝30cm处、后装机屋顶上方地面道路处等点位；
- ▶ 监测工况：加速器设备应为实际使用的最高能量和最大输出剂量率。后装机设备应为正常出源治疗状态；
- ▶ 剂量率控制水平：本项目加速器机房、后装机房四周墙体、防护门和屋顶外30cm处周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

本项目放射治疗科加速器室和后装机室自行监测点位建议见图12.1。

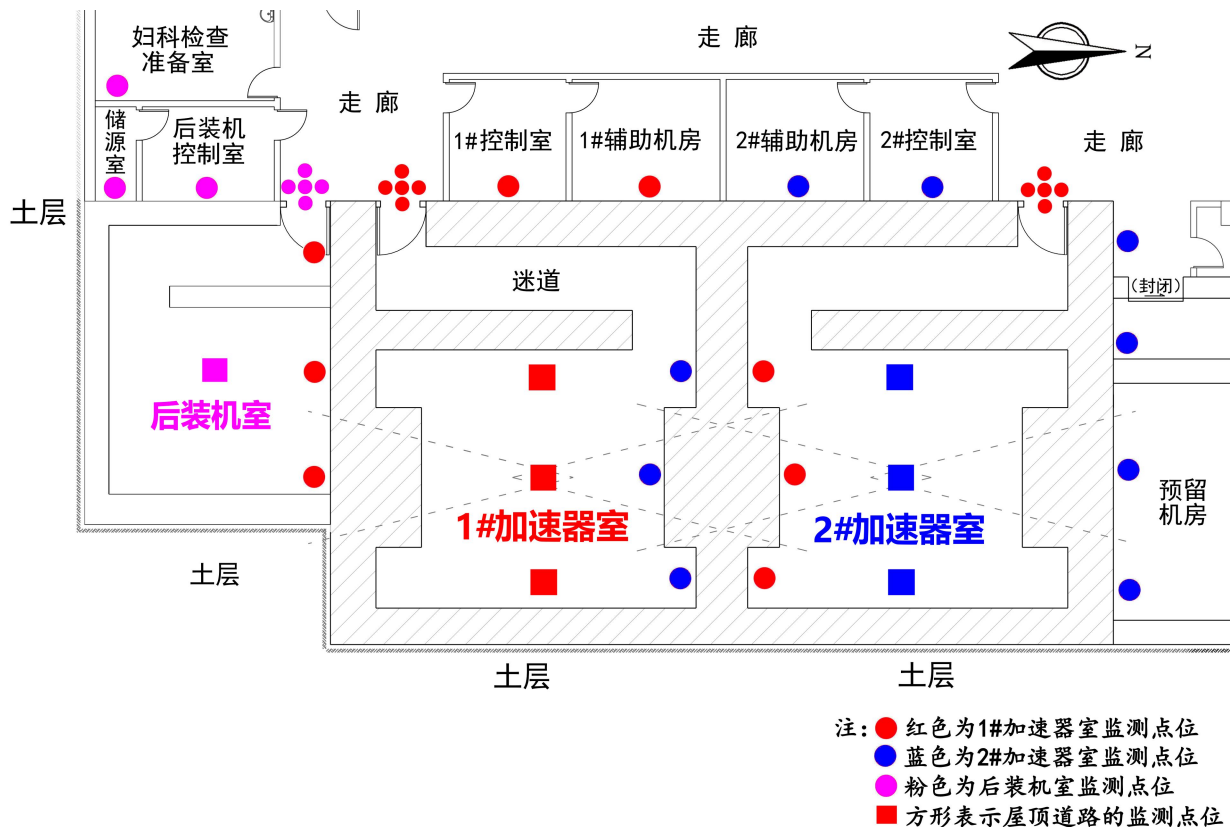


图 12.1 本项目放疗工作场所自行监测点位建议

(2) 介入手术室

- ▶ 监测项目：X- γ 剂量率；

- 监测设备：X- γ 剂量率仪；
- 监测频次：不少于1次/季度；
- 监测点位：主要包括各 DSA 室周围实体屏蔽墙外 30cm、所有防护门外及四周门缝外 30cm、观察窗外 30cm，以及 DSA 室楼下距地面 1.7m、楼上距屋顶外 30cm 等点位。
- 监测工况：监测期间 DSA 设备应处于摄影模式工作状态。
- 剂量率控制水平：各 DSA 室周边墙（含楼上和楼下）、防护门外和观察窗外 30cm 处剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h；

本项目 2 间 DSA 室工作场所自行监测点位建议见图 12.2。

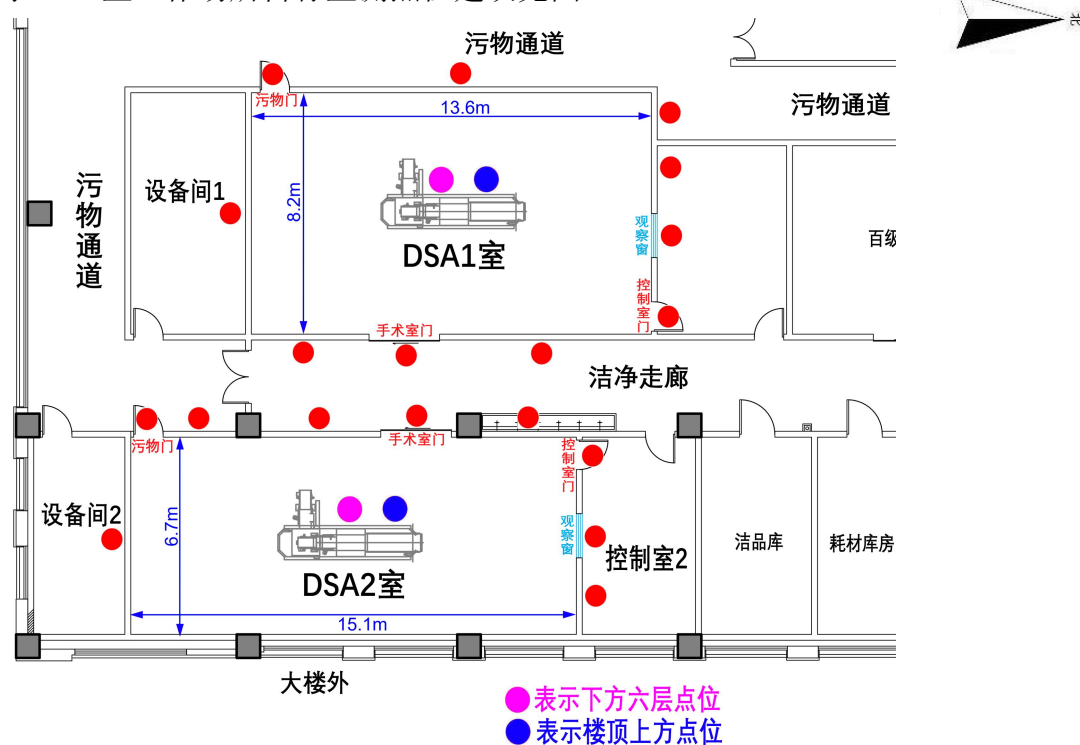


图 12.2 本项目 DSA 工作场所自行监测点位建议

(3) 核医学科

- 监测项目： β 放射性表面污染、X- γ 剂量率
- 监测设备：表面污染监测仪，X- γ 辐射剂量率仪；
- 监测频次：显像诊断区域的 β 表面污染自行监测于每日工作结束后进行（1次/日），核素治疗区域 β 表面污染自行监测于每周甲癌患者全部出院后进行（1次/周）；核医学科工作场所周围 X- γ 剂量率自行监测频次不少于 1 次/半年，
- β 表面污染监测点位：表面污染监测点位主要为分装柜、手套箱、注射窗、自动分装仪、服碘窗口等设备的操作台面；各功能用房内地面座椅病床；患者专用卫生间内地面墙面；显像扫描机房内地面床面；服碘室门外走廊、碘病房门外走廊、注射窗口门外走廊、以及患者出入口内走廊的地面墙面。

►X-γ剂量率监测点位：X-γ剂量率监测点位均为各功能用房的屏蔽墙、防护门和四周门缝外 30cm 处以及核医学科控制区边界屏蔽体外 30cm；显像诊断区域主要监测 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET 候诊室、SPECT 候诊室、留观抢救室、分装注射室、淋洗标记室、1#储源库、1#固废间、运动平板室、肺通气室周围墙体和防护门外，以及楼上地面道路、急危重症楼一层等区域。核素治疗区域主要监测碘病房 1、碘病房 2、服碘室、分装仪室、2#储源室、2#固废间、污染被服间周围墙体和防护门外，以及患者通道出入口防护外、楼上急危重症楼一层等区域。另外还应监测核医学科衰变池上方地面和井盖外的 X-γ剂量率水平。

►β表面污染控制水平：控制区、监督区的β放射性表面污染控制水平分别不大于 40Bq/cm² 和 4Bq/cm²。

►剂量率控制水平：距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

本项目核医学科β表面污染自行监测点位建议见图 12.3，X-γ剂量率自行监测点位建议见图 12.4 和图 12.5。

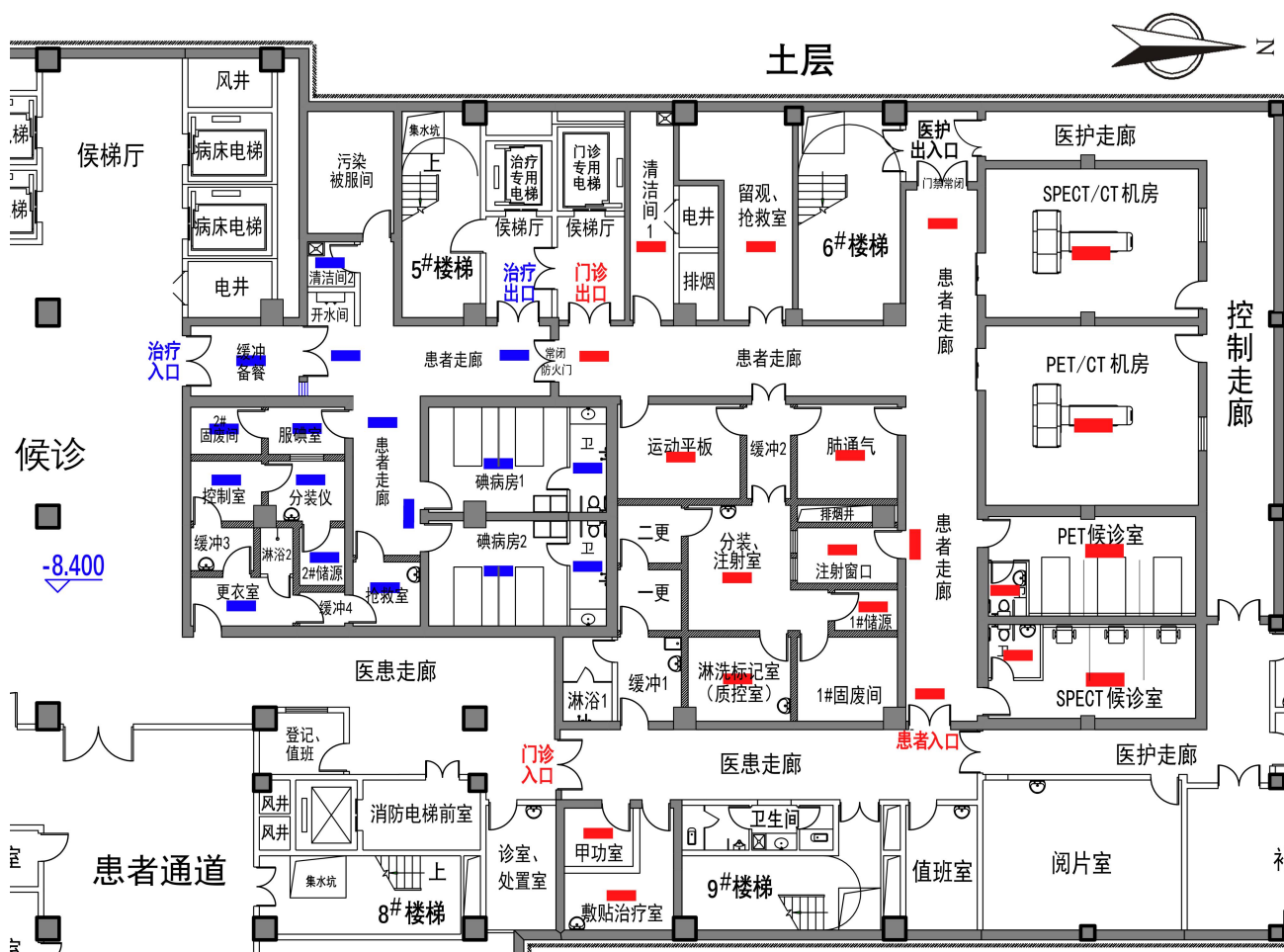


图 12.3 本项目核医学科β表面污染自行监测点位

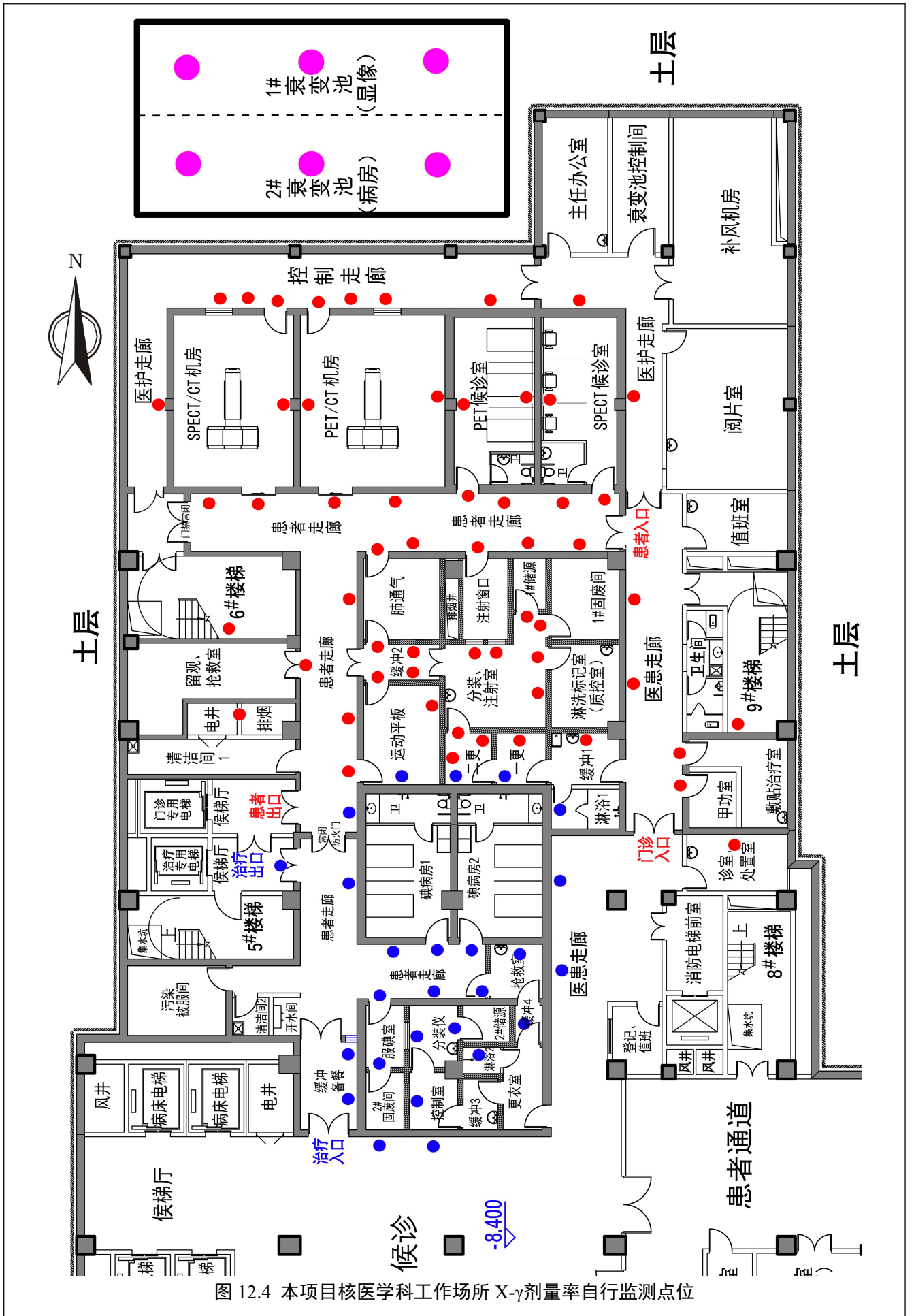
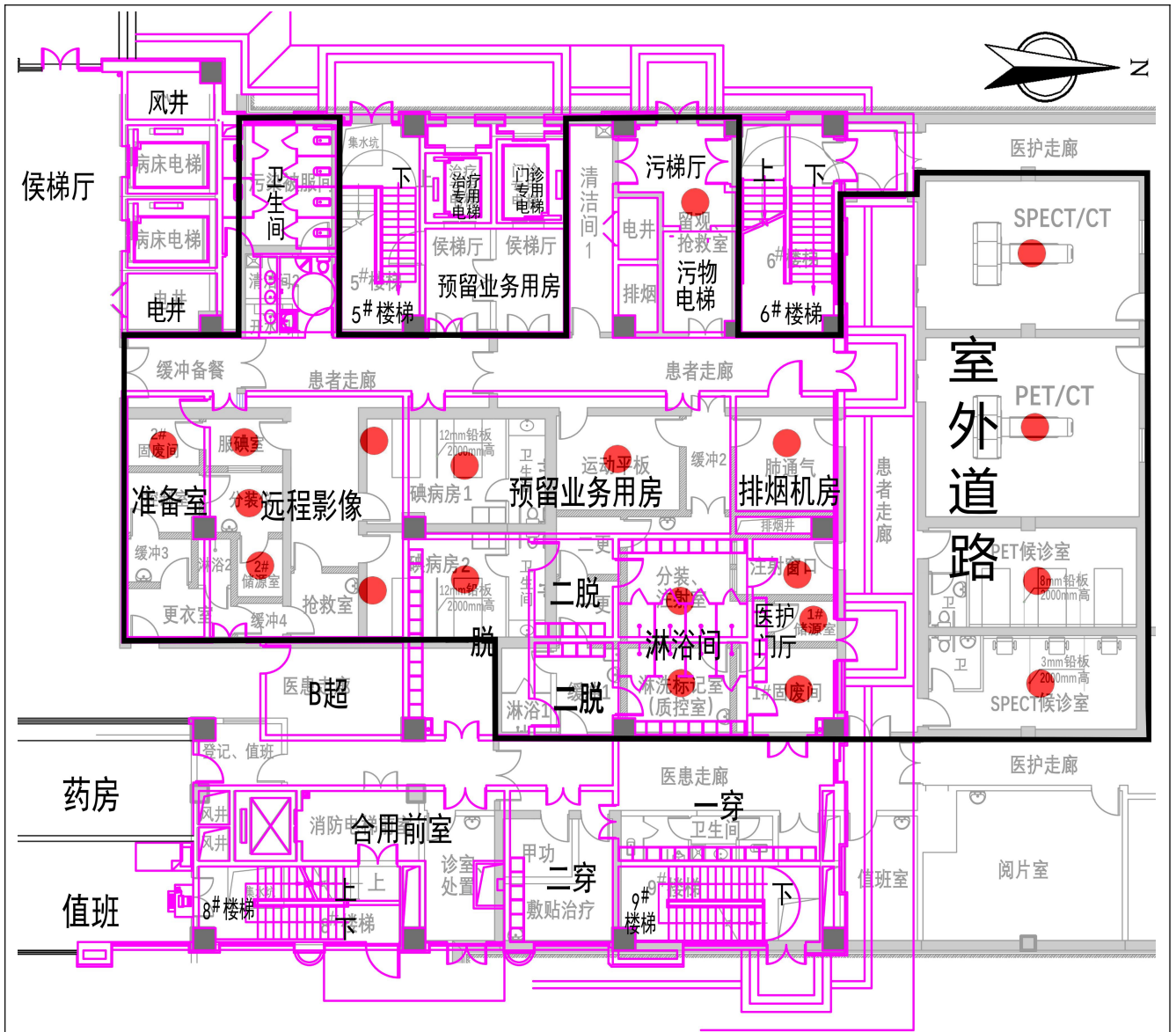


图 12.4 本项目核医学科工作场所 X-γ剂量率自行监测点位



注：● 表示核医学房间正上方
对应区域监测点位

图 12.5 核医学正上方一层 X-γ剂量率自行监测点位

12.7 辐射监测设备和防护用品

医院已配备有便携式辐射监测仪器，本项目拟为辐射工作人员配备满足要求的防护用品，个人防护用品具体情况见表 12.2。

表 12.2 本项目核医学科拟配备的辐射防护设备和用品统计

工作场所	设备用品名称	数量	防护厚度及规格	用途	
核医学科	显像诊断区域	¹⁸ F 分装柜	1 个	50mmPb	分装注射室
		翻转式分装铅罐	1 个	40mmPb	
		^{99m} Tc 手套箱	1 个	20mmPb	淋洗标记室（质控室）
		¹⁸ F 转运铅盒	1 个	25mmPb	分装注射室
		^{99m} Tc 转运铅罐	1 个	10mmPb	
		PET 注射窗	1 个	40mmPb	
		SPECT 注射窗	1 个	20mmPb	

		移动注射车	1 个	5mmPb	运动平板室
		铅废物桶	1 个	20mmPb(容积 10L)	分装注射室
			2 个	5mmPb(容积 20L)	分装注射室 淋洗标记室
			5 个	5mmPb(容积 20L)	肺通气、运动平板、 PET 候诊、SPECT 候 诊、留观抢救室
			2 个	10mmPb(容积 40L)	1#固废间
		校准源铅罐	1 个	大于 20mmPb	1#储源室
		个人防护用品	10 套	0.5mmPb	药物操作区 3 套、 治疗区更衣室 3 套、 各扫描机房各 2 套
	核素治疗区域	药物铅罐	1 各	不低于 30mmPb	2#储源室
		¹³¹ I 全自动分装仪	1 台	不低于 40mmPb	分装仪室
		铅废物桶	2 个	20mmPb(容积 10L)	服碘室、分装仪室
			2 个	10mmPb(容积 40L)	碘病房 1、2
			2 个	10mmPb(容积 20L)	碘病房卫生间 1、2
	2 个		20mmPb(200L)	2#固废间	
	监测仪器	表面污染监测仪	1 台	/	核素诊断区域
		表面污染监测仪	1 台		核素治疗区域
		便携式剂量率仪	1 台	/	核医学科
		离院剂量率检测仪	1 台	/	核素治疗病房外
	放射治疗科	铅储源柜	1 个	25mmPb	旧源暂存
		便携式剂量率仪	1 台	/	放疗科工作场所
		个人剂量报警仪	6 台	/	工作人员携带
固定式剂量率仪		3 台	/	加速器、后装机室内	
个人防护用品		3 套	0.5mmPb	放射治疗科	
DSA	个人防护用品	8 套	0.5mmPb	DSA 手术室	

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和国家环境保护总局 145 号通知《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的规定，固原市人民医院应制定并完善《辐射事故应急预案》，将本项目各射线装置、放射源、核医学科工作场所纳入应急预案的管理。更新应医院的辐射事故应急领导小组，将本项目放射治疗科、核医学科、介入手术室的主要负责人纳入辐射事故应急领导小组。

医院的《辐射事故应急预案》应具有针对性和可操作性，应急预案至少应包括：辐射事故分级、应急组织机构及应急职责、应急响应流程及行动、事故上报程序、应急终止、应急演练和培训等内容。尤其应当针对加速器后装机工作场所安全联锁失效导致人员误入、射线

装置失控，后装机放射源丢失、被盗、卡源或脱落，核医学工作场所放射性物品丢失、被盗、放射性药物洒漏、局部环境放射性污染等一系列可能造成人员超剂量照射事故和环境污染事故等意外情况，制定详细的应急处置措施和应急响应流程。当发生辐射事故时，应立即启动医院《辐射事故应急预案》，采取必要的防范和缓解措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始事故表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

医院应每年至少组织 1 次全院辐射事故应急演练，辐射事故应急演练应根据可能发生的各类辐射事故，设计有针对性的演练，提升辐射事故的应急处置能力。

12.6 项目环境保护验收内容建议

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规环评[2017]4号规定，自项目竣工之日起 3 个月内，固原市人民医院应开展自主验收工作，编制竣工环境保护验收监测报告，并向社会公开相关信息，接收社会监督。本环评建议自主验收内容及要求见表 12.3。

表 12.3 本项目竣工环境保护验收主要内容

验收内容	验收要求
剂量限值和剂量约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和环评预测结果，本项目对公众和职业工作人员的剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 5mSv/a。
剂量率控制水平	各加速器和后装机室四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h； DSA 设备透视模式和摄影模式下，各 DSA 室周边墙（含楼上和楼下）、防护门和观察窗外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h； 在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；分装柜、手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	各加速器室和后装机室防护门外设置电离辐射警告标志和中文警示说明，工作场所设置明显分区管理标识和说明，防护门上方设有工作状态指示灯； DSA 工作场所各防护门外拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明，各防护门上方拟设置工作状态指示灯； 在核医学科控制区边界、各功能间门外和工作场所主要出入口处均设置电离辐射警告标识和中文警示说明。工作场所设置明显的分区管理标识和说明，PET/CT 机房、SPECT 机房防护门上方设有工作状态指示灯；
场所布局和屏蔽设计	各加速器室和后装机工作场所布局和屏蔽措施与环评报告表描述一致，各治疗室四周墙体、防护门、屋顶的屏蔽能力满足剂量率控水平要求； 2 间 DSA 室工作场所布局和屏蔽措施与环评报告表描述一致，DSA 室的四周墙体、屋顶、地板、防护门、观察窗的屏蔽能力满足剂量率控水平要求； 核医学科工作场所布局和屏蔽防护措施与环评报告表描述一致，工作场所控制区边界处屏蔽墙、防护门、观察窗、屋顶，以及分装柜、手套箱等防护设施的屏蔽能力满足剂量率控水平要求。

<p>辐射安全与防护措施</p>	<p>各加速器室工作场所设置门机联锁装置、急停按钮、钥匙开关、紧急开门按钮、通风系统、监视对讲、固定式剂量率仪等辐射安全与防护措施；</p> <p>后装机室工作场所设置门源安全联锁、急停按钮、钥匙开关、紧急开门按钮、通风系统、监视对讲、固定式剂量率仪、防盗防护门、防闯入报警等辐射安全与防护措施，后装机设备自带安全联锁保护、自动回源检测指示和手动回源等功能，机房内配备应急储源器、长柄镊子等应急设备。储源室配备双人双锁、防盗门、防闯入报警装置等安全措施；</p> <p>各 DSA 室工作场所设置门灯联动、自动闭门装置、对讲系统、通风系统和铅橡胶个人防护用品等辐射安全与防护措施；</p> <p>核医学工作场所设有分区管理标识和说明。患者走廊设有单向门禁，患者单向通行。工作场所控制区出入口均设有门禁，禁止无关人员出入；工作场所内设置视频监控系统 and 语音对讲系统；储源室设置监控系统、防盗门和防闯入报警装置；放射性药物操作区域配备分装柜、手套箱、全自动分装仪、注射防护窗、铅废物桶等防护设备和铅橡胶个人防护用品；工作场所采取表面污染控制措施；</p> <p>以上具体内容参照本报告表 10 的要求执行。</p>
<p>监测仪器</p>	<p>放射治疗科配备 1 台便携式剂量率仪、6 台个人剂量报警仪和 3 台固定式剂量率监测仪；核医学科配备 2 台表面污染监测仪、1 台便携式剂量率仪和 1 台患者离院前剂量率检测仪；所有工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。</p>
<p>“三废”防治措施</p>	<p>核医学科设置满足要求的放射性固废暂存场所，配备数量足够的铅废物桶；建设有满足环境管理要求的放射性废水衰变池，并满足达标排放要求；</p> <p>核医学科工作场所设置有独立专用排风系统分装柜手套箱配有独立排风系统，排风口设置在所在建筑顶部高处，排风口设有活性炭等过滤装置；</p> <p>“三废”的防治措施与本报告表 10 的要求一致。</p>
<p>规章制度</p>	<p>更新现有的辐射安全管理制度，增加本项目工作场所辐射防护与安全保卫制度、放射源管理制度、台账管理制度、放射性药物外购、药物操作、放射性废物处置等相关规定，新增设备的操作规程，将本项目所有辐射工作场所纳入复苏和监测方案管理。各项规章制度得到有效贯彻落实。</p>
<p>人员培训</p>	<p>本项目所有新增辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后方能上岗从事辐射工作。</p>
<p>应急预案</p>	<p>辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了辐射事故分级、应急组织机构及应急职责、应急响应流程及行动、事故上报程序、应急终止、应急演练和培训等内容等。配备必要的应急器材、设备。针对射线装置、放射源、放射性药物使用过程中可能存在的风险，制定详细的应急处置措施和应急响应流程。开展过辐射事故应急演练。</p>

表 13 结论与建议

13.1 结论

(一) 实践的正当性

本项目固原市人民医院拟在急危重症楼负一层新增使用 2 台医用电子直线加速器和 1 台后装治疗机用于开展放射治疗工作；拟在急危重症楼七层新增使用 2 台数字血管造影机 DSA 用于开展介入诊疗工作；拟在急危重症楼负一层新建 1 处核医学科，用于开展核医学显像诊断与放射性核素治疗工作。本项目的建设将完善固原市人民医院省级区域医疗中心的放射诊疗服务能力，显著提升医院的放射诊疗水平，为宁南地区人民群众提供更全面、更便捷、更先进的医疗服务，具有良好的社会效益和经济效益。因此，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

(二) 场所选址与布局合理：

本项目加速器、后装机和 DSA 工作场所的设置已充分考虑了设备性能运行特点和周围工作场所的辐射安全与防护，工作场所的选址和布局设计进行了综合考虑，场所屏蔽设计符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

本项目核医学科的选址和设计充分考虑了场所的运行特点和周边区域的辐射安全与防护，工作场所不邻接产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，尽可能做到了相对集中、独立设置，场所出口无人群稠密区域，项目选址合理；本项目核医学工作场所布局充分考虑了核医学的工作特点和人员的安全与防护，工作场所“两区”划分明确，各功能区相对独立，功能用房齐全，工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径设置合理，实现了患者、医护、物流通道不交叉，可有效防止交叉污染，有助于工作的开展，场所布局合理。

(三) 周围辐射环境现状

本项目建设地点及周围天然环境 γ 辐射剂量水平与宁夏回族自治区及周边的环境本底水平相当，未发现环境辐射水平明显异常。

(四) 辐射安全与防护措施

本项目加速器工作场所拟实行分区管理，设置分区管理标识。各加速器室防护门外拟设置电离辐射警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯，加速器工作场所拟采取门机联锁、急停按钮、紧急开门按钮、钥匙开关、通风系统、监视对讲等辐射安全与防护措施；

本项目后装机工作场所拟实行分区管理，设置分区管理标识。后装机室防护门外拟设置电离辐射警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯，后装机工作场所拟采取门源安全联锁、急停按钮、钥匙开关、紧急开门按钮、通风系统、监视对讲、固定式剂量率仪、防盗防护门、

防闯入报警等辐射安全与防护措施。后装机设备自带安全联锁保护、自动回源检测指示和手动回源等功能，后装机室内配备应急储源器、长柄镊子等应急设备，储源室配备双人双锁、防盗门、防闯入报警装置等安全措施；

本项目 DSA 工作场所拟实行分区管理，各 DSA 室所有防护门外均设置电离辐射警告标志和中文警示说明，所有防护门上方均设置工作状态指示灯，工作场所拟采取门灯联动、自动闭门装置、对讲系统、通风系统和铅橡胶个人防护用品等辐射安全与防护措施；

本项目核医学工作场所拟实行分区管理，设置明显的分区管理标识和说明，在核医学科控制区边界、各功能间门外和工作场所主要出入口处均设置电离辐射警告标识和中文警示说明，PET/CT 机房、SPECT 机房防护门上方拟设置工作状态指示灯和门灯联锁装置；患者走廊出入口设置单向门禁，作场所控制区出入口均设置门禁，工作场所内设置视频监控系统和语音对讲系统；核医学科各储源室设置监控系统、防盗门和防闯入报警装置；放射性药物操作区域配备分装柜、手套箱、全自动分装仪、注射防护窗、铅废物桶等符合要求的防护设备和铅橡胶个人防护用品；

本项目放射治疗科配备 1 台便携式剂量率仪、6 台个人剂量报警仪和 3 台固定式剂量率监测仪；核医学科配备 2 台表面污染监测仪、1 台便携式剂量率仪和 1 台患者离院前剂量率检测仪；上述各项辐射安全与防护措施落实后，可有效避免工作人员和公众受到意外照射。

（五）辐射环境影响分析

由工作场所周围附加剂量率估算结果可知，本项目各加速器室、后装机室的四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处周围剂量当量率均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求；各 DSA 室周边墙（含楼上和楼下）、防护门和观察窗外 30cm 处周围剂量当量率均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求。设备运行所致职业人员和公众成员的年受照剂量均满足本次评价提出的职业人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处，以及放射性药物操作柜体表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率均满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制要求；本项目职业人员和公众成员的年附加有效剂量均满足本评价提出的职业人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

（六）辐射安全防护管理

固原市人民医院已成立辐射防护安全管理小组，全权负责全院辐射安全与防护管理的领导工作，配备有专职的辐射安全管理人员。固原市人民医院拟结合新项目的开展，组织相关人员修订并完善辐射安全管理规章制度，拟增加《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性药品采购、交接与暂存管理制度》、《放射性药品使用登记管理制度》、《台帐管理制度》、《核素治疗病房管理制度》、《放射性废物暂存与解控管理制度》、《放射源管理规定》、

《辐射安全和防护设施维护维修管理制度》、《辐射监测仪器使用与校验管理制度》等各项管理制度。医院拟新增本项目各射线装置、放射源和放射性药品的操作规程，拟修订医院的辐射监测方案和辐射事故应急预案，将本项目各辐射工作场所及相关设备纳入医院监测方案和辐射事故应急预案进行管理。医院现有辐射工作人员全部通过了辐射安全与防护考核，本项目所有拟新增的辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，考核通过后方可上岗从事辐射工作。

(七)与生态环境部 2021 年修订的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和原环保部第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》提出的具体要求进行对照评估，本环评报告中描述的辐射安全和防护措施得到落实后，能够满足项目安全运行的要求。

综上所述，固原市人民医院急危重症楼核技术利用项目，相应的辐射安全防护措施、辐射安全制度和放射性“三废”防治措施可行，在全面落实本报告表提出的辐射防护与安全措施、放射性“三废”防治措施的前提下，本项目各射线装置、放射源和非密封放射性物质工作场所的运行对周围环境辐射影响符合环境保护的相关要求。故从辐射环境保护角度考虑，该建设项目是可行的。

13.2 建议和承诺

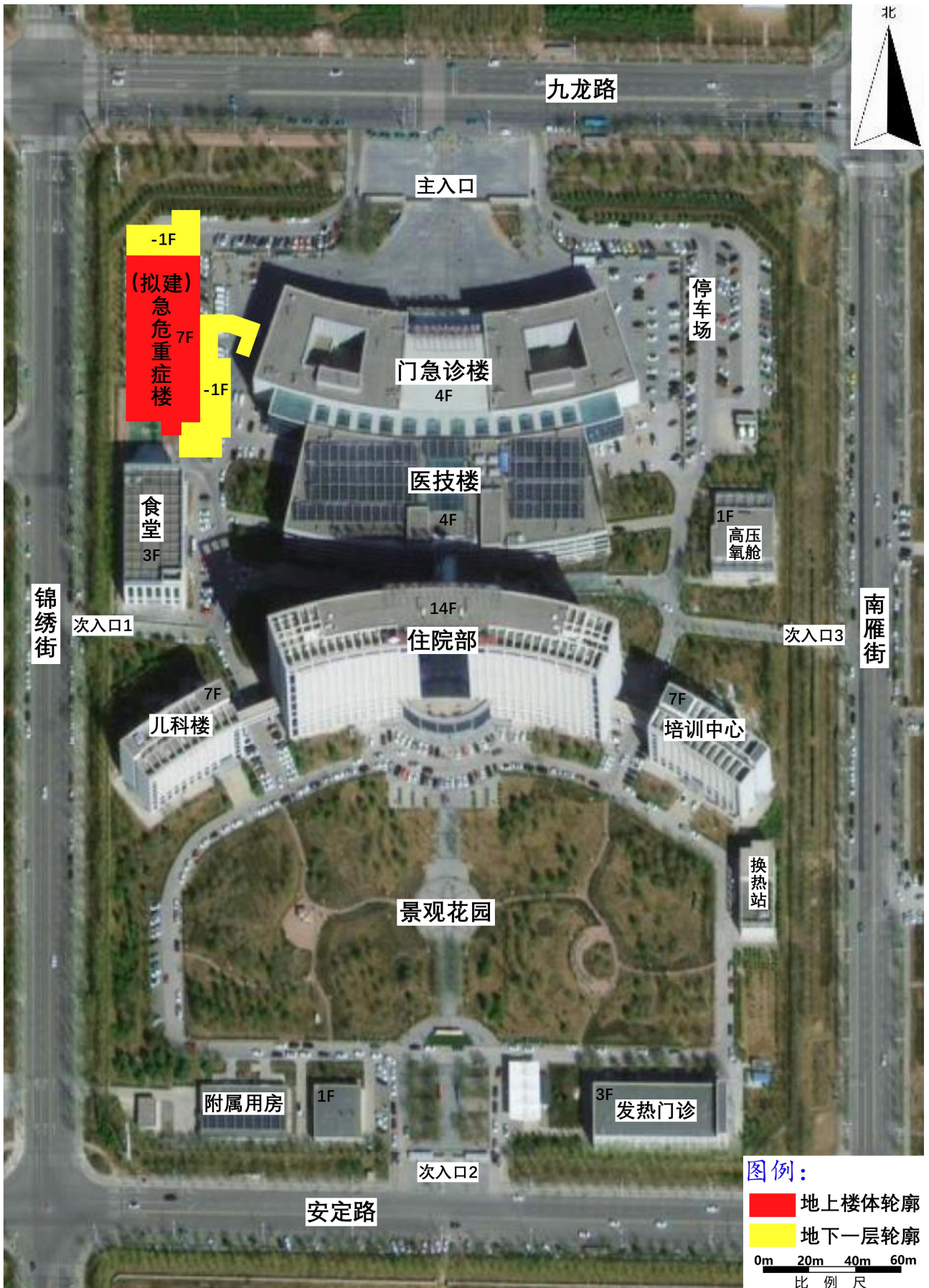
为了保护环境，保障人员健康，固原市人民医院承诺：

- (1) 在项目运行过程中，严格遵守操作规程，不弄虚作假，不违规操作；
- (2) 定期检查放疗工作场所、介入诊疗工作场所以及核医学工作场所各项辐射安全与防护设施、放射性“三废”防治设施，发现问题及时整改，检查或整改记录妥善保存；
- (3) 不断加强全院的辐射安全管理工作，在实践中不断完善各项辐射安全管理规章制度，落实辐射安全管理责任；
- (4) 严格按照辐射监测方案定期对所有辐射工作场所进行监测，监测记录保存留档；
- (5) 加强辐射工作人员管理，所有辐射工作人员须参加辐射安全与防护考核，考核通过后方能上岗从事辐射工作；
- (6) 及时办理辐射安全许可证重新申领手续，严格落实建设项目环境保护“三同时”制度，在项目建设完成投入试运行后 3 个月内，及时组织竣工环境保护自行验收。在后续运行期间接受生态环境主管部门和其他监管部门的监督检查。

附图 1 固原市人民医院地理位置示意图



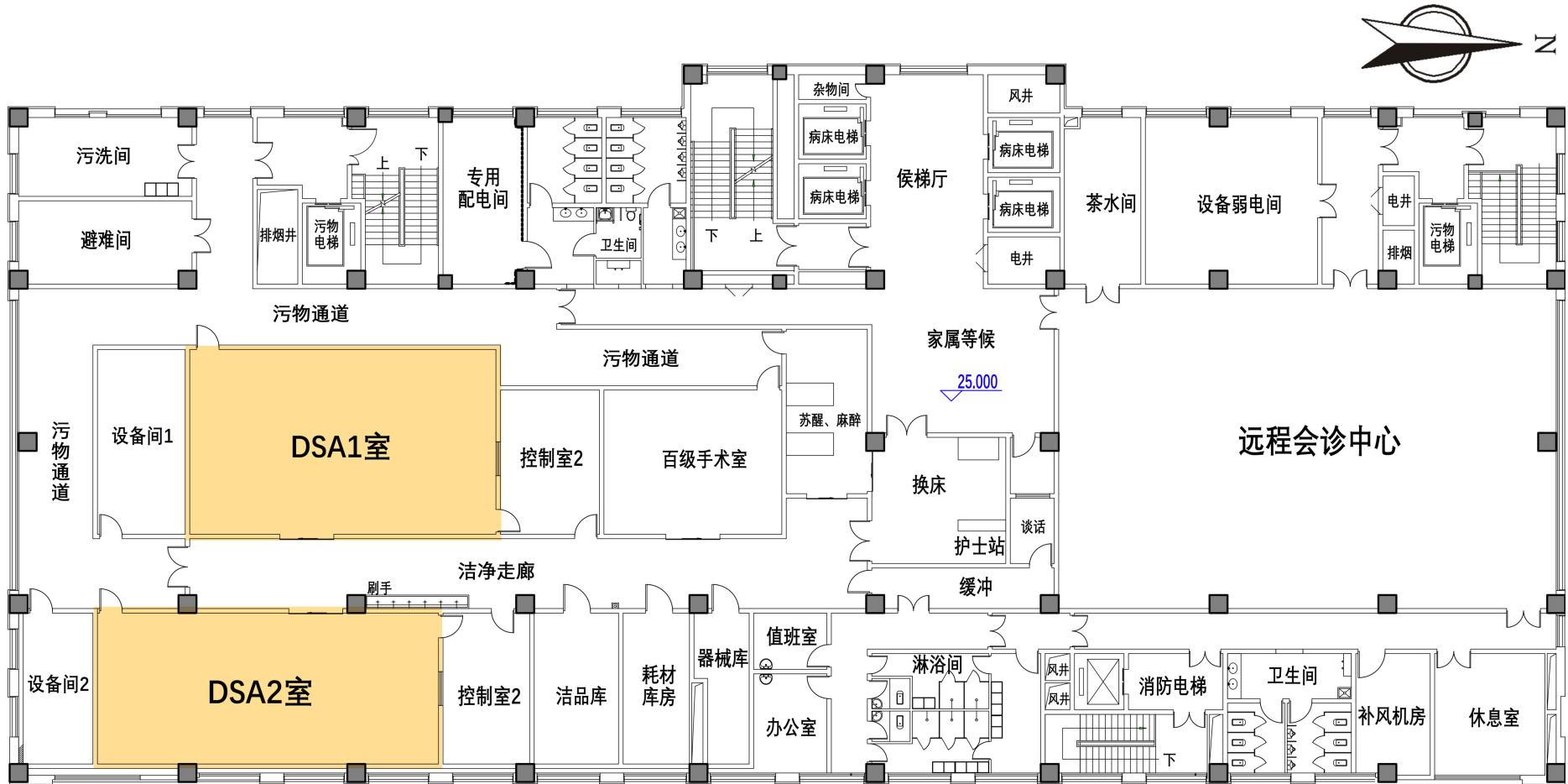
附图 2 固原市人民医院平面布局示意图



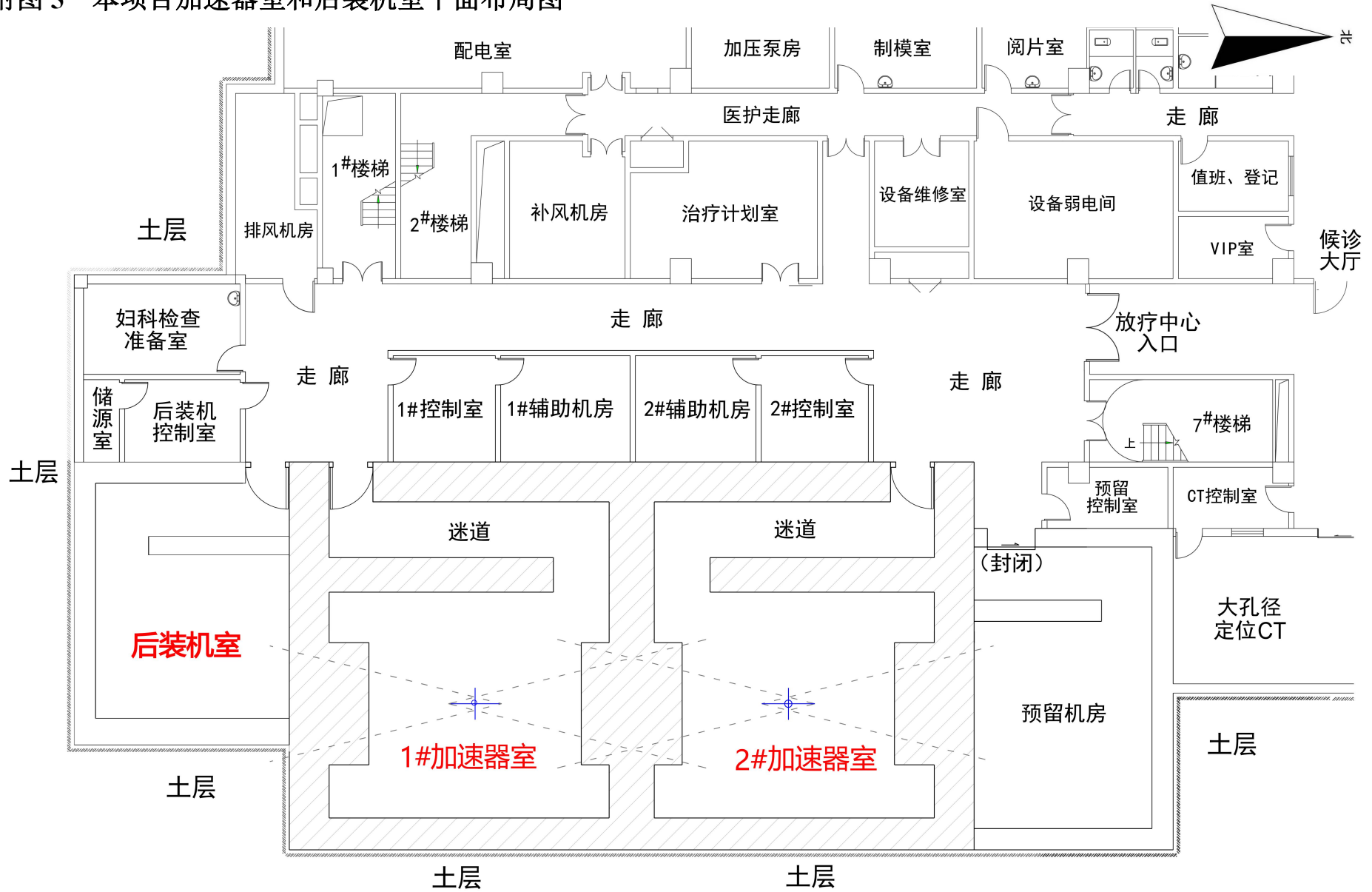
附图3 急危重症楼负一层平面布局示意图



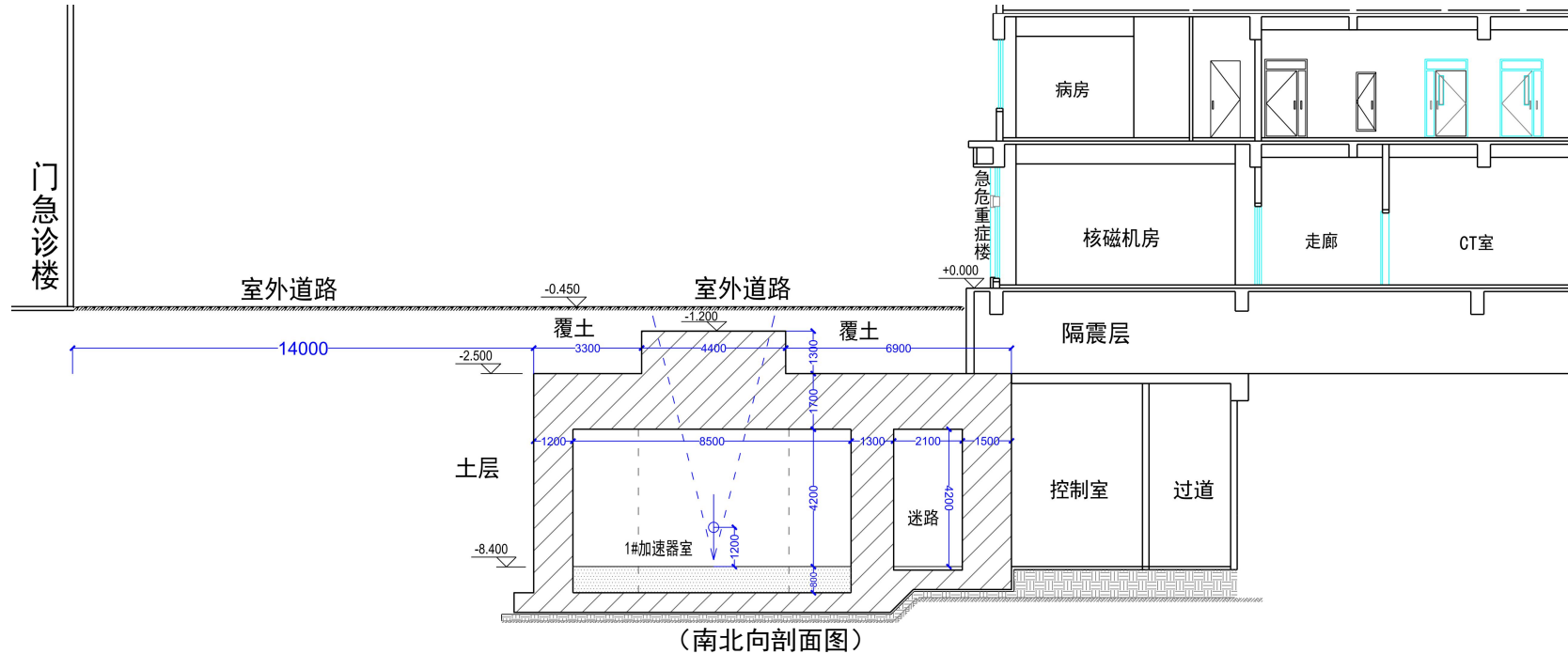
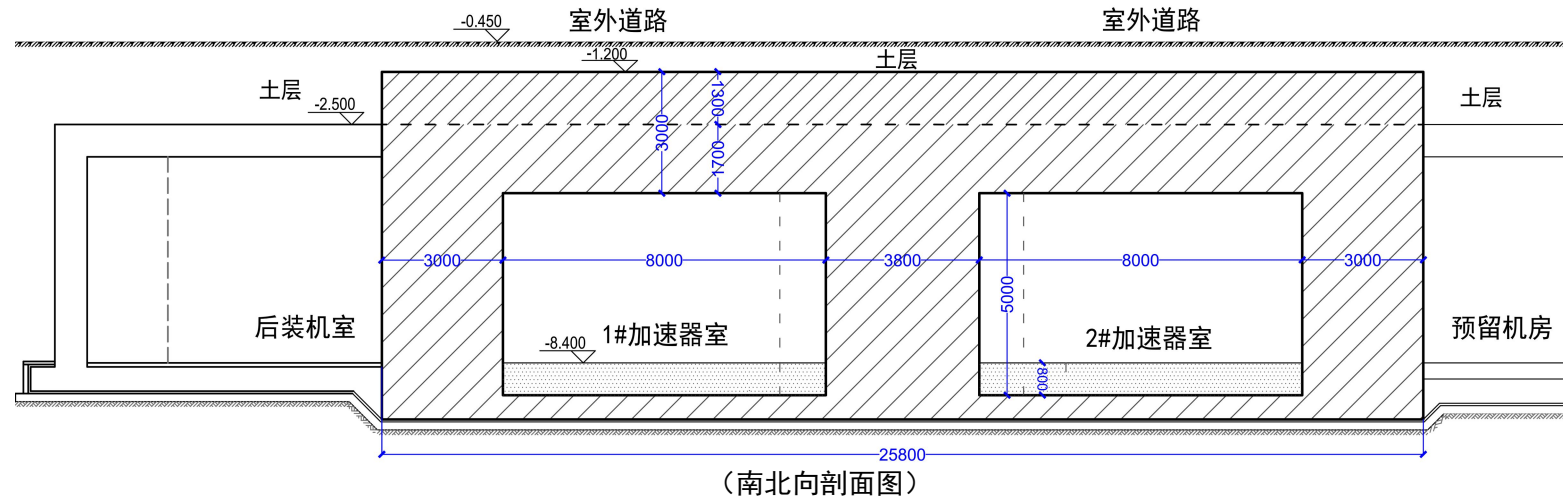
附图 4 急危重症楼七层平面布局示意图



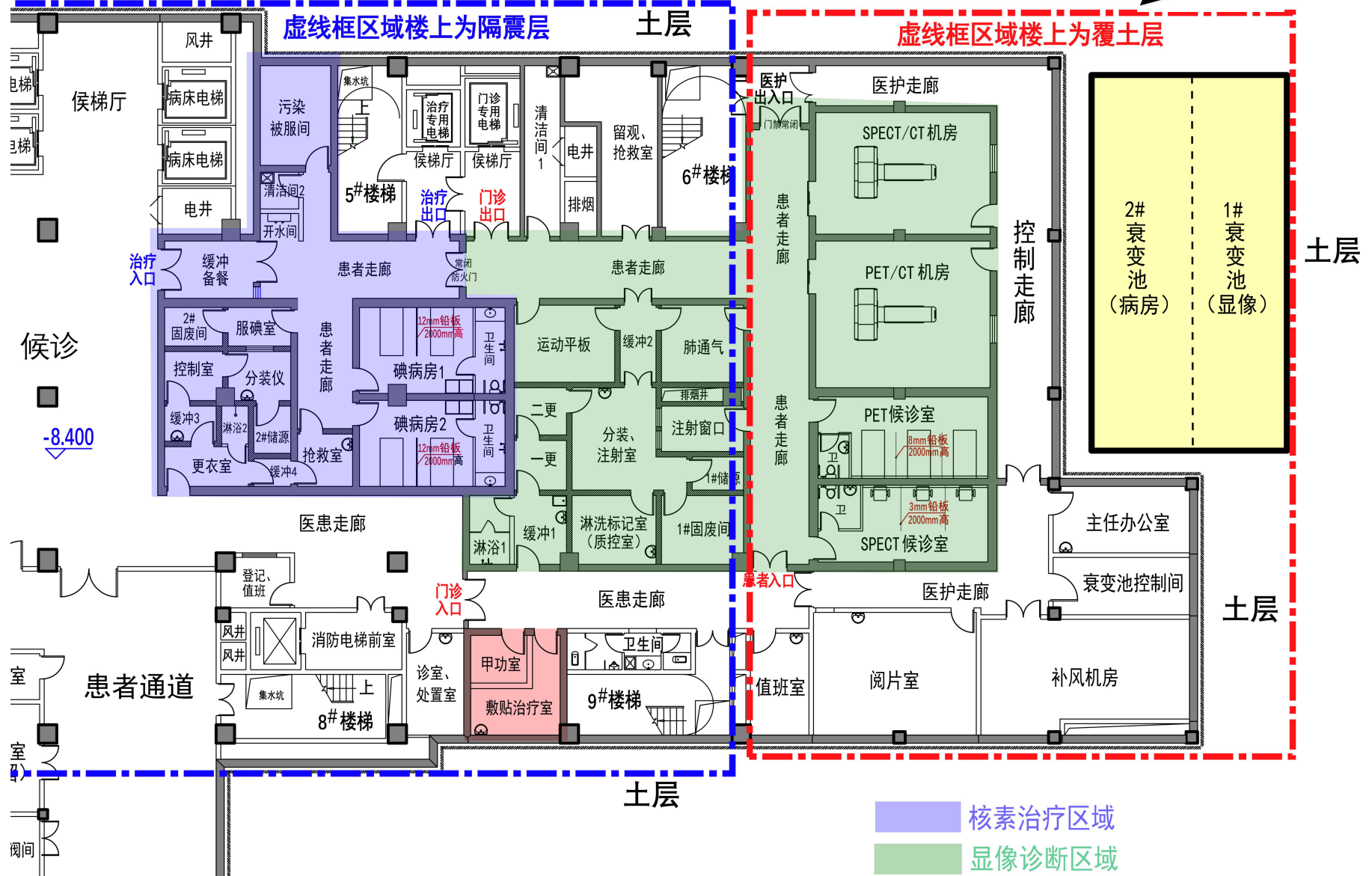
附图5 本项目加速器室和后装机室平面布局图



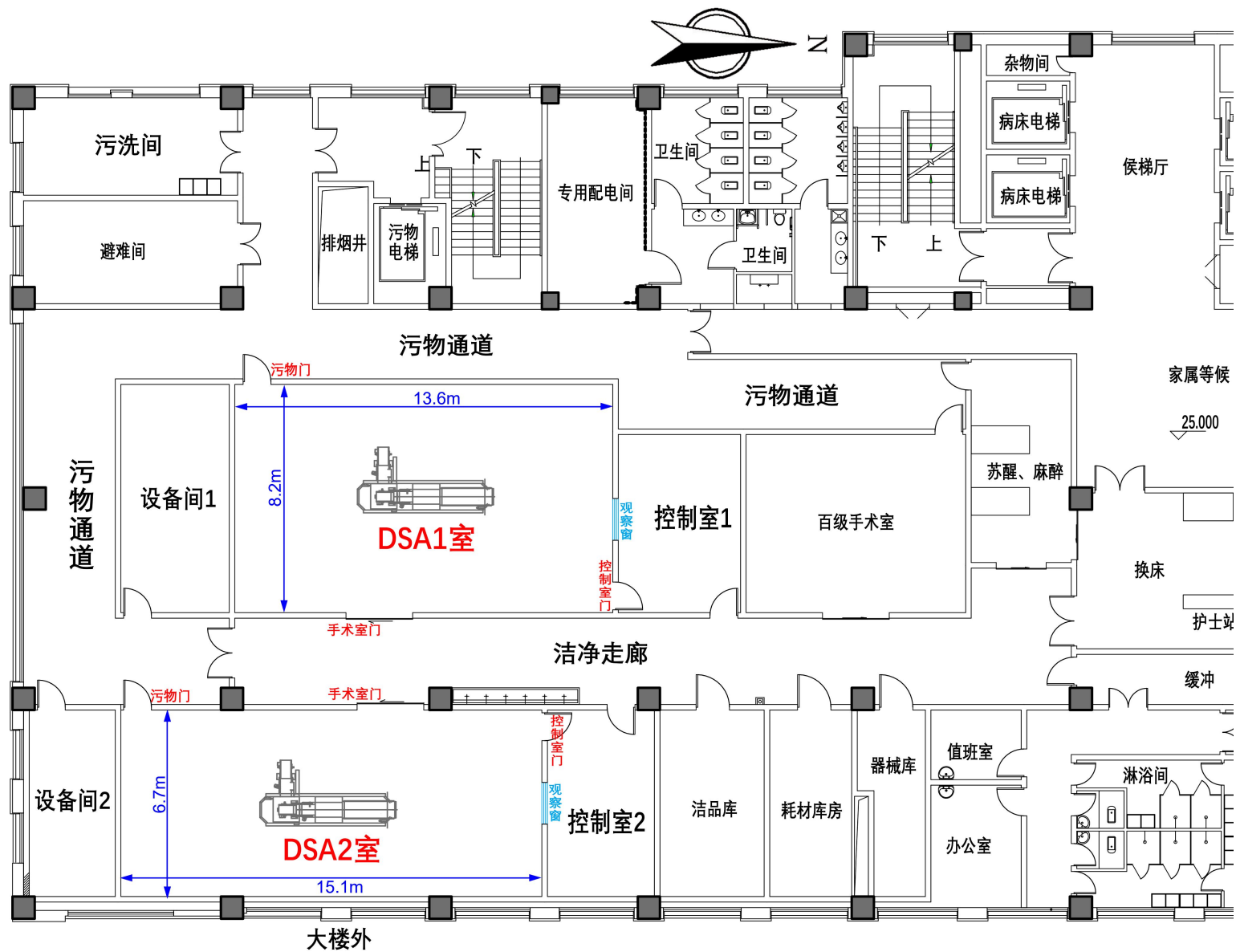
附图 6 本项目加速器室和后装机室剖面布局图



附图7 本项目核医学科平面布局示意图



附图 8 本项目 DSA 手术室平面布局示意图



附件 1 医疗机构执业许可证


中华人民共和国
医疗机构执业许可证

机构名称	固原市人民医院 宁夏回族自治区第二人民医院	法定代表人	张立
地址	固原市原州区西南新区九龙路	主要负责人	张立
诊疗科目	<small>内科、外科、妇产科、眼科、耳鼻喉科、口腔科、皮肤科、泌尿科、检验科、放射科、影像科、麻醉科、急诊科、重症医学科、呼吸与危重症医学科、心血管内科、消化内科、神经病学、精神病学、小儿内科、小儿外科、小儿泌尿外科、小儿眼科、小儿耳鼻喉科、小儿口腔科、小儿皮肤科、小儿泌尿科、小儿检验科、小儿放射科、小儿影像科、小儿麻醉科、小儿急诊科、小儿重症医学科、小儿呼吸与危重症医学科、小儿心血管内科、小儿消化内科、小儿神经病学、小儿精神病学、小儿全科医学、全科医学、老年病科、康复医学科、预防医学、放射医学、核医学、病理学、输血科、病理科、医学检验科、医学影像科、医学实验诊断、医学临床检验、医学临床检验技术、医学临床检验技术(输血)、医学临床检验技术(临床化学)、医学临床检验技术(临床免疫学)、医学临床检验技术(临床微生物学)、医学临床检验技术(临床寄生虫学)、医学临床检验技术(临床细胞学)、医学临床检验技术(临床分子生物学)、医学临床检验技术(临床遗传学)、医学临床检验技术(临床药学)、医学临床检验技术(临床营养学)、医学临床检验技术(临床药学)、医学临床检验技术(临床营养学)、医学临床检验技术(临床药学)、医学临床检验技术(临床营养学)、医学临床检验技术(临床药学)、医学临床检验技术(临床营养学)……</small>	登记号	45497020464040211A1001

此证仅限于新技术
利用环评使用

有效期限 自 2012 年 07 月 01 日至 2027 年 06 月 30 日

该医疗机构经核准登记，准予执业 (非营利性)

中华人民共和国国家卫生健康委员会制

发证机关 宁夏回族自治区卫生健康委员会
发证日期 2022 年 01 月 12 日



固原市审批服务管理局

固审批（投资）（2023）10号

关于固原市人民医院省级区域医疗中心 建设项目可行性研究报告的批复

市人民医院：

你单位《关于申请<固原市人民医院省级区域医疗中心可行性研究报告>批复的请示》（固市医发〔2023〕17号）收悉（项目代码：2112-640940-23-01-301231）。我局组织相关专家及部门对宁夏建筑设计研究院有限公司编制的《固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目可行性研究报告》进行了审查，根据《固原市2023年市本级政府投资项目计划》、专家审查意见及修改文本，现批复如下：

为提升区域医疗服务能力，优化医疗资源配置，加快构建优质医疗服务网络，满足人民群众日益增长的医疗服务需求，同意实施固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目。

一、项目地址

项目建设地点位于固原市人民医院院内。

二、建设规模及内容

本项目计划新建固原市人民医院省级区域医疗中心急危重

症楼一栋，占地面积 3.5 亩，总建筑面积 18670 平方米，为地上 7 层局部 8 层、地下 1 层框架剪力墙结构，建筑总高度为 29.25 米，设计床位数 300 张。地下一层主要设置核医学区、放疗区及设备区，一层主要设置影像科、挂号收费、药房及医护通道区域，二层主要设置肿瘤学科病区，三层主要设置心血管内科病区，四层主要设置神经内科病区，五层主要设置神经外科病区，六层主要设置呼吸与危重症医学科病区，七层主要设置手术区及远程会诊区，局部八层为设备层。急危重症楼功能设置中严禁违规设置建设标准规定以外的行政办公用房、管理服务用房。严禁设置具有接待功能的餐饮等设施 and 场所。配套建设给排水、暖通、电气、消防、医废处置等设施，改造现状住院部屋顶水箱间。配置相关医疗设备及信息化工程等。

项目建设应满足“海绵城市”建设要求和指标。

三、招投标方式

项目单位要严格执行国家和自治区有关招投标法律法规，具体招标方式见附件。

四、建设期限

项目建设期为 2023 年——2025 年。

五、估算总投资及资金来源

项目估算总投资 29853.69 万元。

资金来源：依据市财政部门审核意见，项目资金来源为申请中央预算内资金 20000 万元、申请自治区配套资金 5000 万元，地

方配套资金积极争取专项债券资金、统筹单位自有资金解决。按照《自治区人民政府办公厅关于加强政府投资项目坚决防范政府性债务风险的通知》（宁政办发〔2018〕96号）和自治区发改委《关于加强政府投资项目坚决防范增加政府债务和欠款欠薪行为的通知》（宁发改投资〔2019〕817号）等文件精神，项目资金未全部落实的不得开工建设，资金到位后方可开工建设。

请你单位接此批复后，按法定程序抓紧开展初步设计等工作，要严格执行环境保护、水土保持、安全生产等相关规定。同时做好自治区政务服务网投资项目在线审批平台后续填报事宜。

附件：招标事项核准意见表



（此件公开发布）

抄送：市监察委，发改委，工信局，财政局，人社局，自然资源局，生态环境局，住建局，卫健委，应急管理局，审计局，统计局，地震局，气象局，地方志研究室

固原市审批服务管理局办公室

2023年3月30日印发

固原市生态环境局

固环评审（2023）10 号

关于固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目环境影响评价报告表的批复

固原市人民医院：

你单位报来《固原市人民医院省级区域医疗中心建设项目环境影响评价报告表》（以下简称报告表）收悉，经研究，提出审批意见如下：

一、基本情况

本项目位于固原市原州区九龙路与新城纵二街交叉口，总占地面积 18670m²。项目建设 1 座 18670m² 急危重症楼和配套辅助设施以及 1 座 180m³/d 地下式污水处理构筑物，300 张床位，住院部屋顶水箱由 18m³ 扩至 36m³。总投资 29800 万元，环保投资 393 万元。

经专家评审，本项目建设在落实报告表提出的各项污染防治措施的基础上，工程建设导致的不利环境影响能够得到一定缓解和控制，原则同意环境影响评价报告表的环境影响评价总体结论和各项环境保护措施，你单位应严格按照报告表所

1

列建设项目的性质、规模、地点、环境保护对策措施等进行项目建设。

二、项目建设施工期、运营期环境影响控制主要措施

(一) 施工期

1、施工期大气环境保护措施

施工期废气以扬尘为主。施工时应在施工现场安装遮挡设施，实行封闭式施工，对有可能产生二次扬尘的作业面应洒水降尘，使其保持一定湿度，尽可能缩短基层施工和面层施工之间的时间，控制施工扬尘产生量；易产生扬尘的路段车辆应慢速行驶，保持车辆进出施工现场出入口路面清洁、湿润，同时在车辆出入口竖立减速标牌，限制行车速度；施工材料集中堆放，以缩小扬尘影响范围。及时清理施工场地，减缓扬尘污染；风速过大时，应停止施工作业，并进行洒水抑尘，对堆存易产生扬尘的施工材料采取遮盖措施；施工现场设置的围挡、物料堆放及运输遮盖等防治措施纳入“三同时”日常监管，全面落实“六个100%”扬尘防控措施。油漆、喷涂工序要做好室内的通风换气工作，防止区域油漆废气过度集中，建议使用绿色环保型涂装材料，减少油漆废气的释放量，保证室内环境的安全。

2、施工期水环境保护措施

施工期废水主要是施工人员产生的生活污水和施工废水等。生活污水经化粪池收集后一同经地下污水处理设施处理后达标排放。施工废水主要为施工机械冲洗废水，主要污

染因子为 SS，依托固原市人民医院污水处理设施处理。

3、施工期声环境保护措施

施工时优先选用低噪声施工机械，由于医院本身具有特殊性，严格控制施工时间为早上 8:00 至晚上 20:00，降低对住院楼产生的影响。加强管理，文明施工，尽量减少人为噪声，有效降低施工噪声对医院环境产生的不利影响，减轻对周围环境的影响。优化施工工艺，采用静压打桩方式。同一施工地点应避免安排大量动力机械设备，以免局部累积声级过高。固定施工机械设备可通过安装排气管消声器和隔离发动机振动部件的方法降低噪声；对动力机械设备进行定期的维修、养护，设备用完后或不用时应立即关闭。

4、施工期固体废物环境保护措施

施工期间所产生的固体废物主要有基础施工挖掘的土石方和主体结构施工所产生的建筑施工材料的废边角料、施工人员的生活垃圾等。施工过程中产生的建筑垃圾要及时清运至当地政府部门指定位置进行填埋处理；施工过程中产生的生活垃圾依托现有垃圾设施处理；项目工程完工后，残留的少量废建筑材料应及时清运、回收或回填，不得随意倾倒。

（二）运营期

1、运营期废气防治措施

本项目运营期产生的废气主要为污水处理设施产生的恶臭气体、备用柴油发电机产生的废气、大楼手术室负压废气、病区带菌废气、医疗废物间恶臭气体以及汽车尾气等。

污水处理设施产生的恶臭气体经活性炭吸附后执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表3标准限值；备用柴油发电机在应急状态下产生的废气对周围环境影响可接受；大楼手术室负压废气、病区带菌废气应采用紫外线消毒后通过机械通风处置；医疗废物间恶臭机械通风后经距离衰减厂界执行《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)表1标准限值。

2、废水防治措施

医疗废水、医护废水以及洗衣房废水经化粪池收集后通过现有450m³/d地下式污水处理设施处理，满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表2预处理要求，排入市政排水管网。

3、固体废物防治措施

生活垃圾收集后交由环卫部门进行处理；医疗垃圾由医院安排专人对医疗垃圾进行集中收集，并按照相关规定包装标识后，存放在医疗垃圾暂存站，定期送往固原市惠众废弃物综合处理有限公司；污水处理设施产生的栅渣、污泥由医院安排专人对栅渣进行集中收集，交由有资质单位进行处理；过滤棉、紫外灯管以及废活性炭收集后定期交由有资质单位进行处理。

4、噪声防治措施

本项目运营期噪声污染源污水处理站水泵噪声、发电机噪声、中央空调冷却塔噪声、门诊部社会噪声和停车场交通

噪声。应采用低噪声设备，合理布局、并采取基础减振、隔声等降噪措施。运行后厂界噪声贡献值需均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中1类标准。

三、总量控制及排污权指标

根据国家、地方污染物总量控制因子、排污权指标及固原市三线一单区域污染控制要求，结合本项目污染物排放特征，该项目主要涉及废水间接排放，应通过排污权交易平台购买取得，并及时办理排污许可相关手续。

该项目申请化学需氧量排放量为3.009t/a，氨氮排放量为0.307t/a，根据主要污染物排污权指标核算，COD和氨氮排污权指标为：COD：1.357t/a、氨氮0.136t/a。最终以排污权申请交易核算量为准。

四、有关要求

本审批意见仅限于《报告表》确定的建设内容，建设项目发生重大变动的，建设单位应当重新报批建设项目的环境影响评价文件。项目建成后3个月内，最长不超过一年，按照规定程序实施竣工环境保护验收。建设单位应自觉接受环境保护日常监管工作。建设项目的环评文件自批准之日起超过五年，方决定该项目开工建设的，其环评文件应当报原审批部门重新审核。

建设单位联系人：路福鹏

联系方式：18909541568



抄送：市生态环境局原州分局、市生态环境保护综合执法
支队。

固原市生态环境局办公室

2023年8月17日印发

附件 4 固原市人民医院辐射安全许可证



辐射安全许可证

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称：固原市人民医院

地 址：宁夏回族自治区固原市西南新区九龙路

法定代表人：张立

种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置。此证仅限于核技术利用环评使用

证书编号：宁环辐证[N0008]

有效期至：2026 年 04 月 19 日



发证机关：宁夏回族自治区生态环境厅

发证日期：2021 年 12 月 20 日



中华人民共和国生态环境部制

此证仅限于核技术应用环评使用

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称		银川市人民医院	
地址	宁夏回族自治区银川市西园新区九龙路		
法定代表人	蔡立	电话	3639549966
证件类型	身份证	号码	642221196407140090
涉源部门	放射科	名称	放射科
	口腔科	名称	口腔科
	发热门诊	名称	发热门诊
	手术室	名称	手术室
		名称	
地址	宁夏回族自治区银川市西园新区九龙路		
负责人	张定义		
负责人	蔡昌伟		
负责人	张定义		
负责人	韩芳		
种类和范围	使用II类、III类射线装置。		
许可证条件			
证书编号	宁环辐证[N0008]		
有效期至	2026 年 04 月 19 日		
发证日期	2021 年 04 月 20 日		



活动种类和范围 (三) 射线装置

证书编号: 宁环辐证[N0008]

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	医用诊断X射线装置	III类	2	使用
2	医用诊断X射线装置	III类	1	使用
3	医用诊断X射线装置	III类	1	使用
4	医用诊断X射线装置	III类	8	使用
5	医用X射线CT装置	III类	4	使用
6	血管造影用X射线装置	II类	1	使用
7	口腔(牙科)X射线装置	III类	2	使用
8	口腔(牙科)X射线装置	III类	1	使用
	以下空白			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号：宁环辐证[N0008]

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向	审核人	审核日期
9	超声骨密度测定仪	OSTEOSPAC E	III类	医用诊断X射线装置	医技楼二楼健康体检科;骨密度测定室	来源 去向		
10	移动DR	DX-D100	III类	医用诊断X射线装置	医技楼一楼放射科	来源 去向 购买公司		
11	移动DR	DX-D100	III类	医用诊断X射线装置	医技楼一楼放射科	来源 去向		
12	体外冲击波碎石机	HK-ESWL-V	III类	医用诊断X射线装置	医技楼三楼内镜中心;体外碎石科	来源 去向		
13	256排螺旋CT	1CT	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	医技楼一楼放射科	来源 去向 购买公司		
14	64排螺旋CT	Optima CT760	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	医技楼一楼放射科;发热门诊	来源 去向 自购		
15	移动DR	M40-1A	III类	医用诊断X射线装置	医技楼一楼放射科	来源 去向		
16	方舱CT	NewFig16C1a Basic	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	医技楼一楼放射科	来源 去向		

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向	审核人	审核日期
17	数字胃肠机	HF51-5	III类	医用诊断X射线装置	医技楼一楼放射科	来源 去向 购买公司		
18	DR	Digital Diagnost	III类	医用诊断X射线装置	医技楼一楼放射科	来源 去向		
19	DR	Multi-Fusion	III类	医用诊断X射线装置	医技楼一楼放射科	来源 去向 购买公司		
20	移动式手持X射线机	DiAlite 100AC	III类	医用诊断X射线装置	住院部四楼手术室	来源 去向		
以下空白								
						去向		
						来源		
						去向		
						来源		
						去向		
						来源		

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号：宁环辐证[N0008]

附件 5 辐射环境现状检测报告



副本

检测报告

报告编号: CRNX-HJ-6420230250-001

委托单位: 固原市人民医院

检测类别: 委托检测

检测时间: 2023 年 09 月 15 日

检测项目: 环境本底检测 (γ辐射剂量率)



长润安测科技有限公司

检测报告

检测报告编号: CRNX-HJ-6420230250-001

共 3 页 第 1 页

委托单位	固原市人民医院		单位地址	固原市原州区西南新区九龙路	
检测项目	环境本底检测 (γ辐射剂量率)		检测日期	2023 年 09 月 15 日	
检测依据	HJ 1157—2021《环境γ辐射剂量率测量技术规范》 HJ 61—2021《辐射环境监测技术规范》				
检测仪器信息	设备名称	型号 (编号)	技术参数	证书编号	有效期至
	环境级 X、γ剂量率仪	SCB603E (CR-YQ-088)	(0.030~3) MeV 0.01μGy~3Gy	DD23J-CA100106	2024 年 04 月 03 日
检测情况说明	<p>受固原市人民医院委托, 依据相关法律法规及技术标准, 对固原市人民医院新建急危重症楼进行辐射环境本底γ辐射剂量率检测。检测结果见正文。</p> <p>(以下空白)</p>				
其他特殊情况说明					



编制: 蒋建国

审核: 刘桐

签发: 蒋建国

2023 年 09 月 21 日

2023 年 09 月 22 日

2023 年 09 月 23 日

技
转

长润安测科技有限公司

检测报告

检测报告编号：CRNX-HJ-6420230250-001

共 3 页 第 2 页

一、周围环境本底 γ 辐射剂量率检测结果

检测点位	检测位置	检测结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	备注
1	急危重症楼北侧	0.134±0.001	
2	急危重症楼东侧	0.138±0.003	
3	急危重症楼南侧	0.129±0.002	
4	急危重症楼西侧	0.131±0.003	
5	急危重症楼中部	0.110±0.004	
6	医院西门口	0.126±0.005	
7	急危重症楼南餐厅	0.132±0.002	
8	急危重症楼东医技楼	0.142±0.004	
9	急危重症楼东急诊科	0.133±0.003	
10	急危重症楼 F1	0.130±0.001	
11	医院北门口	0.132±0.001	
12	急危重症楼-F1	0.126±0.001	

注：1、以上相应检测位置不少于三个点。2、以上检测结果扣除宇宙射线响应值，取固原市原州区平均海拔 1750m 修正后的宇宙射线响应值 0.012 $\mu\text{Gy/h}$ ，其中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子取 1（原野）。3、检测仪器校准因子为 1.10。

(以下空白)

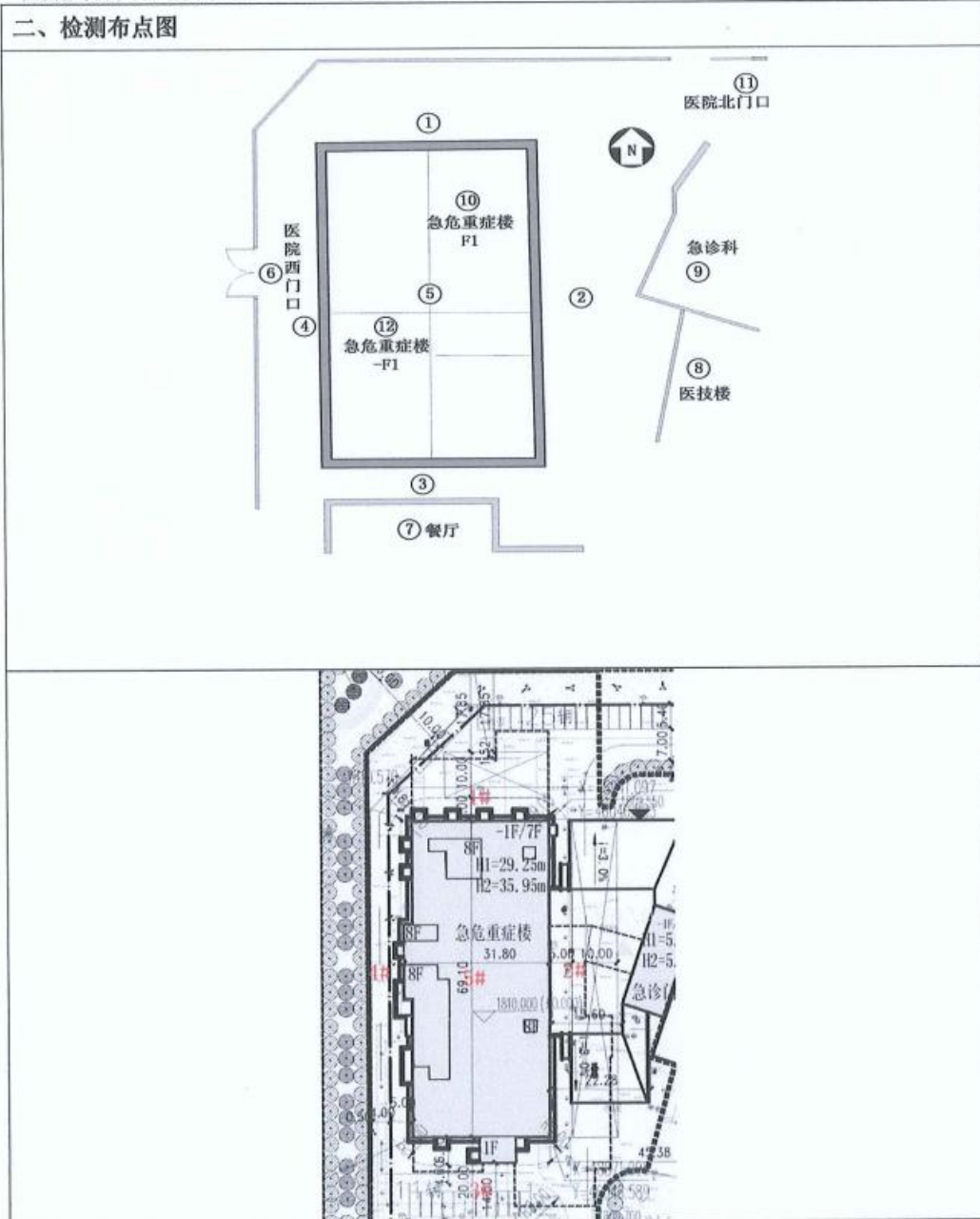


检测报告

检测报告编号: CRNX-HJ-6420230250-001

共 3 页 第 3 页

二、检测布点图



CRNX