

核技术利用建设项目

响水县人民医院迁建放射诊疗项目

环境影响报告表

(公示本)

响水县人民医院

2024年8月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

响水县人民医院迁建放射诊疗项目

环境影响报告表

建设单位名称：响水县人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省盐城市响水县灌河中路 94 号

邮政编码：

联系人：刘*

电子邮箱：

联系电话：139****9520

打印编号：1723618337000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	1n45u8		
建设项目名称	响水县人民医院迁建放射诊疗项目		
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）	响水县人民医院		
统一社会信用代码	12320921468586123K		
法定代表人（签章）	王洪华		
主要负责人（签字）	刘民		
直接负责的主管人员（签字）	刘民		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	南京瑞森辐射技术有限公司		
统一社会信用代码	91320106694645355K		
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
陈朝晖	2014035320352013321405000117	BH019830	陈朝晖
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
张晋	表1 项目基本情况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5 废弃物 表6 评价依据 表7 保护目标与评价标准 表8 环境质量与辐射现状	BH039209	张晋
陈朝晖	表9 项目工程分析与源项 表10 辐射安全与防护 表11 环境影响分析 表12 辐射安全管理 表13 结论与建议	BH019830	陈朝晖

环评项目负责人职业资格证



11F00014263

姓名: 陈朝晖

Full Name

性别: 男

Sex

出生年月: 2008年12月

Date of Birth

专业类别: 放射物理

Professional Type

批准日期: 2014年05月

Approval Date

持证人签名:

Signature of the Bearer

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2014年09月04日

Issued on

管理号: 2014035320352013321405000117

File No.

江苏省社会保险权益记录单 (参保单位)



请使用官方江苏智慧人社APP扫码验证

参保单位全称: 南京瑞森辐射技术有限公司

现参保地: 玄武区

统一社会信用代码: 91320106694645355K

查询时间: 2024-07-24 17:07

共1页, 第1页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险	
缴费总人数	36	36	36	
序号	姓名	公民身份号码 (社会保障号)	缴费起止年月	缴费月数
1	陈朝晖	320106694645355K	202405 - 202407	3

说明:

1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息, 单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已兼具电子印章, 不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期限为(6个月), 如需核对真伪, 请使用江苏智慧人社APP, 扫描右上方二维码进行验证(可多次验证)。



目 录

表 1 项目基本情况.....	- 1 -
表 2 放射源.....	- 9 -
表 3 非密封放射性物质.....	- 9 -
表 4 射线装置.....	- 10 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	- 14 -
表 6 评价依据.....	- 16 -
表 7 保护目标与评价标准.....	- 20 -
表 8 环境质量和辐射现状.....	- 31 -
表 9 项目工程分析与源项.....	- 51 -
表 10 辐射安全与防护.....	- 86 -
表 11 环境影响分析.....	- 121 -
表 12 辐射安全管理.....	- 193 -
表 13 结论与建议.....	- 198 -
表 14 审批.....	- 208 -
附图 1 响水县人民医院迁建放射诊疗项目地理位置示意图.....	- 209 -
附图 2 响水县人民医院平面布置和周围环境示意图.....	- 210 -
附图 3 响水县人民医院病房楼负一楼核医学科平面布局示意图.....	- 211 -
附图 4 响水县人民医院核医学科放射性废水专用下水管道平面布局示意图.....	- 212 -
附图 5 响水县人民医院核医学科通风管道平面布局示意图.....	- 213 -
附图 6 响水县人民医院病房楼负一楼医用直线加速器机房平面布局示意图.....	- 214 -
附图 7 响水县人民医院病房楼三楼 DSA 机房平面布局示意图.....	- 215 -
附图 8 响水县人民医院门诊医技楼一楼急诊科 DSA 机房平面布局示意图.....	- 216 -
附图 9 响水县人民医院病房楼负一楼平面布局示意图.....	- 217 -
附图 10 响水县人民医院病房楼一楼平面布局示意图.....	- 218 -
附图 11 响水县人民医院病房楼二楼平面布局示意图.....	- 219 -
附图 12 响水县人民医院病房楼三楼平面布局示意图.....	- 220 -
附图 13 响水县人民医院病房楼四楼平面布局示意图.....	- 221 -
附图 14 响水县人民医院门诊医技楼一楼平面布局示意图.....	- 222 -

附图 15 响水县人民医院门诊医技楼二楼平面布局示意图	- 223 -
附件 1 项目委托书	- 224 -
附件 2 非密封放射性物质、射线装置使用承诺书	- 225 -
附件 3 辐射安全许可证	- 228 -
附件 4 辐射环境现状监测报告	- 231 -
附件 5 医院现有核技术利用项目情况一览表	- 241 -
附件 6 响水县人民医院新院区项目环评批复	- 244 -
附件 7 搬迁 DSA 原有环保手续	- 247 -
附件 8 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书	- 249 -
附件 9 核医学科屏蔽设计说明	- 251 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		响水县人民医院迁建放射诊疗项目				
建设单位		响水县人民医院 (统一社会信用代码: 12320921468586123K)				
法人代表	王**	联系人	刘*	联系电话	139****9520	
注册地址		江苏省盐城市响水县灌河中路 94 号				
项目建设地点		盐城市响水县 204 国道东侧、326 省道北侧				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		项目环保总投资 (万元)		投资比例(环保 投资/总投资)		
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input checked="" type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				
<p>项目概述:</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>响水县人民医院(以下简称“医院”)始建于 1966 年,位于江苏省盐城市响水县城灌河中路 94 号,目前为综合性“二级甲等医院”。现全院编制床位 580 张,年门诊量近 50 万人次,年出院病人 3.5 万余人次,现有职工 890 名。</p> <p>随着全县医疗设施需求的增加,目前医院无法满足全县人民医疗增长的需求,根据《盐城市县级医疗卫生机构建设三年行动计划(2019-2021)》,到 2021 年,县级人</p>						

民医院应达到三级综合医院的规划要求。因现有项目床位数及医疗设备等规模无法满足此规划要求，医院在响水县 204 国道东侧、326 省道北侧（现金海路东侧、园林路北侧）利用原江苏题桥纺织制衣有限公司厂址新建响水县人民医院新院区。新院区占地面积 210442m²，建筑面积约 281000m²，其中地上建筑面积 196000m²，地下建筑面积 85000m²；建设门诊医技楼、病房楼、妇幼保健楼、行政科技综合楼等及配套设施，设计床位 1280 张。新院区建成后，老院区整体搬迁至新院区；老院区原有核技术利用项目除搬迁内容外，其余均作报废处理。响水县人民医院新院区项目于 2022 年 3 月 31 日取得盐城市生态环境的环评批复文件，文号：盐环审（2022）21001 号，详见附件 6。

医院拟在新院区的门诊医技楼、病房楼开展放射诊疗项目，主要包括：

1、放射治疗项目：于病房楼负一楼放疗中心新建 2 座加速器机房，配备 2 台医用直线加速器（型号未定，X 射线能量均为 6、10MV，电子线能量均≤22MeV），并新增 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）、1 台模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）配合开展放射治疗。2 台医用直线加速器共配备 6 名辐射工作人员，年工作时间为 250 工作日，每台加速器年出束时间为 300h；

2、核医学核素诊断项目：于病房楼负一楼新建核医学科，诊断区配备 1 台 PET/CT 配合使用 ¹⁸F 开展核素显像诊断，配备 1 台 SPECT/CT 配合使用 ^{99m}Tc 开展核素显像诊断，使用 ¹³¹I 开展甲状腺吸碘率测定。PET/CT、SPECT/CT 日最大接诊量均为 20 人次，甲状腺吸碘率测定日最大接诊量为 15 人次，诊断区核素日等效最大操作量为 2.57×10⁷Bq，属乙级非密封放射物质工作场所。诊断区配备 5 名辐射工作人员，年开诊 250 工作日；

3、核医学核素治疗项目：于病房楼负一楼新建核医学科，治疗区使用 ¹³¹I 开展甲亢治疗、甲癌治疗，其日等效最大操作量为 2.59×10⁹Bq，属乙级非密封放射物质工作场所。治疗区配备 3 名辐射工作人员，甲癌治疗日最大接诊量 4 人次，年最大 200 人次；甲亢治疗日最大接诊量 10 人次，年开诊 250 工作日；

4、DSA 项目：于病房楼三楼新建 2 座 DSA 机房（4#手术室、5#手术室），并配备 2 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1000mA）；于门诊医技楼一楼急诊科新建 1 座 DSA 机房，并搬迁 1 台 DSA（型号为 Optima CL 323i，最大管电压 150kV，最大管电流为 800mA，其原有环保手续详见附件 7）。3 台 DSA

共配置 15 名辐射工作人员，年工作时间为 250 工作日，每台 DSA 年出束时间约为 122.7h；

5、其他医学影像诊断项目：于病房楼三楼中心手术部新建 2 座 C 臂机机房（即 2#手术室、3#手术室），配备 2 台 C 臂机（型号未定）和 1 台移动式 G 臂机（型号未定）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 64 排 CT（型号未定）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座数字胃肠机机房，配备 1 台数字胃肠机（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建 2 座 CT 机房（即 CT 机房 1、CT 机房 2），分别配备 1 台 64 排 CT（型号未定）和 1 台 256 排 CT（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建 1 座乳腺钼靶机房，搬迁 1 台乳腺钼靶机（型号为 Senographe Essential）；于门诊楼一楼影像科新建 1 座数字胃肠机机房，搬迁 1 台数字胃肠机（型号为 PT800），于门诊楼一楼影像科新建 1 座口腔 CT 机房，配备 1 台口腔 CT（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建全景口腔机房，配备 1 台全景口腔机（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建骨密度机房，配备 1 台骨密度仪（型号未定）；于门诊楼三楼口腔科新建 1 座牙片机房，配备 1 台牙片机（型号未定）；于门诊楼四楼体检中心新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 64 排 CT（型号未定）；于门诊楼四层体检中心新建 1 座 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定）；于门诊楼四层体检中心新建 1 座骨密度机房，配备 1 台骨密度仪（型号未定）；于传染楼一楼发热门诊新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 16 排 CT（型号未定）。其他医学影像诊断项目工作人员根据项目实际建设情况配置，工作人员年工作时间不超过 250 工作日。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，该项目需进行环境影响评价工作。

受响水县人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位迁建放射诊疗项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部部令第 16 号），本项目新增 2 台医用直线加速器、2 个乙级非密封放射性物质工作场所、3 台 DSA 项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用 II 类射线装置的；乙级非密封放射性物质工作场所”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，

编制了该项目环境影响报告表。

响水县人民医院迁建放射诊疗项目情况见下表：

表 1-1 响水县人民医院迁建放射诊疗项目情况一览表

非密封放射性物质							
序号	工作场所等级	核素名称	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次)/用药方式	日最大接诊量 (人)	年最大接诊量 (人)	日最大操作量 (Bq)
1	乙级 (诊断区)	¹⁸ F	核素显像	10 (静脉注射)	20	5000	7.40×10 ⁹
2		¹⁸ F	核素储存	备药量：4×7.40×10 ⁹ Bq			2.96×10 ¹⁰
3		^{99m} Tc	核素显像	20 (静脉注射)	20	5000	1.48×10 ¹⁰
4		¹³¹ I	甲状腺吸碘率测定	0.01 (口服)	15	3750	5.55×10 ⁶
5	乙级(治疗区)	¹³¹ I	甲亢治疗	10 (口服)	10	2500	3.70×10 ⁹
6		¹³¹ I	甲癌治疗	150 (口服)	4	200	2.22×10 ¹⁰

注：¹⁸F 半衰期较短 (109.8min)，考虑到核素衰变，订购药物时通常按照 4 倍用药量进行准备；^{99m}Tc、¹³¹I 半衰期较长 (分别为 6.02h、8.02d)，通常不需要预留核素衰变量。

射线装置									
序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评及审批情况	备注
1	PET/CT (型号未定)	1	≤140	≤1000	III	病房楼负一楼核医学科	未使用	本次环评	拟购
2	SPECT/CT (型号未定)	1	≤140	≤1000	III	病房楼负一楼核医学科	未使用	本次环评	拟购
3	CT 模拟定位机 (型号未定)	1	≤140	≤1000	III	病房楼负一楼放疗中心	未使用	本次环评	拟购
4	模拟定位机 (型号未定)	1	≤140	≤1000	III	病房楼负一楼放疗中心	未使用	本次环评	拟购
5	DSA (型号未定)	1	≤125	≤1000	II	病房楼三楼 4#手术室	未使用	本次环评	拟购
6	DSA (型号未定)	1	≤125	≤1000	II	病房楼三楼 5#手术室	未使用	本次环评	拟购
7	DSA (Optima CL 323i)	1	150	800	II	门诊医技楼一楼急诊科 DSA 室	未在新址使用	已环评、已许可、已自主验收	搬迁
8	医用直线加速器 (型号未定)	1	X 射线：6、10MeV 电子线：≤22MeV		II	放疗科 1#直线加速器机房	未使用	本次环评	拟购
9	医用直线加速器	1	X 射线：6、10MeV		II	放疗科 2#直	未使用	本次环评	拟购

	(型号未定)		电子线: $\leq 22\text{MeV}$			线加速器机房			
10	C臂机 (型号未定)	1	≤ 110	≤ 20	III	病房楼三层 中心手术部 2#手术室	未使用	本次环评	拟购
11	C臂机 (型号未定)	1	≤ 110	≤ 20	III	病房楼三层 中心手术部 3#手术室	未使用	本次环评	拟购
12	G臂机 (型号未定)	1	≤ 110	≤ 20	III	病房楼三层 中心手术部 2#手术室、3# 手术室	未使用	本次环评	拟购
13	CT (64排) (型号未定)	1	≤ 140	≤ 1000	III	门诊楼一楼 急诊科 CT 机 房	未使用	本次环评	拟购
14	DR (型号未定)	1	≤ 150	≤ 1000	III	门诊楼一楼 急诊科 DR 机 房	未使用	本次环评	拟购
15	数字胃肠机 (PT800)	1	150	1000	III	门诊楼一楼 急诊科数字 胃肠机房	未在新 址使用	本次环评	搬迁
16	CT (64排) (型号未定)	1	≤ 140	≤ 1000	III	门诊楼一楼 影像科 CT 机 房 1	未使用	本次环评	拟购
17	CT (256排) (型号未定)	1	≤ 140	≤ 1000	III	门诊楼一楼 影像科 CT 机 房 2	未使用	本次环评	拟购
18	DR (型号未定)	2	≤ 150	≤ 1000	III	门诊楼一楼 影像科 DR 机 房 1、DR 机 房 2	未使用	本次环评	拟购
19	乳腺钼靶机 (Senographe Essential)	1	49	500	III	门诊楼一楼 影像科钼靶 机房	未在新 址使用	本次环评	搬迁
20	数字胃肠机 (PT800)	1	150	1000	III	门诊楼一楼 影像科数字 胃肠机房	未在新 址使用	本次环评	搬迁
21	口腔 CT (型号未定)	1	≤ 110	≤ 10	III	门诊楼一楼 影像科口腔 CT 机房	未使用	本次环评	拟购
22	全景口腔机 (型号未定)	1	≤ 110	≤ 10	III	门诊楼一楼 影像科全景 口腔机房	未使用	本次环评	拟购

23	骨密度仪 (型号未定)	1	≤110	≤10	III	门诊楼一楼 影像科骨密 度机房	未使用	本次环评	拟购
24	牙片机 (型号未定)	1	≤110	≤10	III	门诊楼三层 口腔科牙片 机房	未使用	本次环评	拟购
25	CT (型号未定)	1	≤140	≤1000	III	门诊楼四层 体检中心 CT 机房	未使用	本次环评	拟购
26	DR (型号未定)	1	≤150	≤1000	III	门诊楼四层 体检中心 DR 机房	未使用	本次环评	拟购
27	骨密度仪 (型号未定)	1	≤110	≤10	III	门诊楼四层 体检中心骨 密度机房	未使用	本次环评	拟购
28	CT (型号未定)	1	≤140	≤1000	III	传染楼一楼 发热门诊 CT 机房	未使用	本次环评	拟购

二、项目选址情况

响水县人民医院新院区位于响水县金海路东侧、园林路北侧，医院东侧为开发路，南侧为园林路，西侧为金海路，北侧为规划道路。本项目地理位置见附图 1，响水县人民医院平面布置和周围环境示意图见附图 2。

医院本次迁建放射诊疗项目主要包括：

1、于病房楼负一楼放疗中心新建 2 座加速器机房及配套设施用房并配置 2 台医用直线加速器、1 台 CT 模拟定位机、1 台模拟定位机。病房楼东侧为院内道路及妇幼保健院，南侧为院内道路及门诊医技楼，西侧为院内道路及停车场，北侧为院内道路及停车场。加速器机房位于病房楼负一楼西侧，2 座机房南北并列设置（南侧 1#、北侧 2#），1#加速器机房东侧由北向南依次为更衣室、控制室、设备机房、水冷机房、新风机房，南侧、西侧为土层，北侧为 2#加速器机房，下方为土层，楼上为地面道路；2#加速器机房东侧由北向南依次为楼梯间、更衣室，南侧为 1#加速器机房，西侧为土层，北侧由西向东依次为设备机房、控制室、更衣室、加压送风机房、更衣室，下方为土层，楼上为地面道路；CT 模拟定位机、模拟定位机位于病房楼负一楼南侧，CT 模拟定位机东侧为卫生间，南侧为土层，西侧为控制室及更衣室，北侧为过道，楼上为地面道路，下方为土层；模拟定位机东侧为控制室、更衣室，南侧为土层，西侧为热疗机房，北侧为过道，楼上为地面道路，下方为土层。

2、于病房楼负一楼新建核医学科，核医学科诊断区东侧为过道，南侧为下沉庭院及楼梯间，西侧为更衣室、卫生间及过道，北侧为治疗区过道，下方为土层，楼上为检查包装灭菌区、病房楼一楼大厅、超市、耗材库等；核医学科治疗区东侧为楼梯间，南侧为诊断区过道，西侧、北侧均为过道，楼上为检查包装灭菌区、无菌存放区、洁具间、缓冲间等。

3、于病房楼三楼新建2座DSA机房并配置2台DSA（4#、5#手术室），于门诊医技楼一楼急诊科新建1座DSA机房，并搬迁1台DSA。病房楼三楼2座DSA机房南北并列设置，4#手术室东侧由北向南依次为设备间、控制室、缓冲间，南侧为5#手术室，西侧为污物通道，北侧为过道，下方为医生办公室、过道、资料室，楼上为排烟机房、避难间、过道、库房；5#手术室东侧由北向南依次为缓冲间、控制室、设备间，南侧为缓冲间及过道，西侧为污物通道，北侧为4#手术室，下方为UPS、医生工作站、过道，上方为库房、过道、病案库；门诊医技楼一楼急诊科DSA机房东侧为设备机房、洗污打包间，南侧为收费大厅，西侧为控制室、更衣室、缓冲间、谈话间、观察室、准备区，北侧为过道，下方为车库，楼上为门诊手术家属等候区、洁具间等。

4、其他医学影像诊断项目中，2台C臂机和1台G臂机位于病房楼三楼的中心手术部，1台CT、1台DR和1台数字胃肠机位于门诊医技楼一楼的急诊科，2台CT、2台DR、1台数字胃肠机、1台乳腺钼靶机、1台口腔CT、1台全景口腔机和1台骨密度仪位于门诊医技楼一楼的影像科，1台牙片机位于门诊医技楼三楼的口腔科，1台CT、1台DR和1台骨密度仪位于门诊医技楼四楼的体检中心，1台CT位于传染楼一楼的发热门诊。

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

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于江苏响水经济开发区（编码：ZH32092121368）内，不在生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；对照江苏响水经济开发区重点管控单元管控要求，本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求（详见附件8，江苏省生态环境分区管控综合查询报告书）。

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

五、原有核技术利用项目许可情况

响水县人民医院现持有盐城市生态环境局2021年9月18日颁发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[01234]，有效期至2026年9月17日，许可种类和范围为：使用II类、III类射线装置，详见附件3。医院现有的II类、III类射线装置均已履行环保手续，详见附件5。

响水县人民医院新院区建成后，老院区整体搬迁至新院区；老院区原有核技术利用项目除搬迁内容外，其余均作报废处理。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒	使用	7.40×10 ⁹	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	医疗诊断	注射，很简单操作	核医学科 (诊断区)	按需订购，不贮存，核医学科门诊使用
2	¹⁸ F	液态/低毒	使用	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁶	7.40×10 ¹²	医疗诊断	源的贮存	核医学科 (诊断区)	按需订购，暂存于核医学科手套箱
3	^{99m} Tc	液态/低毒	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷	3.70×10 ¹²	医疗诊断	注射，很简单操作	核医学科 (诊断区)	按需订购，不贮存，核医学科门诊使用
4	¹³¹ I	液态/中毒	使用	5.55×10 ⁶	5.55×10 ⁵	1.39×10 ⁹	甲状腺吸碘率测定	口服，简单操作	核医学科 (诊断区)	按需订购，不贮存，核医学科门诊使用
5	¹³¹ I	液态/中毒	使用	2.59×10 ¹⁰	2.59×10 ⁹	2.035×10 ¹²	甲亢、甲癌治疗	口服，简单操作	核医学科 (治疗区)	按需订购，不贮存，核医学科治疗使用

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	未定	电子	X 射线：6, 10MV 电子线：≤22MeV	X 射线最高剂量率： 6MV (3F)：2400cGy/min 10MV：600cGy/min 电子线最高剂量率：2200cGy/min	放射治疗	1#加速器机房	新购
2	医用直线加速器	II	1	未定	电子	X 射线：6, 10MV 电子线：≤22MeV	X 射线最高剂量率： 6MV (3F)：2400cGy/min 10MV：600cGy/min 电子线最高剂量率：2200cGy/min	放射治疗	2#加速器机房	新购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	未定	≤125	≤1000	医用诊断/介入治疗	病房楼三楼 4#手术室	新购
2	DSA	II	1	未定	≤125	≤1000	医用诊断/介入治疗	病房楼三楼 5#手术室	新购
3	DSA	II	1	Optima CL 323i	150	800	医用诊断/介入治疗	门诊医技楼一楼急诊科 DSA 室	搬迁
4	PET/CT	III	1	未定	≤140	≤1000	医用诊断	病房楼负一楼核医学科 PET/CT 室	新购

5	SPECT/CT	III	1	未定	≤140	≤1000	医用诊断	病房楼负一楼核医学科 SPECT/CT 室	新购
6	CT 模拟定位机	III	1	未定	≤140	≤1000	模拟定位	病房楼负一楼放疗科 CT 模拟定位机室	新购
7	模拟定位机	III	1	未定	≤140	≤1000	模拟定位	病房楼负一楼放疗科模 拟定位机室	新购
8	C 臂机	III	1	未定	≤110	≤20	医用诊断	病房楼三层中心手术部 2#手术室	拟购
9	C 臂机	III	1	未定	≤110	≤20	医用诊断	病房楼三层中心手术部 3#手术室	拟购
10	G 臂机	III	1	未定	≤110	≤20	医用诊断	病房楼三层中心手术部 2#手术室、3#手术室	拟购
11	CT (64排)	III	1	未定	≤140	≤1000	医用诊断	门诊楼一楼急诊科 CT 机房	拟购
12	DR	III	1	未定	≤150	≤1000	医用诊断	门诊楼一楼急诊科 DR 机房	拟购
13	数字胃肠机	III	1	PT800	150	1000	医用诊断	门诊楼一楼急诊科数字 胃肠机房	搬迁
14	CT (64 排)	III	1	未定	≤140	≤1000	医用诊断	门诊楼一楼影像科 CT 机房 1	拟购
15	CT (256 排)	III	1	未定	≤140	≤1000	医用诊断	门诊楼一楼影像科 CT 机房 2	拟购
16	DR	III	1	未定	≤150	≤1000	医用诊断	门诊楼一楼影像科 DR 机房 1、DR 机房 2	拟购
17	乳腺钼靶机	III	1	Senographe Essential	49	500	医用诊断	门诊楼一楼影像科钼靶 机房	搬迁

18	数字胃肠机	III	1	PT800	150	1000	医用诊断	门诊楼一楼层影像科数字胃肠机房	搬迁
19	口腔 CT	III	1	未定	≤110	≤10	医用诊断	门诊楼一楼层影像科口腔 CT 机房	拟购
20	全景口腔机	III	1	未定	≤110	≤10	医用诊断	门诊楼一楼层影像科全景口腔机房	拟购
21	骨密度仪	III	1	未定	≤110	≤10	医用诊断	门诊楼一楼层影像科骨密度机房	拟购
22	牙片机	III	1	未定	≤110	≤10	医用诊断	门诊楼三层口腔科牙片机房	拟购
23	CT	III	1	未定	≤140	≤1000	医用诊断	门诊楼四层体检中心 CT 机房	拟购
24	DR	III	1	未定	≤150	≤1000	医用诊断	门诊楼四层体检中心 DR 机房	拟购
25	骨密度仪	III	1	未定	≤110	≤10	医用诊断	门诊楼四层体检中心骨密度机房	拟购
26	CT	III	1	未定	≤140	≤1000	医用诊断	传染楼一楼层发热门诊 CT 机房	拟购
27	C 臂机	III	1	未定	≤110	≤20	医用诊断	病房楼三层中心手术部 2#手术室	拟购
28	C 臂机	III	1	未定	≤110	≤20	医用诊断	病房楼三层中心手术部 3#手术室	拟购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等，通风系统更换下来的废活性炭	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 16.7kg	约 200kg	/	存放于核医学科诊断区专用铅桶与放射性废物间内	暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
		^{131}I	/	约 5.3kg	约 64kg	/		暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
沾有放射性核素的一次性口杯、手套、擦拭废纸等，通风系统更换下来的废活性炭	固体	^{131}I	/	约 6.7kg	约 80kg	/	存放于核医学科治疗区专用铅桶与放射性废物间内	暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 10.4m^3	约 125m^3	/	流入诊断区衰变池中暂存	在衰变池中暂存超过 30 天后直接解控排放
		^{131}I	/	约 10.4m^3	约 125m^3	总排放口总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$	流入治疗区衰变池中暂存	在衰变池中暂存超过 180 天，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 11871 中 8.6.2 规定方式进行排放

含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
剩余备用的 ^{18}F 药物	液体	^{18}F	/	/	/	/	暂存于手套箱中	原厂家回收
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约 50 分钟后可自然分解为氧气

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》（修订版），中华人民共和国主席令 第9号，2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令 第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(11) 《放射性物品道路运输管理规定》（2016年修正本），交通运输部令 2016年第71号公布，2016年9月2日起施行；</p> <p>(12) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行；</p> <p>(13) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；</p>
------------------	---

- (14) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日起施行；
- (15) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布；
- (16) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布；
- (17) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布；
- (18) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第9号，2019年11月1日起施行；
- (19) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布；
- (20) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布；
- (21) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布；
- (22) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2018年6月9日发布，2022年8月16日发布；
- (23) 《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》，苏自然资函〔2023〕880号，2023年10月10日发布；
- (24) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布；
- (25) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，江苏省生态环境厅办公室，2021年5月31日印发；
- (26) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，国家发展和改革委员会令 第7号，2023年12月27日发布，2024年2月1日起施行；
- (27) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，国家核安全局，辐射函〔2023〕

	<p>20号，2023年9月13日发布；</p> <p>(28) 《生态环境分区管控管理暂行规定》，生态环境部，环环评〔2024〕41号，2024年7月8日发布，自公布之日起施行。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(2) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)；</p> <p>(3) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)；</p> <p>(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)；</p> <p>(5) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)；</p> <p>(6) 《表面污染测定 第1部分：β发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和$\alpha$发射体》(GB 14056.1-2008)；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；</p> <p>(8) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(9) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)；</p> <p>(10) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；</p> <p>(11) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(12) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(13) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)；</p> <p>(14) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(15) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)；</p> <p>(16) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)；</p> <p>(17) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)；</p> <p>(18) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)。</p>
其他	<p>附图：</p> <p>(1) 响水县人民医院迁建放射诊疗项目地理位置示意图；</p> <p>(2) 响水县人民医院平面布置和周围环境示意图；</p> <p>(3) 响水县人民医院病房楼负一楼核医学科平面布局示意图；</p>

- (4) 响水县人民医院核医学科放射性废水专用下水管道平面布局示意图；
- (5) 响水县人民医院核医学科通风管道平面布局示意图；
- (6) 响水县人民医院病房楼负一楼医用直线加速器机房平面布局示意图；
- (7) 响水县人民医院病房楼三楼 DSA 机房平面布局示意图；
- (8) 响水县人民医院门诊医技楼一楼急诊科 DSA 机房平面布局示意图；
- (9) 响水县人民医院病房楼负一楼平面布局示意图；
- (10) 响水县人民医院病房楼一楼平面布局示意图；
- (11) 响水县人民医院病房楼二楼平面布局示意图；
- (12) 响水县人民医院病房楼三楼平面布局示意图；
- (13) 响水县人民医院病房楼四楼平面布局示意图；
- (14) 响水县人民医院门诊医技楼一楼平面布局示意图；
- (15) 响水县人民医院门诊医技楼二楼平面布局示意图。

附件：

- (1) 项目委托书；
- (2) 非密封放射性物质、射线装置使用承诺书；
- (3) 辐射安全许可证；
- (4) 辐射环境现状监测报告；
- (5) 医院现有核技术利用项目情况一览表；
- (6) 新院区一般项目环评批复；
- (7) 搬迁 DSA 原有环保手续；
- (8) 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次迁建放射诊疗项目工作场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于江苏响水经济开发区重点管控单元（编码：ZH32092121368）内，不在生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目主要考虑医用直线加速器、核医学科、DSA 运行时可能对周围环境产生的辐射影响。响水县人民医院迁建放射诊疗项目 50m 评价范围均位于本院区范围内，评价范围内无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、周围其他医务人员、患者、患者家属以及其他公众等，详见表 7-1。

表 7-1 响水县人民医院迁建放射诊疗项目保护目标一览表

保护对象类型	场所	保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	保护要求
辐射工作人员	1#加速器、2#加速器	医师、技师、物理师、护士	东侧、北侧，控制室	毗邻	6 人	5mSv/a
	4#手术室、5#手	医师、技师、护士	东侧控制室、机	同室操作	15 人	

	术室、急诊科 DSA室		房			
	核医学科诊断区	医师、技师、护士	分装室、控制室等	毗邻	5人	
	核医学科治疗区	医师、护士	分装室等	毗邻	3人	
	其他医学影像诊断项目	技师、护士	相应控制室	毗邻	若干	
公众	病房楼	其他医护人员	4#手术室、5#手术室工作场所四周及上下，加速器东侧、北侧，核医学科四周及楼上	毗邻	约25人	0.1mSv/a
		患者、患者家属、其他公众			若干	
	门诊医技楼	其他医护人员	急诊科DSA室四周及楼上	毗邻	约10人	
		病患、患者家属、其他公众			若干	
院内道路	医护人员、患者、患者家属、其他公众	病房楼南侧、西侧、北侧	约2m	若干		

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②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； ③眼晶体的年当量剂量，15mSv； ④皮肤的年当量剂量，50mSv。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。

1.2 非密封源工作场所的分级

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

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

表 B11 工作场所放射性表面污染控制水平 单位：Bq/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	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

二、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

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

4.2 治疗机房布置要求

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

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

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

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

四、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》
(GBZ/T 201.2-2011)；

五、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)：

4 一般要求

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

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

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

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

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： $\dot{H}_{c,\max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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

六、《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)；

七、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)；

八、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)；

九、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)：

6.1 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，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 处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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。

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

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

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

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

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

8.2 工作场所监测

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

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

十、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

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

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项

目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
双管头或多管头 X 射线设备 ^a （含 C 形臂）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔 CBCT 坐位扫描/站位扫描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
口腔 CBCT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2.0	1.0
透射机房、骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、碎石机房、模拟定位机房、乳腺摄影机房、乳腺 CBCT 机房	1.0	1.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 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。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

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

十一、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ 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 μ Sv/h。本条规定的具体含义为：

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

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

十二、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；

4.1 建筑施工过程中场界环境噪声不得超过表 1 规定的排放限值。

表 1 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB (A)

昼间	夜间
70	55

十三、本项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号）并考虑本项目实际情况确定：

（一）剂量约束值

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

（二）周围剂量当量率控制水平

（1）DSA 机房机房屏蔽墙体、防护门、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率应不大于 **2.5μSv/h**；III类射线装置机房外周围剂量当量率控制水平应满足 GBZ 130-2020 中 6.3 条要求；

（2）核医学科工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$)，周围剂量当量率应小于 **2.5μSv/h**；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $<1/2$)，如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 **10μSv/h**；放射性药物分装箱体外表面 30cm 处人员操作位处周围剂量当量率应小于 **2.5μSv/h**，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 **25μSv/h**；固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处周围剂量当量率应小于 **2.5μSv/h**；核医学科工作场所控制区外周围剂量当量率应小于 **2.5μSv/h**；

（3）放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c 见下表：

参考点	居留因子 T	使用因子 U	周剂量控制值 (μSv/周)	周工作时间 (h)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)		
					$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	H_c

1# 加速器 机房	东墙次屏蔽区 (控制室)	1	1/4	100	20	20	2.5	2.5
	东墙主屏蔽区 (设备机房)	1/16	1/4	100		320	10	10
	东墙次屏蔽区 (水冷机房)	1/16	1/4	100		320	10	10
	南墙屏蔽区 (土层)	/	/	/		/	/	/
	西墙屏蔽区 (土层)	/	/	/		/	/	/
	北迷路墙外 (2#加速器机房)	1/8	1	100		40	10	10
	迷路入口防护门	1/8	1/4	100		160	10	10
	屋顶屏蔽区 (地面道路)	1/40	1/4	5		40	10	10
2# 加速器 机房	东墙次屏蔽区 (楼梯间)	1/40	1/4	5	20	40	10	10
	东墙主屏蔽区 (楼梯间)	1/40	1/4	5		40	10	10
	东墙次屏蔽区 (更衣室)	1/20	1/4	100		400	10	10
	南墙屏蔽区 (1#加速器机房)	1/8	1	100		40	10	10
	西墙屏蔽区 (土层)	/	/	/		/	/	/
	北迷路墙外 (设备机房)	1/20	1	100		100	10	10
	北迷路墙外 (控制室)	1	1	100		5	2.5	2.5
	迷路入口防护门	1/8	1	100		40	10	10
	屋顶屏蔽区 (地面道路)	1/40	1/4	5		40	10	10

(三) 表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见下表：

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4

工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

十四、参考资料：

- (1) 《辐射防护导论》，方杰主编。
- (2) 《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强著。
- (3) ICRP103号出版物，2007年，国际放射防护委员会。
- (4) 《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第13卷第2期，1993年3月），江苏省环境监测站。

江苏省原野、道路、建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

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

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

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

响水县人民医院新院区位于响水县金海路东侧、园林路北侧，医院东侧为开发路，南侧为园林路，西侧为金海路，北侧为规划道路。

医院本次迁建放射诊疗项目主要包括：

2、于病房楼负一楼放疗中心新建 2 座加速器机房及配套设施用房并配置 2 台医用直线加速器、1 台 CT 模拟定位机、1 台模拟定位机。病房楼东侧为院内道路及妇幼保健院，南侧为院内道路及门诊医技楼，西侧为院内道路及停车场，北侧为院内道路及停车场。加速器机房位于病房楼负一楼西侧，2 座机房南北并列设置（南侧 1#、北侧 2#），1#加速器机房东侧由北向南依次为更衣室、控制室、设备机房、水冷机房、新风机房，南侧、西侧为土层，北侧为 2#加速器机房，下方为土层，楼上为地面道路；2#加速器机房东侧由北向南依次为楼梯间、更衣室，南侧为 1#加速器机房，西侧为土层，北侧由西向东依次为设备机房、控制室、更衣室、加压送风机房、更衣室，下方为土层，楼上为地面道路；CT 模拟定位机、模拟定位机位于病房楼负一楼南侧，CT 模拟定位机东侧为卫生间，南侧为土层，西侧为控制室及更衣室，北侧为过道，楼上为地面道路，下方为土层；模拟定位机东侧为控制室、更衣室，南侧为土层，西侧为热疗机房，北侧为过道，楼上为地面道路，下方为土层。

2、于病房楼负一楼新建核医学科，核医学科诊断区东侧为过道，南侧为下沉庭院及楼梯间，西侧为更衣室、卫生间及过道，北侧为治疗区过道，下方为土层，楼上为检查包装灭菌区、病房楼一楼大厅、超市、耗材库等；核医学科治疗区东侧为楼梯间，南侧为诊断区过道，西侧、北侧均为过道，楼上为检查包装灭菌区、无菌存放区、洁具间、缓冲间等。

3、于病房楼三楼新建 2 座 DSA 机房并配置 2 台 DSA（4#、5#手术室），于门诊医技楼一楼急诊科新建 1 座 DSA 机房，并搬迁 1 台 DSA。病房楼三楼 2 座 DSA 机房南北并列设置，4#手术室东侧由北向南依次为设备间、控制室、缓冲间，南侧为 5#手术室，西侧为污物通道，北侧为过道，下方为医生办公室、过道、资料室，楼上为排烟机房、避难间、过道、库房；5#手术室东侧由北向南依次为缓冲间、控制室、设

备间，南侧为缓冲间及过道，西侧为污物通道，北侧为 4#手术室，下方为 UPS、医生工作站、过道，上方为库房、过道、病案库；门诊医技楼一楼急诊科 DSA 机房东侧为设备机房、洗污打包间，南侧为收费大厅，西侧为控制室、更衣室、缓冲间、谈话间、观察室、准备区，北侧为过道，下方为车库，楼上为门诊手术家属等候区、洁具间等。

4、其他医学影像诊断项目中，2 台 C 臂机和 1 台 G 臂机位于病房楼三楼的中心手术部，1 台 CT、1 台 DR 和 1 台数字胃肠机位于门诊医技楼一楼的急诊科，2 台 CT、2 台 DR、1 台数字胃肠机、1 台乳腺钼靶机、1 台口腔 CT、1 台全景口腔机和 1 台骨密度仪位于门诊医技楼一楼的影像科，1 台牙片机位于门诊医技楼三楼的口腔科，1 台 CT、1 台 DR 和 1 台骨密度仪位于门诊医技楼四楼的体检中心，1 台 CT 位于传染楼一楼的发热门诊。门诊医技楼、病房楼、传染楼四周均为院内道路及停车位。

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

本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-31。



图 8-1 新院区现状（建设中）



图 8-2 门诊医技楼一楼 DSA 机房拟建址



图 8-3 门诊医技楼 DSA 机房拟建址东侧
(拟建洗污打包间)



图 8-4 门诊医技楼 DSA 机房拟建址东侧
(拟建设备机房)



图 8-5 门诊医技楼 DSA 机房拟建址南侧
(拟建收费厅)



图 8-6 门诊医技楼 DSA 机房拟建址西侧
(拟建控制室)



图 8-7 门诊医技楼 DSA 机房拟建址北侧过道



图 8-8 门诊医技楼 DSA 机房拟建址楼上
(拟建门诊手术家属等候区)

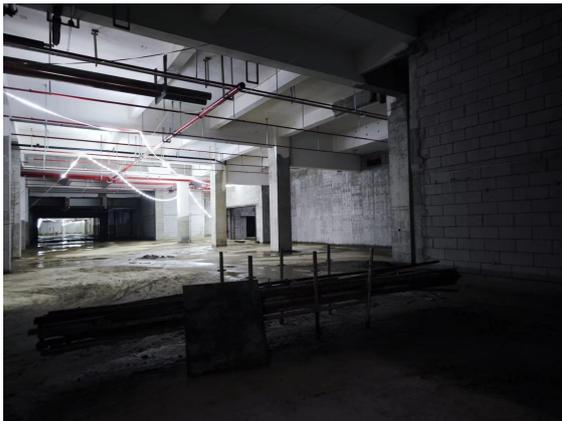


图 8-9 门诊医技楼 DSA 机房拟建址楼下
(拟建地下车库)



图 8-10 病房楼三楼 DSA 机房拟建址
(4#、5#手术室)



图 8-11 5#手术室拟建址东侧 (拟建控制室)



图 8-12 4#手术室拟建址东侧 (拟建控制室)

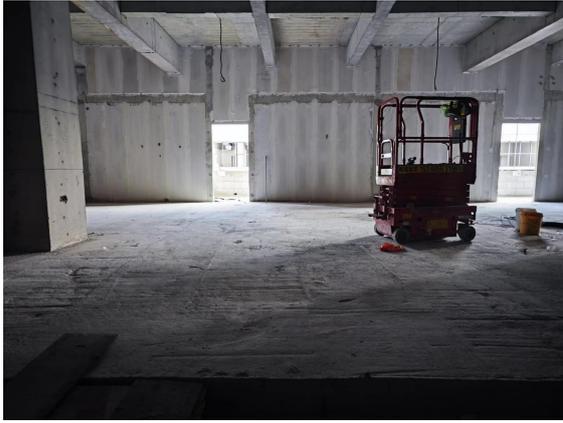


图 8-13 5#手术室拟建址南侧过道



图 8-14 4#、5#手术室拟建址西侧过道



图 8-15 4#手术室拟建址北侧过道



图 8-16 4#手术室拟建址楼下
(拟建医生办公室)



图 8-17 4#手术室拟建址楼上 (拟建避难间)

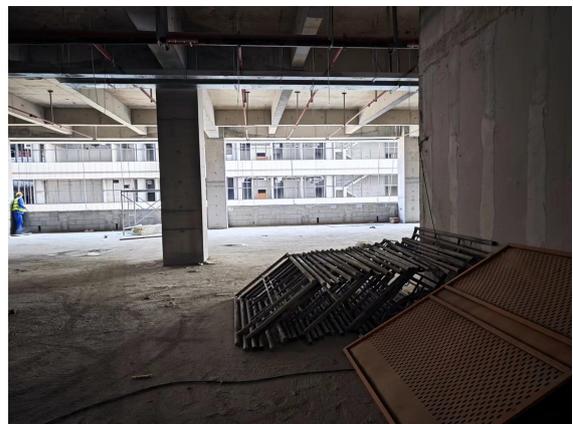


图 8-18 5#手术室拟建址楼下 (拟建医生工作站)



图 8-19 5#手术室拟建址楼上（拟建病案库房）



图 8-20 核医学科候诊大厅拟建址



图 8-21 核医学科诊断区注射室拟建址



图 8-22 核医学科诊断区 PET/CT 室拟建址



图 8-23 核医学科诊断区 SPECT/CT 室拟建址



图 8-24 核医学科诊断区 PET/CT、SPECT/CT 控制室拟建址



图 8-25 核医学科治疗区服碘室拟建址



图 8-26 核医学科治疗区过道



图 8-27 核医学科治疗区治疗室

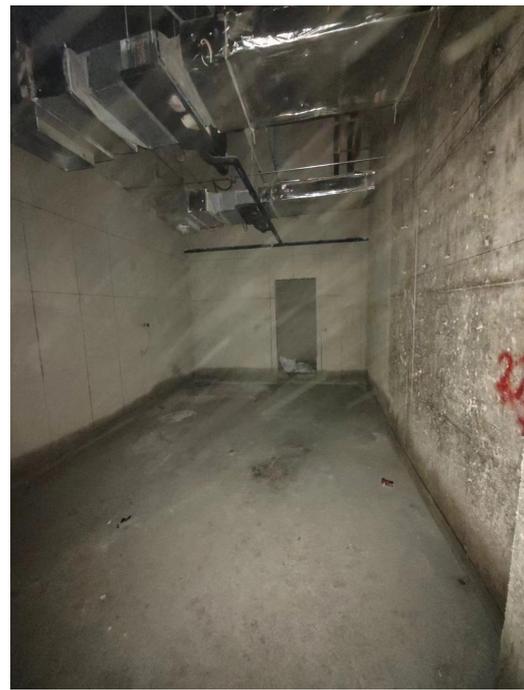


图 8-28 核医学科治疗区治疗室

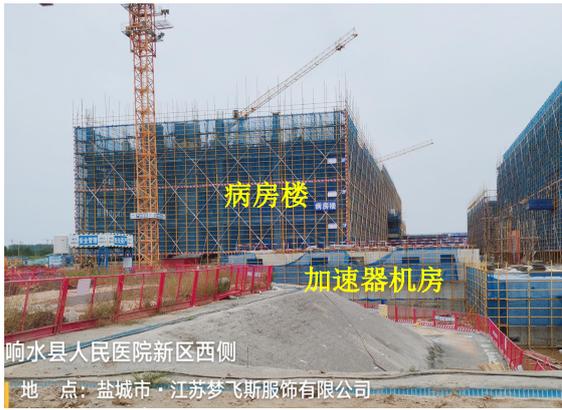


图 8-29 加速器机房拟建址



图 8-30 2#加速器机房北侧更衣室
(机房入口处)



图 8-31 1#加速器机房东侧控制室、设备机房
拟建址



图 8-32 加速器机房西侧、南侧土层
拟建址



图 8-33 加速器机房顶上无建筑

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院迁建放射诊疗项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1~表 8-3，监测点位示意图见图 8-34~图 8-39。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目： γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平

监测日期及监测条件见表 8-1。

表 8-1 检测日期及监测条件

检测日期	天气	温度	湿度
2023 年 10 月 16 日	晴	20℃	89%RH
2024 年 7 月 4 日	阴	27℃	84%RH

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

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件 4），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

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

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

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

1、 γ 辐射剂量率

γ辐射剂量率检测仪器见表 8-2。

表 8-2 γ辐射剂量率检测仪器

检测日期	仪器设备名称	设备型号	设备编号	设备信息
2023 年 10 月 16 日	X-γ辐射监测仪	6150 AD 6/H+6150 AD-b/H	NJRS-126	能量响应：20keV~7MeV 测量范围：1nSv/h~99.9μSv/h 检定单位：江苏省计量科学研究院 检定证书：Y2022-0109288 检定有效期：2022.11.14~2023.11.13
2024 年 7 月 4 日	X-γ辐射监测仪	6150 AD 6/H+6150 AD-b/H	NJRS-126	能量响应：20keV~7MeV 测量范围：1nSv/h~99.9μSv/h 检定单位：江苏省计量科学研究院 检定证书：Y2023-0173796 检定有效期：2023.10.30~2024.10.29

γ辐射剂量率检测结果见表 8-3 至表 8-7。

表 8-3 病房楼 2 座 DSA 机房拟建址及其周围γ辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址内北部 (4#手术室)	114	楼房室内
2	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址内南部 (5#手术室)	113	楼房室内
3	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址东侧 (控制室 1)	111	楼房室内
4	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址东侧 (入口缓冲区)	106	楼房室内
5	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址东侧 (控制室 2)	105	楼房室内
6	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址南侧 (过道)	115	楼房室内
7	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址西侧 (过道)	112	楼房室内
8	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址北侧 (过道)	103	楼房室内
9	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址下方 (ICU)	99	楼房室内
10	病房楼 2 座 DSA 机房拟建址上方 (库房)	104	楼房室内

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值；

2、环境γ辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)中公式 $\dot{D} = C_f(E_f \dot{X} - \mu_c \dot{X}_c)$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子； E_f 为仪器检验源效率因子； \dot{X} 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值 ($n \geq 10$)； μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，

楼房室内取 0.8; \dot{x}_c 为测点处仪器对宇宙射线的响应值 (30nGy/h)。

由表 8-3 监测结果可知,响水县人民医院迁建放射诊疗项目病房楼 2 台 DSA 机房拟建址及其周围环境 γ 辐射剂量率在 99nGy/h~115nGy/h 之间,处于江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内 50.7nGy/h~129.4nGy/h,属江苏省环境天然 γ 辐射剂量率本底水平。

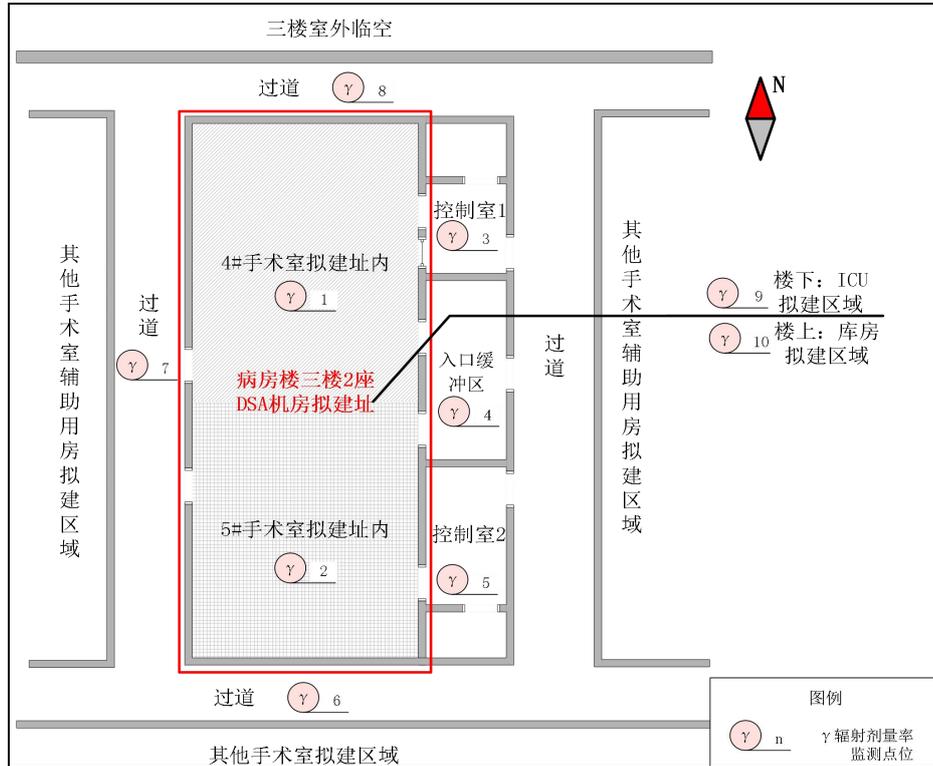


图 8-34 响水县人民医院病房楼 2 台 DSA 机房拟建址及其周围环境 γ 辐射剂量率监测点位示意图

表 8-4 门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址及其周围 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址内	105	楼房室内
2	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址东侧 (设备机房)	106	楼房室内
3	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址东侧 (污洗打包间)	99	楼房室内
4	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址南侧 (收费厅)	96	楼房室内
5	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址西侧 (控制室)	96	楼房室内
6	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址西侧 (缓冲区)	90	楼房室内
7	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址北侧 (大厅过道)	112	楼房室内

8	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址上方 (门诊手术等待区)	95	楼房室内
9	门诊楼 1 座 DSA 机房拟建址下方 (地下车库)	88	楼房室内

注：1、测量结果已扣除宇宙射线响应值；

2、环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f \dot{X} - \mu_c \dot{X}_c)$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子； E_f 为仪器检验源效率因子； \dot{X} 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值 ($n \geq 10$)； μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房室内取 0.8； \dot{X}_c 为测点处仪器对宇宙射线的响应值（30nGy/h）。

由表 8-4 监测结果可知，响水县人民迁建放射诊疗项目医院门诊医技楼一楼 DSA 机房拟建址及其周围环境 γ 辐射剂量率为 88nGy/h~112nGy/h，处于江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内 50.7nGy/h~129.4nGy/h，属江苏省环境天然 γ 辐射剂量率本底水平。

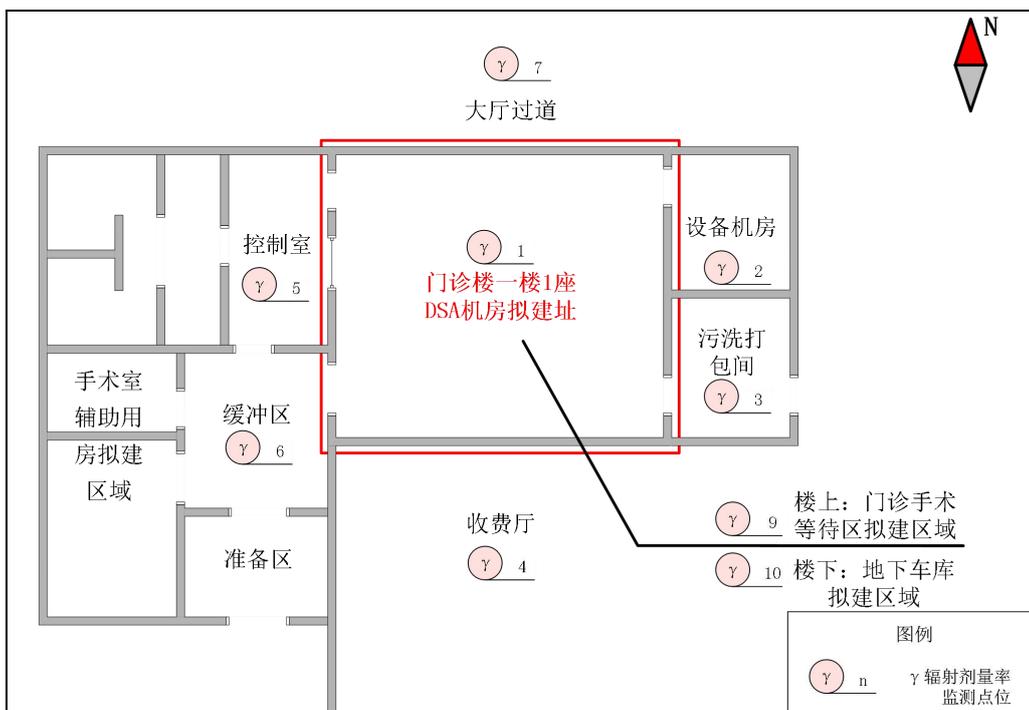


图 8-35 响水县人民医院门诊医技楼 DSA 机房拟建址及其周围环境 γ 辐射监测点位示意图

表 8-5 病房楼 2 座医用直线加速器机房拟建址及其周围 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	病房楼 2 座医用直线加速器机房拟建址东侧 (辅房)	118	楼房室内
2	病房楼 2 座医用直线加速器机房拟建址北侧 (辅房)	116	楼房室内
3	病房楼 2 座医用直线加速器机房拟建址上方 (室外空地)	100	室外道路

4	病房楼一楼西南角（空调机房）	112	楼房室内
---	----------------	-----	------

注：1、测量结果已扣除宇宙射线响应值；

2、环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f \dot{X} - \mu_c \dot{X}_c')$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子； E_f 为仪器检验源效率因子； \dot{X} 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值 ($n \geq 10$)； μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房室内取 0.8，室外道路取 1； \dot{X}_c' 为测点处仪器对宇宙射线的响应值（30nGy/h）。

由表 8-5 监测结果可知，响水县人民医院迁建放射诊疗项目病房楼 2 座医用直线加速器机房拟建址及其周围环境室内 γ 辐射剂量率为 112nGy/h~118nGy/h，处于江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内 50.7nGy/h~129.4nGy/h，属江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率本底水平；加速器机房拟建址及其周围环境室外道路 γ 辐射剂量率为 100nGy/h，处于江苏省道路环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内（18.1nGy/h~102.3nGy/h），属江苏省道路环境天然 γ 辐射剂量率本底水平

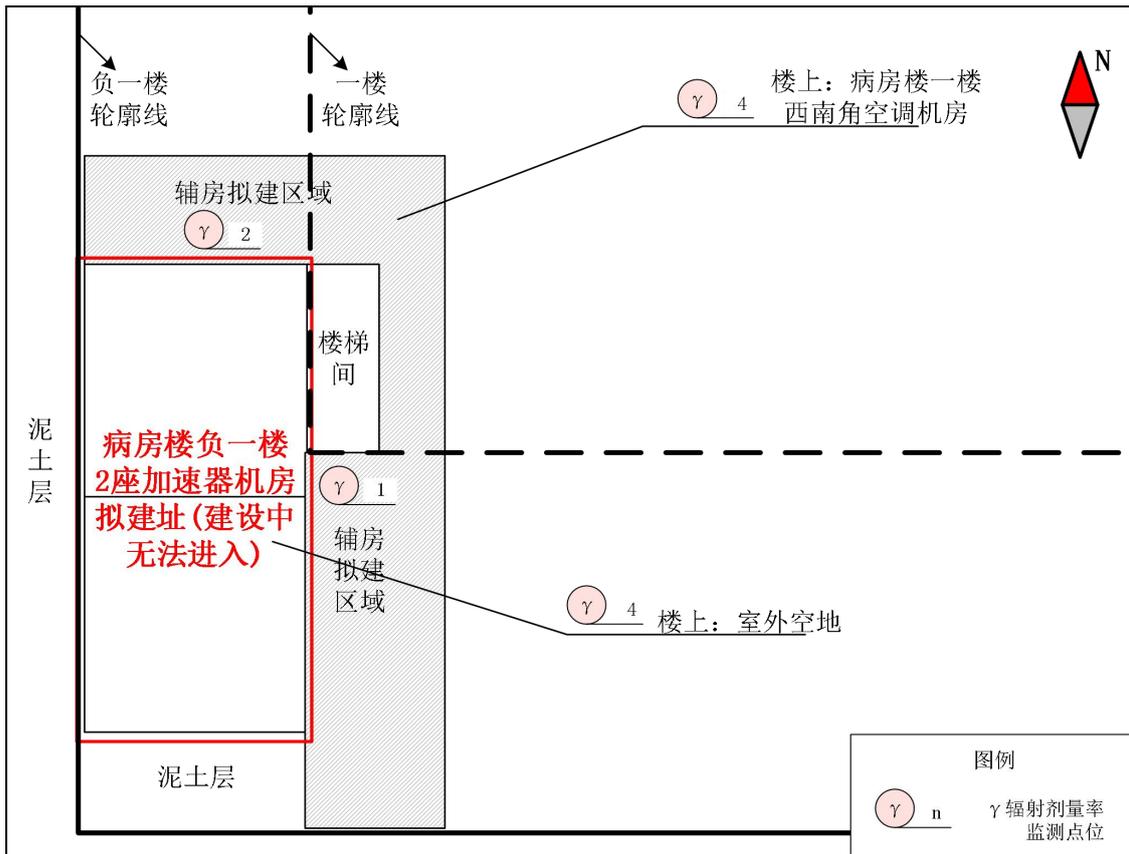


图 8-36 响水县人民医院病房楼医用直线加速器机房拟建址及其周围环境 γ 辐射监测点位示意图

表 8-6 核医学科门诊核素显像场所拟建址及其周围 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	备注
------	------	--------------	----

1	核医学科门诊核素显像场所拟建址内东部	111	楼房室内
2	核医学科门诊核素显像场所拟建址内中部	111	楼房室内
3	核医学科门诊核素显像场所拟建址内西部	112	楼房室内
4	核医学科门诊核素显像场所拟建址东侧 (配电房)	109	楼房室内
5	核医学科门诊核素显像场所拟建址南侧 (下沉庭院)	100	楼房室内
6	核医学科门诊核素显像场所拟建址西侧 (放疗科)	113	楼房室内
7	核医学科门诊核素显像场所拟建址北侧 (病房区)	110	楼房室内
8	核医学科拟建址上方(消洗大厅)	114	楼房室内
9	衰变池拟建址上方(室外空地)	99	室外道路

注：1、测量结果已扣除宇宙射线响应值；

2、环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f \dot{X} - \mu_c \dot{X}_c)$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子； E_f 为仪器检验源效率因子； \dot{X} 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值 ($n \geq 10$)； μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房室内取 0.8，室外道路取 1； \dot{X}_c 为测点处仪器对宇宙射线的响应值（30nGy/h）。

由表 8-4 监测结果可知，响水县人民医院迁建放射诊疗项目核医学科门诊核素显像场所拟建址及其周围室内环境 γ 辐射剂量率为 100nGy/h~114nGy/h，处于江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内 50.7nGy/h~129.4nGy/h，属江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率本底水平；门诊核素显像场所拟建址周围室外道路环境 γ 辐射剂量率为 99nGy/h，处于江苏省道路环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内 18.1nGy/h~102.3nGy/h，属江苏省道路环境天然 γ 辐射剂量率本底水平。

表 8-7 核医学科治疗区拟建址及其周围 γ 辐射剂量率检测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	核医学治疗区拟建址过道	112	楼房室内
2	核医学治疗区拟建址更衣室	112	楼房室内
3	核医学治疗区拟建址储源室	113	楼房室内
4	核医学治疗区拟建址分装室	112	楼房室内
5	核医学治疗区拟建址废物间	113	楼房室内

6	核医学治疗区拟建址淋浴间	113	楼房室内
7	核医学治疗区拟建址被服库	113	楼房室内
8	核医学治疗区拟建址服碘室	113	楼房室内
9	核医学治疗区拟建址送餐间	111	楼房室内
10	核医学治疗区拟建址取餐间	111	楼房室内
11	核医学治疗区拟建址治疗室	113	楼房室内
12	核医学治疗区拟建址治疗室	112	楼房室内
13	核医学治疗区拟建址治疗室	113	楼房室内
14	核医学治疗区拟建址治疗室	112	楼房室内
15	核医学治疗区拟建址过道	113	楼房室内
16	核医学治疗区拟建址抢救室	113	楼房室内
17	核医学治疗区拟建址污物被服库	113	楼房室内
18	核医学治疗区拟建址污洗间	112	楼房室内
19	核医学治疗区拟建址东侧楼梯间	114	楼房室内
20	核医学治疗区拟建址西侧过道	113	楼房室内
21	核医学治疗区拟建址北侧过道	112	楼房室内
22	核医学治疗区拟建址楼上无菌存放区	106	楼房室内
23	核医学治疗区拟建址楼上检查包装灭菌区	107	楼房室内
24	核医学治疗区拟建址楼上检查包装灭菌区	108	楼房室内

注：1、测量结果已扣除宇宙射线响应值；

2、环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f \dot{X} - \mu_c \dot{X}_c)$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子； E_f 为仪器检验源效率因子； \dot{X} 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值 ($n \geq 10$)； μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房室内取 0.8； \dot{X}_c 为测点处仪器对宇宙射线的响应值（30nGy/h）。

由表 8-7 监测结果可知，响水县人民医院迁建放射诊疗项目核医学治疗区拟建址及其周围室内环境 γ 辐射剂量率为 106nGy/h~114nGy/h，处于江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内 50.7nGy/h~129.4nGy/h，属江苏省室内环境天然 γ 辐射剂量率本底

水平。

2、β表面污染水平

检测仪器见表 8-8。

表 8-8 β表面污染水平检测仪器

检测日期	仪器设备名称	设备型号	设备编号	设备信息
2023 年 10 月 16 日	α、β表面污染测量仪	CoMo 170	NJRS-043	测量范围：0cps~20000cps 检定单位：江苏省计量科学研究所 检定证书：Y2023-0162224 检定有效期：2023.9.19~2024.9.18
2024 年 7 月 4 日	α、β表面污染仪	CoMo 170	NJRS-129	测量范围：0cps~20000cps 检定单位：江苏省计量科学研究所 检定证书：Y2024-0027030 检定有效期：2024.3.28~2025.3.27

β表面污染水平检测结果见表 8-9 至表 8-10。

表 8-9 核医学科门诊核素显像场所拟建址及其周围β表面污染水平检测结果

测点编号	测点描述	测量结果 (Bq/cm ²)
1	核医学科门诊核素显像场所拟建址内东部 (室内)	<LLD
2	核医学科门诊核素显像场所拟建址内中部 (室内)	<LLD
3	核医学科门诊核素显像场所拟建址内西部 (室内)	<LLD
4	衰变池拟建址上方地面 (室外)	<LLD

注：β表面放射性污染水平仪器探测下限 (LLD) 为 0.08Bq/cm²。

由表 8-9 监测结果可知，响水县人民医院迁建放射诊疗项目核医学科门诊核素显像场所拟建址及其周围环境β表面污染水平均小于 0.08Bq/cm²。

表 8-10 核医学科门诊核素显像场所拟建址及其周围β表面污染水平检测结果

测点编号	点位描述	测量结果(Bq/cm ²)	备注
1	核医学治疗区拟建址过道	<LLD	/
2	核医学治疗区拟建址更衣室	<LLD	/
3	核医学治疗区拟建址储源室	<LLD	/
4	核医学治疗区拟建址分装室	<LLD	/
5	核医学治疗区拟建址废物间	<LLD	/

6	核医学治疗区拟建址淋浴间	<LLD	/
7	核医学治疗区拟建址服碘室	<LLD	/
8	核医学治疗区拟建址被服库	<LLD	/
9	核医学治疗区拟建址送餐间	<LLD	/
10	核医学治疗区拟建址取餐间	<LLD	/
11	核医学治疗区拟建址治疗室	<LLD	/
12	核医学治疗区拟建址治疗室	<LLD	/
13	核医学治疗区拟建址治疗室	<LLD	/
14	核医学治疗区拟建址治疗室	<LLD	/
15	核医学治疗区拟建址过道	<LLD	/
16	核医学治疗区拟建址抢救室	<LLD	/
17	核医学治疗区拟建址污物被服库	<LLD	/
18	核医学治疗区拟建址污洗间	<LLD	/

注：β表面放射性污染水平仪器探测下限（LLD）为 0.09Bq/cm²。

由表 8-10 监测结果可知，响水县人民医院迁建放射诊疗项目核医学治疗区拟建址及其周围环境β表面污染水平均小于 0.09Bq/cm²。

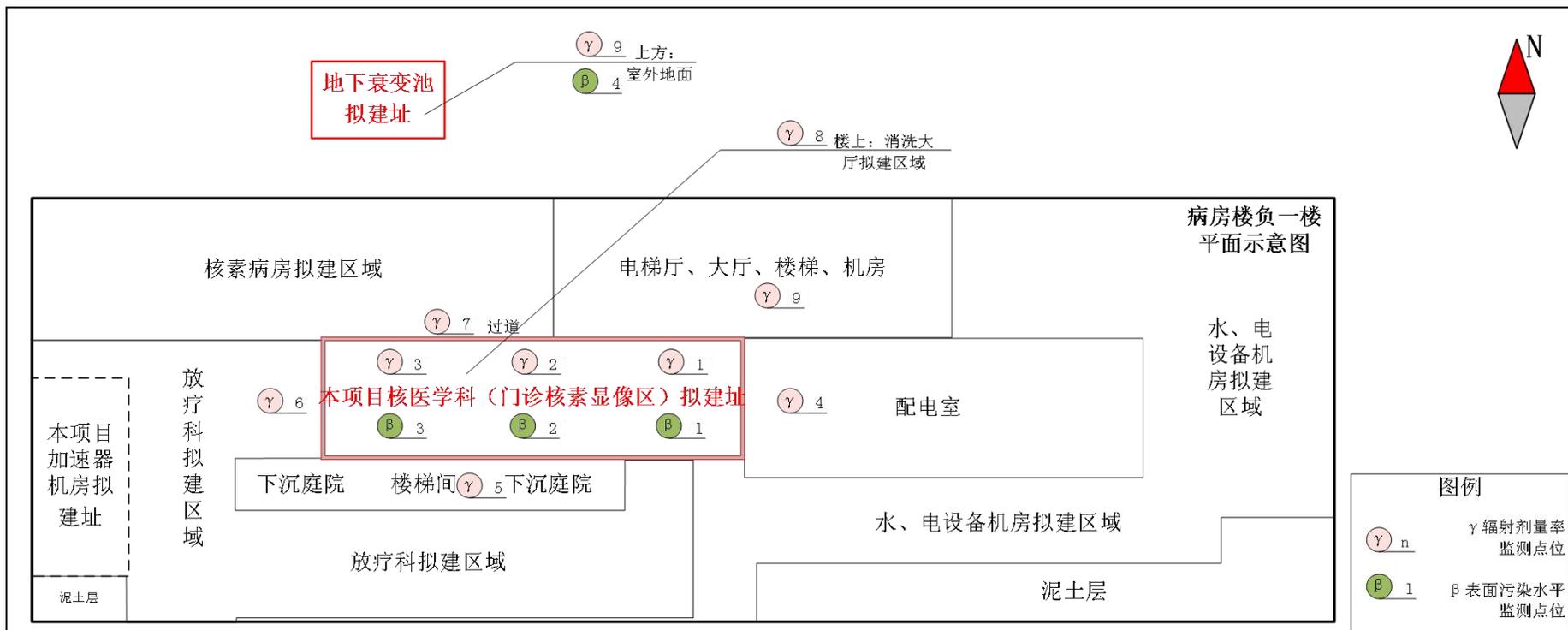


图 8-37 响水县人民医院病房楼核医学科门诊核素显像场所拟建址及其周围环境 γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平监测点位示意图

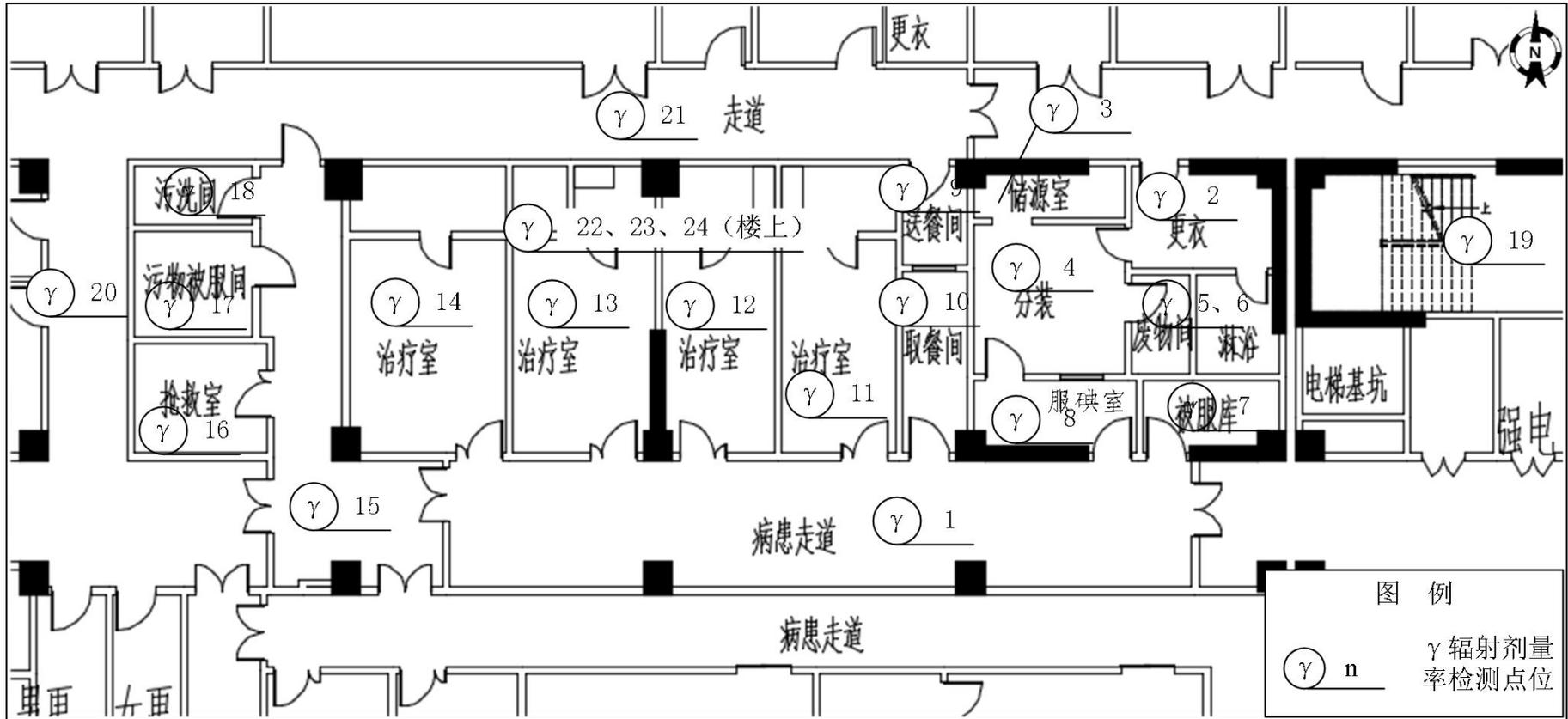


图 8-38 响水县人民医院病房楼核医学科治疗区拟建址及其周围环境γ辐射剂量率监测点位示意图

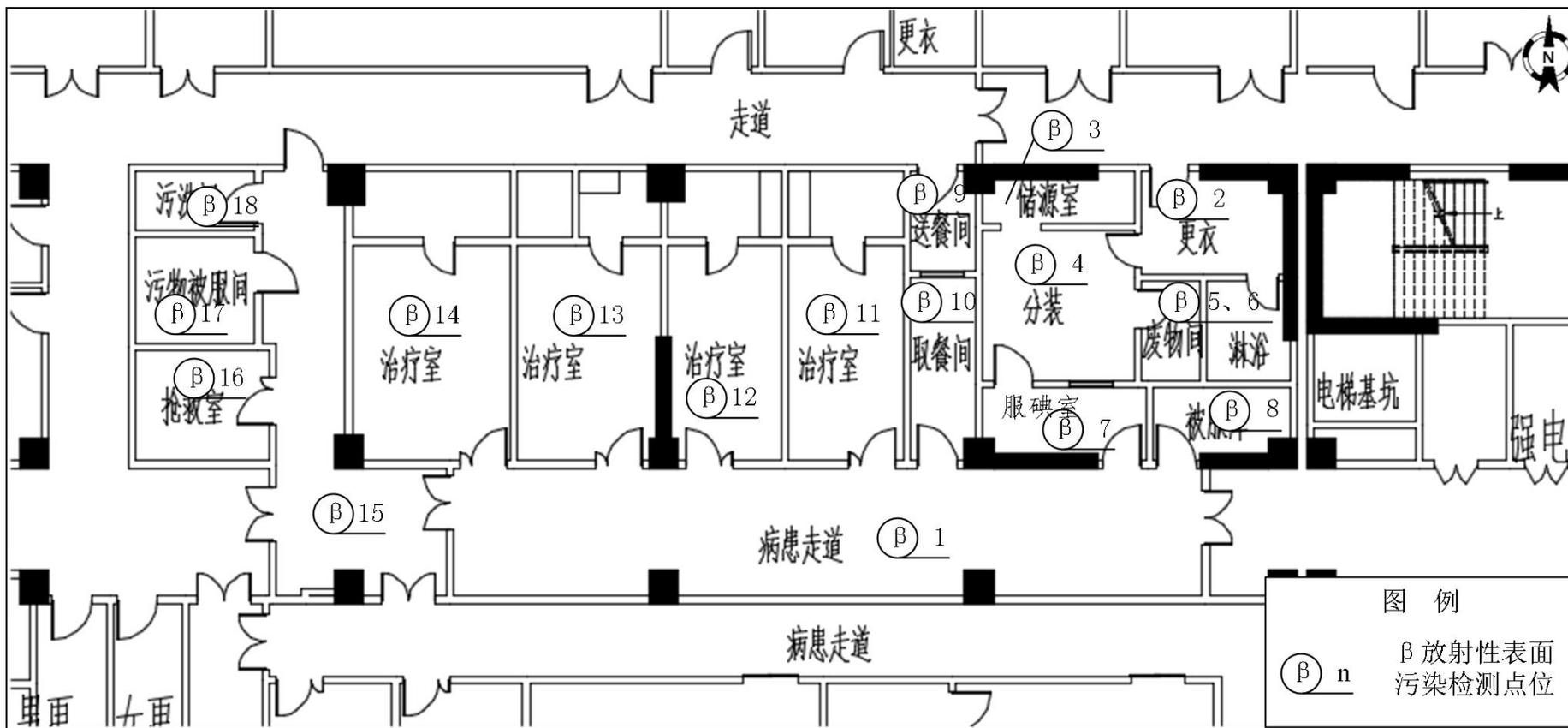


图 8-39 响水县人民医院病房楼核医学科治疗区拟建址及其周围环境β表面污染水平监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

响水县人民医院拟在新院区病房楼负一楼放疗科新建 2 座直线加速器机房及配套设施用房并配置 2 台医用直线加速器（型号未定，X 射线能量均为 6、10MV，电子线能量均 $\leq 22\text{MeV}$ ，属 II 类射线装置），用于开展放射治疗；拟在放疗科新建 1 座 CT 模拟定位机机房并配备 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置）用于模拟定位；拟在放疗科新建 1 座模拟定位机机房，并配备 1 台模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置），用于模拟定位；拟在病房楼负一楼新建核医学科，于诊断区新增 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置）配合使用放射性核素 ^{18}F 开展核素显像诊断，新增 1 台 SPECT/CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置）配合使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核素显像诊断，新增使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定；于治疗区使用 ^{131}I 开展甲亢、甲癌治疗；拟在病房楼三楼新建 2 座 DSA 机房（4#手术室、5#手术室）并分别配备 1 台 DSA（型号均未定，最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1000mA，属 II 类射线装置），用于开展医疗诊断和介入治疗；拟在门诊医技楼一楼急诊科新建 1 座 DSA 机房，并搬迁 1 台 DSA（型号为 Optima CL 323i，最大管电压 150kV，最大管电流 800mA，属 II 类射线装置），用于开展医疗诊断和介入治疗；于病房楼三楼中心手术部新建 2 座 C 臂机机房（即 2#手术室、3#手术室），配备 2 台 C 臂机（型号未定，最大管电压 110kV，最大管电流 20mA）和 1 台移动式 G 臂机（型号未定，最大管电压 110kV，最大管电流 20mA）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 64 排 CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座数字胃肠机机房，搬迁 1 台数字胃肠机（型号为 PT800，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA）；于门诊楼一楼影像科新建 2 座 CT 机房（即 CT 机房 1、CT 机房 2），分别配备 1 台 64 排 CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）和 1 台 256 排 CT（型号未定，最大

管电压 140kV，最大管电流 1000mA)；于门诊楼一楼影像科新建 1 座乳腺钼靶机房，搬迁 1 台乳腺钼靶机（型号为 Senographe Essential，最大管电压 49kV，最大管电流 500mA)；于门诊楼一楼影像科新建 1 座数字胃肠机机房，搬迁 1 台数字胃肠机（型号为 PT800，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA)，于门诊楼一楼影像科新建 1 座口腔 CT 机房，配备 1 台口腔 CT(型号未定，最大管电压 110kV，最大管电流 10mA)；于门诊楼一楼影像科新建全景口腔机房，配备 1 台全景口腔机（型号未定，最大管电压 110kV，最大管电流 10mA)；于门诊楼一楼影像科新建骨密度机房，配备 1 台骨密度仪（型号未定，最大管电压 110kV，最大管电流 10mA)；于门诊楼三楼口腔科新建 1 座牙片机房，配备 1 台牙片机（型号未定，最大管电压 110kV，最大管电流 10mA)；于门诊楼四楼体检中心新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 64 排 CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA)；于门诊楼四层体检中心新建 1 座 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA)；于门诊楼四层体检中心新建 1 座骨密度机房，配备 1 台骨密度仪(型号未定，最大管电压 110kV，最大管电流 10mA)；于传染楼一楼发热门诊新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 16 排 CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA)。

(一) 放疗科项目

1、医用直线加速器

响水县人民医院拟在新院区病房楼负一楼放疗科新建 2 座加速器机房，配置 2 台医用直线加速器（型号未定，X 射线能量均为 6、10MV，电子线能量均 $\leq 22\text{MeV}$ ），用于开展放射治疗。常见医用直线加速器外观见图 9-1，病房楼负一楼放疗科的医用电子直线加速器机房平面布置及周围环境示意图详见附图 6。



图 9-1 常见医用直线加速器外观示意图

电子直线加速器至少要包括，一个加速场所（加速管），一个大功率微波源和波导系统，控制系统，射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。医用电子直线加速器系统结构示意图见图 9-2。

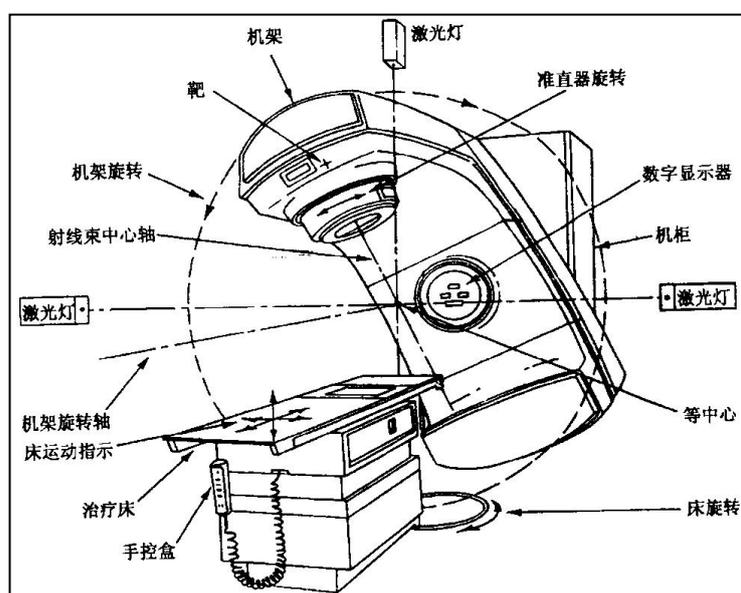


图 9-2 医用电子直线加速器基本结构示意图

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

表 9-1 本项目医用电子直线加速器技术参数情况一览表

型 号	未定
数 量	2 台
位 置	病房楼负一楼西侧放疗科 1#、2#加速器机房
主要技术指标	X 射线能量：6、10MV 电子线能量：≤22MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m

等中心点至机房地坪的高度	1.25m
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	2400cGy·m ² /min (6MV, 3F 束流模式) 600cGy·m ² /min (10MV)
距靶 1m 处电子线最大剂量率	2200cGy·m ² /min (高剂量率模式)
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
用途	放射治疗

2、模拟定位机

响水县人民医院拟于病房楼负一楼放疗科新增 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA）和 1 台模拟定位机（型号未定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA）用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。常见的 CT 模拟定位机、模拟定位机外观如图 9-3 所示。



a. CT 模拟定位机



b. 模拟定位机

图 9-3 常见模拟定位机外观示意图

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

模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用直线加速器一样，因此它能准确地模拟医用直线加速器的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束

器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

本项目拟配备的模拟定位机主要技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目模拟定位机技术参数情况一览表

项目	技术参数	
设备	CT 模拟定位机	模拟定位机
型号	未定	未定
位置	病房楼负一楼放疗科 CT 模拟定位机机房	病房楼负一楼放疗科 模拟定位机机房
额定管电压	≤140kV	≤140kV
额定管电流	≤1000mA	≤1000mA

(二) 核医学科项目

响水县人民医院在病房楼负一楼新建核医学科，诊断区新增 1 台 PET/CT 配合使用 ^{18}F 、新增 1 台 SPECT/CT 配合使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核素显像诊断、新增使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定；治疗区新增使用 ^{131}I 开展甲亢治疗、甲癌治疗。

1、PET/CT 诊断项目

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

PET/CT 结构示意图见图 9-4。

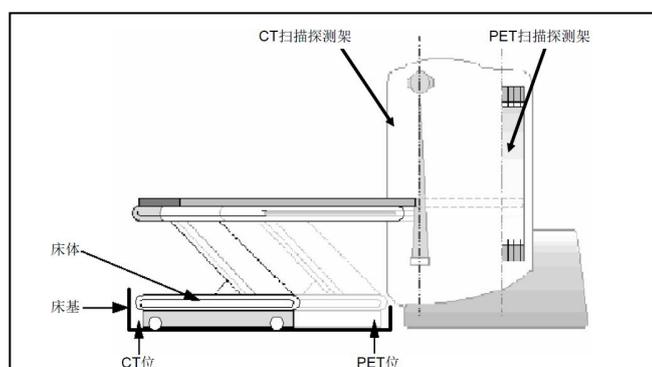


图 9-4 PET/CT 结构示意图

本项目拟新增的 1 台 PET/CT 主要技术参数如下：

表 9-3 PET/CT 主要技术参数一览表

项 目	参 数
型号	未定
位置	病房楼负一楼核医学科 PET/CT 机房
额定管电压	$\leq 140\text{kV}$
额定管电流	$\leq 1000\text{mA}$
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	$\geq 60\text{cm}$
用途	显像

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

2、SPECT/CT 诊断项目

SPECT/CT 的基本结构分 3 部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT/CT 将功能显像的 SPECT 与解剖显像的 CT 图像有机融合，提高信噪比，在获取衰减校正后的核医学影像同时与同机 CT 图像融合，实现 SPECT 的高敏感性优势及 CT 的解剖准确性优势互补，既可显示病变的血液及功能改变，又可显示其解剖学影像，有效提高病灶的检出能力和定位能力，提高疾病诊断的准确率从而大大提高了诊断的效能。常见的 SPECT/CT 外观图见图 9-5。



图 9-5 常见 SPECT/CT 外观示意图

本项目拟新增的 1 台 SPECT/CT 主要设备技术参数见表 9-4。

表 9-4 核医学科 SPECT/CT 主要设备技术参数

项 目	参 数
型号	未定
位置	病房楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
用途	显像

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

3、甲状腺吸碘率测定项目

本项目使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定，单人次给药量一般为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (0.01mCi)。开展甲状腺吸碘率测定患者无需住院，患者在给药后，按照医嘱时间点到摄碘率检查室进行检测，其余时间患者可自行离开。

本项目核医学科诊断区使用放射性同位素 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断、使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 显像诊断、使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定，根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量，详见表 9-5。

表 9-5 本项目新建核医学科诊断区放射性核素使用情况一览表

非密封放射性物质		
^{18}F	日最大用量	平均单次使用量 10mCi×日最高峰 20 人= $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$
	年总用量	日最大用量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq} \times 250$ 工作日= $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$
	日最大用量	日最大备药量： $7.4 \times 10^9 \times 4 = 2.96 \times 10^{10}$
	年总用量	年最大备药量： $2.96 \times 10^{10} \times 250$ 工作日= $7.40 \times 10^{12} \text{Bq}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	日最大用量	单次使用平均量 20mCi×日最高峰 20 人= $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$
	年总用量	日最大用量 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq} \times 250$ 工作日= $3.70 \times 10^{12} \text{Bq}$
^{131}I	日最大用量	单次使用平均量 0.01mCi×日最高峰 15 人= $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$

年总用量

日最大用量 $5.55 \times 10^6 \text{Bq} \times 250 \text{ 工作日} = 1.39 \times 10^9 \text{Bq}$

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430号)：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”；同时查阅 GB 18871-2002、HJ 1188-2021 得到 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的毒性组别为“低毒”， ^{131}I 核素的毒性组别为“中毒”。根据医院提供的核素日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-6 和表 9-7。响水县人民医院核医学科诊断区所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-8。

表 9-6 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-7 操作方式与放射源状态修正因子

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

表 9-8 核医学科诊断区使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/ 毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
¹⁸ F	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 $(7.4 \times 10^9 \text{Bq}) \times 0.01$ (低毒) /10 (液态/ 很简单操作) = $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$
		源的贮存	日最大操作量 $(2.96 \times 10^{10} \text{Bq}) \times 0.01$ (低毒) /100 (液 态/源的贮存) = $2.96 \times 10^6 \text{Bq}$
^{99m} Tc	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 $(1.48 \times 10^{10} \text{Bq}) \times 0.01$ (低毒) /10 (液态 /很简单操作) = $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$
¹³¹ I	液态/中毒	简单操作	日最大操作量 $(5.55 \times 10^6 \text{Bq}) \times 0.1$ (中毒) /1 (液态/ 简单操作) = $5.55 \times 10^5 \text{Bq}$
合计			$2.57 \times 10^7 \text{Bq}$

注：核医学诊断项目单日人数较多时，将分上下午两次订购药物并分装，¹⁸F手套箱内药物最多有 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ (10人备药量)，全天累计备药量 $2.96 \times 10^{10} \text{Bq}$ (20人备药量)。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-8 计算结果可知本项目核医学科诊断区工作场所日等效最大操作量为 $2.57 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于“ $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ ”Bq 范围，确定本次新增的核医学科诊断区工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

4、甲亢、甲癌治疗项目

本项目使用 ¹³¹I 开展甲亢、甲癌治疗，甲亢治疗患者无需住院，患者服药后即可离开；甲癌患者服药后需住院观察，住院周期一般为 3~5 天。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量，详见表 9-9。

表 9-9 本项目新建核医学科治疗区放射性核素使用情况一览表

非密封放射性物质		
¹³¹ I (甲癌治疗)	日最大用量	单次使用平均量 150mCi×日最高峰 4 人= $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$
	年总用量	单次使用平均量 150mCi×年最多 200 人= $1.11 \times 10^{12} \text{Bq}$
¹³¹ I (甲亢治疗)	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 10 人= $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$
	年总用量	日最大用量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq} \times$ 年工作 250 天= $9.25 \times 10^{11} \text{Bq}$
合计	日最大用量	$2.22 \times 10^{10} \text{Bq} + 3.7 \times 10^9 \text{Bq} = 2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$
	年总用量	$1.11 \times 10^{12} \text{Bq} + 9.25 \times 10^{11} \text{Bq} = 2.035 \times 10^{12} \text{Bq}$

治疗区放射性核素 ¹³¹I 的日等效操作量计算方法与诊断区一致，其毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-6 和表 9-7。医院核医学科治疗区所使用

的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-10。

表 9-10 核医学科治疗区使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
^{131}I	液态/中毒	简单操作	日最大操作量 ($2.59 \times 10^{10}\text{Bq}$) $\times 0.1$ (中毒) / 1 (液态/简单操作) = $2.59 \times 10^9\text{Bq}$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 非密封源工作场所的分级原则, 结合表 9-10 计算结果可知本项目核医学科治疗区工作场所日等效最大操作量为 $2.59 \times 10^9\text{Bq}$, 属于 “ $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ ” Bq 范围, 确定本次新增的核医学科治疗区工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

(三) DSA 项目

响水县人民医院拟在病房楼三楼新建 2 座 DSA 机房 (4#手术室、5#手术室), 并配备 2 台 DSA (新购, 型号未定, 最大管电压均为 125kV, 最大管电流 1000mA); 拟在门诊医技楼一楼急诊科新建 1 座 DSA 机房, 并将原位于灌河中路 94 号院区医技楼一楼放射科的 1 台 DSA (型号为: Optima CL 323i, 最大管电压 150kV, 最大管电流 800mA) 搬迁至新机房。

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

常见 DSA 外观如图 9-6 所示, DSA 主要设备技术参数见表 9-11。



图 9-6 常见 DSA 外观示意图

表 9-11 本项目 DSA 设备主要技术参数

指 标	技 术 参 数		
型 号	Optima CL 323i	未定	未定
使用场所	门诊医技楼一楼急诊科 DSA 室	住院楼三楼 4#手术室	住院楼三楼 5#手术室
设备来源	原有搬迁	计划采购	计划采购
球管类型	单管头	单管头	单管头
额定管电压	150kV	≤125kV	≤125kV
额定管电流	800mA	≤1000mA	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	≥2.5mmAl	≥2.5mmAl	≥2.5mmAl
X 射线球管附加滤过	0.5mmCu	0.5mmCu	0.5mmCu
主射线方向	向上	向上	向上
焦皮距	≥45cm	≥45cm	≥45cm
照射野	最大：30cm×30cm 最小：12cm×12cm	最大：30cm×30cm 最小：12cm×12cm	最大：30cm×30cm 最小：12cm×12cm

配套设备：

本项目 DSA 配套设备配置情况见表 9-12。

表 9-12 每台 DSA 配套设备一览表

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

(四) 其他医学影像诊断项目

本项目其他医学影像诊断项目配备的 X 射线装置其基本结构和系统组成是一致的，主要由电源系统、控制系统、X 射线发生系统、影像接收系统以及其他辅助装置构成。其系统组成如图 9-7 所示。

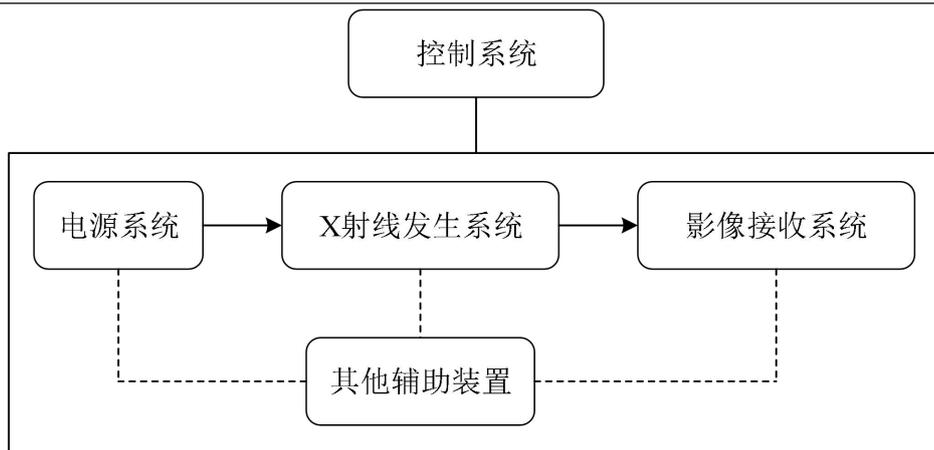


图 9-7 医用 X 射线装置基本系统组成示意图

二、工作原理及工作流程

(一) 放疗科项目

• 医用直线加速器

1、工作原理

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

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

当医用电子直线加速器加上高压后，即产生多种类型的辐射，可大致分为瞬时辐射和剩余辐射。瞬时辐射是指被加速的电子束、以及其与靶材料相互作用产生的高能 X 射线，此外，依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），当电子束打靶能量 $>10\text{MeV}$ 时，其韧致辐射产生的高能 X 射线能量还将与直线加速器的高 Z 重金属靶材产生 (γ, n) 反应，产生中子。直线加速器产生的高能电子束、高能 X 射线和中子，可能会对工作人员和公众产生辐射危害。

剩余辐射是指由于中子活化使加速器及周围环境产生短寿命的感生放射性核素，

包括固态感生放射性和气态感生放射性。电子直线加速器中产生的感生放射性从物理机制上可分为直接和间接两个过程。直接过程为韧致辐射光子与加速器部件发生的光核反应；间接过程则主要为光核反应所释放的光中子与加速器部件发生的中子俘获反应，即中子活化。由中子活化产生的放射性核素大多为丰中子核素，其衰变方式多为 β 衰变。一般停机数小时后，感生放射性即可达到可忽略的水平。医用电子直线加速器系统示意图见图 9-8。

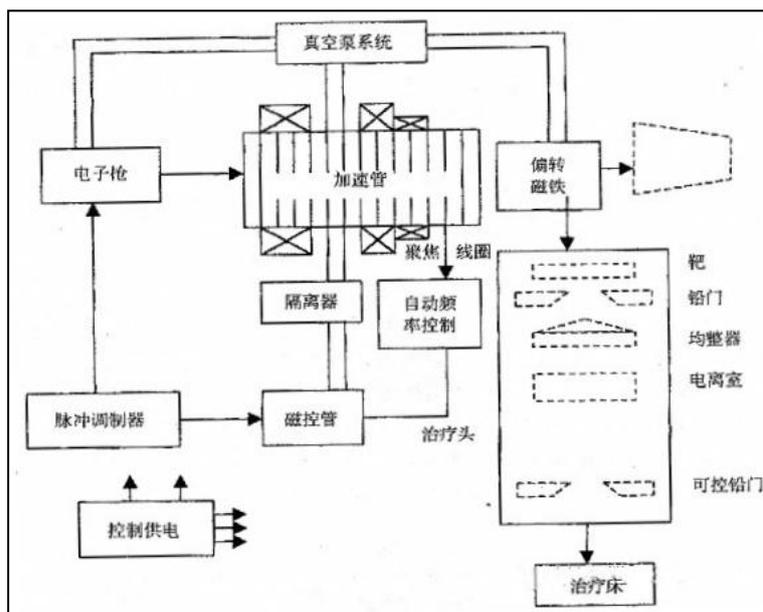


图 9-8 医用直线加速器系统示意图

2、工作流程

医用直线加速器工作流程及产污环节分析见图 9-9，其工作流程如下：

- 1) 患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，根据病灶的部位确定定位体位，通过 CT 模拟定位机或模拟定位机扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小；
- 2) 放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；
- 3) 放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；
- 4) 技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；
- 5) 技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程，会产生 X 射线、电子线，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；
- 6) 治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。

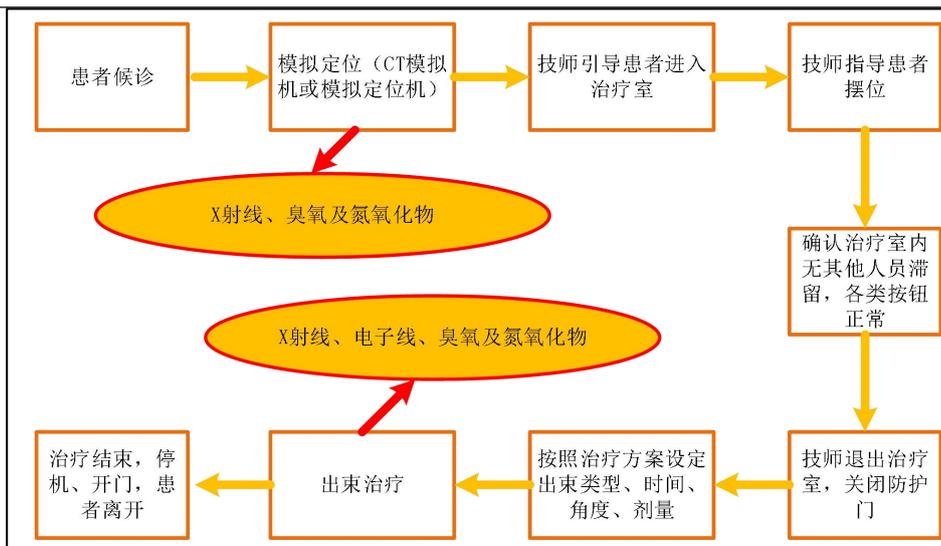


图 9-9 医用电子直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

• CT 模拟定位机、模拟定位机

1、工作原理

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

CT 模拟定位机、模拟定位机等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9-10 所示。

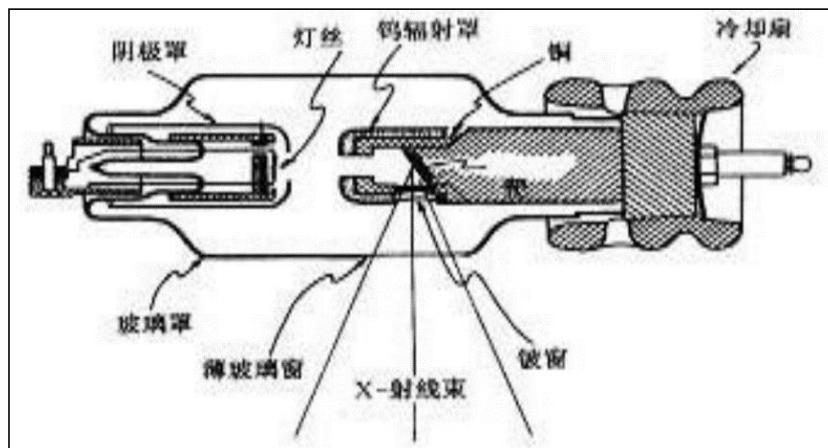


图 9-10 X 射线管基本结构示意图

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

2、工作流程

患者经医生诊断后，预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房。工作人员检查无误后，即开启模拟定位机进行拍片/模拟定位。检查结束后，受检者离开机房。

CT 模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-11。

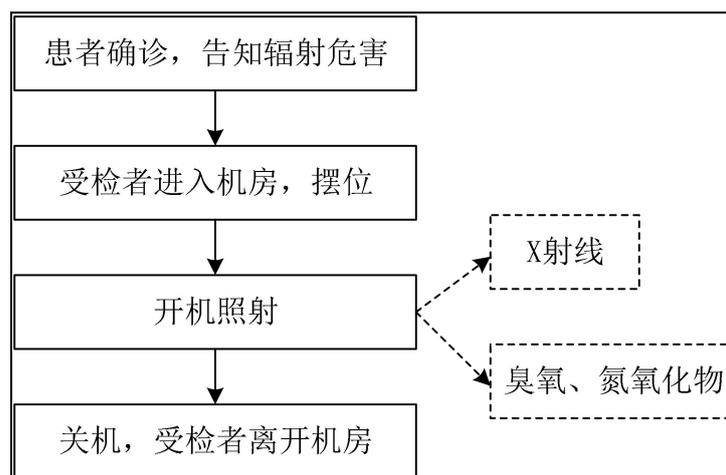


图 9-11 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

(二) 核医学科项目

1、PET/CT 诊断项目

(1) 工作原理

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET (Positron Emission Tomography) 和 CT (Computer Tomography) 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子

示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

常见 PET/CT 产品如图 9-12 所示。

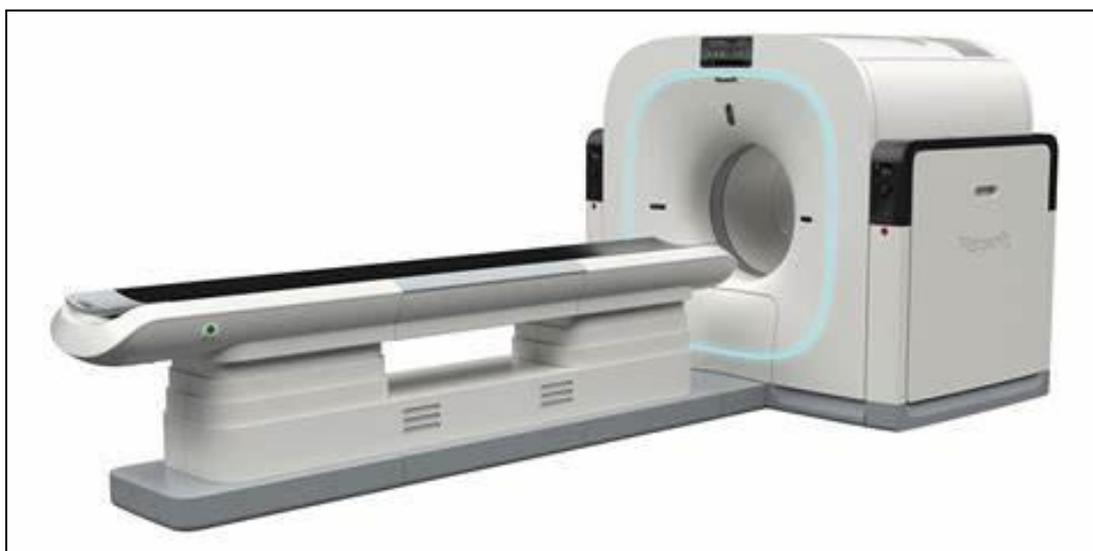


图 9-12 常见 PET/CT 产品外观示意图

(2) 工作流程及产污环节

响水县人民医院新建核医学科项目所使用的 ^{18}F 放射性药物拟向制药公司订购获得，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向提前向制药公司预订，

制药公司在患者就诊前将药物送到核医学科的储源室内，核医学科指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室铅手套箱内。一般情况下 ^{18}F 药物会当天用完，偶有备药量剩余时，药物存放于手套箱中，下次制药公司配送药物时将剩余的药物回收。

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

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

①接收患者，开具 PET/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害，并与患者预约诊断的日期；

②医生根据病情确定使用核素的剂量，提前向制药公司订购药物；

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

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

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

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

2、SPECT/CT 诊断项目

(1) 工作原理

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

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过 SPECT/CT 图像融合技术，可以将 SPECT 灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与 CT 提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT 提供的图像数据还可用于 SPECT 的衰减校正，有效提高 SPECT 的图像质量。

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

(2) 工作流程及产污环节

医院核医学科 SPECT/CT 诊断项目使用的 ^{99m}Tc 放射性药物购自专业供货商，其

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

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

核医学科PET/CT、SPECT/CT诊断项目工作流程及产污环节分析见图9-13。

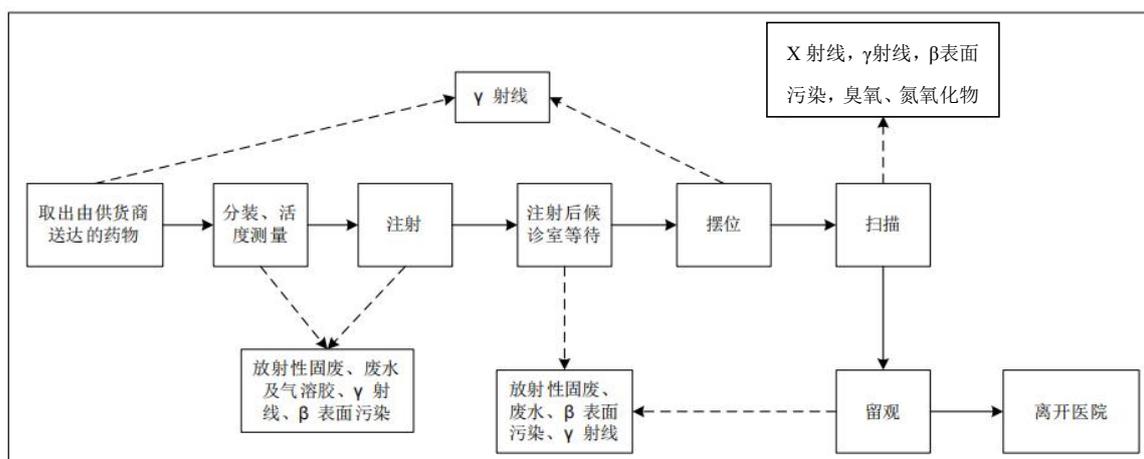


图9-13 PET/CT、SPECT/CT 工作流程及产污环节分析示意图

3、甲状腺吸碘率测定项目

(1) 工作原理

碘元素是甲状腺合成甲状腺激素的重要原料之一，而检查中的用药¹³¹I与人所需的稳定性的碘具有相同的生化性质和生物学特性。患者口服¹³¹I药物后，¹³¹I可被甲状腺滤泡上皮细胞高度选择性摄取、浓聚。此时，在体外利用甲状腺功能仪探测甲状腺¹³¹I发射的γ射线，获得不同时间甲状腺部位的放射性计数率，根据甲状腺摄取¹³¹I的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。甲状腺吸碘率测定一般作为甲亢治

疗、甲亢治疗的前置工作，医护人员通过甲状腺吸碘率测定来判定甲状腺的功能状态，从而计算甲亢治疗、甲癌治疗所需的药量，因此甲状腺吸碘率测定是甲亢、甲癌治疗的重要依据。

(2) 工作流程及产污环节

医院核医学科甲状腺吸碘率测定项目使用的 ^{131}I 放射性药物购自专业供货商，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学科诊断区分装室，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室专用手套箱内，当天用完。 ^{131}I 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装。

甲状腺吸碘率测定单人次给药量一般为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (0.01mCi)，工作人员将药物分装到一次性口杯内，转移到摄碘率检查室，交予患者口服药物，一次性口杯作为放射性固体废物放入专用废物铅桶内。患者口服药物后按照医嘱时间节点，到摄碘率检查室接受检测，其余时间患者可自行离开，不产生放射性废水。

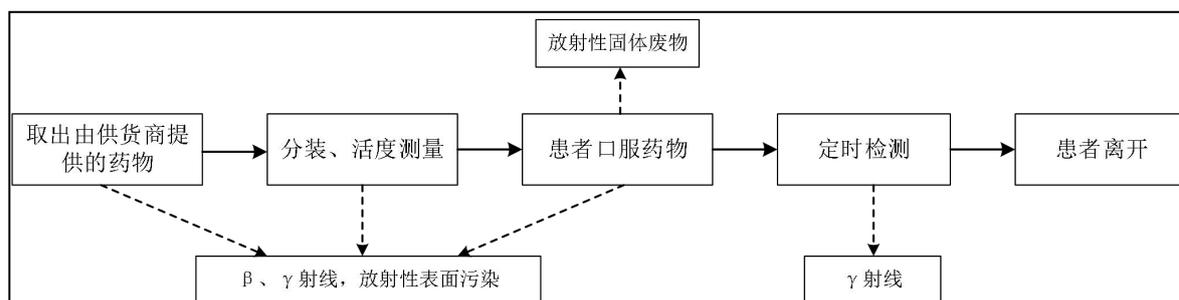


图 9-14 甲状腺吸碘率测定工作流程及产污环节示意图

4、甲亢、甲癌治疗项目

(1) 工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取碘元素的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 7.6 天。患者服用 ^{131}I 药物后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为氙-131 (^{131}Xe) 时放射出 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织（例如甲状旁腺、喉返神经等）的辐射损伤。因此， ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

手术+¹³¹I+甲状腺激素替代治疗是分化型甲状腺癌的目前常用的综合治疗手段。甲癌治疗是利用甲状腺对碘的高度选择性摄取能力，¹³¹I可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，¹³¹I衰变时发射出射程很短的β射线和能量跃迁时发出的γ射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的。肿瘤细胞增殖快，摄入¹³¹I更多，因此¹³¹I放射性在杀灭肿瘤细胞的同时对正常细胞损伤作用小，从而达到治疗目的。手术是切除肿瘤的重要方式，¹³¹I治疗是清理残留癌细胞及转移灶、防止复发的重要手段，对于术后存在甲状腺癌复发高风险的病人需考虑¹³¹I治疗。

(2) 工作流程及产污环节

医院核医学科甲亢、甲癌治疗项目使用的¹³¹I放射性药物购自专业供货商，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学科治疗区分装室，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室专用手套箱内，当天用完。¹³¹I到货时为装入铅罐内的整罐药液，医护人员使用自动分装仪按患者所需活度进行分装。分装好药物后，工作人员通过广播系统呼叫患者，引导患者至服碘室，药物装在一次性口杯内，交予患者口服。一次性口杯作为放射性固体废物存入专用废物铅桶内。

甲亢治疗患者服药后短暂留观即可自行离开，甲癌患者服药后向西到达治疗室住院，不得随意走动。甲癌患者住院期间，被服由医院统一提供，餐饮由医院统一配送。各治疗室内均设有独立卫生间，患者排泄物由专用下水管道汇集到衰变池中暂存；放射性固体废物统一收集暂存到废弃物间内暂存。患者治疗周期结束后，需按照 HJ 1188-2021 中 4.5.2 要求对患者体表 1m 处的周围剂量当量率进行检测，结果不大于 25μSv/h 方可出院。

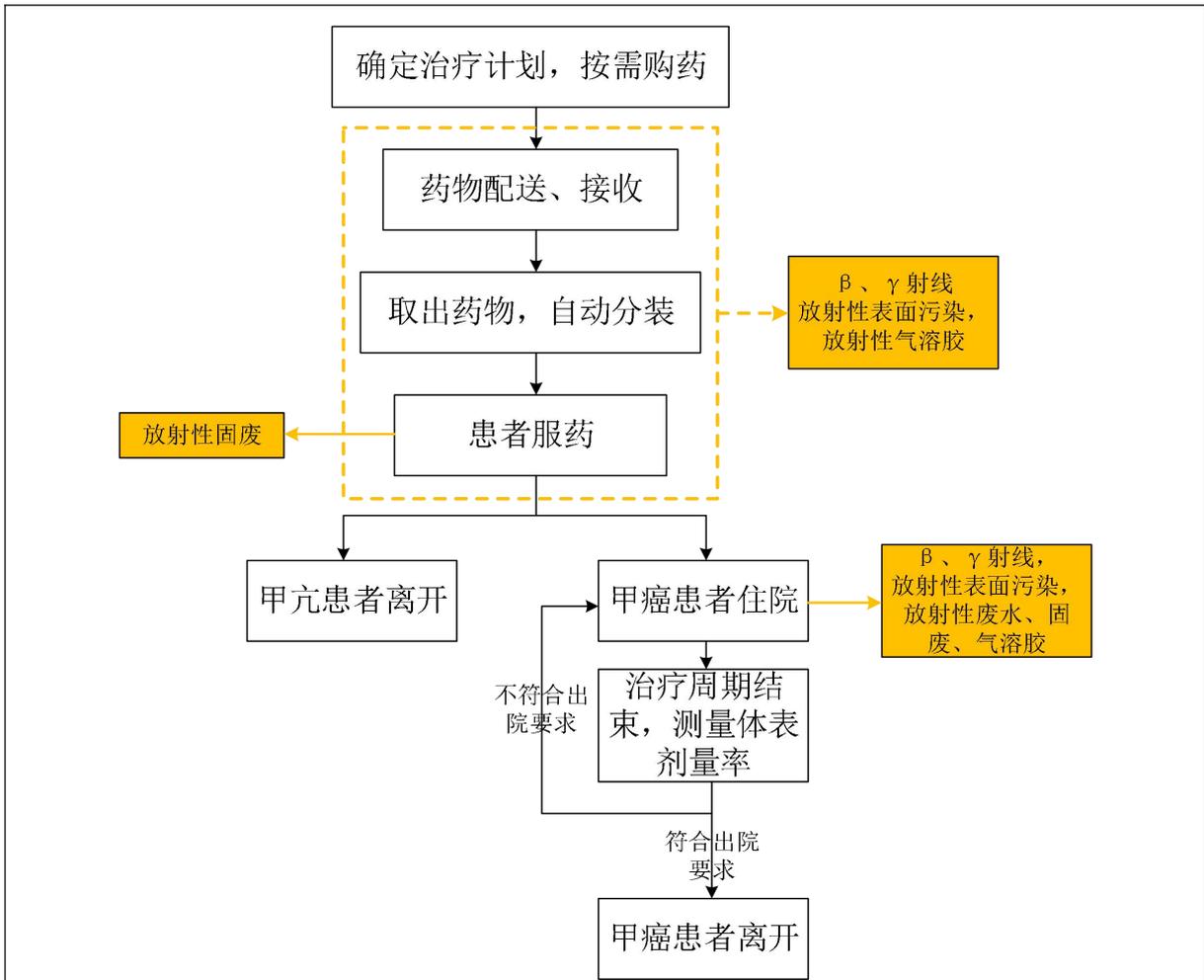


图 9-15 甲亢、甲癌治疗工作流程及产污环节示意图

5、核医学科人流、物流路径规划

本次新建核医学科工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。核医学科工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见图 9-19。

医护人员路径：

①核医学科诊断区核素操作人员乘电梯到达负一楼电梯厅，经核医学候诊大厅进入核医学科，向南到达诊室，向西通过淋浴、更衣室到达储源室、分装室、注射室等，工作完成后原路返回。

②核医学科诊断区 PET/CT、SPECT/CT 操作人员乘电梯到达负一楼电梯厅，经核医学候诊大厅进入核医学科，沿医护通道先向南再向西控制室，进行扫描操作，工作完成后原路返回。

③核医学科治疗区核素操作人员乘电梯到达负一楼电梯厅，沿过道向西到达治疗区入口，经更衣室、淋浴间进入储源室、分装室等工作场所，工作完成后原路返回。

患者路径：

①核医学科诊断区（ ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）患者乘电梯到达负一楼电梯厅，到核医学科候诊大厅候诊，接受宣讲和告知；然后到候诊大厅南侧诊室进行埋针，埋针完成后从候诊大厅西侧入口进入核医学科；根据诊断计划决定是否需要运动，然后向西到达注射室接受药物；接受给药后向西到达相应候诊室候诊，等待叫号；叫号后向西到达 PET/CT 扫描室或 SPECT/CT 扫描室进行扫描；扫描结束后向西到达相应留观室，确认患者无异常后向西离开核医学科。

②核医学科诊断区（ ^{131}I ）甲状腺吸碘率测定患者乘电梯到达负一楼电梯厅，到核医学科候诊大厅候诊，接受宣讲和告知；然后到摄碘率检查室服药，服药后按照医嘱时间到摄碘率检查室做检测，结束后原路返回。

③核医学科治疗区患者乘电梯到达负一楼电梯厅，到核医学科候诊大厅候诊，接受宣讲和告知。然后出候诊大厅北侧门，沿过道向西进入治疗区，在服碘室服药。甲亢患者服药后可原路返回，甲癌患者服药后向西进入治疗室住院。住院期间，患者在治疗室内休息，不得随意走动。取餐时，按照医护人员广播引导，每次 1 名患者到取餐间取餐，带回各自治疗室用餐。治疗结束后，甲癌患者沿治疗区过道向西离开核医学。

放射性药物路径：

①核医学诊断区 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性药物由厂商在患者受检前，沿核素操作人员路线送达储源室，交接登记后，药物暂存于分装室手套箱中，铅罐原路返回。

②核医学治疗区 ^{131}I 放射性药物由厂商在患者治疗前，沿核素操作人员路线送达储源室，交接登记后，药物暂存于分装室手套箱中，铅罐原路返回。

废物路径：

①每日核医学诊断项目患者离开后，产生的放射性废物从各房间收集后，经分装室集中到废物间中，分别标记、分开贮存，含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的废物在废物间的铅桶内自然衰变 30 天以上、含 ^{131}I 的废物在废物间的铅桶内自然衰变 180 天以上，从核医学科患者走道出口错峰送出。

②核医学治疗区患者离开后，产生的放射性废弃物从各房间收集，经分装室集中

到废物间的铅桶内，暂存衰变超过 180 天后，从核医学科患者走道出口错峰送出。

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

本次核医学诊断项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与患者有各自独立的通道；注射室与检查室分开，给药后候诊室内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者在核医学科工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉而受到额外的辐射影响。工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

本项目乙级非密封放射性物质工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）要求。

（三）DSA 项目

1、工作原理

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

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

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全。通过数字减影血管造影系统处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。DSA 系统结构图见图 9-16。

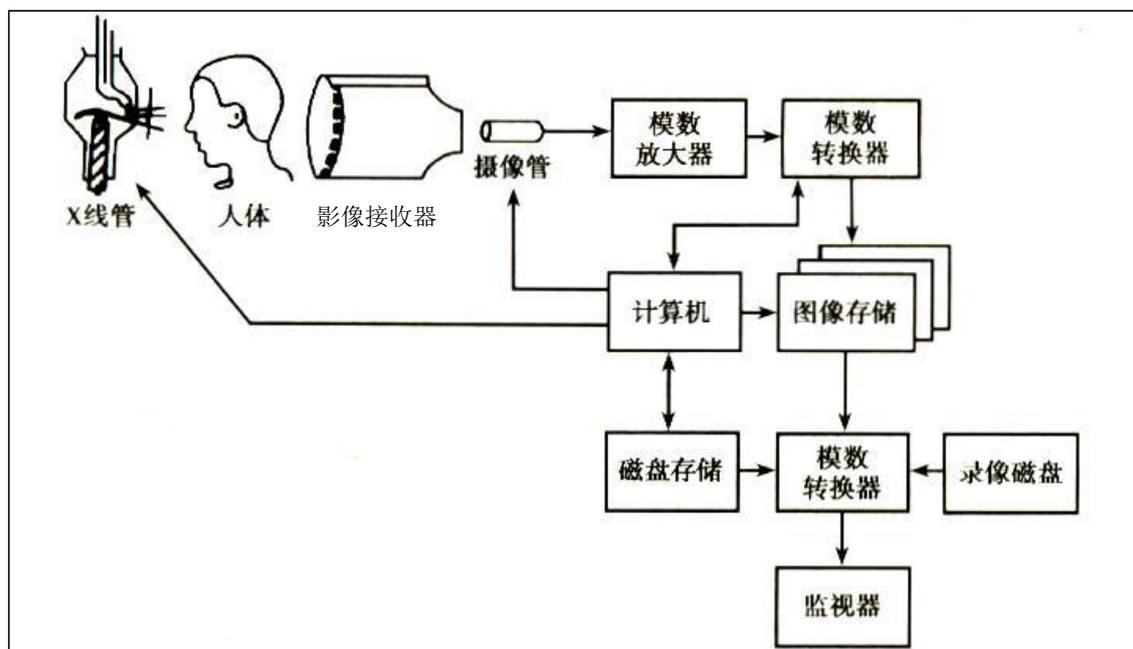


图 9-16 DSA 系统结构图

2、工作流程及产污环节分析

患者在进行 DSA 诊断和在 DSA 引导下进行介入治疗时，先仰卧进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝、扩张管及外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。本项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况：血管减影检查。操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室

内对病人进行曝光)，医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

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

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

本项目 DSA 工作流程及产污环节如下图 9-17：

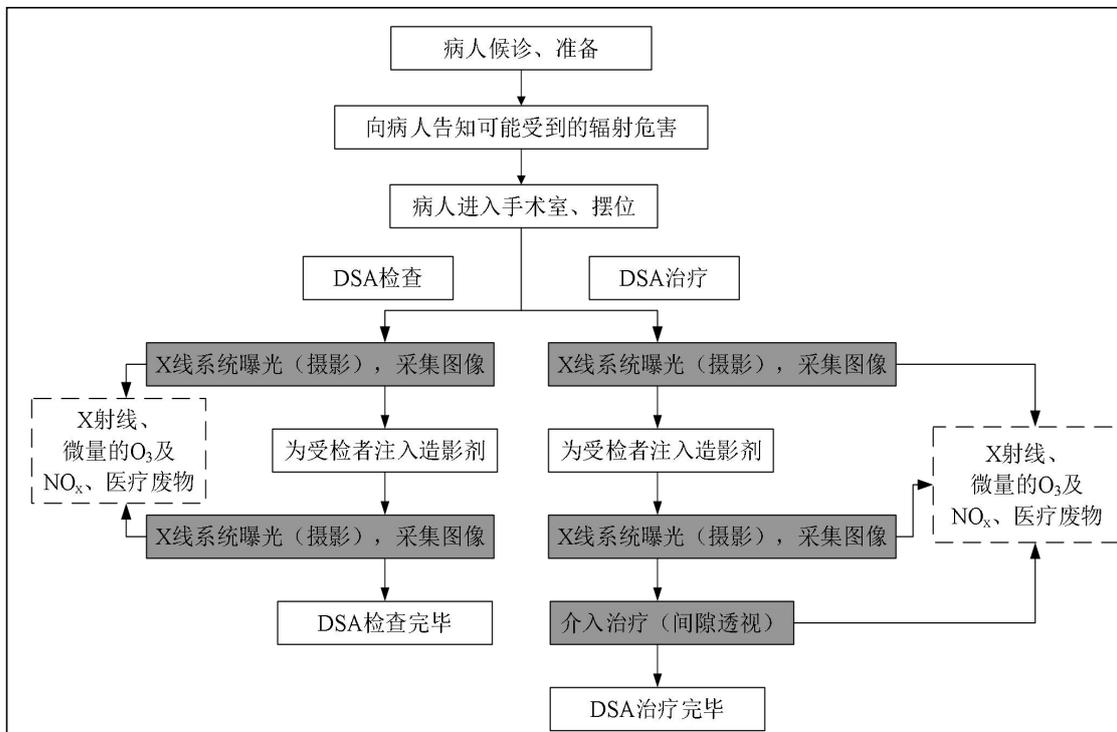


图 9-17 本项目 DSA 工作流程及产污环节示意图

（四）其他医学影像诊断项目

1、工作原理

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

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

2、工作流程及产污环节分析

医学影像诊断基本流程如下：

- ①检查正当性判断，预约登记。
- ②确定患者所需进行检查的部位和范围，进行摆位。
- ③进行 X 射线影像诊断检查，隔室操作；此环节 X 射线装置出束时会产生 X 射线外照射，同时 X 射线装置机房内空气被 X 射线电离产生少量臭氧及氮氧化物。
- ④诊断结束，患者离开。

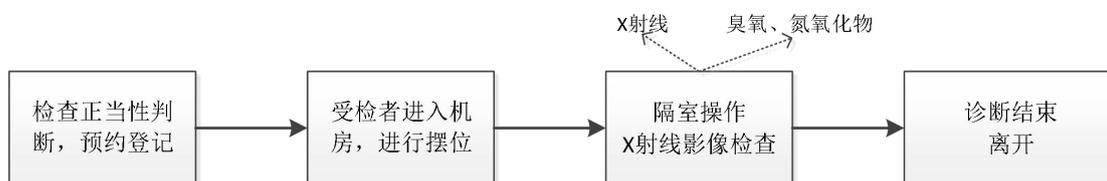


图 9-18 其他医学影像诊断项目工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、放疗科项目

• 医用直线加速器

(一) 放射性污染

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

医院拟新增的医用电子直线加速器X射线最大能量为10MV，由于X射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

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

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

3、中子：本项目拟配备的医用直线加速器的X射线能量为6、10MV，其中子及其影响可忽略。

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

(二) 非放射性污染

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

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

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

• CT 模拟定位机、模拟定位机

(一) 放射性污染

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

CT 模拟定位机、模拟定位机在工作状态下均会发出 X 射线，拟配置的 1 台 CT 模拟定位机最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA，拟配置的 1 台模拟定位机最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA，产生的 X 射线均会对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

(二) 非放射性污染

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

②废水：主要是工作人员产生的生活污水，经医院污水处理系统处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

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

二、核医学科项目

(一) 放射性污染

1、辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线能量最大为 140kV；PET 显像检查用 ^{18}F 放射性核素为 β^+ 衰变，在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中会产生能量约为 0.63MeV 的 β 射线，衰变时同时伴随发射能量为 0.511MeV 的 γ 射线。SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线能量最大为 140kV；SPECT 显像检查用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生能量为 0.140MeV 的 γ 射线；使用 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗、甲癌治疗时， ^{131}I 会产生 0.602MeV 的 β 射线，同时伴随发射能量为 0.284MeV、0.365MeV、0.637MeV 的 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

本项目核医学科拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-11。

表 9-11 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数(裸源) * ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303
^{131}I	8.02d	β^-	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595

*: 该数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)。

PET/CT、SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，其贯穿能力远弱于放射性核素发出的 γ 射线，在 γ 射线得到充分屏蔽的条件下，CT 发出的 X 射线也能够得到足够的屏蔽。 β 射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，其对周围环境的辐射影响较放射性核素可忽略不计。而放射性核素衰变过程中产生的 γ 射线穿透能力较强，会对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。故核医学科主要考虑放射性核素发出的 γ 射线的辐射影响。

2、放射性废气

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，引至屋顶经活性炭吸附过滤后排放；整个核医学科工作场所均拟设置新风系统，保证工作场所内空气循环。

3、放射性废水

体内含有放射性核素的患者排泄物等，工作场所清洗废水等。诊断区 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为 100L，甲状腺吸碘率测定不产生放射性废水，则诊断区放射性废水排放量为 500L/d ($10\text{L}/\text{人}\times(20\text{人}/\text{d}+20\text{人}/\text{d})+100\text{L}/\text{d}$)。

治疗区甲亢治疗不生产放射性废水，甲癌治疗年住院患者总数为 200 人，住院周期为 3~5 天，取平均 4 天计算；每人每天废水产生量以 150L 计，主要来源于淋浴、排泄废水，故年产生放射性废水量为 120m³；甲癌治疗场所每周清洗一次，每次清洗废水最多为 100L，年工作 50 周，年产生放射性废水量为 5m³，则治疗区放射性废水

年产量合计为 125m³，平均月产量为 10.4m³。

4、放射性固体废物

¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I 放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、一次性口杯等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

本项目诊断区 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.8kg/d (0.02kg/人 × (20 人/d+20 人/d))，即 200kg/a，平均 16.7kg/月；甲状腺吸碘率测定项目年接诊量最大为 2700 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 54kg/a，平均 4.5kg/月。

本项目治疗区甲亢治疗项目年最大接诊量为 2500 人次，甲癌治疗项目年最大接诊量为 200 人次。甲亢治疗放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 50kg/a，平均 4.2kg/月；甲癌治疗放射性固体废物产量按 0.1kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 20kg/a，平均 1.7kg/月。

核医学科通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 20kg，其中诊断区、治疗区各产生约 10kg，分别暂存于诊断区废物间和治疗区废物间内。

(二) 非放射性污染

1、废气

PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房内的空气在γ射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2、废水

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

3、固体废物

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

三、DSA 项目

(一) 放射性污染

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

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

1、有用线束

本项目 DSA 的有用线束透射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。根据医院提供资料，当 DSA 运行管电压为额定电压的极端情况时，透视模式下的电流不大于 100mA，拍片模式下的电流不大于 500mA；DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60~80）kV/（5~20）mA，拍片模式的工况为（60~80）kV/（100~500）mA。

DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 DSA 的 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》(方杰著)附图 3 中查取。本项目 DSA 过滤材料按照 2.5mmAl 滤片进行剂量预测，查《辐射防护导论》附图 3，本项目正常运行时最大电压为 80kV，离靶 1 米处的发射率约为 5mGy·m²/mA·min。

2、泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm²的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm²面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 的相应要求，取本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

3、散射线

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

工作负荷：根据医院提供的资料，每 1 台 DSA 的工作负荷情况见表 9-12。

表 9-12 1 台 DSA 工作负荷

(1) 透视					
手术类别	年开展工作量		每台手术透视曝光时间		年透视曝光时间
心脏介入	150 台		约 15min		约 37.5h
神经介入	100 台		约 20min		约 33.3h
综合介入	150 台		约 20min		约 50h
小计	/		/		约 120.8h
(2) 拍片					
手术类别	年开展工作量	单次采集时	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
心脏介入	150 台	0.5~1s	6~10 次	约 0.2min	约 0.5h
神经介入	100 台	0.5~1s	4~10 次	约 0.2min	约 0.3h
综合介入	220 台	0.5~1s	7~15 次	约 0.3min	约 1.1h
小计	/	/	/	/	约 1.9h
总 计					约 122.7h

本项目拟新增 2 台 DSA、搬迁 1 台 DSA，共配备 15 名辐射工作人员，辐射工作人员年工作 250 天。

(二) 非放射性污染

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

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

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

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、放疗科项目

(一) 工作场所布局及分区

• 医用直线加速器

本项目拟于病房楼负一楼西部新建 2 座加速器机房（南北并列布置，1#在南侧、2#在北侧），配置 2 台医用直线加速器（型号未定，X 射线能量均为 6、10MV，电子线能量均不大于 22MeV）。1#加速器机房东侧为控制室、设备机房、水冷机房，南侧、西侧为土层，北侧为 2#加速器机房，楼上为病房西侧地面，下方为土层；2#加速器机房东侧为更衣室、楼梯间，南侧为 1#加速器机房，西侧为土层，北侧为更衣室、控制室、设备机房，楼上为楼上为病房西侧地面，下方为土层。本项目 2 座加速器机房控制室均与治疗室分离，治疗室面积均为 73.6m²（不含迷路）；1#加速器机房设置“L”形迷路，2#加速器机房设置“S”形迷路，迷路口均设有防护门；有用线束均仅向东墙、西墙、地面及屋顶照射。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端”的规定及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需求”、“治疗机房均应设置迷路”等规定，布局合理。本项目 1#加速器机房控制室设于机房东侧，未能避开有用线束照射方向，但经理论预测计算（详见本报告表 11），控制室处辐射剂量率及控制室内辐射工作人员年有效剂量均能满足本项目剂量率控制水平要求及工作人员剂量约束值要求。

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

格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；将控制室、辅助机房、水冷机房作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。医用直线加速器机房平面布局及分区见图 10-1。



图 10-1 直线加速器机房平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

• CT 模拟定位机、模拟定位机

本项目拟于病房楼负一楼放疗科新建 1 座 CT 模拟定位机机房和 1 座模拟定位机机房，配备 1 台 CT 模拟定位机和 1 台模拟定位机（型号均未定，管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），用于模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗。CT 模拟定位机房东侧为卫生间，南侧为土层，西侧为控制室、更衣室，北侧为走廊，下方为土层，上方为病房楼南侧地面；模拟定位机东侧为控制室、更衣室，南侧为土层，西侧

为热疗机房，北侧为走廊，下方为土层，上方为病房楼南侧地面。CT模拟定位机和模拟定位机房共用控制室，控制室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目拟将CT模拟定位机和模拟定位机所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室及更衣室划为监督区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

病房楼负一楼CT模拟定位机和模拟定位机机房平面布置及分区见图10-2。

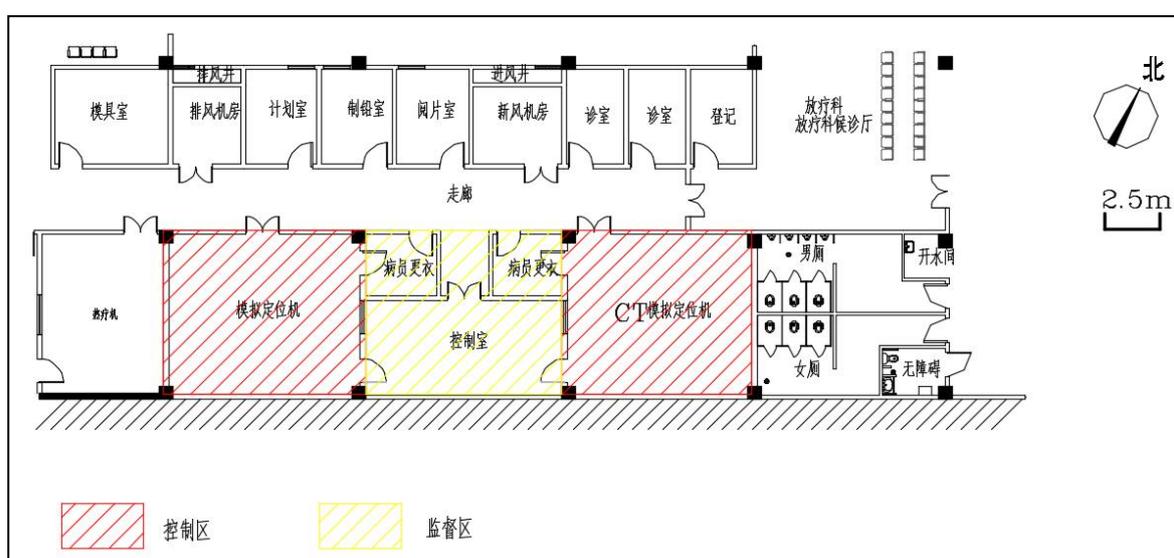


图 10-2 CT 模拟定位机和模拟定位机机房平面布置及辐射防护分区管理划分示意图

(二) 辐射防护屏蔽设计

• 医用直线加速器

响水县人民医院医用直线加速器机房位于病房楼负一楼西部，机房整体采用混凝土浇筑，1#机房设置“L”形迷道，2#机房设置“S”形迷道，迷道口均设铅防护门。医用直线加速器机房具体屏蔽设计参数见表10-1。

表 10-1 医用直线加速器机房屏蔽设计参数

加速器机房	屏蔽体		屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）	主屏蔽区宽度
1#加速器机房	东墙	主屏蔽区		450cm
		次屏蔽区		
	南墙			/

	西墙			/
	北墙	迷道内侧		/
		迷道外侧		/
	屋顶	主屏蔽区		450cm
		次屏蔽区		
	防护门			/
2#加速器机房	东墙	主屏蔽区		450cm
		次屏蔽区		
	南墙			/
	西墙			/
	北墙	迷道内侧		/
		迷道外侧		/
	屋顶	主屏蔽区		450cm
		次屏蔽区		
防护门			/	

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

• CT 模拟定位机、模拟定位机

响水县人民医院 CT 模拟定位机、模拟定位机机房位于病房楼负一楼放疗科，具体屏蔽参数见表 10-2。

表 10-2 CT模拟定位机、模拟定位机机房屏蔽设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	工作场所名称	屏蔽设计参数（厚度及材质）*
1	CT模拟定位机（型号未定）	1	≤ 140	≤ 1000	病房楼负一楼放疗科 CT 模拟定位机机房	
2	模拟定位机（型号未定）	1	≤ 140	≤ 1000	病房楼负一楼放疗科模拟定位机机房	

(三) 辐射安全措施

• 医用直线加速器

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

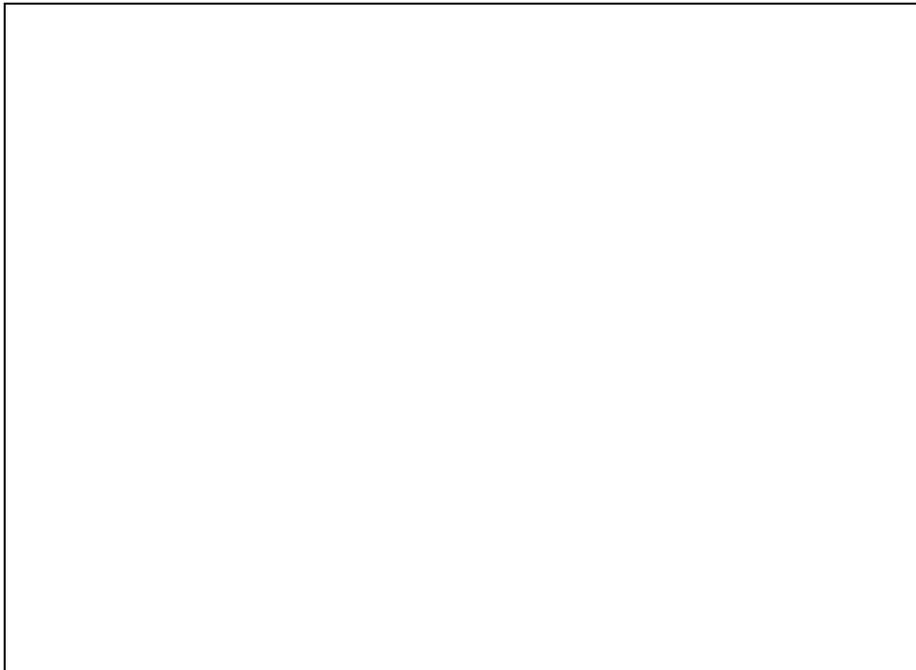


图 10-3 加速器机房电缆沟示意图

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

(3) 本项目医用直线加速器机房拟设计有通风装置，治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于 4 次/h。医用直线加速器机房进出风管道（见图 10-4）避开主射线方向，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

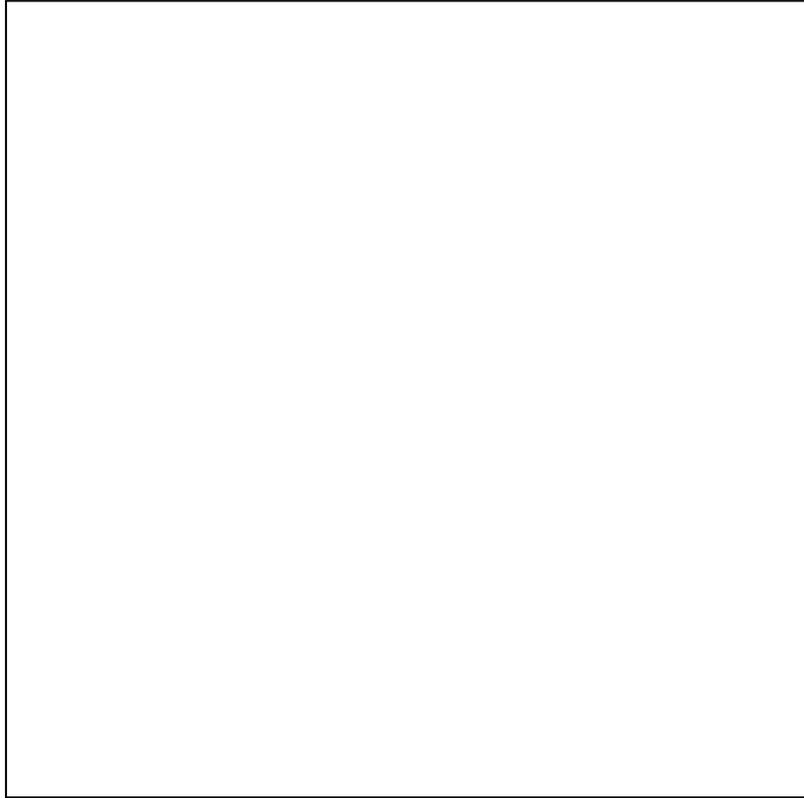


图 10-4 加速器机房预留进、排风管道示意图

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

(5) 安全联锁装置：除医用电子直线加速器自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，防护门未完全关闭时加速器不能出束照射，加速器出束期间防护门被打开则立即停止出束。

(6) 紧急停机装置：除加速器上设急停按钮外，治疗室内每面墙上、迷路墙上及控制室控制台上均拟设置急停按钮，加速器出束运行期间，按下任一急停按钮均可紧急关停设备；加速器再次启动时必须先将急停按钮本地复位。急停按钮拟设置醒目标识，且文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

(7) 监视和对讲装置：本项目医用电子直线加速器机房拟设计安装监控系统和对讲装置，实时观察机房内的动态。

(8) 开门装置：医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。

(9) 固定式报警仪：本项目医用直线加速器机房治疗室迷道的内入口处拟设置固定式辐射剂量监测仪并拟有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内。

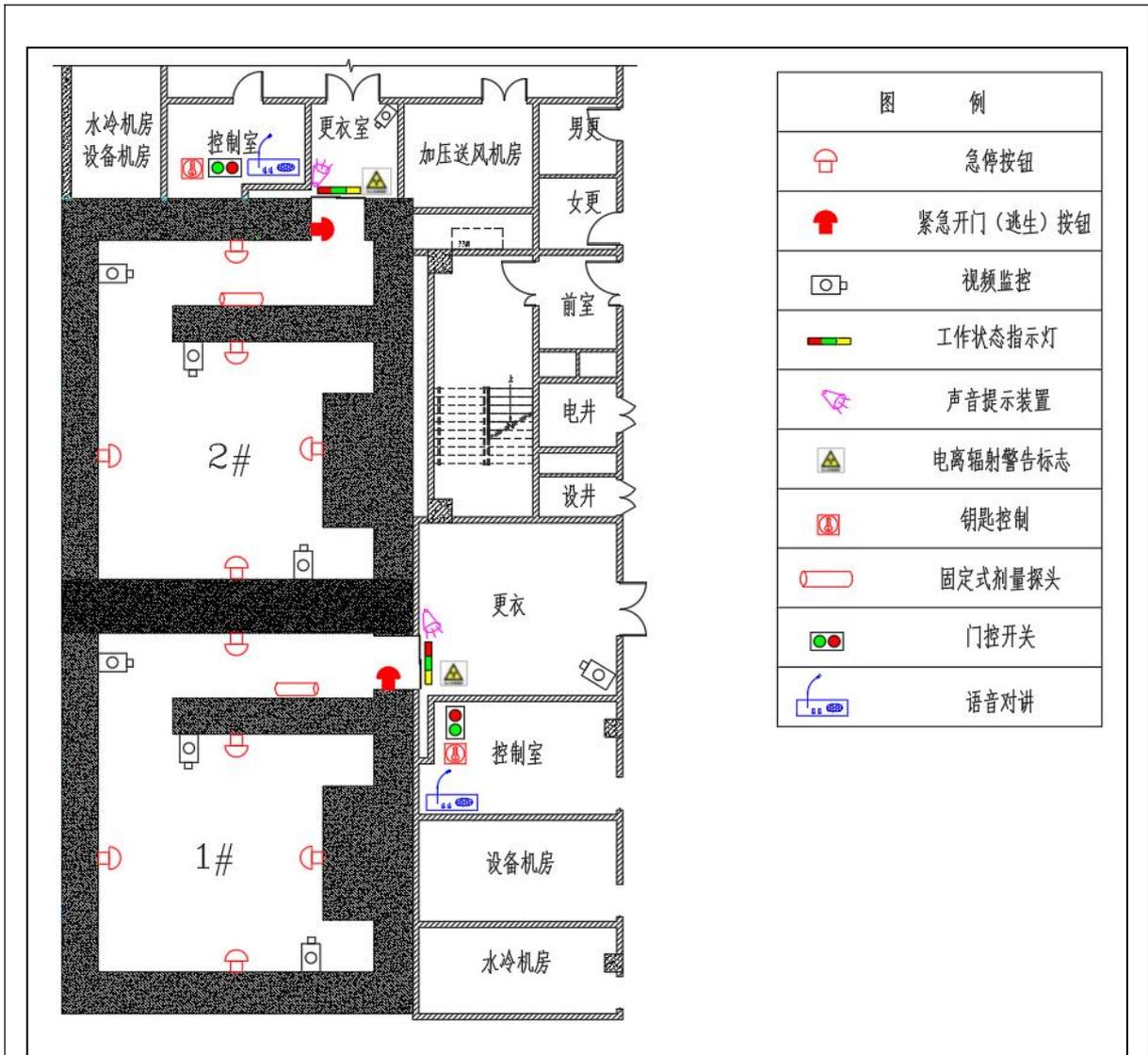


图 10-5 医用直线加速器机房主要安全设施位置示意图

• CT 模拟定位机、模拟定位机

1、电离辐射警告标志

机房入口处均拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

2、工作状态指示灯

患者入口防护门上方均拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并与机房防护门有效关联。

3、闭门装置

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

4、急停按钮

控制室及设备上均设置有急停按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止 X 射线系统出束。

5、观察窗

机房控制室侧墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。

6、防护用品

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

二、核医学科项目

(一) 工作场所布局及分区

本项目拟在病房楼负一楼新建核医学科，诊断区、治疗区均拟建成乙级非密封放射性物质工作场所。诊断区新增 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置）配合使用放射性核素 ^{18}F 开展核素显像诊断，新增 1 台 SPECT/CT 配合用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核素显像诊断，新增使用放射性核素 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定；治疗区新增使用 ^{131}I 开展甲亢治疗、甲癌治疗。

响水县人民医院本次新建的核医学科诊断区拟将注射室、分装室、储源室、废物间、运动负荷室、PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室/抢救室、SPECT/CT 留观室/抢救室、患者通道作为辐射防护控制区，将医护通道、诊室、淋浴间、更衣室、控制室作为辐射防护监督区；治疗区拟将储源室、分装室、服碘室、取餐间、治疗室、抢救室、患者通道、污物被服间、污洗间作为辐射防护控制区，拟将更衣室、淋浴间、被服库、送餐间作为辐射防护监督区。病房楼负一楼核医学科平面布局及辐射防护分区见附图 3，辐射防护分区一览表见表 10-3。

表 10-3 核医学科辐射防护分区一览表

分区	场 所	
	诊断区	治疗区
控制区	注射室、分装室、储源室、废物间、运动负荷室、PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室/抢救	储源室、分装室、服碘室、取餐间、治疗室、抢救室、患者通道、污物被服间、污洗间

	室、SPECT/CT 留观室/抢救室、患者通道	
监督区	医护通道、诊室、淋浴间、更衣室、控制室	更衣室、淋浴间、被服库、送餐间

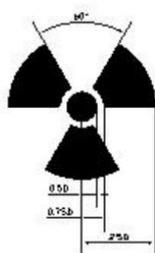
响水县人民医院本次新增的核医学科工作场所位于病房楼负一楼，整个诊断工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限。拟新建的核医学科项目人流及物流具有相对的独立通道，且出入口避开了人流量较大的区域，避免了对公众不必要的照射；诊断区与治疗区分开布置，避免了交叉污染。

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

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，医院应做到：

1、控制区的防护手段与安全措施：

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



a. 电离辐射标志



b. 电离辐射警告标志

图 10-6 电离辐射标志和电离辐射警告标志

(2) 制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

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

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

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

2、监督区防护手段与安全措施

(1) 在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

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

根据 HJ 1188-2021 的要求，本项目核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等应平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。操作放射性药物拟在手套箱中进行。医院拟为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物容器拟有 10mmPb (^{99m}Tc)、20mmPb (^{18}F)、30mm (^{131}I) 铅罐屏蔽，诊断区给药后患者候诊室有多位患者候诊时，床位旁拟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。

(二) 辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的建设项目设计资料（详见附件 9），该核医学科工作场所屏蔽设计如表 10-4：

表 10-4 新建核医学科项目工作场所屏蔽设计一览表

工作场所名称		屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
核医学科 诊断区	骨密度机房	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
		观察窗	
	SPECT/CT 机房	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	

		观察窗	
	PET/CT 机房	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
		观察窗	
		运动负荷	四周墙体
	顶部		
	底部		
	防护门		
	注射室	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	分装室	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
		注射窗及手套箱	
	储源室	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	废物间	四周墙体	
		顶部	
		底部	

		防护门	
	SPECT/CT 注射候诊	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	PET/CT 注 射候诊	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	VIP 注射候 诊	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	SPECT/CT 留观/抢救	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	PET/CT 留 观/抢救	南墙	
		东墙、西墙、北墙	
		顶部	
		底部	
		防护门	
核医学 科治疗 区	分装室	东墙、西墙	
		南墙、北墙	
		顶部	
		底部	

		防护门	
		传递窗及手套箱	
	服碘室	东墙	
		南墙、西墙、	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	储源室	四周墙体	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	治疗室	北墙	
		东墙、南墙、西墙	
		顶部	
		底部	
		防护门	
	患者过道	南侧隔断墙	
		东侧、西侧防护门	
		底部	
		顶部	
抢救室	东墙、北墙		
	南墙、西墙		
	防护门		
	底部		
	顶部		

（三）辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

医院拟将核医学科工作场所划分为控制区和监督区，在控制区入口处均拟设置符合规范的电离辐射警告标志；

2、工作状态指示灯、闭门装置

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房门口拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门应设有自动闭门装置，推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施。

3、语音对讲、监控装置

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

4、对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置门禁系统，除甲状腺吸碘率测定患者与甲亢患者可原路返回外，其余患者按照“入口只进不出、出口只出不进”的单向路线；加强对控制区内注射放射性药物患者的监督管理，避免其给药后随意走动；同时告知检查完成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。核医学地面拟设置患者行进路线标识，引导不同项目患者行进。

5、核医学科工作场所安全防护措施管理规定

医院拟将诊断区注射室、分装室、储源室、废物间、运动负荷室、PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室/抢救室、SPECT/CT 留观室/抢救室、患者通道作为辐射防护控制区，将医护通道、诊室、淋浴间、更衣室、控制室作为辐射防护监督区；治疗区拟

将储源室、分装室、服碘室、取餐间、治疗室、抢救室、患者通道、污物被服间、污洗间作为辐射防护控制区，拟将更衣室、淋浴间、被服库、送餐间作为辐射防护监督区。

工作人员离开控制区前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。工作场所安全防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

6、工作人员防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、防污染防护服、个人剂量报警仪、个人剂量计等。

7、监视和对讲装置

医院拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备进行叫号，对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学科用药就诊。

8、操作放射性药物的放射防护要求

放射性药物的分装操作均在手套箱中进行，手套箱有专用通风管道且保持良好通风；分装好的¹⁸F、^{99m}Tc药物注射器使用铅套包裹。¹³¹I药物分装使用自动分装仪，分装好的药物直接导流至服碘室，装于一次性口杯内。操作放射性核素药物的辐射工作人员应熟练操作技能、缩短接触放射性药物的时间并正确使用个人防护用品。核医学控制区内辐射工作人员不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

三、DSA项目

（一）工作场所布局及分区

响水县人民医院拟在病房楼三楼新建2座DSA机房及配套设施用房并配置2台DSA（型号均未定，最大管电压150kV，最大管电流1000mA），拟在门诊医技楼一楼急诊科新建1座DSA机房并搬迁1台DSA（型号为Optima CL 323i，最大管电压150kV，最大管电流为800mA）。DSA机房控制室与诊断机房分开单独布置，区域划分明确，项目布局合理。

本项目将DSA所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室、设备间等

划为监督区，在机房入口处粘贴电离辐射警告标志。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。响水县人民医院病房楼三楼 DSA 机房（4#、5#手术室）及门诊医技楼一楼急诊科 DSA 机房平面布置及辐射防护分区见图 10-7、图 10-8。

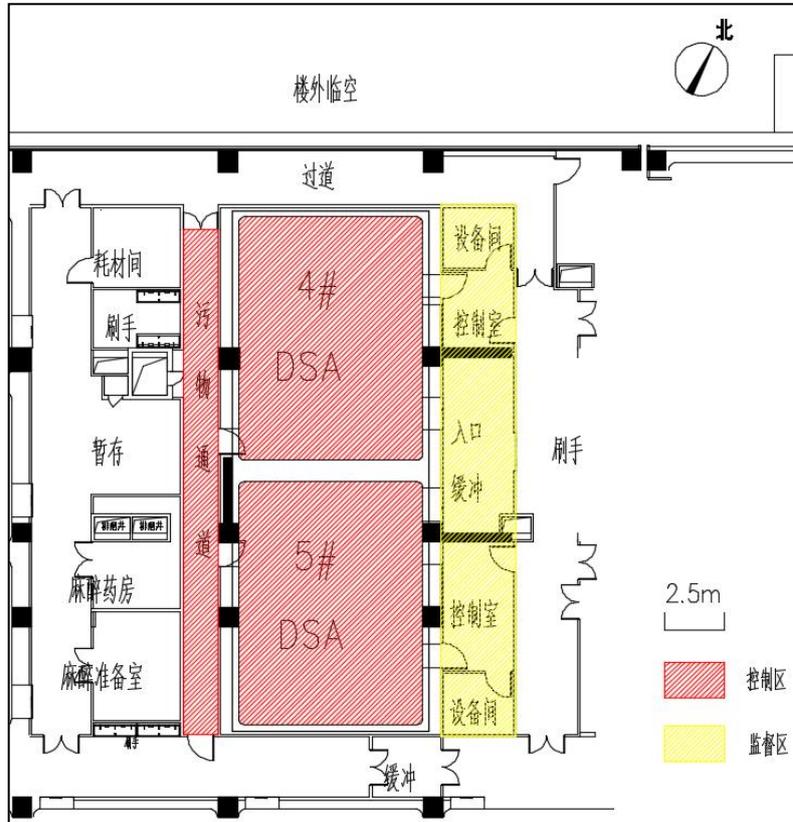


图 10-7 病房楼三楼 DSA 机房平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

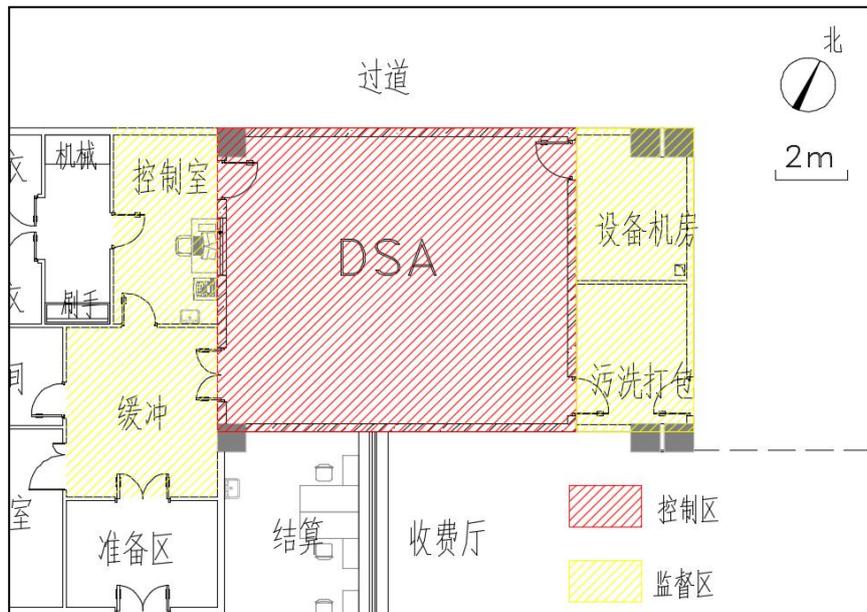


图 10-8 门诊医技楼一楼 DSA 机房平面布局及辐射防护分区管理划分示意图

(二) 辐射防护屏蔽设计

响水县人民医院病房楼三楼 DSA 机房（4#、5#手术室）及门诊医技楼一楼急诊科 DSA 机房辐射防护设计见表 10-5。

表 10-5 本项目 DSA 机房屏蔽设计一览表

序号	射线装置名称型号	数量	管电压 kV	管电流 mA	工作场所名称	屏蔽防护设计
1	DSA (型号未定)	1	≤125	≤1000	病房楼三楼 4#手术室	
2	DSA (型号未定)	1	≤125	≤1000	病房楼三楼 5#手术室	
3	DSA (Optima CL 323i)	1	150	800	门诊医技楼 一楼急诊科 DSA 机房	

注：1、实心砖密度为 1.65g/cm^3 ，铅密度为 11.3g/cm^3 ，硫酸钡水泥密度为 4.5g/cm^3 ，混凝土密度为 2.35g/cm^3 ；

2、当房间顶部需要增加铅板防护时，铅板将铺设在楼上地面，房间内部不做铅板吊顶。

(三) 辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

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

2、门灯联动

DSA 机房患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。本项目 DSA 机房患者入口防护门为推拉式电动机房门，拟设置自动闭门装置和防夹措施，医护入口防护门为平开机房门，拟设置曝光时关闭机房门的管理措施。

3、急停按钮

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

4、观察窗和语音对讲装置

DSA 机房控制室墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态防护门关闭情况。DSA 机房控制室拟设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流。

5、防护用品

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

6、人员监护

医院拟为 3 台 DSA 配备 15 名辐射工作人员，为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，建立个人剂量监测档案。医院已开展辐射工作人员的职业健康监护，定期安排其在有相应资质医院体检，建立职业健康监护档案。

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

8、其他辐射安全措施

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

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

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

速，以减少病人和介入人员的剂量。

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

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

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

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

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

四、其他医学影像诊断项目

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

根据医院提供的资料，本项目 III 类射线装置机房均采用混凝土、硫酸钡水泥、硫酸钡防护涂料、铅板、铅玻璃等进行辐射屏蔽防护，详见表 10-6。

表 10-6 其他医学影像诊断项目射线装置机房屏蔽防护设计符合性分析表

机房名称		屏蔽体	屏蔽设计	换算铅当量 mmPb	防护要求 mmPb	符合性
病房楼三层中心手术部	2 间 C/G 臂机房 (2# 手术室、3# 手术室)	四面墙体		2.0	2.0	符合
		顶部		2.1	2.0	符合

		地面		2.1	2.0	符合
		观察窗		2.0	2.0	符合
		防护门		2.0	2.0	符合
门诊医技楼一楼急诊科	1间CT机房	四面墙体		4.1	2.5	符合
		顶部		3.2	2.5	符合
		地面		3.2	2.5	符合
		观察窗		3.0	2.5	符合
		防护门		3.0	2.5	符合
	1间DR机房	四面墙体		3.7	3.0*	符合
		顶部		3.1	2.0	符合
		地面		3.1	3.0*	符合
		观察窗		4.0	2.0	符合
		防护门		4.0	2.0	符合
	1间数字胃肠机房	四面墙体		4.7	3.0*	符合
		顶部		3.1	2.0	符合
		地面		3.1	3.0*	符合
		观察窗		4.0	2.0	符合
		防护门		4.0	2.0	符合
门诊医技楼一楼影像科	2间CT机房	四面墙体		4.1	2.5	符合
		顶部		3.2	2.5	符合
		地面		3.2	2.5	符合
		观察窗		3.0	2.5	符合
		防护门		3.0	2.5	符合
门诊医技楼一楼影像科	2间DR机房	四面墙体		4.7	3.0*	符合
		顶部		3.1	2.0	符合

		地面		3.1	3.0*	符合
		观察窗		4.0	2.0	符合
		防护门		4.0	2.0	符合
	1间钼靶机房	四面墙体		3.6	1.0	符合
		顶部		2.8	1.0	符合
		地面		2.8	1.0	符合
		观察窗		2.0	1.0	符合
		防护门		2.0	1.0	符合
	1间数字胃肠机房	四面墙体		4.7	3.0*	符合
		顶部		3.1	2.0	符合
		地面		3.1	3.0*	符合
		观察窗		4.0	2.0	符合
		防护门		4.0	2.0	符合
	1间口腔CT机房	四面墙体		3.6	2.0*	符合
		顶部		2.8	1.0	符合
		地面		2.8	1.0	符合
		观察窗		2.0	2.0*	符合
		防护门		2.0	2.0*	符合
	1间全景口腔机房	四面墙体		3.6	2.0*	符合
		顶部		2.8	1.0	符合
地面			2.8	1.0	符合	
观察窗			2.0	2.0*	符合	
防护门			2.0	2.0*	符合	
门诊医技楼一楼影像科	1间骨密度机房	四面墙体		3.6	1.0	符合
		顶部		2.8	1.0	符合
		地面		2.8	1.0	符合

		观察窗		2.0	1.0	符合
		防护门		2.0	1.0	符合
门诊医技楼三层口腔科	1间牙片机房	四面墙体		3.6	1.0	符合
		顶部		2.8	1.0	符合
		地面		2.8	1.0	符合
		观察窗		2.0	1.0	符合
		防护门		2.0	1.0	符合
门诊医技楼四层体检中心	1间CT机房	四面墙体		4.1	2.5	符合
		顶部		3.2	2.5	符合
		地面		3.2	2.5	符合
		观察窗		3.0	2.5	符合
		防护门		3.0	2.5	符合
	1间DR机房	四面墙体		4.7	3.0*	符合
		顶部		3.1	2.0	符合
		地面		3.1	3.0*	符合
		观察窗		4.0	2.0	符合
		防护门		4.0	2.0	符合
	1间骨密度机房	四面墙体		3.6	1.0	符合
		顶部		2.8	1.0	符合
		地面		2.8	1.0	符合
		观察窗		2.0	1.0	符合
		防护门		2.0	1.0	符合
传染楼一楼发热门诊	1间CT机房	四面墙体		4.1	2.5	符合
		顶部		3.2	2.5	符合
		地面		3.2	2.5	符合
		观察窗		3.0	2.5	符合

	防护门	3.0	2.5	符合
--	-----	-----	-----	----

注：1、铅当量换算方法及防护要求均参考 GBZ 130-2020；

2、“*”为有用线束可能照射的方向，其余为非有用线束照射方向（其中 C 臂机房、骨密度机房、CT 机房、钼靶机房不区分有用线束和非有用线束的防护要求）；

3、当房间顶部需要增加铅板防护时，铅板将铺设在楼上地面，房间内部不做铅板吊顶。

根据医院提供的资料，本项目 III 类射线装置机房的使用面积和最小单边长度详见表 10-7。

表 10-7 机房面积和最小单边长度符合性分析一览表

机房名称		有效使用面积 (m ²)			最小单边长度 (m)		
		设计值	标准要求	符合性	设计值	标准要求	符合性
病房楼负一楼放疗中心	2#手术室 (C 臂机、G 臂机)		30	符合		4.5	符合
	3#手术室 (C 臂机、G 臂机)		30	符合		4.5	符合
门诊医技楼一楼急诊科	CT 机房		30	符合		4.5	符合
	DR 机房		20	符合		3.5	符合
	数字胃肠机房		20	符合		3.5	符合
门诊医技楼一楼影像科	CT 机房 1		30	符合		4.5	符合
	CT 机房 2		30	符合		4.5	符合
	DR 机房 1		20	符合		3.5	符合
	DR 机房 2		20	符合		3.5	符合
	钼靶机房		10	符合		2.5	符合
	数字胃肠机房		20	符合		3.5	符合
	口腔 CT 机房		5	符合		2.0	符合
	全景口腔机房		5	符合		2.0	符合
	骨密度机房		10	符合		2.5	符合
门诊医技楼三层口腔科	牙片机房		3	符合		1.5	符合
门诊医技楼四层体检中心	CT 机房		30	符合		4.5	符合
	DR 机房		20	符合		3.5	符合

	骨密度机房		10	符合		2.5	符合
传染楼一楼发热门诊	CT 机房		30	符合		4.5	符合

注：标准要求引自 GBZ 130-2020。

医院其他医学影像诊断项目中的医用 X 射线装置机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯拟与防护大门进行联锁，机房设置观察窗或摄像监控装置，设置动力通风装置并保持良好的通风。平开机房门拟设置自动闭门装置，推拉式机房门拟设置曝光时关闭机房门的管理措施。

监测仪器和防护用品

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

一、放疗科项目

• 医用直线加速器

响水县人民医院拟配备辐射巡测仪 1 台，拟为医用直线加速器工作人员配备个人剂量报警仪 4 台。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

• CT 模拟定位机、模拟定位机

响水县人民医院拟配备 1 台辐射巡测仪，拟为 CT 模拟定位机、模拟定位机工作人员各配备 1 台个人剂量报警仪，辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-8 CT 模拟定位机个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

设备名称	分项		《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) 要求	本项目拟采取措施
CT 模拟定位机	辐射工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形） 或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	1 件铅方巾、1 件铅橡胶颈套

		辅助防护设施	可调节防护窗口的立位防护屏 选配：固定特殊受检者体位的各种设备	/
--	--	--------	------------------------------------	---

二、核医学科项目

响水县人民医院拟配备 1 台辐射巡测仪，拟为核医学科配备 2 台表面沾污仪、2 台个人剂量报警仪。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-9 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020) 要求	本项目拟采取措施
普通核医学科	工作人员	必备	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	4 套铅橡胶围裙、铅橡胶颈套，2 件铅防护眼镜；2 套注射器铅防护套、防护提盒；防污染防护服若干，2 件 2mmPb 铅屏风
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	
	患者或受检者		/	/

三、DSA 项目

响水县人民医院拟配备辐射巡测仪 1 台，为 3 台 DSA 各配备个人剂量报警仪 2 台（共 6 台），拟为辐射工作人员配备铅衣（不低于 0.5mm 铅当量）、铅围脖、铅帽、介入护手套（不低于 0.025mm 铅当量）及铅眼镜等个人防护用品。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-10 DSA 项目个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

设备名称	分项		《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) 要求	本项目拟采取措施
DSA（病房楼三楼 4#手术室）	工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	3 件铅橡胶围裙、3 件铅橡胶围脖、3 顶铅橡胶帽子、2 副铅防护眼镜、2 副介入防护手套
		辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅悬挂防护屏、床侧防护帘
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	2 件铅橡胶围脖、2 顶铅橡胶帽子、2 件铅方巾

		辅助防护设施	/	/
DSA (病房楼三楼5#手术室)	工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	3件铅橡胶围裙、3件铅橡胶围脖、3顶铅橡胶帽子、2副铅防护眼镜、2副介入防护手套
		辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅悬挂防护屏、床侧防护帘
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	2件铅橡胶围脖、2顶铅橡胶帽子、2件铅方巾
		辅助防护设施	/	/
DSA (门诊医技楼一楼急诊科)	工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	3件铅橡胶围裙、3件铅橡胶围脖、3顶铅橡胶帽子、2副铅防护眼镜、2副介入防护手套
		辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅悬挂防护屏、床侧防护帘
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	2件铅橡胶围脖、2顶铅橡胶帽子、2件铅方巾
		辅助防护设施	/	/

(四) 其他医学影像诊断项目

响水县人民医院拟配备辐射巡测仪1台，拟为辐射工作人员配备铅衣（不低于0.5mm铅当量）、铅围脖、铅帽等个人防护用品。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-11 其他医学影像诊断项目个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》 (GBZ 130-2020) 要求	本项目拟采取措施
放射诊断学用X射线设备隔室 透视、摄影	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	
	患者或受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套， 选备：铅橡胶帽子	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子若干

		辅助防护设施		
口内牙片摄影	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	患者或受检者	个人防护用品	大领铅橡胶颈套	大领铅橡胶颈套若干
		辅助防护设施	/	/
牙科全景体层摄影, 口腔 CBCT	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	患者或受检者	个人防护用品	大领铅橡胶颈套 选备: 铅橡胶帽子	大领铅橡胶颈套、铅橡胶帽子若干
		辅助防护设施	/	/
CT 体层扫描 (隔室)	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	患者或受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、 铅橡胶颈套 选配: 铅橡胶帽子	铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、 铅橡胶颈套、铅橡胶帽子若干
		辅助防护设施	/	/

三废治理

一、放射性三废

1、DSA 项目

本项目 DSA 在正常运行中无放射性三废产生。

2、放疗科项目

本项目医用直线加速器、CT 模拟定位机、模拟定位机正常运行中无放射性三废产生。

3、核医学科项目

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

(1) 含放射性核素气溶胶

核医学科诊断区、治疗区分装室内的手套箱均有独立排风管道，放射性药物的分装操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；核医学科各房间均有排风管道连接，要确保非密封放射性物质工作为负压工作场所，工作场所各排风管道须密封良好，不与其他排风管道相通，诊断区、治疗区排风系统分开设置，手套箱设置独立的排风管道。核医学科通风管道布设如附图 5 所示。

响水县人民医院病房楼为地下一楼、地上四层建筑，本项目核医学科产生的废气将通过排风管引至病房楼楼顶经活性炭装置过滤后排放，排口高于楼房屋脊，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，同时为防止公众进入楼顶，医院拟将病房楼楼顶划为管控区域，并进行管理。

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

(2) 放射性废水

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

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

来自核医学科注射室和注射后病人专用厕所的放射性废水，含有放射性核素，由独立下水管道（详见附图 4）统一集中到放疗核医学楼西侧地下的衰变池（结构示意图 10-9、图 10-10）中暂存衰变。诊断区废水暂存衰变 30 天后可直接解控排放至流

入医院污水处理系统作为医疗废水处理；治疗区废水需暂存衰变 180 天以上，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。



图 10-9 衰变池平面结构示意图



图 10-10 衰变池平面结构示意图

核医学学科的衰变池系统分为诊断区和治疗区两部分。诊断区由 1 个降解池加 3 个衰变池组成,池体均为成品不锈钢材质,单个衰变池容积均为 7.5m^3 ,总容积为 22.5m^3 ;治疗区由 1 个降解池加 5 个衰变池组成,池体均为成品不锈钢材质,单个衰变池容积均为 42m^3 ,总容积为 210m^3 。衰变池系统池壁由混凝土浇筑而成,壁厚 300mm;池顶为 300mm 混凝土(低于地表 1.3m),井盖为 50mm 铸铁井盖(与地面平齐)。核医学学科诊断区产生的放射性废水先进入降解池进行初步降解后排入第一个衰变池中,待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门,打开第二个衰变池的进水阀门,核医学的废水通过降解池会排入第二衰变池内,此时第一个衰变池不外排放射性废水,待第二个衰变池的废水装满后,自动关闭第二个衰变池的进水阀门,打开第三个衰变池的进水阀门,此时核医学学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内,待第三个衰变池即将装满放射性废水时,此时打开第一个衰变池的排水阀门,将放射性废水排至医院污水处理站,三个衰变池以此往复运行。治疗区衰变池运行模式与诊断区衰变池运行模式相同,五个衰变池往复循环运行。

放射性废水主要为沾有放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水,辐射工作人员的洗涤用水以及服用药物病人的排泄物及冲洗水等。本项目核医学学科工作场所中,诊断区放射性废水产量为 500L/d ,诊断区月工作 22 天,则每月产生 11m^3 放射性废水;治疗区放射性废水产量为 $125\text{m}^3/\text{a}$,平均每月 10.4m^3 。

根据放射性废水衰变系统运行方式,诊断区装满 2 个衰变池需要 1.36 个月,则第一个装满的衰变池中的放射性废水可在该衰变系统内衰变约 40d,而诊断区放射性废水中含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素中,较长寿命核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的半衰期为 6.02h,故诊断区衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中“所含核素半衰期

小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天”的要求；治疗区第一个衰变池装满废水后，后四个衰变池装满需要 16.2 个月，则第一个装满的衰变池中的放射性废水可在该衰变系统内衰变约 486d，故治疗区衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“含 ^{131}I 核素的暂存超过 180 天”的要求。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

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

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

（3）放射性固废

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科分装室、注射室、注射后候诊室、吸碘室、治疗室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶（ ^{18}F 、 ^{131}I 的防护厚度应不低于 10mmPb， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的防护厚度应不低于 5mmPb）。另外，医院在核医学科诊断区、治疗区各设有 1 个放射性废物间，诊断区废物间面积约为 7m^2 ，总容积约 44m^3 ；治疗区废物间面积约为 4.3m^2 ，总容积约 27m^3 。医院拟在废物间内添置置物架，诊断区废物间有效利用空间约 10m^3 ，治疗区废物间有效利用空间约 8m^3 。

本项目诊断区 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性固体废物产生量按 $0.02\text{kg}/\text{人次}$ 计算，则放射性固体废物产生量为 $0.8\text{kg}/\text{d}$ （ $0.02\text{kg}/\text{人} \times (20\text{人}/\text{d} + 20\text{人}/\text{d})$ ），即 $200\text{kg}/\text{a}$ ，平均 $16.7\text{kg}/\text{月}$ ；甲状腺吸碘率测定项目年接诊量最大为 2700 人次，放射性固体废物产生量按 $0.02\text{kg}/\text{人次}$ 计算，则放射性固体废物产生量为 $54\text{kg}/\text{a}$ ，平均 $4.5\text{kg}/\text{月}$ 。本项目治疗区甲亢治疗项目年最大接诊量为 2500 人次，甲亢治疗放射性固体废物产量按 $0.02\text{kg}/\text{人次}$ 计算，则放射性固体废物产生量为 $50\text{kg}/\text{a}$ ，平均 $4.2\text{kg}/\text{月}$ ；甲亢治疗放射性固体废物产量按 $0.1\text{kg}/\text{人次}$ 计算，则放射性固体废物产生量为 $20\text{kg}/\text{a}$ ，平均 $1.7\text{kg}/\text{月}$ 。核医学科通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 20kg 。

核医学科诊断区放射性固体废物收集后，按照核素分类存入诊断区废物间内，诊

断区废物间年入库放射性固体废物共 264kg，月平均 22kg，体积不超过 1m³；治疗区放射性固体废物收集后，存入治疗区废物间内，治疗区废物间年入库放射性固体废物共 80kg，月平均 6.7kg，体积不超过 1m³；

诊断区放射性固体废物可在放射性废物间内暂存超过 30 天，治疗区放射性固体废物可在放射性废物间内暂存超过 180 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”的标准要求。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

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

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规定；

④建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

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

4、其他医学影像诊断项目

其他医学影像诊断项目中的医用 X 射线装置在正常运行中无放射性三废产生。

二、非放射性三废

1、放疗科项目

(1) 废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理达标排放至市政管网。

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

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）第 6.2.2 条款的要求：放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机

房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

本项目医用直线加速器机房治疗室容积均约 427.4m³（包括迷路），机房内设有通风系统，其设计通风量拟不小于 1710m³/h，采用机械排风方式，通风口为上进下出布置。通风管道从防护门上方预留的“S”形穿墙管道通至机房内，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高。医用直线加速器机房通风设计如图 10-11 所示。

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

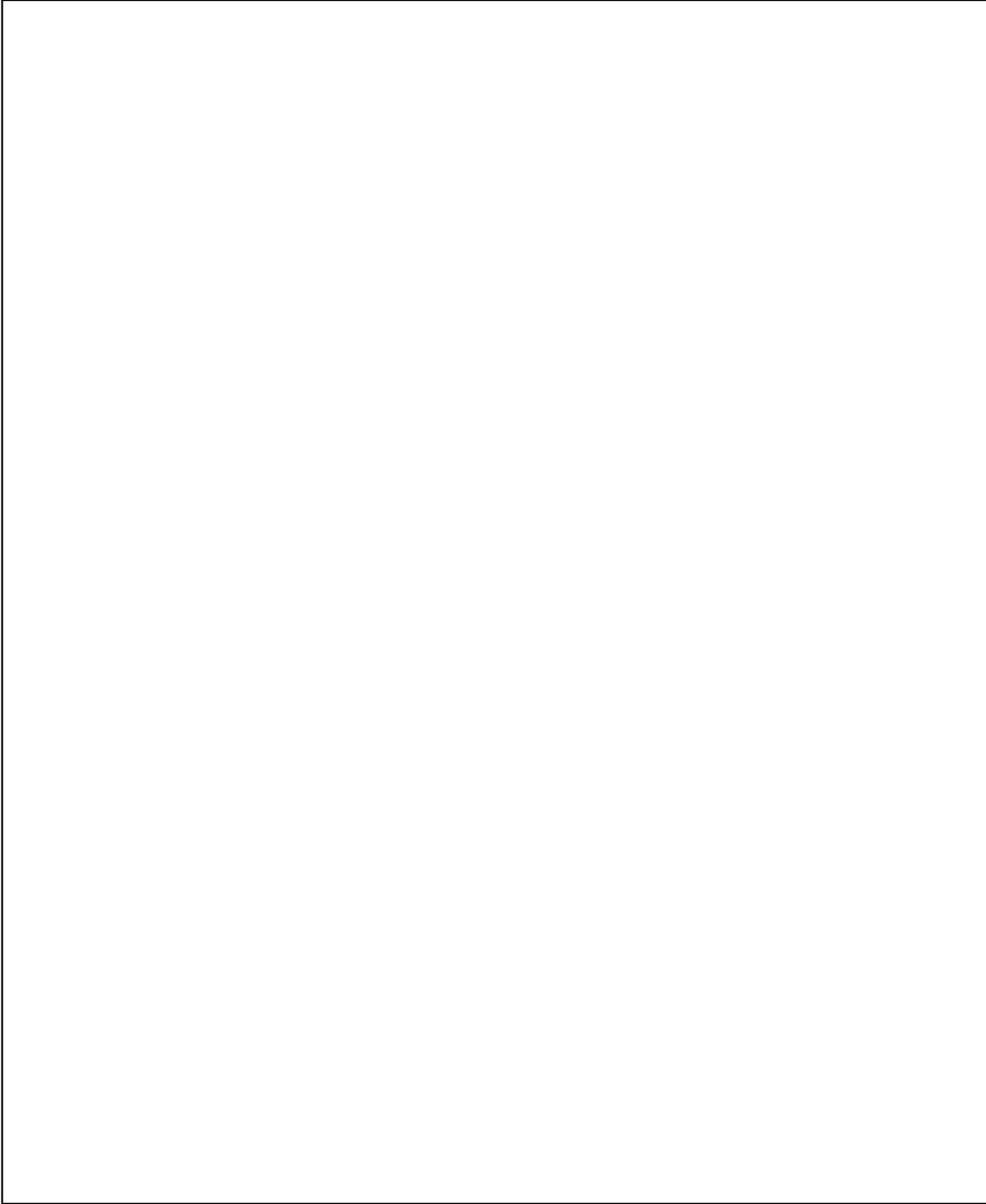


图 10-11 加速器机房通风管道布设示意图

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

2、核医学科项目

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

(2) 废水：工作人员产生的医疗废水和生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

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

3、DSA 项目

(1) 废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理达标后排放至市政管网。

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

(3) 固废：本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后统一集中收集，作为医疗废物委托有资质单位进行处置。工作人员和病人产生的生活垃圾经分类收集后，定期交市政环卫部门处置。

4、其他医学影像诊断项目

(1) 废水：工作人员和部分病人产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理达标后排放至市政管网。

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

(3) 固废：工作人员和病人产生的生活垃圾经分类收集后，定期交市政环卫部门处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次迁建放射诊疗项目机房建设时主要工作为建筑施工、墙体隔断与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

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

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

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

4、废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放或回收用于施工场地洒水降尘。

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

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）放疗科项目

• 医用直线加速器

根据建设单位提供的资料，医院拟配备的 2 台医用直线加速器型号均未定，电子线最大能量均为 22MeV，X 射线能量为 6MV、10MV，射线最大出射角为 28°。电子线穿透能力弱，容易被屏蔽；X 射线具有很强的穿透力，6MV 时 1m 处最大输出剂量率为 2400cGy·m²/min(3F 模式)，10MV 时 1m 处最大输出剂量率为 600cGy·m²/min。故本项目以 X 射线能量为 6MV、10MV 的情况下分别进行辐射影响分析。

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

本项目医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-1。

1、有用线束主屏蔽区的宽度核算

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

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

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

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

表 11-1 医用直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

参数	1#加速器机房		2#加速器机房	
	东墙主屏蔽	顶部主屏蔽	东墙主屏蔽	顶部主屏蔽
SAD (m)	1	1	1	1
θ (°)	14	14	14	14
a (m)	5.45	3.80	5.45	3.80
Y_p 计算值 (m)	3.82	3.00	3.82	3.00
Y_p 设计值 (m)	4.50	4.50	4.50	4.50
评价结果	满足	满足	满足	满足

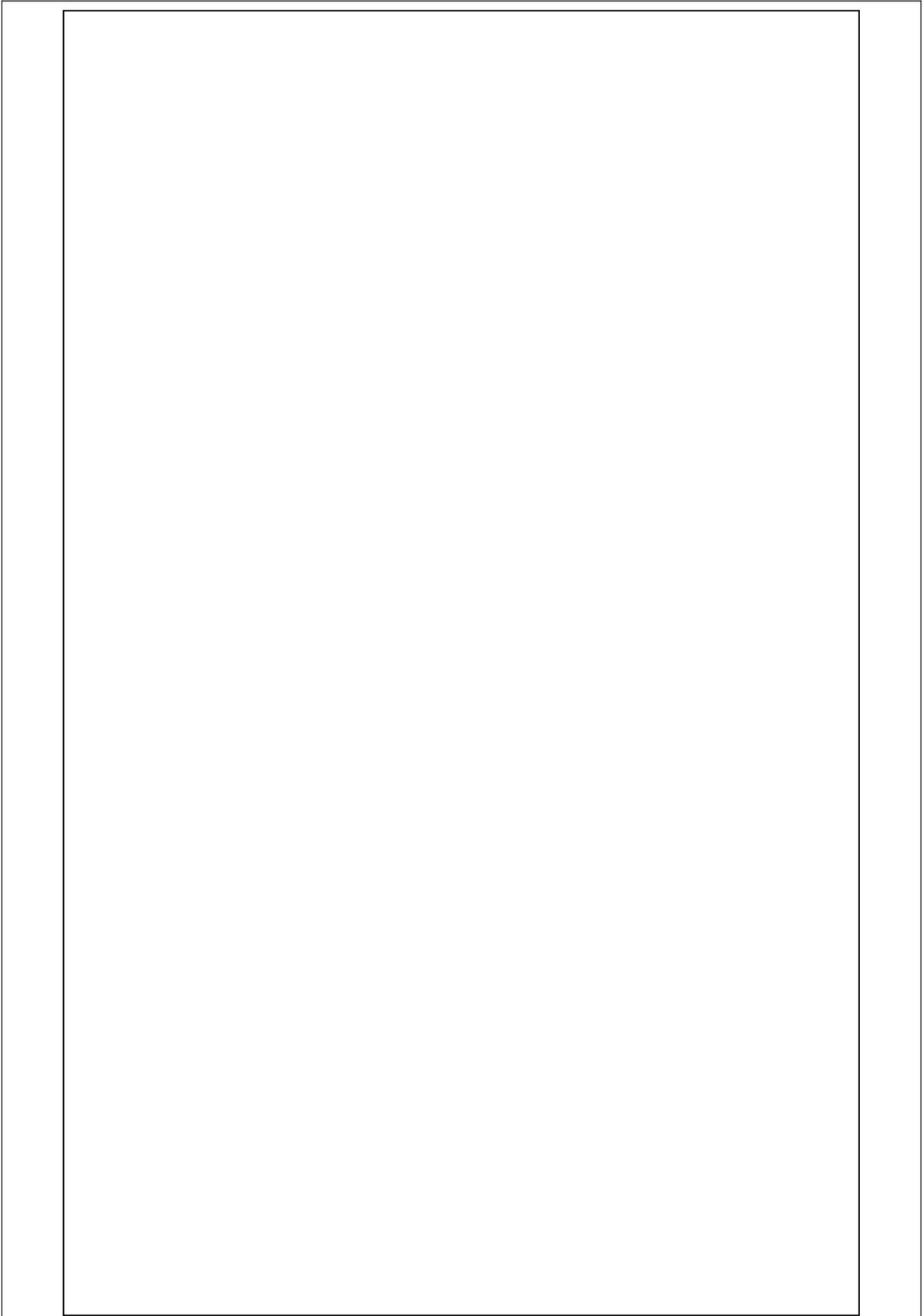


图 11-1 医用直线加速器机房估算点位平面示意图



图 11-2 医用直线加速器机房估算点位剖面示意图

2、医用直线加速器机房辐射防护能力分析

(1) 有用线束主屏蔽设计核算 (a 点、l 点)

①主射线路径：东墙 $o_1 \rightarrow a$ ，屋顶 $o_3 \rightarrow l$ 。

②计算模式及参数选择

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

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

式中： X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

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

式中， TVL_l (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_l 时， $TVL_l = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_l 为 41cm、 TVL 为 37cm，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_l = 37\text{cm}$ 、 $TVL = 33\text{cm}$ 。本项目中， a 点、 l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

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

式中： \dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目中对应 10MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 $3.60\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，对应 6MV 的 X 射线能量，1m 处的常用最高剂量率为 $1.44\times 10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

③预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ），将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-2。

表 11-2 (a) 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	1#加速器机房		2#加速器机房	
	东墙主屏蔽 (控制室)	顶部主屏蔽 (道路)	东墙主屏蔽 (楼梯间)	顶部主屏蔽 (道路)
X (cm)				
X_e (cm)				
TVL_l (cm)	37			
TVL (cm)	33			
B	1.07×10^{-9}	3.05×10^{-9}	1.07×10^{-9}	3.05×10^{-9}
R (m)				
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9		1.44×10^9	
f	1			
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.031	0.097	0.031	0.097
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) (剂量率参考控制水平)	2.5	10	10	10
评价	满足	满足	满足	满足

表 11-2 (b) 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	1#加速器机房	2#加速器机房
----	---------	---------

	东墙主屏蔽 (控制室)	顶部主屏蔽 (道路)	东墙主屏蔽 (楼梯间)	顶部主屏蔽 (道路)
X (cm)				
X_e (cm)				
TVL_l (cm)	41			
TVL (cm)	37			
B	1.00×10^{-8}	2.54×10^{-8}	1.00×10^{-8}	2.54×10^{-8}
R (m)				
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8		3.6×10^8	
f	1			
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.072	0.201	0.072	0.201
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) (剂量率参考控制水平)	2.5	10	10	10
评价	满足	满足	满足	满足

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

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

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

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

②泄漏辐射计算模式及参数

泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。 $f=0.001$ (泄漏辐射比率, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011), 加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3}), 公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 对应 10MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$; 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=34\text{cm}$, $TVL=29\text{cm}$ 。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先用公式 11-2 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e (cm), 按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s (其

中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，当散射角为 30°时，对于 10MeV 射线，患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm；对于 6MV 射线，患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm），再按照公式 11-5 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

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

式中： \dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目加速器 X 射线 10MV 时为 $3.6\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，6MV 时为 $1.44\times 10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 10MeV、30°取值，为 3.18×10^{-3} ；按 6MV、30°取值，为 2.77×10^{-3} 。

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目为 $40\text{cm}\times 40\text{cm}=1600\text{cm}^2$ 。

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

④预测计算结果

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

表 11-3 (a) 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值（6MV）

参数 ¹⁾	1#加速器机房		2#加速器机房	
	东墙次屏蔽 (c_1 、 c_2 点)	屋顶次屏蔽 (n_1 、 n_2 点)	东墙次屏蔽 (c_1 、 c_2 点)	屋顶次屏蔽 (n_1 、 n_2 点)
X (cm)				
X_e (cm)				
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44 $\times 10^9$		1.44 $\times 10^9$	
泄漏	TVL_l (cm)		34	

辐射	TVL (cm)	29			
	B	6.78×10^{-6}	1.46×10^{-8}	6.78×10^{-6}	1.46×10^{-8}
	R (m)				
	f	0.001			
	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.152	3.71×10^{-4}	0.152	3.71×10^{-4}
散射辐射	TVL_1 (cm)	26			
	TVL (cm)	26			
	R_s (m)	8.01	7.54	8.01	7.54
	α_{ph}	2.77×10^{-3}			
	B	1.10×10^{-6}	1.17×10^{-9}	1.10×10^{-6}	1.17×10^{-9}
	F (cm^2)	1600			
	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.274	3.29×10^{-4}	0.274	3.29×10^{-4}
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 泄漏辐射和散射辐射的 复合作用	0.426	0.001	0.426	0.001	
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平 ¹⁾	2.5	10	10	10	
评价	满足	满足	满足	满足	
<p>注：机房东墙次屏蔽 c_1 点为控制室，剂量率限值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$；c_2 点为水冷机房，剂量率限值为 $10\mu\text{Sv/h}$。当东墙次屏蔽剂量率满足 c_1 点参考控制水平时，亦能满足 c_2 点参考控制水平。</p> <p>表 11-3 (b) 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值 (10MV)</p>					
参数 ¹⁾	1#加速器机房		2#加速器机房		
	东墙次屏蔽 (c_1 、 c_2 点)	屋顶次屏蔽 (n_1 、 n_2 点)	东墙次屏蔽 (c_1 、 c_2 点)	屋顶次屏蔽 (n_1 、 n_2 点)	
X (cm)					
X_e (cm)					
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8		3.6×10^8		
泄漏辐射	TVL_1 (cm)	35			
	TVL (cm)	31			
	B	1.36×10^{-5}	4.35×10^{-8}	1.36×10^{-5}	4.35×10^{-8}

	R (m)				
	f	0.001			
	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.076	2.76×10^{-4}	0.076	2.76×10^{-4}
散射 辐射	TVL_l (cm)	28			
	TVL (cm)	28			
	R_s (m)	8.01	7.54	8.01	7.54
	α_{ph}	3.18×10^{-3}			
	B	2.94×10^{-6}	5.09×10^{-9}	2.94×10^{-6}	5.09×10^{-9}
	F (cm^2)	1600			
	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.210	4.10×10^{-4}	0.210	4.10×10^{-4}
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 泄漏辐射和散射辐射的 复合作用	0.286	0.001	0.286	0.001	
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平 ¹⁾	2.5	10	10	10	
评价	满足	满足	满足	满足	

注：机房东墙次屏蔽 c_1 点为控制室，剂量率限值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ； c_2 点为水冷机房，剂量率限值为 $10\mu\text{Sv/h}$ 。当南墙次屏蔽剂量率满足 c_1 点参考控制水平时，亦能满足 c_2 点参考控制水平。

(3) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算（1#加速器机房北墙 f 点，2#加速器机房北墙 f 点，2 加速器机房南侧 e 点）

①射线路径（射线类型）： $o \rightarrow e$ （泄漏射线）， $o \rightarrow f$ （泄漏射线）。

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区， $f=0.001$ （泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3} ）。公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 10MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ；对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 $TVL_l=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

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

表 11-4 (a) 医用直线加速器机房迷路墙外、南墙外泄漏辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	1#加速器机房	2#加速器机房	
	迷路墙外 (<i>f</i> 点)	迷路墙外 (<i>f</i> 点)	南墙外 (<i>e</i> 点)
<i>X</i> (cm)			
<i>X_e</i> (cm)	300 砵	260 砵	180 砵
<i>TVL₁</i> (cm)	34		
<i>TVL</i> (cm)	29		
<i>B</i>	6.72×10^{-11}	1.61×10^{-9}	9.24×10^{-7}
<i>R</i> (m)			
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	
<i>f</i>	0.001	0.001	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.14×10^{-6}	2.74×10^{-5}	0.037
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	10	2.5	10
评价	满足	满足	满足

表 11-4 (b) 医用直线加速器机房迷路墙外、西墙外泄漏辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	1#加速器机房	2#加速器机房	
	迷路墙外 (<i>f</i> 点)	迷路墙外 (<i>f</i> 点)	南墙外 (<i>e</i> 点)
<i>X</i> (cm)			
<i>X_e</i> (cm)			
<i>TVL₁</i> (cm)	35		
<i>TVL</i> (cm)	31		
<i>B</i>	2.83×10^{-10}	5.52×10^{-9}	2.10×10^{-6}
<i>R</i> (m)			
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.60×10^8	3.60×10^8	
<i>f</i>	0.001		

\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.20×10^{-6}	2.35×10^{-5}	0.021
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	10	2.5	10
评价	满足	满足	满足

(4) 迷路外墙屏蔽设计核算 (迷路外墙 k 点)

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

②计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷路内墙照射, 该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区, $f=0.001$ (泄漏辐射比率, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011), 加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3})。公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 对应 10MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$; 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=34\text{cm}$, $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

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

表 11-5 (a) 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	1#加速器机房迷路外墙 (k 点)	2#加速器机房迷路外墙 (k 点)
X (cm)		
X_e (cm)		
TVL_l (cm)	34	
TVL (cm)	29	
B	7.51×10^{-7}	1.89×10^{-5}
R (m)		
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9
f	0.001	
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.012	0.313
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	10	10

评价	满足	满足
表 11-5 (b) 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值 (10MV)		
参数	1#加速器机房迷路外墙 (k 点)	2#加速器机房迷路外墙 (k 点)
X (cm)		
X_e (cm)		
TVL_l (cm)	35	
TVL (cm)	31	
B	1.73×10^{-6}	3.53×10^{-5}
R (m)		
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8
f	0.001	
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.007	0.147
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	10	10
评价	满足	满足

(5) 迷路入口处辐射水平核算 (g 点)

根据 GBZ/T 201.2-2011, g 点处同时受到迷道内散射辐射 ($o_2 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$) 及加速器的泄漏辐射 o_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量。

①射线路径 (射线类型): $o_2 \rightarrow g$ (泄漏射线), $o_2 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$ (散射射线)。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 k 点。

其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读出, 取泄漏因子 $f=0.001$, 公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 对应 10MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$; 对应 6MV 的 X 射线能量, 混凝土 $TVL_l=34\text{cm}$, $TVL=29\text{cm}$ 。计算结果见表 11-6。

表 11-6 (a) 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	1#加速器机房迷路入口处 (g 点)	2#加速器机房迷路入口处 (g 点)
----	--------------------	--------------------

X (cm)		
X_e (cm)		
TVL_l (cm)	34	
TVL (cm)	29	
B	1.46×10^{-7}	6.02×10^{-5}
R (m)		
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9
f	0.001	
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.003	0.928

表 11-6 (b) 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	1#加速器机房迷路入口处 (g 点)	2#加速器机房迷路入口处 (g 点)
X (cm)		
X_e (cm)		
TVL_l (cm)	35	
TVL (cm)	31	
B	3.75×10^{-7}	1.05×10^{-4}
R (m)		
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.60×10^8	3.60×10^8
f	0.001	
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.002	0.403

③ 散射辐射计算模式及参数选择

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

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

式中: \dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

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

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

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

A — i 处的散射面积，m²；

R_1 —“ $o \rightarrow i$ ”之间的距离，m；

R_2 —“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离，m；

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-7 (a) 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	1#加速器机房迷路入口处 (g 点)	2#加速器机房迷路入口处 (g 点)
α_{ph}	1.39×10^{-3}	1.39×10^{-3}
F (cm ²)	1600	1600
α_2	6.4×10^{-3}	6.4×10^{-3}
R_1 (m)	7.56	7.56
R_2 (m)	10.5	10.5
A (m ²)	17.5	17.5
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	142.3	142.3

表 11-7 (b) 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	1#加速器机房迷路入口处 (g 点)	2#加速器机房迷路入口处 (g 点)
α_{ph}	1.35×10^{-3}	1.35×10^{-3}
F (cm ²)	1600	1600
α_2	5.1×10^{-3}	5.1×10^{-3}
R_1 (m)	7.56	7.56

R_2 (m)	10.5	10.5
A (m ²)	17.5	17.5
\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)	3.60×10^8	3.60×10^8
\dot{H}_g (μSv/h)	27.53	27.53

④预测计算结果

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

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

式中: \dot{H}_{og} — g 处的泄漏辐射剂量率, μSv/h;

\dot{H}_g — g 处的散射辐射剂量率, μSv/h;

TVL ——辐射在铅中的什值层, cm;

X —铅屏蔽厚度, cm。

表 11-8 (a) 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值 (6MV)

参数	1#机房入口防护门外 (g 点)	2#机房入口防护门外 (g 点)
\dot{H}_{og} (μSv/h)	0.003	0.928
\dot{H}_g (μSv/h)	142.3	142.3
X (cm)	2 (铅)	2 (铅)
TVL (cm)	0.5 (铅)	0.5 (铅)
\dot{H} (μSv/h) 防护门外的辐射剂量率	0.017	0.943
\dot{H}_c (μSv/h) 剂量率参考控制水平	10	10
评价	满足	满足

表 11-8 (b) 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值 (10MV)

参数	1#机房入口防护门外 (g 点)	2#机房入口防护门外 (g 点)
\dot{H}_{og} (μSv/h)	0.002	0.403
\dot{H}_g (μSv/h)	27.53	27.53

X (cm)	2.5 (铅)	2.5 (铅)
TVL (cm)	0.5 (铅)	0.5 (铅)
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 防护门外的辐射剂量率	0.004	0.406
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	10	10
评价	满足	满足

3、预测计算结果汇总及评价

综上所述，医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 (a) 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总 (6MV)

参考点		剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
1#加速器 机房	东墙 a 点 (设备机房)	0.031	10	满足
	顶部 1 点 (道路)	0.097	10	满足
	东墙 c ₁ 点 (控制室)	0.426	2.5	满足
	东墙 c ₂ 点 (水冷机房)	0.426	10	满足
	顶部 n1、n2 点 (道路)	0.001	10	满足
	迷路墙外 f 点 (2#加速器机房)	1.07×10^{-6}	10	满足
	迷路外墙 k 点 (2#加速器机房)	0.012	10	满足
	迷路入口防护门 g 点 (更衣室)	0.017	10	满足
2#加速器 机房	东墙 a 点 (楼梯间)	0.031	10	满足
	顶部 1 点 (道路)	0.097	10	满足
	东墙 c ₁ 点 (楼梯间)	0.426	10	满足
	东墙 c ₂ 点 (更衣室)	0.426	10	满足
	顶部 n1、n2 点 (道路)	0.001	10	满足
	迷路墙外 f 点 (控制室)	2.74×10^{-5}	2.5	满足
	迷路外墙 k 点 (设备机房)	0.313	10	满足
	南墙外 e 点 (1#加速器机房)	0.037	10	满足

	迷路入口防护门 g 点 (更衣室)	0.943	10	满足
--	----------------------	-------	----	----

表 11-9 (b) 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总 (10MV)

参考点		剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
1#加速器 机房	东墙 a 点 (设备机房)	0.072	10	满足
	顶部 l 点 (道路)	0.201	10	满足
	东墙 c ₁ 点 (控制室)	0.238	2.5	满足
	东墙 c ₂ 点 (设备机房)	0.238	10	满足
	顶部 n1、n2 点 (道路)	0.001	10	满足
	迷路墙外 f 点 (2#加速器机房)	1.13×10^{-6}	10	满足
	迷路外墙 k 点 (2#加速器机房)	0.007	10	满足
	迷路入口防护门 g 点 (更衣室)	0.004	10	满足
2#加速器 机房	东墙 a 点 (楼梯间)	0.072	10	满足
	顶部 l 点 (道路)	0.201	10	满足
	东墙 c ₁ 点 (楼梯间)	0.238	10	满足
	东墙 c ₂ 点 (更衣室)	0.238	10	满足
	顶部 n1、n2 点 (道路)	0.001	10	满足
	迷路墙外 f 点 (控制室)	2.35×10^{-5}	2.5	满足
	迷路外墙 k 点 (设备机房)	0.021	10	满足
	南墙外 e 点 (1#加速器机房)	0.147	10	满足
	迷路入口防护门 g 点 (更衣室)	0.406	10	满足

由表 11-9 可知, 本项目医用直线加速器机房屏蔽设计能够满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 的要求, 即使考虑 2 台加速器同时出束工作的情况, 机房外的叠加辐射剂量率也能满足相关标准要求。本项目 1#加速器控制室设于加速器机房东侧, 未能避开有用线束照射方向, 但经理论预测计算可知, 控制室处辐射剂量率能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求。

本项目医用直线加速器机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目医用直线加速器机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”

本项目医用直线加速器机房进、排风管道穿墙处均采用“S”形设计，管道为方管，尺寸为 580mm×400mm，管道经防护门上方由迷道到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线在到达通风管道口前、在通风管道内，至少经过三次散射才能到达管道出口处，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”形穿墙管道，穿墙处埋地深度为 900mm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，2#加速器机房射线至少经过三次散射才能到达电缆沟出口，能够满足辐射防护要求；1#加速器机房电缆沟设于机房东侧，极端情况下射线经过 2 次散射可到达电缆沟出口，医院拟在防护墙两侧电缆沟口设置铅防护盖板作为补充防护措施。

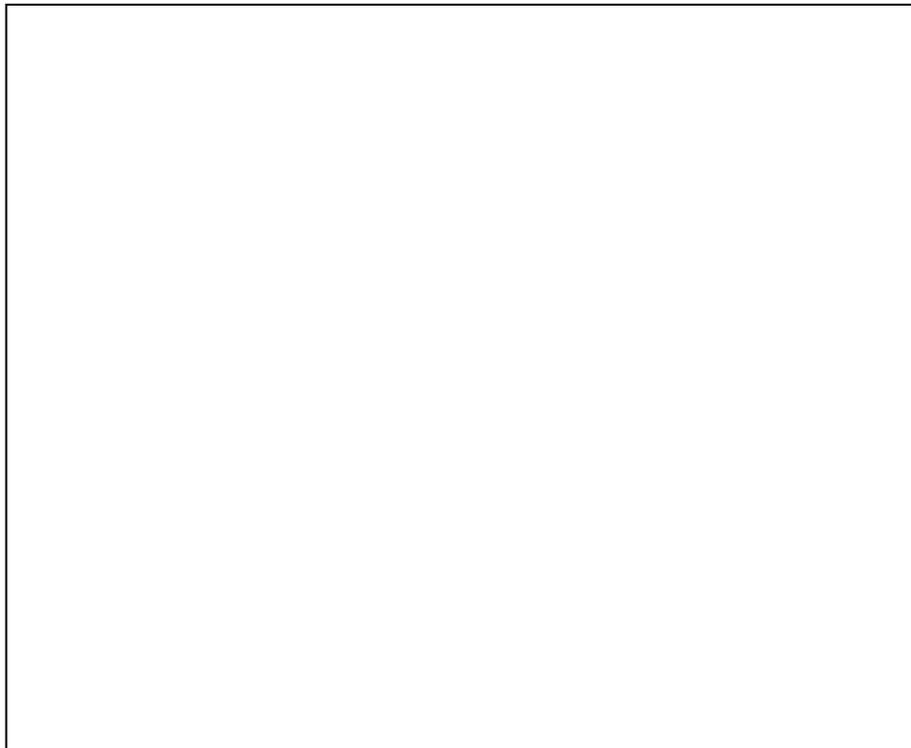


图 11-2 本项目加速器机房送排风管道、电缆沟散射路径示意图

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

4、保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

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

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

H —考察点的周围辐射剂量率（Sv/h）；

t —考察点处年受照时间（h）；

T —居留因子；

U —使用因子。

将表 11-9 中医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8。根据医院提供资料，本项目单台医用直线加速器年出束运行时间约 300h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-8 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-10。

表 11-10 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

参考点	参考点所在场所	剂量率估算值 (μ Sv/h)	居留因子 T^1	使用因子 U	人员可达处 年有效剂量 (mSv/a)	目标 管理值 (mSv/a)	结论	
1# 加速器 机房	东墙主屏蔽 (a 点)	设备机房	0.072	1/16	1/4	3.38E-04	5	满足
	顶部主屏蔽 (l 点)	地面道路	0.201	1/40	1/4	3.77E-04	0.1	满足
	东墙次屏蔽 (c_1 点)	控制室	0.426	1	1	1.28E-01	5	满足
	东墙次屏蔽 (c_2 点)	水冷机房	0.426	1/16	1	7.99E-03	5	满足
	顶部次屏蔽 (n_1 、 n_2)	地面道路	0.001	1/40	1	7.50E-06	0.1	满足
	迷路外墙 (f 点)	2#加速器 机房	1.13×10^{-6}	1/2	1	1.70E-07	5	满足
	迷路墙外 (k 点)	2#加速器 机房	0.012	1/2	1	1.80E-03	5	满足
	迷路入口防护门 (g 点)	更衣室	0.017	1/8	1	6.38E-04	5	满足
2#	东墙主屏蔽 (a 点)	楼梯间	0.072	1/40	1/4	1.35E-04	0.1	满足

加速器机房	顶部主屏蔽 (<i>l</i> 点)	楼外地面	0.201	1/40	1/4	3.77E-04	0.1	满足
	东墙次屏蔽 (<i>c₁</i> 点)	楼梯间	0.426	1/40	1	3.20E-03	0.1	满足
	东墙次屏蔽 (<i>c₂</i> 点)	更衣室	0.426	1/8	1	1.60E-02	5	满足
	顶部次屏蔽 (<i>n₁</i> 、 <i>n₂</i>)	地面道路	0.001	1/40	1	7.50E-06	0.1	满足
	迷路外墙 (<i>f</i> 点)	控制室	2.74×10^{-5}	1	1	8.22E-06	5	满足
	迷路墙外 (<i>k</i> 点)	水冷机房、设备机房	0.313	1/16	1	5.87E-03	5	满足
	迷路入口防护门 (<i>g</i> 点)	更衣室	0.943	1/8	1	3.54E-02	5	满足
	南墙外 (<i>e</i> 点)	1#加速器机房	0.037	1/2	1	5.55E-03	5	满足

注：1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 表 A.1；

2、剂量率估算值取 6MV、10MV 两种能量下的较大值。

根据表 11-10 结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量最大为 0.128mSv，周围公众年有效剂量最高为 0.003mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。本项目 1#加速器控制室设于加速器机房东侧，未能避开有用线束照射方向，但经理论预测计算可知，控制室辐射工作人员年有效剂量能够满足本项目剂量约束值要求。

当本项目 2 台加速器同时运行时，1#加速器东侧控制室的工作人员、2#加速器东侧楼梯间内的公众、2#加速器北侧控制室的工作人员、2 台加速器顶部可能到达的公众会受到剂量叠加影响。保守计算考虑，将 2#加速器东侧楼梯间 (*a* 点) 居留因子取 1，与 1#加速器东侧控制室 (*c₁* 点) 有效剂量进行叠加，作为 1#加速器东侧控制室内工作人员的叠加剂量参考值，即 $0.005+0.128=0.133\text{mSv/a}$ ；将 1#加速器东侧控制室 (*c₁* 点) 居留因子取 1/40，与 2#加速器东侧楼梯间 (*a* 点) 有效剂量进行叠加，作为 2#加速器东侧楼梯间内公众的叠加剂量参考值，即 $7.99 \times 10^{-4}+3.2 \times 10^{-3}=0.004\text{mSv/a}$ ；将 1#加速器机房北侧迷路墙外 (*k* 点) 有效剂量与 2#加速器机房北侧控制室 (*f* 点) 有效剂量进行叠加，作为 2#加速器机房北侧控制室内工作人员的叠加剂量参考值，即 $1.80 \times 10^{-3}+8.22 \times 10^{-6}=0.002\text{mSv/a}$ ；将 1#、2#加速器顶部 (*l* 点) 有效剂量进行叠加，作为 2 台加速器顶部公众的叠加剂量参考值，即 $3.77 \times 10^{-4}+3.77 \times 10^{-4}=0.001\text{mSv/a}$ 。

由上述保守计算结果可知，即使考虑 2 台加速器同时运行的叠加影响，本项目辐射工作人员及周围公众的年有效剂量也能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。

• CT 模拟定位机、模拟定位机

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

表 11-11 CT 模拟定位机、模拟定位机机房屏蔽防护设计一览表

工作场所	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
CT 模拟定位机 机房	墙体		>3mm	CT 模拟定位机房有用线束方向、非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb。	满足
	防护门		4mm		满足
	观察窗		4mm		满足
	顶部		>3mm		满足
	机房面积	60.5m ² ，单边最短长度 7.26m		CT 模拟定位机房内最小有效新建面积不小于 30m ² ，单边长度不小于 4.5m。	满足
模拟定位机 机房	墙体		>3mm	CT 模拟定位机房有用线束方向、非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb。	满足
	防护门		4mm		满足
	观察窗		4mm		满足
	顶部		>3mm		满足
	机房面积	62.7m ² ，单边最短长度 7.26m		CT 模拟定位机房内最小有效新建面积不小于 30m ² ，单边长度不小于 4.5m。	满足

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

2、查 GBZ 130-2020 表 C.4，管电压为 140kV（CT）时，104mm 混凝土等效为 1mmPb，则 120mm 混凝土等效铅当量不低于 1mmPb；

3、240mm 实心砖等密度换算为 170mm 混凝土，170mm 混凝土等效铅当量不低于 1mmPb。

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

（二）核医学科项目

本项目主要污染因子为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性核素在取药、分装等操作过程中产生的 β 、 γ 射线及 β 放射性表面污染；PET/CT、SPECT/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

1、 β 射线辐射影响分析

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

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\text{max}} \quad \text{公式 11-9}$$

式中： $E_{\beta\text{max}}$ — β 射线的能量，MeV；

ρ —物质的密度， g/cm^3 。

d —与最大射程对应的防护厚度，cm。

主要计算参数及结果见表 11-12。

表 11-12 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 (g/cm^3)	对应的防护厚度 (cm)
^{18}F		铅		0.028
		混凝土		0.134
^{131}I		铅		0.027
		混凝土		0.128

本项目手套箱采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体采用混凝土及铅板、顶部采用混凝土及铅板，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，本项目放射性核素 ^{18}F 、 ^{131}I 产生的 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

综上所述，本项目涉及使用的 ^{18}F 、 ^{131}I 放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服，且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、 β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐

射影响，因此，为了使本项目核医学科的β放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

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

②本项目放射性核素操作均在手套箱中进行；

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

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

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

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

3、γ射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（本项目涉及 ^{99m}Tc、¹⁸F、¹³¹I）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

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

式中： x —屏蔽厚度，mm；

TVL —γ射线的十分之一值层厚度，mm；

A —单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ；

\dot{H}_p —屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —放射源到考察点的距离，m。

由公式 I.1 推导可得：

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

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅和混凝土对 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 什值层见表 11-13。

表 11-13 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度（TVL）

核素	铅（11.3g/cm ³ ）	混凝土（2.35g/cm ³ ）
^{18}F	16.6mm	176mm
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1mm	110mm
^{131}I	11mm	170mm

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

本项目甲状腺吸碘率测定患者单次口服剂量不超过 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ （0.01mCi），甲亢治疗患者单次口服剂量不超过 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），均能满足 HJ 1188-2021 中要求的放射治疗患者出院时体内放射性活度不大于 400MBq 的要求，患者在服药后若无异常情况即可直接离开，其外照射影响基本可以忽略。SPECT/CT 诊断、PET/CT 诊断患者给药后需在核医学候诊、扫描、留观，停留时间较长；甲亢治疗患者服药后需住院，住院周期一般为 3~5 天，根据 HJ 1188-2021 的要求，患者体内 ^{131}I 放射性活度降至 400MBq 以下或距离体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 方可出院。因此本报告对 SPECT/CT 诊断项目、PET/CT 诊断项目、甲亢治疗项目的外照射影响进行预测计算分析。

根据公式 11-10 可估算出核医学科项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-3，预测结果见表 11-14。

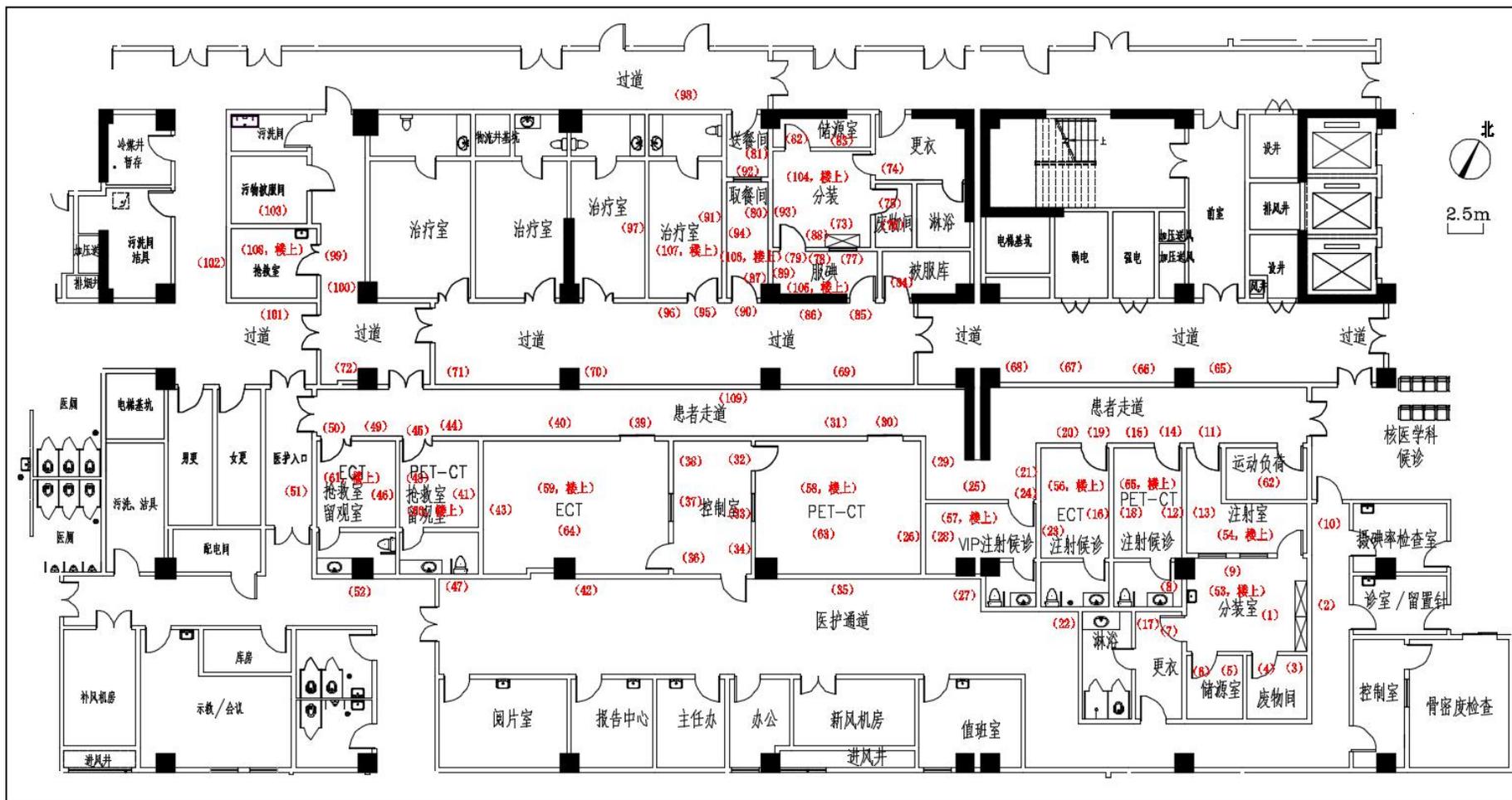


图 11-3 核医学项目剂量率估算点位示意图

表 11-14 核医学项目工作场所辐射水平估算结果

点位	参考点位置	源强 (MBq)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度 ¹⁾	透射比	参考点辐射水平 (μSv/h)	控制目标值 (μSv/h)	备注	
PET/CT 诊断项目	1	手套箱外 30cm 处 (人员操作位)	14800	0.5		6.07E-05	0.514	2.5	铅罐为 20mmPb, 手套箱正对人员操作位面为 50mmPb, 非正对人员操作位面不低于 30mmPb
		手套箱外 30cm 处 (非正对人员操作位)	14800	0.5		9.73E-04	8.234	25	
	2	分装室东墙外 30cm (过道)	370	3.1		0.0562	0.310	2.5	墙体为 240mm 实心砖+6mmPb, 注射器铅套 8mmPb
	3	分装室南墙外 30cm (废物间)	370	2.86		0.0562	0.364	10	
	4	分装室南侧防护门外 30cm (废物间)	370	2.63		0.3297	2.522	10	防护门为 8mmPb, 注射器铅套 8mmPb
	5	分装室南墙外 30cm (储源室)	370	2.62		0.0562	0.433	10	墙体为 240mm 实心砖+6mmPb, 注射器铅套 8mmPb
	6	分装室南侧防护门外 30cm (储源室)	370	3.17		0.3297	1.736	10	防护门为 8mmPb, 注射器铅套 8mmPb
	7	分装室西侧防护门外 30cm (更衣室)	370	3.10		0.3297	1.815	2.5	
	8	分装室西墙外 30cm (PET/CT 注射后候诊室)	370	3.10		0.0562	0.310	10	墙体为 240mm 实心砖+6mmPb, 注射器铅套 8mmPb
	9	注射位	370	0.5		0.0051	1.088	2.5	注射器铅套 8mmPb, 注射窗 30mmPb
	10	注射室东墙外 30cm (过道)	370	3.1		0.0562	0.310	2.5	/
11	注射室北侧防护门外 30cm (患者走道)	370	4.37		0.3297	0.913	10	/	

12	注射室西墙外 30cm (PET/CT 注射后候诊室)	370	3.1	0.0562	0.310	10	/
13	PET/CT 注射后候诊室东墙外 30cm (注射室)	370×2	1.98	0.0562	0.977	10	/
14	PET/CT 注射后候诊室防护门 外 30cm (患者走道)	370×2	2.97	0.3297	2.544	10	/
15	PET/CT 注射后候诊室北墙外 30cm (患者走道)	370×2	2.85	0.0562	0.471	10	/
16	PET/CT 注射后候诊室西墙外 30cm (SPECT 注射后候诊室)	370×2	1.98	0.0562	0.977	10	/
17	PET/CT 注射后候诊室南墙外 30cm (更衣室)	370×2	4.95	0.0562	0.156	2.5	/
23	VIP 注射后候诊室东墙外 (SPECT 注射后候诊室)	370	2.88	0.0562	0.231	10	/
24	VIP 注射后候诊室防护门外 30cm (患者走道)	370	2.70	0.3297	1.539	10	/
25	VIP 注射后候诊室北墙外 30cm (患者走道)	370	2.00	0.0562	0.479	10	/
26	VIP 注射后候诊室西墙外 30cm (PET/CT 机房)	370	2.88	0.0323	0.133	10	/
27	VIP 注射后候诊室南墙外 30cm (医护通道)	370	2.00	0.0562	0.479	2.5	/
28	PET/CT 机房东墙外 30cm (VIP 注射后候诊室)	370	4.07	0.0323	0.066	2.5	/
29	PET/CT 机房东墙外 30cm (患者走道)	370	4.44	0.0323	0.056	2.5	/
30	PET/CT 机房防护大门外 30cm (患者走道)	370	3.98	0.3297	0.708	2.5	/
31	PET/CT 机房北墙外 30cm (患者走道)	370	3.35	0.0323	0.098	2.5	/
32	PET/CT 机房防护小门外 30cm (控制室)	370	4.64	0.3297	0.521	2.5	/

33	PET/CT 机房观察窗外 30cm (控制室)	370	4.07		0.3297	0.677	2.5	/
34	PET/CT 机房西墙外 30cm (控制室)	370	4.44		0.0323	0.056	2.5	/
35	PET/CT 机房南墙外 30cm (医护通道)	370	3.35		0.0323	0.098	2.5	/
43	PET/CT 留观/抢救室东墙外 30cm (SPECT/CT 机房)	370	2.20		0.0562	0.395	10	/
44	PET/CT 留观/抢救室北墙外 30cm (患者走道)	370	3.44		0.0562	0.162	10	/
45	PET/CT 留观/抢救室防护门外 30cm (患者走道)	370	3.48		0.3297	0.927	10	/
46	PET/CT 留观/抢救室西墙外 30cm (患者走道)	370	2.20		0.0562	0.395	10	/
47	PET/CT 留观/抢救室南墙外 30cm (医护通道)	370	3.35		0.0281	0.085	2.5	/
53	分装室楼上地面 30cm 处 (病房大厅)	370	2.82		0.0949	0.127	2.5	/
54	注射室楼上地面 30cm (病房大厅)	370	2.82		0.0949	0.127	2.5	/
55	PET/CT 注射室后候诊室楼上 地面 30cm (病房大厅)	370×2	2.82		0.0949	0.164	2.5	/
56	VIP 注射后候诊室楼上地面 30cm (清洁工具间)	370	2.82		0.0949	0.082	2.5	/
58	PET/CT 机房楼上地面 30cm (库房)	370	2.82		0.0949	0.082	2.5	/
60	PET/CT 抢救/留观室楼上 30cm (检查包装灭菌区)	370	2.82		0.0949	0.082	2.5	/
62	注射室北墙外 30cm (运动负荷)	370	1.55		0.0562	1.238	10	/
63	PET/CT 摆位/取消摆位	370	1		1	34.040	/	考虑无防护状态

	65	注射室北侧患者走道外 30cm (过道)	370	6.97		0.0036	0.039	2.5	房间门为 8mmPb, 患者走道北侧墙壁为 315mm 混凝土实心砖+30mm 水泥粉刷(满浆)
	66	PET/CT 注射后候诊室北侧患者走道外 30cm (过道)	370	5.57		0.0036	0.025	2.5	
	68	VIP 注射后候诊室北侧患者走道外 30cm (过道)	370	7		0.0036	0.025	2.5	
	69	PET/CT 机房北侧患者走道外 30cm (过道)	370	5.55		0.0036	0.025	2.5	
	71	PET/CT 抢救/留观室北侧患者走道外 30cm (过道)	370	5.68		0.0036	0.025	2.5	
SPECT/CT 诊断项目	1	手套箱外 30cm 处 (人员操作位)	7400	0.5		1.00E-20	8.79E-18	2.5	铅罐为 10mmPb, 手套箱正对人员操作位面为 10mmPb, 非正对人员操作位面不要求铅防护
		手套箱外 30cm 处 (非正对人员操作位)	7400	0.5		1.00E-10	8.97E-08	25	
	2	分装室东墙外 30cm (过道)	740	3.1		1.00E-02	2.33E-02	2.5	/
	3	分装室南墙外 30cm (废物间)	740	2.86		1.00E-02	2.74E-02	10	/
	4	分装室南侧防护门外 30cm (废物间)	740	2.63		1.00E-08	3.24E-08	10	/
	5	分装室南墙外 30cm (储源室)	740	2.62		1.00E-02	3.27E-02	10	/
	6	分装室南侧防护门外 30cm (储源室)	740	3.17		1.00E-08	2.23E-08	10	防护门为 8mmPb,
	7	分装室西侧防护门外 30cm (更衣室)	740	3.10		1.00E-08	2.33E-08	2.5	
	8	分装室西墙外 30cm (PET/CT 注射后候诊室)	740	3.10		1.00E-02	2.33E-02	10	/
	9	注射位	740	0.5		1.00E-10	8.97E-09	2.5	注射窗 10mmPb

10	注射室东墙外 30cm (过道)	740	3.1		1.00E-02	2.33E-02	2.5	/
11	注射室北侧防护门外 30cm (患者通道)	740	4.37		1.00E-08	1.17E-08	10	/
12	注射室西墙外 30cm (PET/CT 注射后候诊室)	740	3.1		1.00E-02	2.33E-02	10	/
18	SPECT/CT 注射后候诊室东墙外 30cm (PET/CT 注射后候诊室)	740×3	1.98		1.00E-02	1.17E-01	10	/
19	SPECT/CT 注射后候诊室防护门外 30cm (患者通道)	740×3	3.98		1.00E-05	2.90E-05	10	/
20	SPECT/CT 注射后候诊室北墙外 30cm (患者通道)	740×3	3.90		1.00E-02	3.02E-02	10	/
21	SPECT/CT 注射后候诊室西墙外 30cm (患者通道)	740×3	1.98		1.00E-02	1.17E-01	10	/
22	SPECT/CT 注射后候诊室南墙外 30cm (医护通道)	740×3	3.90		1.00E-02	3.02E-02	2.5	/
23	VIP 注射后候诊室东墙外 30cm (SPECT/CT 注射后候诊室)	740×3	2.88		1.00E-02	5.54E-02	10	/
24	VIP 注射后候诊室防护门外 30cm (患者通道)	740	2.73		1.00E-08	2.06E-08	10	/
25	VIP 注射后候诊室北墙外 30cm (患者通道)	740	1.90		1.00E-02	4.24E-02	10	/
26	VIP 注射后候诊室西墙外 30cm (PET/CT 机房)	740	2.88		1.00E-02	1.85E-02	10	/
27	VIP 注射后候诊室南墙外 30cm (医护通道)	740	1.90		1.00E-02	4.24E-02	2.5	/
36	SPECT/CT 机房防护小门外 30cm (控制室)	740	5.00		1.00E-05	6.13E-06	2.5	/
37	SPECT/CT 机房观察窗外 30cm (控制室)	740	4.50		1.00E-05	7.56E-06	2.5	/
38	SPECT/CT 机房东墙外 30cm (控制室)	740	4.84		1.00E-04	6.54E-05	2.5	/

39	SPECT/CT 机房防护大门外 30cm (患者走道)	740	4.34	1.00E-05	8.13E-06	2.5	/
40	SPECT/CT 机房北墙外 30cm (患者走道)	740	3.35	1.00E-04	1.36E-04	2.5	/
41	SPECT/CT 机房西墙外 30cm (PET/CT 留观/抢救室)	740	4.50	1.00E-04	7.56E-05	2.5	/
42	SPECT/CT 机房南墙外 30cm (医护通道)	740	3.35	1.00E-04	1.36E-04	2.5	/
48	SPECT/CT 留观/抢救室东墙外 30cm (PET/CT 留观/抢救室)	740	2.20	1.00E-02	3.16E-02	10	/
49	SPECT/CT 留观/抢救室北墙外 30cm (患者通道)	740	3.35	1.00E-02	1.36E-02	10	/
50	SPECT/CT 留观/抢救室防护门 外 30cm (患者通道)	740	3.50	1.00E-05	1.25E-05	10	/
51	SPECT/CT 留观/抢救室西墙外 30cm (医护通道)	740	2.20	1.00E-02	3.16E-02	2.5	/
52	SPECT/CT 留观/抢救室南墙外 30cm (医护通道)	740	3.35	1.00E-02	1.36E-02	2.5	/
53	分装室楼上地面 30cm (病房大厅)	740	2.82	2.31E-02	6.51E-02	2.5	/
54	注射室楼上地面 30cm (病房大厅)	740	2.82	2.31E-02	6.51E-02	2.5	/
56	SPECT/CT 注射后候诊室楼上 地面 (病房大厅)	740×3	2.82	2.31E-02	1.33E-01	2.5	/
57	VIP 注射后候诊室楼上地面 30cm (清洁工具间)	740	2.82	2.31E-02	4.45E-02	2.5	/
59	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm (低温灭菌区)	740	2.82	2.31E-04	4.45E-04	2.5	/
61	SPECT/CT 留观/抢救室楼上地 面 30cm (检查包装灭菌区)	740	2.82	2.31E-02	4.45E-02	2.5	/
62	注射室北墙外 30cm (运动负荷)	740	1.55	1.00E-02	9.33E-02	2.5	/

	64	SPECT 摆位/取消摆位	740	1.0	/	1	15.318	/	考虑无防护状态
	65	注射室北侧患者走道外 30cm (治疗区过道)	740	6.97		7.31E-04	3.37E-04	2.5	/
	67	SPECT/CT 注射后候诊室北侧患者走道外 30cm (治疗区过道)	740×3	6.58		7.31E-04	7.75E-04	2.5	/
	68	VIP 注射后候诊室北侧患者走道外 30cm (治疗区过道)	740	7		7.31E-04	2.28E-04	2.5	/
	70	SPECT/CT 机房北侧患者走道外 30cm (治疗区过道)	740	6.54		7.31E-04	2.62E-04	2.5	/
	72	SPECT/CT 留观/抢救室北侧患者走道外 30cm (治疗区过道)	740	5.7		7.31E-04	3.44E-04	2.5	/
甲癌治疗项目	73	手套箱外 30cm 处 (人员操作位)	25900	0.5		2.31E-04	1.424	2.5	手套箱正对人员操作位面为 40mmPb, 非正对人员操作位面不低于 30mmPb
		手套箱外 30cm 处 (非正对人员操作位)	25900	0.5		1.87E-03	11.55	25	
	74	分装室东门外 30cm (更衣室)	25900	3.85		2.85E-05	6.35E-04	2.5	分装室手套箱内配备自动分装仪, ¹³¹ I 药物全部装入自动分装仪内, 每次分装好的药物由导管直接导出到服碘室。手套箱内 ¹³¹ I 受到手套箱和分装室屏蔽墙的共同屏蔽。
	75	分装室东门外 30cm (废物间)	25900	2.3		2.85E-05	1.78E-03	10	
	76	分装室东墙外 30cm (废物间)	25900	1.69		4.12E-06	4.76E-04	10	
	77	分装室传递窗外 30cm (服碘室)	25900	0.76		1.00E-05	5.72E-03	10	
	78	分装室南墙外 30cm (服碘室)	25900	1.5		1.17E-05	1.72E-03	10	
	79	分装室南门外 30cm (服碘室)	25900	2.4		2.85E-05	1.63E-03	10	
	80	分装室西墙外 30cm (取餐间)	25900	3.5		4.12E-06	1.11E-04	10	

81	分装室西墙外 30cm (送餐间)	25900	4.5	1.17E-05	1.91E-04	2.5	
82	分装室北门外 30cm (储源室)	25900	4.76	2.85E-05	4.15E-04	10	
83	分装室北墙外 30cm (储源室)	25900	4.34	1.17E-05	2.06E-04	10	
84	服碘室东墙外 30cm (被服库)	5550	2.87	0.0178	0.715	2.5	/
85	服碘室南门外 30cm (患者过道)	5550	2.5	0.1233	6.514	10	/
86	服碘室南墙外 30cm (患者过道)	5550	1.55	0.0508	6.983	10	/
87	服碘室西墙外 30cm (取餐间)	5550	2.63	0.0508	2.425	10	/
88	服碘室北墙外 30cm (分装室)	5550	1.45	0.0508	7.979	10	/
89	取餐间东墙外 30cm (服碘室)	5550	1.5	0.0508	7.306	10	/
90	取餐间南门外 30cm (患者过道)	5550	3	0.1233	4.432	10	/
91	取餐间西墙外 30cm (治疗室)	5550	1.4	0.0508	8.387	10	/
92	取餐间传递窗外 30cm (送餐间)	5550	3	0.0433	1.556	2.5	传递窗为 15mmPb
93	取餐间东墙外 30cm (分装室)	5550	1.4	0.0178	2.945	10	/
94	治疗室东墙外 30cm (取餐间)	5550	2.08	0.0508	3.799	10	/
95	治疗室南门外 30cm (患者通道)	5550	3.55	0.1233	3.165	10	/
96	治疗室南墙外 30cm (患者通道)	5550	3.45	0.0508	1.381	10	/

97	治疗室西墙外 30cm (治疗室)	5550	2.08		0.0508	3.799	10	/
98	治疗室北墙外 30cm (过道)	5550	1.4		0.0018	0.289	2.5	/
99	抢救室东门外 30cm (过道)	5550	2.35		0.1233	7.223	10	/
100	抢救室东墙外 30cm (过道)	5550	2.43		0.0508	2.784	10	/
101	抢救室南墙外 30cm (过道)	5550	2		0.0093	0.756	2.5	/
102	抢救室西墙外 30cm (过道)	5550	2.35		0.0093	0.548	2.5	/
103	抢救室北墙外 30cm (污物被服间)	5550	2		0.0508	4.109	10	/
104	分装室楼上地面 30cm (无菌存放区)	5550	5.6		0.0108	0.113	2.5	/
105	服碘室楼上地面 30cm (无菌存放区)	5550	5.6		0.0108	0.113	2.5	/
106	取餐间楼上地面 30cm (无菌存放区)	5550	5.6		0.0108	0.111	2.5	/
107	治疗室楼上地面 30cm (检查包装灭菌区)	5550	5.6		0.0108	0.111	2.5	/
108	抢救室楼上地面 30cm (污箱清洗区)	5550	5.6		0.0108	0.111	2.5	/
109	患者过道南墙外 30cm (诊断区过道)	5550	2.2		0.0093	0.625	10	/

注：1、本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，混凝土实心砖、满浆水泥密度为 2.35g/cm^3 ，铅板密度为 11.34g/cm^3 ；

2、核医学科 PET/CT 诊断项目单日人数较多时，将分上下午两次订购药物并分装，分装室 ^{18}F 手套箱内药物最多 $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$ (10 人 PET/CT 备药量)；

3、核医学科 PET/CT 诊断项目核素分装、注射阶段， ^{18}F 周围剂量当量率常数 (裸源) 取 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，注射后带药患者候诊、扫描、留观阶段，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；

4、核医学科 SPECT/CT 诊断项目单日人数较多时，将分上下午两次订购药物并分装，分装室 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 手套箱内药物最多 $2.96 \times 10^{10}\text{Bq}$ (10 人 SPECT/CT 备药量)；

- 5、核医学科 SPECT/CT 诊断项目核素分装、注射阶段， ^{99m}Tc 周围剂量当量率常数（裸源）取 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，注射后带药患者候诊、扫描、留观阶段，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率取 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；
- 6、核医学科甲癌治疗项目单日多 4 人，甲亢治疗单日最多 10 人，治疗区 ^{131}I 手套箱内单日最大核素药物存量为 $2.59\times 10^{10}\text{Bq}$ ；
- 7、核医学科甲癌治疗项目核素分装、服药阶段， ^{131}I 周围剂量当量率常数（裸源）取 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，服药后带药患者住院、取餐、抢救阶段，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率取 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；
- 8、分装室内同一时段内仅进行一种核素药物的分装，不同时进行两种核素的分装操作；
- 9、本次为保守计算，未考虑病人注射后候诊等过程中核素活度的衰减；
- 10、PET/CT 注射后候诊室内每次最多有 2 人同时候诊，SPECT/CT 注射后候诊室内每次最多有 3 人同时候诊，VIP 注射后候诊室内每次仅有 1 位 PET/CT 项目或 SPECT/CT 项目患者候诊；
- 11、甲癌治疗室墙体、顶面的屏蔽防护设计均相同，计算时取房间面积较小的东侧第一间治疗室为典型进行计算。

由表 11-14 的理论估算结果可以看出，本项目核医学工作场所的屏蔽防护设计均能够满足放射核素药物 (^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I) 辐射防护要求。诊断、治疗期间由于患者相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射（服药）、分批候诊（治疗）的方式，严格按照要求控制候诊室（治疗室）内患者的数量，减少对患者对外环境的辐射影响。

4、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 140kV 核算 PET/CT、SPECT/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-15。

表 11-15 核医学科 PET/CT、SPECT/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数	屏蔽设计 ¹⁾	铅当量	屏蔽要求	评价
PET/CT 机房	墙体	6.6mm ²⁾	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
	防护门	8mm		满足
	观察窗	8mm		满足
	顶部	6mm ²⁾		满足
	地面 ³⁾	/		/
	面积	40.7m ² ，最小单边长度为 5.7m	CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m ² ，单边长度不小于 4.5m。	满足
SPECT/CT 机房	墙体	4.6mm ²⁾	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
	防护门	5mm		满足
	观察窗	5mm		满足
	顶部	4mm ²⁾		满足
	地面 ³⁾	/		/
	面积	45.6m ² ，最小单边长度为 5.7m	CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m ² ，单边长度不小于 4.5m。	满足

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅板密度为 11.34g/cm³；

2、按照 GBZ 130-2020 附录 C 中方法计算 220mm 混凝土、180 在 mm 混凝土 140kV (CT) 管电压下的等效铅当量为 2.2mm、2mm；

3、PET/CT、SPECT/CT 机房下方为土层，地面无需额外防护。

由上表可知，核医学科 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT、SPECT/CT 设备型号未定，以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 200mA、最大管电压为 140kV，根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。

(1) 关注点处散射辐射空气比释动能率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

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

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

I —管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 200mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，本项目最大常用管电压为 140kV，采用内插法查取散射角 90° 时 140kV 对应的 a 值为 0.0016；

S —主束在受照人体上的散射面积，本项目取 314cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

r —受照体至关注点的距离；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-12：

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

式中： X —铅厚度，本项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-15；

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-16。

表 11-16 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
140kV (CT)	2.009	3.99	0.342
120kV (CT)	2.246	5.730	0.5470

(2) 关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射剂量率 \dot{H}_L 采用下式计算：

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

式中： H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 0.8mGy/h。

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-12。

按照公式 11-12 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-17。

表 11-17 (1) PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ¹⁸F 放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	r (m)	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率估算值 H ($\mu\text{Sv/h}$)	¹⁸ F 致参考点 辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	¹⁸ F 与 CT 叠加 致参考点辐射 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制 目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 满足
			B_s	H_s ($\mu\text{Gy/h}$)	B	H_L ($\mu\text{Gy/h}$)					
28	PET/CT 机房东墙外 30cm (VIP 注射后候诊室)	4.07	3.60E-08	1.36E-03	7.27E-08	3.51E-09	2.31E-03	0.066	0.068	2.5	满足
29	PET/CT 机房东墙外 30cm (患者走道)	4.44	3.60E-08	1.15E-03	7.27E-08	2.95E-09	1.94E-03	0.056	0.058	2.5	满足
30	PET/CT 机房防护大门外 30cm (患者走道)	3.98	1.55E-09	6.15E-05	4.31E-09	2.18E-10	1.04E-04	0.708	0.708	2.5	满足
31	PET/CT 机房北墙外 30cm (患者走道)	3.35	3.60E-08	2.01E-03	7.27E-08	5.18E-09	3.40E-03	0.098	0.101	2.5	满足
32	PET/CT 机房防护小门外 30cm (控制室)	4.64	1.55E-09	4.52E-05	4.31E-09	1.60E-10	7.64E-05	0.521	0.521	2.5	满足
33	PET/CT 机房观察窗外 30cm (控制室)	4.07	1.55E-09	5.88E-05	4.31E-09	2.08E-10	9.93E-05	0.677	0.677	2.5	满足
34	PET/CT 机房西墙外 30cm (控制室)	4.44	3.60E-08	1.15E-03	7.27E-08	2.95E-09	1.94E-03	0.056	0.058	2.5	满足
35	PET/CT 机房南墙外 30cm (医护通道)	3.35	3.60E-08	2.01E-03	7.27E-08	5.18E-09	3.40E-03	0.098	0.101	2.5	满足
58	PET/CT 机房楼上地面 30cm (库房)	5.80	1.39E-07	0.003	2.45E-07	5.83E-09	0.004	0.082	0.086	2.5	满足
69	PET/CT 机房北侧患者过 道外 30cm (过道)	5.55	3.60E-08	7.34E-04	7.27E-08	1.89E-09	1.24E-03	0.025	0.026	2.5	满足

注：PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_s \cdot K_s + H_L \cdot K_L$ ，式中： K_s 、 K_L 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B2， K_s 取 1.69， K_L 取 1.64。

表 11-17 (2) SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{99m}Tc 放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	r (m)	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率估算值 H ($\mu\text{Sv/h}$)	^{99m} Tc 致参考 点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	^{99m} Tc 与 CT 叠 加致参考点辐 射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制 目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 满足
			B_s	H_s ($\mu\text{Gy/h}$)	B	H_L ($\mu\text{Gy/h}$)					
36	SPECT/CT 机房防护小门外 30cm (控制室)	5.00	1.31E-06	3.30E-02	1.89E-06	6.04E-08	5.57E-02	6.13E-06	0.056	2.5	满足
37	SPECT/CT 机房观察窗外 30cm (控制室)	4.50	1.31E-06	4.07E-02	1.89E-06	7.46E-08	6.88E-02	7.56E-06	0.069	2.5	满足
38	SPECT/CT 机房东墙外 30cm (控制室)	4.84	3.23E-06	8.65E-02	4.30E-06	1.47E-07	1.46E-01	6.54E-05	0.146	2.5	满足
39	SPECT/CT 机房防护大门外 30cm (患者走道)	4.34	1.31E-06	4.37E-02	1.89E-06	8.02E-08	7.39E-02	8.13E-06	0.074	2.5	满足
40	SPECT/CT 机房北墙外 30cm (患者走道)	3.35	3.23E-06	1.81E-01	4.30E-06	3.07E-07	3.05E-01	1.36E-04	0.305	2.5	满足
41	SPECT/CT 机房西墙外 30cm (PET/CT 留观/抢救室)	4.50	3.23E-06	1.00E-01	4.30E-06	1.70E-07	1.69E-01	7.56E-05	0.169	2.5	满足
42	SPECT/CT 机房南墙外 30cm (医护通道)	3.35	3.23E-06	1.81E-01	4.30E-06	3.07E-07	3.05E-01	1.36E-04	0.305	2.5	满足
59	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm (低温灭菌区)	5.80	1.25E-05	2.33E-01	1.50E-05	3.57E-07	0.394	4.45E-04	0.394	2.5	满足
70	SPECT/CT 机房北侧患者走道外 30cm (过道)	6.54	3.23E-06	4.74E-02	4.30E-06	8.05E-08	8.01E-02	2.62E-04	0.080	2.5	满足

注：PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_s \cdot K_s + H_L \cdot K_L$ ，式中： K_s 、 K_L 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B2， K_s 取 1.69， K_L 取 1.64。

由表 11-17 计算结果可知，PET/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/200mA）时，叠加 ^{18}F 放射性药物的辐射影响，PET/CT 机房四周墙体、顶部及防护门外的辐射剂量率为（0.026~0.708） $\mu\text{Sv/h}$ ；SPECT/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/200mA）时，叠加 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物的辐射影响，SPECT/CT 机房四周墙体、顶部及防护门外的辐射剂量率为（0.056~0.394） $\mu\text{Sv/h}$ 。PET/CT、SPECT/CT 机房外辐射剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

5、保护目标的有效剂量估算

根据表 11-14、表 11-17 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-18。

表 11-18 核医学诊断区工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	参考点处受放射性核素影响的时间	居留因子	参考点人员有效剂量 (mSv/a)	主要关注对象	位置	
PET/CT 诊断项目	1	取药工作位	0.514	2min/人次×20 人次/天×250 天/a	1	0.086	辐射 工作人员	分装室
	2	分装室东墙外 30cm	0.310	2min/人次×20 人次/天×250 天/a	1/8	0.006	辐射 工作人员	过道
	3	分装室南墙外 30cm	0.364		1/16	0.004	辐射 工作人员	废物间
	4	分装室南侧防 护门外 30cm	2.522		1/16	0.026	辐射 工作人员	废物间
	5	分装室南墙外 30cm	0.433		1/16	0.005	辐射 工作人员	储源室
	6	分装室南侧防 护门外 30cm	1.736		1/16	0.018	辐射 工作人员	储源室
	7	分装室西侧防 护门外 30cm	1.815		1/8	0.038	辐射 工作人员	更衣室
	9	工作人员注射 位	1.088	1min/人次×20 人次/天×250 天/a	1	0.091	辐射 工作人员	分装室
	10	注射室东墙外 30cm	0.310		1/8	0.003	辐射 工作人员	过道
	13	PET/CT 注射后 候诊室东墙外 30cm	0.977	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1	0.153	辐射 工作人员	注射室
	17	PET/CT 注射后 候诊室南墙外 30cm	0.156		1/8	0.024	辐射 工作人员	更衣室
	26	VIP 注射后候 诊室西墙外 30cm	0.133		1/4	0.041	辐射 工作人员	PET/CT 机 房

27	VIP 注射后候诊室南墙外 30cm	0.479		1/8	0.075	辐射工作人员	医护通道
32	PET/CT 机房防护小门外 30cm	0.521	20min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1	0.869	辐射工作人员	控制室
33	PET/CT 机房观察窗外 30cm	0.677		1	1.129	辐射工作人员	控制室
34	PET/CT 机房西墙外 30cm	0.056		1	0.093	辐射工作人员	控制室
35	PET/CT 机房南墙外 30cm	0.098		1/8	0.020	辐射工作人员	医护通道
43	PET/CT 留观/抢救室东墙外 30cm	0.395	30min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/4	0.247	辐射工作人员	SPECT 机房
47	PET/CT 留观/抢救室南墙外 30cm	0.085		1/8	0.027	辐射工作人员	医护通道
53	分装室楼上地面 30cm 处	0.127	2min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/8	0.004	公众	病房大厅
54	注射室楼上地面 30cm	0.127	2min/人次×30 人次/天×250 天/a	1/8	0.004	公众	病房大厅
55	PET/CT 注射室后候诊室楼上地面 30cm	0.164	15min/人次 ×30 人次/天 ×250 天/a	1/8	0.041	公众	病房大厅
57	VIP 注射后候诊室楼上地面 30cm	0.082	15min/人次 ×30 人次/天 ×250 天/a	1/8	0.020	公众	清洁工具间
58	PET/CT 机房楼上地面 30cm	0.082	20min/人次 ×30 人次/天 ×250 天/a	1/8	0.020	公众	库房
60	PET/CT 抢救/留观室楼上 30cm	0.082	30min/人次 ×30 人次/天 ×250 天/a	1/8	0.020	公众	检查包装灭菌区
63	PET/CT 摆位/取消摆位	34.040	1min/人次×20 人次/天×250 天/a	1	2.837	辐射工作人员	PET/CT 机房
65	注射室北侧患者过道外 30cm	0.039	1min/人次×20 人次/天×250 天/a	1/8	4.11E-04	公众	过道
66	PET/CT 注射后候诊室北侧患者通道外 30cm	0.025	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	0.004	公众	过道
68	VIP 注射后候诊室北侧患者通道外 30cm	0.025		1/8	0.004	公众	过道
69	PET/CT 机房北侧患者过道外 30cm	0.025	20min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	0.005	公众	过道
71	PET/CT 抢救/留观室北侧	0.025	30min/人次 ×20 人次/天	1/8	0.008	公众	过道

		患者走道外 30cm		×250 天/a				
SPECT/CT 诊断项目	1	取药工作位	8.79E-18	2min/人次×20 人次/天×250 天/a	1	7.47E-19	辐射 工作人员	分装室
	2	分装室东墙外 30cm	2.33E-02	2min/人次×20 人次/天×250 天/a	1/8	2.43E-04	辐射 工作人员	过道
	3	分装室南墙外 30cm	2.74E-02		1/8	1.43E-04	辐射 工作人员	废物间
	4	分装室南侧防 护门外 30cm	3.24E-08		1/8	1.69E-10	辐射 工作人员	废物间
	5	分装室南墙外 30cm	3.27E-02		1/8	1.70E-04	辐射 工作人员	储源室
	6	分装室南侧防 护门外 30cm	2.23E-08		1/8	3.72E-09	辐射 工作人员	储源室
	7	分装室西侧防 护门外 30cm	2.33E-08		1/8	3.65E-09	辐射 工作人员	更衣室
	9	注射位	8.97E-09		1min/人次×20 人次/天×250 天/a	1	1.40E-09	辐射 工作人员
	10	分装室东墙外 30cm	2.33E-02	2min/人次×20 人次/天×250 天/a	1/8	3.65E-03	辐射 工作人员	过道
	22	SPECT/CT 注 射后候诊室南 墙外 30cm	3.02E-02	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	4.72E-03	辐射 工作人员	医护通道
	26	VIP 注射后候 诊室西墙外 30cm	1.85E-02		1/4	3.85E-03	辐射 工作人员	PET/CT 机 房
	27	VIP 注射后候 诊室南墙外 30cm	4.24E-02		1/8	4.42E-03	辐射 工作人员	医护通道
	36	SPECT/CT 机 房防护小门外 30cm	6.13E-06	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1	1.02E-05	辐射 工作人员	控制室
	37	SPECT/CT 机 房观察窗外 30cm	7.56E-06		1	1.26E-05	辐射 工作人员	控制室
	38	SPECT/CT 机 房东墙外 30cm	6.54E-05		1	1.09E-04	辐射 工作人员	控制室
	42	SPECT/CT 机 房南墙外 30cm	1.36E-04		1/8	2.84E-05	辐射 工作人员	医护通道
51	SPECT/CT 留 观/抢救室西墙 外 30cm	3.16E-02	30min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	9.89E-03	辐射 工作人员	医护通道	
52	SPECT/CT 留 观/抢救室南墙 外 30cm	1.36E-02		1/8	4.27E-03	辐射 工作人员	医护通道	
53	分装室楼上地 面 30cm	6.51E-02	2min/人次×20 人次/天×250 天/a	1/8	1.36E-03	公众	病房大厅	
54	注射室楼上地 面 30cm	6.51E-02	1min/人次×20 人次/天×250 天/a	1/8	6.78E-04	公众	病房大厅	

56	SPECT/CT 注射后候诊室楼上地面	1.33E-01	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	2.09E-02	公众	病房大厅
57	VIP 注射后候诊室楼上地面 30cm	4.45E-02	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	6.95E-03	公众	清洁工具间
59	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm	4.45E-04	20min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	9.27E-05	公众	低温灭菌区
61	SPECT/CT 留观/抢救室楼上地面 30cm	4.45E-02	30min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	1.39E-02	公众	检查包装灭菌区
64	SPECT/CT 摆位/取消摆位	15.318	1min/人次×20 人次/天×250 天/a	1	1.28	辐射工作人员	SPECT 机房
65	注射室北侧患者走道外 30cm	3.37E-04	1min/人次×20 人次/天×250 天/a	1/8	3.51E-06	公众	过道
67	SPECT/CT 注射后候诊室北侧患者走道外 30cm	7.75E-04	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	1.21E-04	公众	过道
68	VIP 注射后候诊室北侧患者走道外 30cm	2.28E-04	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	3.57E-05	公众	过道
70	SPECT/CT 机房北侧患者走道外 30cm	2.62E-04	15min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	4.09E-05	公众	过道
72	SPECT/CT 留观/抢救室北侧患者走道外 30cm	3.44E-04	30min/人次 ×20 人次/天 ×250 天/a	1/8	1.08E-04	公众	过道

核医学诊断项目过程中，工作人员主要受照射环节为分装、注射过程及患者扫描诊断过程。一般情况下，取药分装过程约 2 分钟，送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，候诊约 15 分钟，指导患者摆位/取消摆位约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟，留观约 30 分钟。根据建设单位提供资料，预估 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次。本项目 PET/CT、SPECT/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-19、表 11-20。

表 11-19 PET/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平 (μSv/h)	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量 (mSv/a)	关注对象	位置
32	PET/CT 机房防护小门外 30cm	7.64E-05	检查 20s×20	1	2.12E-06	辐射工作人员	控制室

33	PET/CT 机房观察窗外 30cm	9.93E-05	次×250 天	1	2.76E-06	辐射 工作人员	控制室
34	PET/CT 机房西墙外 30cm	1.94E-03		1	5.38E-05	辐射 工作人员	控制室
35	PET/CT 机房南墙外 30cm	3.40E-03		1/8	1.18E-05	辐射 工作人员	医护通道
58	PET/CT 机房楼上地面 30cm	4.37E-03		1/4	3.04E-05	公众	库房

表 11-20 SPECT/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平 (μSv/h)	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量 (mSv/a)	关注对象	位置
36	SPECT/CT 机房防护小门外 30cm	0.056	检查 20s×20 次×250 天	1	1.55E-03	辐射 工作人员	控制室
37	SPECT/CT 机房观察窗外 30cm	0.069		1	1.91E-03	辐射 工作人员	控制室
38	SPECT/CT 机房东墙外 30cm	0.146		1	4.06E-03	辐射 工作人员	控制室
42	SPECT/CT 机房南墙外 30cm	0.305		1/8	1.06E-03	辐射 工作人员	医护通道
59	SPECT/CT 机房楼上地面 30cm	0.394		1/4	2.73E-03	公众	低温灭菌区

根据表 11-18 至表 11-20 估算结果，分装过程中工作人员受到的年有效剂量为 0.086mSv (0.080mSv/a+<0.001mSv/a)，注射过程中工作人员受到的年有效剂量为 0.091mSv (0.091mSv/a+<0.001mSv/a)，扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 5.252mSv (1.129mSv/a+2.837mSv/a+<0.001mSv/a+1.28mSv/a+<0.001mSv/a+<0.004mSv/a)。医院拟为核医学诊断区安排 2 名护士（负责分装及注射，PET/CT、SPECT/CT 诊断项目共用，轮岗）、2 名医师及 2 名技师（负责操作设备、指导病人摆位，PET/CT、SPECT/CT 诊断项目共用，轮岗）。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据理论估算可知，本项目 2 名护士（负责分装及注射）平均年有效剂量为 0.048mSv，2 名医师及 2 名技师（负责操作设备并指导病人摆位、取消摆位）平均年有效剂量最大约为 1.31mSv，均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据表 11-18 至表 11-20 估算结果，核医学诊断区工作过程中，周围公众（控制

区、监督区外)年有效剂量最大为 0.041mSv,能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求(公众年有效剂量不超过 0.1mSv)。

治疗区主要考虑使用 ^{131}I 进行甲癌治疗时, ^{131}I 药物及带药病人对周围人员的影响。医院拟为治疗区分装室配备自动分装仪,分装过程工作人员远程操作,无需近距离接触,因此无需考虑分装工作位人员的有效剂量。每名患者在服碘室服药时间取 1min,在治疗室住院时间取平均 4 天(每间治疗室年平均住院治疗 50 人),每天到取餐间取餐时间取 3min,在过道走动时间取 3min。假设每 10 名患者中有 1 名需要进行抢救,抢救时间取 40min,则抢救室内患者滞留总时间取 13.3h。

核医学治疗区工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-21。

表 11-21 核医学治疗区工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	参考点处受放射性核素影响的时间	居留因子	参考点人员有效剂量 (mSv/a)	主要关注对象	位置
74	分装室东门外 30cm	6.35E-04	8h/天 \times 250 天/ 年	1/8	1.59E-04	辐射 工作人员	更衣室
75	分装室东门外 30cm	1.78E-03		1/16	2.22E-04	辐射 工作人员	废物间
76	分装室东墙外 30cm	4.76E-04		1/16	5.96E-05	辐射 工作人员	废物间
81	分装室西墙外 30cm	1.91E-04		1/16	2.39E-05	辐射 工作人员	送餐间
82	分装室北门外 30cm	4.15E-04		1/16	5.19E-05	辐射 工作人员	储源室
83	分装室北墙外 30cm	2.06E-04		1/16	2.57E-05	辐射 工作人员	储源室
84	服碘室东墙外 30cm	0.715	1min/人次 \times 200 人次/年	1/8	2.98E-04	辐射 工作人员	被服库
88	服碘室北墙外 30cm	7.979		1/4	6.65E-03	辐射 工作人员	分装室
92	取餐间传递窗外 30cm	1.556	3min/人次 \times 200 人次/年	1/16	7.93E-04	辐射 工作人员	送餐间
93	取餐间东墙外 30cm	2.945		1/4	7.36E-03	辐射 工作人员	分装室
98	治疗室北墙外 30cm	0.289	24h/天 \times 4 天/ 人次 \times 50 人次/年	1/8	0.17	公众	过道
99	抢救室东门外 30cm	7.223	40min/人次 \times 20 人次/年	1/8	1.20E-02	辐射 工作人员	过道
100	抢救室东墙外 30cm	2.784		1/8	4.64E-03	辐射 工作人员	过道
101	抢救室南墙外 30cm	0.756		1/8	1.26E-03	公众	过道
102	抢救室西墙外 30cm	0.548		1/8	9.13E-04	公众	过道

103	抢救室北墙外 30cm	4.109		1/16	3.42E-03	辐射 工作人员	污物被服 间
104	分装室楼上地面 30cm	0.113	8h/天×250天/ 年	1/16	0.01	公众	无菌存放 区
105	服碘室楼上地面 30cm	0.113	1min/人次×200 人次/年	1/16	2.36E-05	公众	无菌存放 区
106	取餐间楼上地面 30cm	0.111	1min/人次×200 人次/年	1/16	2.31E-05	公众	无菌存放 区
107	治疗室楼上地面 30cm	0.111	24h/天×4天/ 人次×50人次/年	1/8	0.07	公众	检查包装 灭菌区
108	抢救室楼上地面 30cm	0.111	40min/人次×20 人次/年	1/4	3.70E-04	公众	污箱清洗 区

医院拟为核医学治疗区配备 3 名辐射工作人员，保守估算考虑，即使 3 名辐射工作人员总是同时工作，共同承担治疗区内工作内容，由表 11-21 可知其年有效剂量最大也不会超过 0.01mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求；治疗区周围公众年有效剂量最大为 0.07mSv（楼上检查包装灭菌区），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（三）DSA 项目

1、DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

（1）评价标准

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

（2）本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

由表 10-1，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及实心砖、混凝土。本项目按额定管电压 125kV 的极端条件核算 DSA 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

1) 混凝土的等效铅当量厚度核算：

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

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

式中：X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α 、 β 、 γ —相应屏蔽物质（本项目为混凝土）对相应管电压 X 射线辐射衰

减的有关的拟合参数；

B —给定铅厚度的屏蔽透射因子；使用公式 11-12 计算。

由 GBZ 130-2020 中表 C.2 查取 125kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，由 NCRP147 报告 TABLE A.1、TABLE C.1 查取 80kV、70kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-21：

表 11-22 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV (主束)	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974
	实心砖	0.02870	0.06700	1.346
80kV (主束)	铅	4.040	21.69	0.7187
70kV (散射)	铅	5.369	23.49	0.5883

本项目机房屏蔽部位涉及的 240mm 实心砖、120mm 混凝土，分别按公式 11-12、公式 11-14 计算其屏蔽透射因子 B 、铅当量厚度，计算结果列于表 11-22。

表 11-23 混凝土屏蔽透射因子 B 、铅当量厚度计算结果

屏蔽材料	屏蔽透射因子 B	铅当量厚度 X (mm)
120mm 混凝土	3.2×10^{-3}	1.4
240mm 实心砖	4.2×10^{-4}	2.3

(3) DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

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

表 11-24 响水县人民医院 DSA 机房辐射防护设计一览表

屏蔽体	屏蔽材料及厚度	等效铅当量	屏蔽要求 ¹⁾	评价
病房楼 4#手术室	四侧墙体 ²⁾	3mmPb	C 形臂 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2mm，非有	满足
	防护门 ²⁾	3mmPb		满足
	观察窗 ²⁾	3mmPb		满足

	顶面 ³⁾		3.4mmPb	用线束方向铅当量 2mm。	满足
	地面 ²⁾		3.4mmPb		满足
	机房面积			单管头 X 射线机机房 内最小有效新建面积 不小于 20m ² ，单边长 度不小于 3.5m。	满足
病房楼 5#手术室	四侧墙体 ²⁾		3mmPb	C 形臂 X 射线设备机 房屏蔽防护铅当量厚 度要求：有用线束方 向铅当量 2mm，非有 用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门 ²⁾		3mmPb		满足
	观察窗 ²⁾		3mmPb		满足
	顶面 ³⁾		3.4mmPb		满足
	地面 ²⁾		3.4mmPb		满足
	机房面积		10.4m×7.8m=81.1m ²	单管头 X 射线机机房 内最小有效新建面积 不小于 20m ² ，单边长 度不小于 3.5m。	满足
门诊医技 楼急诊科 DSA 室	四侧墙体 ²⁾		4.3mmPb	C 形臂 X 射线设备机 房屏蔽防护铅当量厚 度要求：有用线束方 向铅当量 2mm，非有 用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门 ²⁾		3mmPb		满足
	观察窗 ²⁾		3mmPb		满足
	顶面 ³⁾		3.4mmPb		满足
	地面 ²⁾		3.4mmPb		满足
	机房面积		9.4m×8.0m=75.2m ²	单管头 X 射线机机房 内最小有效新建面积 不小于 20m ² ，单边长 度不小于 3.5m。	满足

注：1、屏蔽要求引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3；

2、为非有用线束方向；

3、为有用线束方向；

4、根据建设单位提供资料，30mm 钡水泥、30mm 硫酸钡涂料等效铅当量均为 2mm。

由上表可知，响水县人民医院病房楼三楼 4#手术室、5#手术室及门诊医技楼一
楼急诊科 DSA 机房屏蔽防护措施均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)
的要求。

2、DSA 机房外的辐射影响预测

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。采用计算模式如下：

(1) 关注点处有用线束辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.8）进行推导，得到有用线束在关注点处的辐射剂量率 H 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H = \frac{H_0 \cdot I \cdot B}{d^2} \cdot K \quad \text{公式 11-15}$$

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

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

d —关注点至 X 射线源的距离；

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

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算方法见公式 11-12。

(2) 散射辐射剂量率预测计算

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

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-16}$$

式中： H_s —关注点处散射辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1 m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，本项目取 $5\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即 $300000\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

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

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取。本项目常用最大管电压为 80kV，对于散射线向机房四侧墙体，从《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中采用内插法查取散射角 90° 时 80kV 对应的 a 值为 0.0008；对于散射线向机房地面投射的情况，因《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中无散射角 180° 的数据，表中所列散射角中以 135° 最接近 180° ，故从该表中散射角为 135° 、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0016；

S —主束在受照人体上的散射面积，根据建设单位提供参数，照射野最小为 $12\text{cm} \times 12\text{cm} = 144\text{cm}^2$ ，最大为 $30\text{cm} \times 30\text{cm} = 900\text{cm}^2$ ，考虑手术常用的最大照射面积约为 $16\text{cm} \times 16\text{cm}$ ，本项目取 256cm^2 ；

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

d_s —受照体至关注点的距离，m；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-12。此处散射线是指本项目常用最大管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 $\theta=90^\circ$ ）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08 \times (1-\cos 90^\circ)/0.511]=0.865$ ，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 $80\text{kV} \times 0.865 = 69.2\text{ kV}$ ，近似取为 70kV。再将机房屏蔽体和介入操作人员防护用屏蔽物的铅当量厚度、表 11-1 中 α 、 β 、 γ 值代入公式 11-12，计算响应的散射辐射屏蔽透射因子值；

K —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，按前述 90° 方向一次散射线能量对应

的 kV 值为 70kV，K 值取 1.60。

(3) 泄漏辐射剂量率预测计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

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

公式 11-17

式中： H_L —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

B —机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，本项目 DSA 常用最大工况管电压（80kV）对应 DSA 机房屏蔽体及介入操作人员防护用屏蔽物的泄漏射线屏蔽透射因子见表 11-9；

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

DSA 机房外辐射剂量率预测参考点位选取如下：

- 1#—4#手术室东墙外 30cm，设备间；
- 2#—4#手术室控制室侧防护门外 30cm，控制室；
- 3#—4#手术室观察窗外 30cm，控制室；
- 4#—4#手术室防护大门外 30cm，缓冲间；
- 5#—4#手术室南墙外 30cm，5#手术室；
- 6#—4#手术室西侧防护门外 30cm，过道；
- 7#—4#手术室西墙外 30cm，过道；
- 8#—4#手术室北墙外 30cm，过道；
- 9#—4#手术室楼下地面 170cm，资料室；
- 10#—4#手术室楼上地面 100cm，库房；
- 11#—5#手术室防护大门外 30cm，缓冲间；
- 12#—5#手术室观察窗外 30cm，控制室；
- 13#—5#手术室控制室侧防护门外 30cm，控制室；
- 14#—5#手术室东墙外 30cm，设备间；

- 15#—5#手术室南墙外 30cm, 过道;
- 16#—5#手术室西墙外 30cm, 过道;
- 17#—5#手术室西侧防护门外 30cm, 过道;
- 18#—5#手术室北墙外 30cm, 4#手术室;
- 19#—5#手术室楼下地面 170cm 处, 医务工作站;
- 20#—5#手术室楼上地面 100cm 处, 病案库;
- 21#—急诊科 DSA 室设备机房侧防护门外 30cm, 设备间;
- 22#—急诊科 DSA 室东墙外 30cm, 设备间、洗污打包间;
- 23#—急诊科 DSA 室洗污打包间侧防护门外 30cm, 洗污打包间;
- 24#—急诊科 DSA 室南墙外 30cm, 收费厅;
- 25#—急诊科 DSA 室缓冲间侧防护门外 30cm, 缓冲间;
- 26#—急诊科 DSA 室西墙外 30cm, 控制室;
- 27#—急诊科 DSA 室观察窗外 30cm, 控制室;
- 28#—急诊科 DSA 室控制室侧防护门外 30cm, 控制室;
- 29#—急诊科 DSA 室墙外 30cm, 过道;
- 30#—急诊科 DSA 室楼下地面 30cm, 地下车库;
- 31#—急诊科 DSA 室楼上地面 30cm, 门诊手术家属等候区。
- 在 3 座 DSA 机房周围共布设 31 个预测点, 预测点布设见图 11-4 至图 11-7 所示。

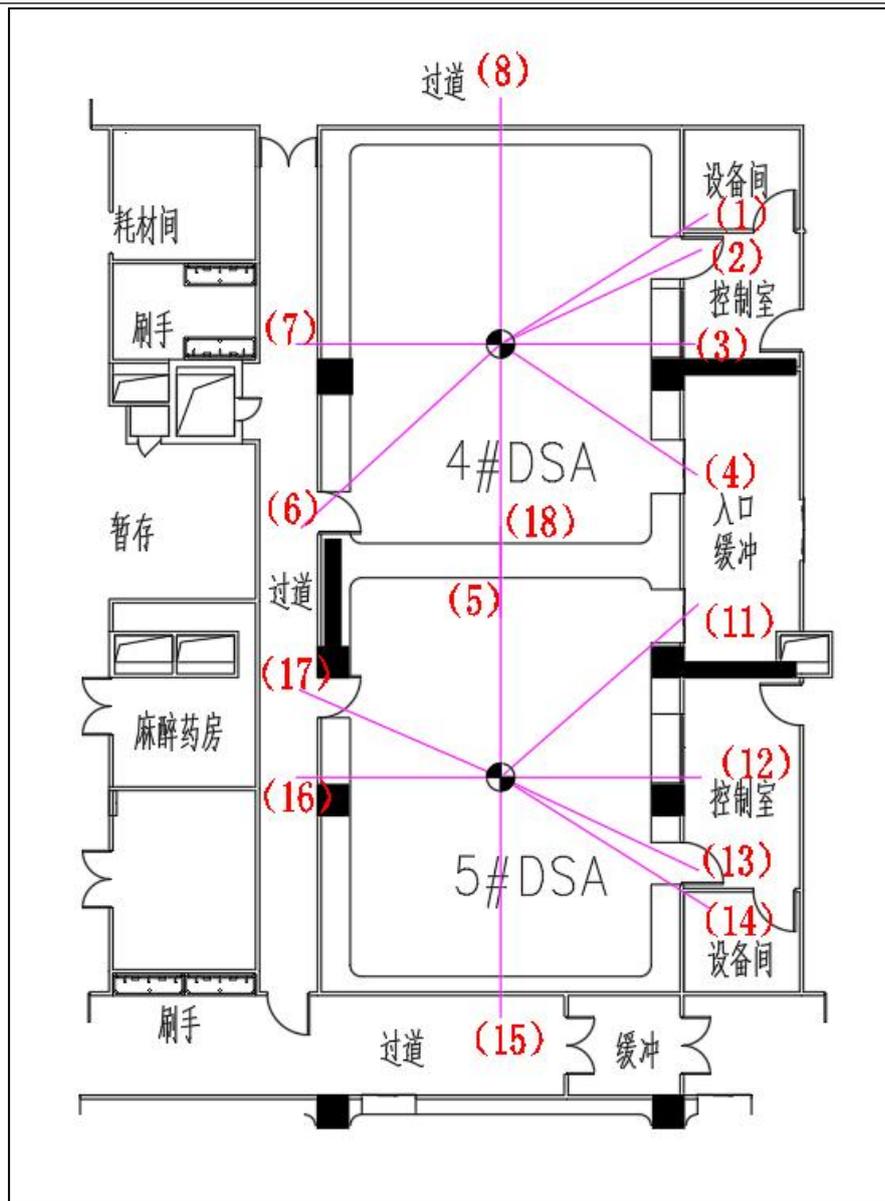


图 11-4 病房楼三楼 4#手术室、5#手术室周围预测点布设平面示意图

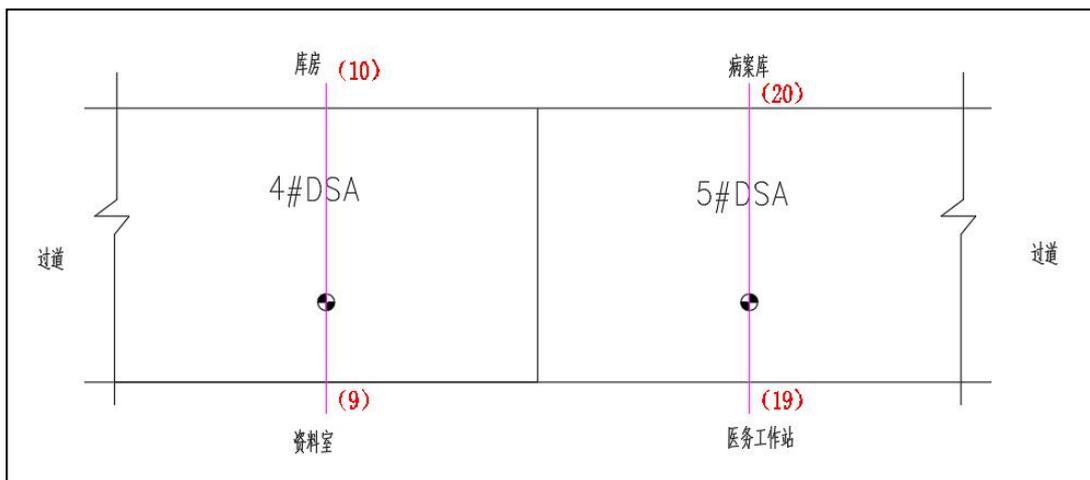


图 11-5 病房楼三楼 4#手术室、5#手术室周围预测点布设剖面示意图

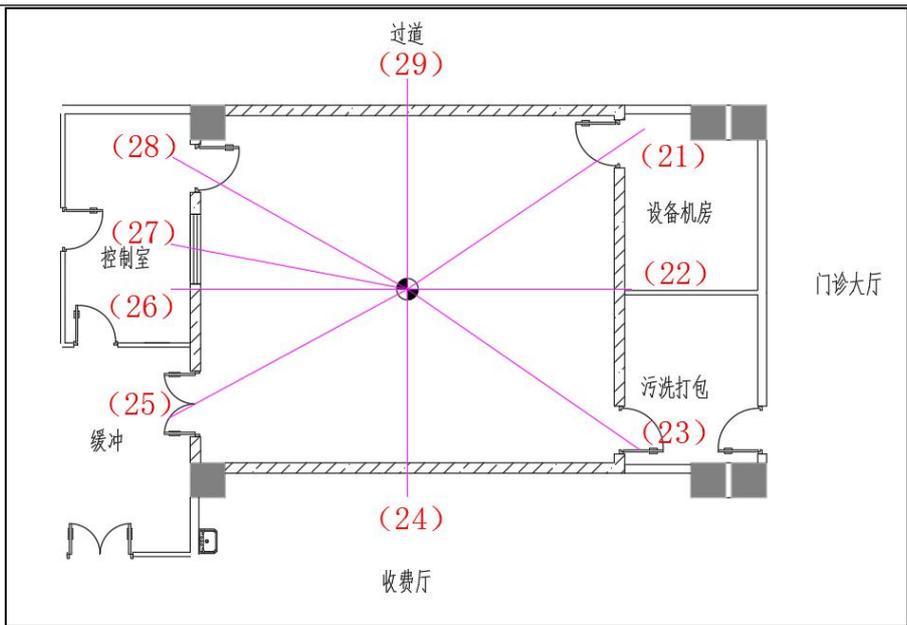


图 11-6 门诊医技楼一楼急诊科 DSA 室周围预测点布设平面示意图

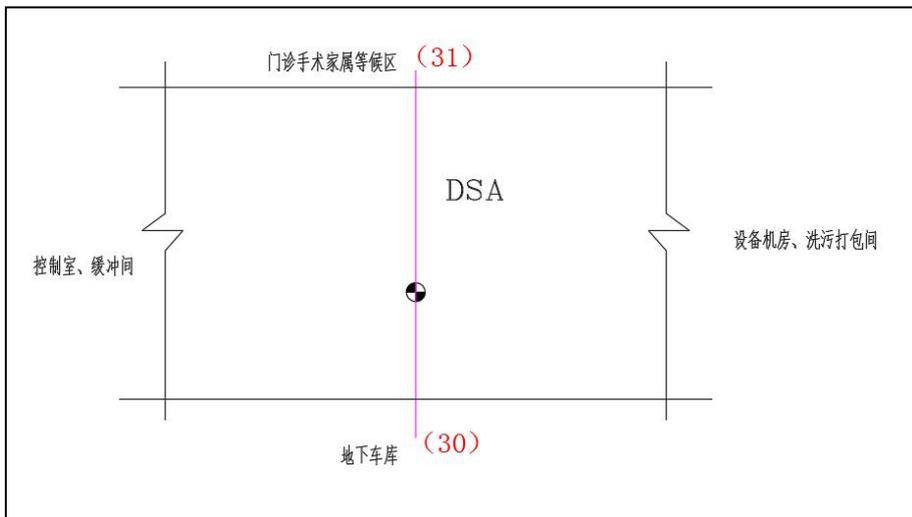


图 11-7 门诊医技楼一楼急诊科 DSA 室周围预测点布设剖面示意图

根据上述预测计算方法及布点, DSA 机房外辐射剂量率预测计算结果见表 11-25。

表 11-25 DSA 机房周围预测点剂量率估算结果

预测点位	照射类型	模式	X (mm)	B			d (m)	X 射线辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			
				散射线	漏射线	有用线束		散射线	漏射线	有用线束	合计
1#—4#手术室东墙外 30cm, 设备间	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.92	2.51E-06	1.98E-05	/	2.23E-05
		拍片						6.28E-05		/	6.28E-05
2#—4#手术室控制室侧 防护门外 30cm, 控制室	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.56	2.85E-06	2.24E-05	/	2.52E-05
		拍片						7.11E-05		/	7.11E-05
3#—4#手术室观察窗外 30cm, 控制室	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.05	3.45E-06	2.72E-05	/	3.06E-05
		拍片						8.62E-05		/	8.62E-05
4#—4#手术室防护大门 外 30cm, 缓冲间	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	6.04	2.41E-06	1.90E-05	/	2.14E-05
		拍片						6.03E-05		/	6.03E-05
5#—4#手术室南墙外 30cm, 5#手术室	散射、漏射	透视	6	5.86E-16	2.26E-12	/	6.4	2.17E-13	2.60E-05	/	2.60E-05
		拍片						5.43E-12		/	5.43E-12
6#—4#手术室西侧防护 门外 30cm, 过道	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	6.77	1.92E-06	1.51E-05	/	1.70E-05
		拍片						4.80E-05		/	4.80E-05
7#—4#手术室西墙外 30cm, 过道	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.05	3.45E-06	2.72E-05	/	3.06E-05
		拍片						8.62E-05		/	8.62E-05

8#—4#手术室北墙外 30cm, 过道	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	6.0	2.44E-06	1.92E-05	/	2.17E-05
		拍片						6.11E-05		/	6.11E-05
9#—4#手术室楼下地面 170cm, 资料室	散射、漏射	透视	3.4	6.77E-10	8.24E-08	/	2.3	3.88E-06	2.60E-05	/	2.99E-05
		拍片						9.71E-05		/	9.71E-05
10#—4#手术室楼上地 面 100cm, 库房	有用线束	透视	3.4	/	/	8.24E-08	3.5	/	/	0.07	0.07
		拍片		/	1.68			1.68			
11#—5#手术室防护大 门外 30cm, 缓冲间	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	6.65	1.99E-06	1.57E-05	/	1.76E-05
		拍片						4.97E-05		/	4.97E-05
12#—5#手术室观察窗 外 30cm, 控制室	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.05	3.45E-06	2.72E-05	/	3.06E-05
		拍片						8.62E-05		/	8.62E-05
13#—5#手术室控制室 侧防护门外 30cm, 控制 室	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.56	2.85E-06	2.24E-05	/	2.52E-05
		拍片						7.11E-05		/	7.11E-05
14#—5#手术室东墙外 30cm, 设备间	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.92	2.51E-06	1.98E-05	/	2.23E-05
		拍片						6.28E-05		/	6.28E-05
15#—5#手术室南墙外 30cm, 过道	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	6.0	2.44E-06	1.92E-05	/	2.17E-05
		拍片						6.11E-05		/	6.11E-05

16#—5#手术室西墙外30cm, 过道	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.05	3.45E-06	2.72E-05	/	3.06E-05
		拍片						8.62E-05		/	8.62E-05
17#—5#手术室西侧防护门外30cm, 过道	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.48	2.93E-06	2.31E-05	/	2.60E-05
		拍片						7.32E-05		/	7.32E-05
18#—5#手术室北墙外30cm, 4#手术室	散射、漏射	透视	6	5.86E-16	2.26E-12	/	6.4	2.17E-13	9.21E-11	/	9.23E-11
		拍片						5.43E-12		/	5.43E-12
19#—5#手术室楼下地面170cm处, 医务工作站	散射、漏射	透视	3.4	6.77E-10	8.24E-08	/	2.3	3.88E-06	2.60E-05	/	2.99E-05
		拍片						9.71E-05		/	9.71E-05
20#—5#手术室楼上地面100cm处, 病案库	有用线束	透视	3.4	/	/	8.24E-08	3.5	/	/	0.07	0.07
		拍片		/	/			1.68		1.68	
21#—急诊科 DSA 室设备机房侧防护门外30cm, 设备间	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	6.29	4.45E-06	7.69E-05	/	8.14E-05
		拍片						1.11E-04		/	1.11E-04
22#—急诊科 DSA 室东墙外30cm, 设备间、洗污打包间	散射、漏射	透视	4.3	5.40E-12	2.17E-09	/	5.25	5.94E-09	1.96E-07	/	2.02E-07
		拍片						1.48E-07		/	1.48E-07
23#—急诊科 DSA 室洗污打包间侧防护门外30cm, 洗污打包间	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	6.29	4.45E-06	7.69E-05	/	8.14E-05
		拍片						1.11E-04		/	1.11E-04

24#—急诊科 DSA 室南 墙外 30cm, 收费厅	散射、漏射	透视	4.3	5.40E-12	2.17E-09	/	4.52	8.01E-09	1.96E-07	/	2.04E-07
		拍片						2.00E-07		/	2.00E-07
25#—急诊科 DSA 室缓 冲间侧防护门外 30cm, 缓冲间	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.8	5.23E-06	7.69E-05	/	8.22E-05
		拍片						1.31E-04		/	1.31E-04
26#—急诊科 DSA 室西 墙外 30cm, 控制室	散射、漏射	透视	4.3	5.40E-12	2.17E-09	/	5.25	5.94E-09	1.96E-07	/	2.02E-07
		拍片						1.48E-07		/	1.48E-07
27#—急诊科 DSA 室观 察窗外 30cm, 控制室	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.34	6.17E-06	7.69E-05	/	8.31E-05
		拍片						1.54E-04		/	1.54E-04
28#—急诊科 DSA 室控 制室侧防护门外 30cm, 控制室	散射、漏射	透视	3	5.80E-09	4.15E-07	/	5.85	5.14E-06	7.69E-05	/	8.21E-05
		拍片						1.29E-04		/	1.29E-04
29#—急诊科 DSA 室北 墙外 30cm, 过道	散射、漏射	透视	4.3	5.40E-12	2.17E-09	/	4.52	8.01E-09	1.96E-07	/	2.04E-07
		拍片						2.00E-07		/	2.00E-07
30#—急诊科 DSA 室楼 下地面 30cm, 地下车库	散射、漏射	透视	3.4	6.77E-10	8.24E-08	/	2.3	3.88E-06	1.19E-05	/	1.58E-05
		拍片						9.71E-05		/	9.71E-05
31#—急诊科 DSA 室楼 上地面 30cm, 门诊手术 家属等候区	有用线束	透视	3.4	/	/	8.24E-08	3.5	/	/	0.07	0.07
		拍片		/	/	/		1.68		1.68	

第一术者位	铅衣内	散射、漏射	透视	1	2.84E-04	1.43E-03	/	0.5	27.54	9.55	/	37.09
	铅衣外			0.5	5.35E-03	1.37E-02	/		519.2	91.54	/	610.8
第二术者位	铅衣内	散射、漏射	透视	1	2.84E-04	1.43E-03	/	1.0	6.88	2.39	/	9.27
	铅衣外			0.5	5.35E-03	1.37E-02	/		129.81	22.88	/	152.69

注：1、X 为屏蔽材料的等效铅当量厚度；

2、本项目预测点位与射线装置距离从 CAD 图纸上读出；

3、术者位工作人员身着铅衣并立于铅屏风后（0.5mmPb+0.5mmPb），第一术者位距离约 0.5m；第二术者位距离约 1m。

根据表 11-25 计算统计结果，本项目 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率最大为 1.68 μ Sv/h，满足《放射诊断防护要求》（GB 130-2020）的标准要求及本项目“距 DSA 机房墙体、门、窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5 μ Sv/h”的管理目标限值要求。

当 4#手术室、5#手术室内 DSA 同时开机出束时，4#、5#手术室外辐射剂量率存在叠加影响。由表 11-24 计算结果可知，叠加剂量率最高点位于 4#、5#手术室顶部中间位置。该位置辐射剂量率计算方法同 10#、20#参考点位，距离均取 7.27m，计算可知 4#手术室、5#手术室内 DSA 同时开机出束时该位置叠加辐射剂量率最大为 0.78 μ Sv/h（摄影模式），也能满足满足《放射诊断防护要求》（GB 130-2020）的标准要求及本项目管理目标限值要求。

3、周围公众及辐射工作人员年有效剂量估算

（1）年有效剂量估算模式

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

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

式中： H_{Er} —X射线外照射年有效剂量，mSv/a；

D_r —关注点处空气比释动能率， μ Gy/h；

T —居留因子；

t —年照射时间，h；

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

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

式中： α —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为毫希沃特（mSv）；

β —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

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

(2) 年有效剂量估算

将有关参数代入公式 11-18, 估算 DSA 机房四周公众及操作室辐射工作人员的年附加剂量, 见表 11-26。

表 11-26 DSA 机房四周公众及操作室辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置	操作模式	t (h)	T	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 H_{Er}^* (mSv/a)	
1#—4#手术室东墙外 30cm, 设备间	透视模式	120.8	1/8	2.23E-05	3.36E-07	3.51E-07
	摄影模式	1.9		6.28E-05	1.49E-08	
2#—4#手术室控制室 侧防护门外 30cm, 控 制室	透视模式	120.8	1	2.52E-05	3.05E-06	3.18E-06
	摄影模式	1.9		7.11E-05	1.35E-07	
3#—4#手术室观察窗 外 30cm, 控制室	透视模式	120.8	1	3.06E-05	3.70E-06	3.86E-06
	摄影模式	1.9		8.62E-05	1.64E-07	
4#—4#手术室防护大 门外 30cm, 缓冲间	透视模式	120.8	1/4	2.14E-05	6.46E-07	6.75E-07
	摄影模式	1.9		6.03E-05	2.86E-08	
5#—4#手术室南墙外 30cm, 5#手术室	透视模式	120.8	1/4	2.60E-05	7.85E-07	7.85E-07
	摄影模式	1.9		5.43E-12	2.58E-15	
6#—4#手术室西侧防 护门外 30cm, 过道	透视模式	120.8	1/8	1.70E-05	2.57E-07	2.69E-07
	摄影模式	1.9		4.80E-05	1.14E-08	
7#—4#手术室西墙外 30cm, 过道	透视模式	120.8	1/8	3.06E-05	4.62E-07	4.83E-07
	摄影模式	1.9		8.62E-05	2.05E-08	
8#—4#手术室北墙外 30cm, 过道	透视模式	120.8	1/8	2.17E-05	3.27E-07	3.42E-07
	摄影模式	1.9		6.11E-05	1.45E-08	
9#—4#手术室楼下地 面 170cm, 资料室	透视模式	120.8	1	2.99E-05	3.61E-06	3.79E-06
	摄影模式	1.9		9.71E-05	1.84E-07	
10#—4#手术室楼上 地面 100cm, 库房	透视模式	120.8	1/4	0.07	2.03E-03	2.83E-03
	摄影模式	1.9		1.68	8.00E-04	
11#—5#手术室防护	透视模式	120.8	1/4	1.76E-05	5.33E-07	5.57E-07

大门外 30cm, 缓冲间	摄影模式	1.9		4.97E-05	2.36E-08	
12#—5#手术室观察窗外 30cm, 控制室	透视模式	120.8	1	3.06E-05	3.70E-06	3.86E-06
	摄影模式	1.9		8.62E-05	1.64E-07	
13#—5#手术室控制室侧防护门外 30cm, 控制室	透视模式	120.8	1	2.52E-05	3.05E-06	3.18E-06
	摄影模式	1.9		7.11E-05	1.35E-07	
14#—5#手术室东墙外 30cm, 设备间	透视模式	120.8	1/8	2.23E-05	3.36E-07	3.51E-07
	摄影模式	1.9		6.28E-05	1.49E-08	
15#—5#手术室南墙外 30cm, 过道	透视模式	120.8	1/8	2.17E-05	3.27E-07	3.42E-07
	摄影模式	1.9		6.11E-05	1.45E-08	
16#—5#手术室西墙外 30cm, 过道	透视模式	120.8	1/8	3.06E-05	4.62E-07	4.83E-07
	摄影模式	1.9		8.62E-05	2.05E-08	
17#—5#手术室西侧防护门外 30cm, 过道	透视模式	120.8	1/8	2.60E-05	3.92E-07	4.10E-07
	摄影模式	1.9		7.32E-05	1.74E-08	
18#—5#手术室北墙外 30cm, 4#手术室	透视模式	120.8	1/4	9.23E-11	2.79E-12	2.79E-12
	摄影模式	1.9		5.43E-12	2.58E-15	
19#—5#手术室楼下地面 170cm 处, 医务工作站	透视模式	120.8	1	2.99E-05	3.61E-06	3.79E-06
	摄影模式	1.9		9.71E-05	1.84E-07	
20#—5#手术室楼上地面 100cm 处, 病案库	透视模式	120.8	1/4	0.07	2.03E-03	2.83E-03
	摄影模式	1.9		1.68	8.00E-04	
21#—急诊科 DSA 室设备机房侧防护门外 30cm, 设备间	透视模式	120.8	1/8	8.14E-05	1.23E-06	1.26E-06
	摄影模式	1.9		1.11E-04	2.64E-08	
22#—急诊科 DSA 室东墙外 30cm, 设备间、洗污打包间	透视模式	120.8	1/4	2.02E-07	6.10E-09	6.17E-09
	摄影模式	1.9		1.48E-07	7.05E-11	
23#—急诊科 DSA 室洗污打包间侧防护门外 30cm, 洗污打包间	透视模式	120.8	1/4	8.14E-05	2.46E-06	2.51E-06
	摄影模式	1.9		1.11E-04	5.28E-08	
24#—急诊科 DSA 室	透视模式	120.8	1	2.04E-07	2.47E-08	2.50E-08

南墙外 30cm, 收费厅	摄影模式	1.9		2.00E-07	3.81E-10	
25#—急诊科 DSA 室 缓冲间侧防护门外 30cm, 缓冲间	透视模式	120.8	1/4	8.22E-05	2.48E-06	2.54E-06
	摄影模式	1.9		1.31E-04	6.21E-08	
26#—急诊科 DSA 室 西墙外 30cm, 控制室	透视模式	120.8	1	2.02E-07	2.44E-08	2.47E-08
	摄影模式	1.9		1.48E-07	2.82E-10	
27#—急诊科 DSA 室 观察窗外 30cm, 控制 室	透视模式	120.8	1	8.31E-05	1.00E-05	1.03E-05
	摄影模式	1.9		1.54E-04	2.93E-07	
28#—急诊科 DSA 室 控制室侧防护门外 30cm, 控制室	透视模式	120.8	1	8.21E-05	9.92E-06	1.02E-05
	摄影模式	1.9		1.29E-04	2.44E-07	
29#—急诊科 DSA 室 北墙外 30cm, 过道	透视模式	120.8	1/8	2.04E-07	3.08E-09	3.13E-09
	摄影模式	1.9		2.00E-07	4.76E-11	
30#—急诊科 DSA 室 楼下地面 30cm, 地下 车库	透视模式	120.8	1/16	1.58E-05	1.19E-07	1.31E-07
	摄影模式	1.9		9.71E-05	1.15E-08	
31#—急诊科 DSA 室 楼上地面 30cm, 门诊 手术家属等候区	透视模式	120.8	1	0.07	8.14E-03	1.13E-02
	摄影模式	1.9		1.68	3.20E-03	

由表 11-26 可知, 本项目 4#手术室四周公众的年附加剂量最大为 $2.83 \times 10^{-3} \text{mSv}$, 控制室辐射工作人员的年附加剂量最大为 $3.86 \times 10^{-6} \text{mSv}$; 5#手术室四周公众的年附加剂量最大为 $2.83 \times 10^{-3} \text{mSv}$, 控制室辐射工作人员的年附加剂量最大为 $3.86 \times 10^{-6} \text{mSv}$; 急诊科 DSA 机房四周公众的年附加剂量最大为 $1.13 \times 10^{-2} \text{mSv}$, 控制室辐射工作人员的年附加剂量最大为 $1.03 \times 10^{-5} \text{mSv}$ 。上述结果均能满足 GB 18871-2002 中人员的剂量限值要求及本项目剂量约束值要求 (即辐射工作人员 5mSv/a , 公众 0.1mSv/a)。

本项目 4#、5#手术室南北并列设置, 当两台 DSA 同时出束工作时, 对周围人员存在剂量叠加影响。保守计算考虑, 周围公众的叠加年附加剂量不会超过 $2.83 \times 10^{-3} \text{mSv} + 2.83 \times 10^{-3} \text{mSv} = 5.66 \times 10^{-3} \text{mSv}$, 辐射工作人员的叠加年附加剂量不会超过 $3.86 \times 10^{-6} \text{mSv} + 3.86 \times 10^{-6} \text{mSv} = 7.72 \times 10^{-6} \text{mSv}$ 。4#、5#手术室位于病房楼三楼, 急诊科 DSA 室位于门诊医技楼一楼, 由于相距较远 (超过 50m) 且之间有其他建筑结构的屏蔽作用, 因此不用考虑其叠加剂量的影响。综上所述, 本项目 4#、5#手术室叠

加剂量也均能满足 GB 18871-2002 中人员的剂量限值要求及本项目剂量约束值要求（即辐射工作人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

将有关参数代入公式 11-19，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-27。

表 11-27 介入操作人员年有效剂量估算结果

位置	α	β	部位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			年照射时间 (h)	年有效剂量 E^* (mSv)
				散射线	漏射线	合计		
第一术者	0.79	0.051	铅衣内	27.54	9.55	37.09	120.8	12.2
			铅衣外	519.24	91.54	610.77		
第二术者			铅衣内	6.88	2.39	9.27		3.05
			铅衣外	129.81	22.88	152.69		

由表 11-27，本项目 DSA 机房内第一术者操作位的年有效剂量为 12.2mSv，医院拟为每台 DSA 安排 3 名第一术者医生轮流操作，则单名第一术者医生的年有效剂量不会超过工作人员项目管理目标 5mSv 的要求；本项目 DSA 机房内第二术者操作位的年有效剂量为 3.05mSv，则即使第二术者操作位由 1 人承担，也能满足工作人员项目管理目标 5mSv 的要求。

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

4、保护目标年有效剂量估算

本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围均位于医院内，由于本项目保护目标距离 DSA 机房远大于机房表面 30cm，故本项目保护目标处公众所受的辐射剂量将小于上

述理论计算值，其所受的年有效剂量也远低于 0.01mSv。

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

二、放射性“三废”影响分析

DSA、医用直线加速器、CT 模拟定位机运行过程中无放射性废物产生。

核医学科项目运行过程中会产生含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的放射性废水，核素操作过程中会产生少量放射性气溶胶。

1、放射性废气

在进行液态放射性药物活度测量操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目核医学科诊断区注射室设有 1 个防护铅当量为 50mm 的 ^{18}F 专用手套箱、1 个防护铅当量为 10mm 的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 专用手套箱，治疗区分装室设有 1 个防护铅当量为 31mm 的 ^{131}I 专用手套箱。本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于病房楼屋顶），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院拟在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换 1~2 次）并作为放射性固体废物处理。整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。

3、放射性废水

来自核医学科给药后患者专用卫生间等高活区的放射性废水，含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到放疗核医学楼西侧的衰变池中暂存衰变。

核医学科的衰变池系统分为诊断区和治疗区两部分。诊断区由 1 个降解池加 3 个衰变池组成，池体均为成品不锈钢材质，单个衰变池容积均为 7.5m^3 ，总容积为 22.5m^3 ；治疗区由 1 个降解池加 5 个衰变池组成，池体均为成品不锈钢材质，单个衰

变池容积均为 42m^3 ，总容积为 210m^3 。衰变池系统池壁由混凝土浇筑而成，壁厚 300mm ；池顶为 300mm 混凝土（低于地表 1.3m ），井盖为 50mm 铸铁井盖（与地面平齐）。核医学科诊断区产生的放射性废水先进入降解池进行初步降解后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过降解池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，自动关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行。治疗区衰变池运行模式与诊断区衰变池运行模式相同，五个衰变池往复循环运行。

放射性废水主要为沾有放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水，辐射工作人员的洗涤用水以及服用药物病人的排泄物及冲洗水等。本项目核医学科工作场所中，诊断区放射性废水产量为 500L/d ，诊断区月工作 22 天，则每月产生 11m^3 放射性废水；治疗区放射性废水产量为 $125\text{m}^3/\text{a}$ ，平均每月 10.4m^3 。

根据放射性废水衰变系统运行方式，诊断区装满 2 个衰变池需要 1.36 个月，则第一个装满的衰变池中的放射性废水可在该衰变系统内衰变约 40d ，而诊断区放射性废水中含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素中，较长寿命核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的半衰期为 6.02h ，故诊断区衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天”的要求；治疗区第一个衰变池装满废水后，后四个衰变池装满需要 16.2 个月，则第一个装满的衰变池中的放射性废水可在该衰变系统内衰变约 486d ，故治疗区衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“含 ^{131}I 核素的暂存超过 180 天”的要求。

本项目核医学科设于病房楼负一楼，下方为土层。核医学科专用下水管道均设于核医学科地面以下，且管道中放射性废水仅在排入衰变池时流经管道，不会在管道中贮存，因此核医学科专用下水管道对周围人员的影响较小。

放射性废水经专用下水管道集中到病房楼北侧地下的衰变池中。衰变池为混凝土浇筑成型，池壁厚 300mm ，池顶为 300mm 混凝土（低于地表 1m ，上覆盖土层）。衰变池检修口设 6mmPb 盖板（衰变池顶）+ 50mm 铸铁井盖（与地表平齐）。衰变池底下及四周均为土层，上方为绿化地面。

(1) 诊断区衰变池辐射影响分析

由于 ^{18}F 射线能量大于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ， ^{18}F 周围剂量当量率常数也大于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，且参考表 11-14 计算结果可知，即使 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度大于 ^{18}F 时， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 所致周围剂量当量率也远小于 ^{18}F 所致周围剂量当量率，因此取 ^{18}F 作为参考来预测计算衰变池对方地面的辐射水平。参照公式 11-10 计算衰变池内废水对地面处产生的辐射影响，其预测计算结果见表 11-28。

表 11-28 核医学科衰变池上方辐射水平估算结果（诊断区）

参考点位置	源强*	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)
衰变池上方地表 30cm 处	21.3mCi	4.0	300mm 混凝土	0.0197	0.139	2.5
			6mmPb+50mm 铁	0.035	0.024	2.5

注：单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30% 进行计算，则单次排放 ^{18}F 核素活度为 $10\text{mCi} \times 30\% = 3\text{mCi/次}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素活度为 $20\text{mCi} \times 30\% = 6\text{mCi/次}$ 。保守按 10 名 PET/CT 候诊患者+10 名 SPECT/CT 候诊患者的排泄物进入衰变系统进行辐射计算（保守估计每名候诊患者均进行排泄，每 30 分钟有 2 名 ^{18}F 患者排泄，仅考虑到排泄物内核素活度随时间产生衰减，未考虑废水对核素的屏蔽影响）。

(2) 治疗区衰变池辐射影响分析

本项目核医学治疗区产生的含 ^{131}I 放射性废水排入衰变池治疗区槽体中，根据 ICRP94 号出版物的相关内容， ^{131}I 在患者尿中排放情况为：第一天 55%，第二天 22%，第三天 6%，接受甲癌治疗患者的排泄物的放射性活度占服用 ^{131}I 总活度的 83%。 ^{131}I 核素治疗项目患者排泄物内核素活度排泄比率保守按 83% 进行计算，每天最多 4 人。衰变池中一个池子存满后开始计时至其它四个池子存满时间约为 486 天，池子内核素总活度保守按 54 个病人（按时间比例）排泄物中的 ^{131}I 放射性总活度为 $2.5 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。

表 11-29 核医学科衰变池上方辐射水平估算结果（诊断区）

参考点位置	源强 (Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	总透射比	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)
衰变池上方地表 30cm 处	2.5×10^{11}	4.0	300mm 混凝土	1.45E-5	0.013	2.5
			6mmPb+50mm 铁	3.44E-5	0.031	2.5

注：总透射比取水（1.5m 深）透射比、混凝土透射比、铅透射比、铁透射比的乘积，其中水、铁的什值层按《辐射防护手册第三分册》表 2.12 使用插值法估算，

由表 11-28、表 11-29 计算结果可知，核医学科衰变池采用现有屏蔽设计进行辐射防护，其对周围环境及公众产生的辐射影响较小。即使考虑诊断区、治疗区衰变池

叠加辐射影响，也能够满足本项目 2.5 μ Sv/h 的控制目标值。

3、放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要有一次性注射器、一次性手套、棉签、一次性口杯等带微量放射性核素的医疗固体废弃物以及通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

本项目诊断区 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.8kg/d (0.02kg/人 \times (20 人/d+20 人/d))，即 200kg/a，平均 16.7kg/月；甲状腺吸碘率测定项目年接诊量最大为 2700 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 54kg/a，平均 4.5kg/月。本项目治疗区甲亢治疗项目年最大接诊量为 2500 人次，甲亢治疗项目年最大接诊量为 200 人次，甲亢治疗放射性固体废物产量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 50kg/a，平均 4.2kg/月；甲亢治疗放射性固体废物产量按 0.1kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 20kg/a，平均 1.7kg/月。核医学科通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 20kg，其中诊断区、治疗区各产生约 10kg。

从核医学科各房间及核医学通风系统收集的含放射性废物应分类收集、分别标记（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到放射性废物间中的铅桶（放射性废物间中设置若干铅桶，防护厚度不低 10mmPb）暂存。含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的废弃物在放射性废物间内暂存时间超过 30 天、含 ^{131}I 核素的废弃物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平、 α 表面污染小于 0.08Bq/cm 2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm 2 的，作为医疗废物进行处理。

本项目核医学科诊断区的放射性废物间面积约为 7m 2 ，总容积约为 20m 3 ，医院拟在废物间内添置置物架，废物间有效利用空间约 8m 3 ；治疗区放射废物间面积约 4.3m 2 ，总容积约 12.5m 3 ，医院拟在废物间内添置置物架，废物间有效利用空间约 6m 3 。本项目核医学科治疗区、诊断区放射性固体废物平均月产量体积均不超过 1m 3 ，放射性废物间能够满足放射性固体废物的暂存要求。

三、非放射性“三废”影响分析

1、废气

DSA 机房、医用直线加速器机房、CT 模拟定位机机房、PET/CT 机房、SPECT/CT

机房内的空气在 X 射线、 γ 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理。

3、固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

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

事故影响分析

一、可能发生的事故

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

1、医用直线加速器、PET/CT、SPECT/CT、DSA、CT 模拟定位机、模拟定位机以及其他医学影像诊断项目中的 X 射线装置工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

2、医用直线加速器、PET/CT、SPECT/CT、DSA、CT 模拟定位机、模拟定位机机房门机联锁失效，或其他医学影像诊断项目由于曝光时关闭机房门的管理措施不到位，导致防护门未关闭或未关闭到位时即开机照射，防护门外工作人员或公众受到误照射。

3、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

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

5、注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

6、由于保管或管理工作不到位，导致 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性核素的丢失、被盗，使公众受到误照射。

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

二、事故预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故预防措施：

- 1、定期检查射线装置机房的安全联锁装置，确保其正常、有效运行；
- 2、加强辐射工作人员培训，不断提高人员的辐射安全意识；
- 3、加强辐射安全管理，辐射安全管理人员定期检查；
- 4、严格执行辐射安全管理规章制度，按照操作规程操作，工作期间，辐射工作人员不得脱岗；

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

三、事故处理措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故处理措施：

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

(2) 迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

(3) 发生非密封放射性物质污染，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

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

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

(6) 事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射

事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

响水县人民医院迁建放射诊疗项目中医用直线加速器、DSA 为 II 类射线装置，SPECT/CT、PET/CT、CT 模拟定位机、模拟定位机为 III 类射线装置， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 为非密封放射性物质，核医学科治疗区、诊断区均为乙级非密封放射性物质工作场所，其他医学影像诊断项目均为 III 类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙级非密封放射性物质工作场所和使用 II 类、III 类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，响水县人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次迁建放射诊疗项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟为本项目 3 台 DSA 共配置 15 名辐射工作人员，为 2 台医用直线加速器配备 6 名辐射工作人员，为核医学科治疗区、诊断区共配备 8 名辐射工作人员，为其他医学影像诊断项目配备辐射工作人员若干。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定，III 类射线装置辐射工作人员参加院内组织的自考。

本项目医用直线加速器、DSA、核医学拟配置的辐射工作人员及辐射安全管理人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”类、“放射治疗”类、“核医学”类、“辐射安全管理”类辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装

置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每5年接受一次再培训考核。本项目CT模拟定位机、模拟定位机及其他医学影像诊断项目的辐射工作人员应由医院定期组织培训和自考。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。医院目前已成立了辐射安全管理机构并制定了辐射安全管理规章制度，满足医院现有的核技术利用项目辐射安全管理，建议医院根据本次迁建放射诊疗项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

针对本项目提出以下完善建议：

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

①提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

②确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

④在工作场所严禁吸烟、进食；

⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

2) 岗位职责：明确放射源、射线装置、放射性药品使用工作人员、台帐管理人员、药物注射人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

3) 辐射防护和安全保卫制度：根据放射源、射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

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

状态；

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

③放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

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

4) 设备维修制度：明确放射源、射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

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

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

7) 监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保非密封放射性物质工作场所及II类、III类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

④医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者

委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

⑤委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，响水县人民医院拟配备辐射巡测仪1台、表面污染仪1台，并拟为本项目配备个人剂量报警仪共14台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

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

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

3) 定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录。

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

辐射事故应急

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

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急的具体人员和联系电话；
- ③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- ④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》(原国家环保总局，环发[2006]145号)和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康行政部门报告；并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

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

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

响水县人民医院迁建放射诊疗项目拟在新院区的门诊医技楼、病房楼开展放射诊疗项目，主要包括：

1、放射治疗项目：于病房楼负一楼放疗中心新建 2 座加速器机房，配备 2 台医用直线加速器（型号未定，X 射线能量均为 6、10MV，电子线能量均 $\leq 22\text{MeV}$ ），并新增 1 台 CT 模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）、1 台模拟定位机（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）配合开展放射治疗；

2、核医学核素诊断项目：于病房楼负一楼新建核医学科，诊断区配备 1 台 PET/CT 配合使用 ^{18}F 开展核素显像诊断，配备 1 台 SPECT/CT 配合使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核素显像诊断，使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定。诊断区核素日等效最大操作量为 $2.57 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属乙级非密封放射物质工作场所；

3、核医学核素治疗项目：于病房楼负一楼新建核医学科，治疗区使用 ^{131}I 开展甲亢治疗、甲癌治疗，其日等效最大操作量为 $2.59 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属乙级非密封放射物质工作场所；

4、DSA 项目：于病房楼三楼新建 2 座 DSA 机房（4#手术室、5#手术室），并配备 2 台 DSA（型号未定，最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1000mA）；于门诊医技楼一楼急诊科新建 1 座 DSA 机房，并搬迁 1 台 DSA（型号为 Optima CL 323i，最大管电压 150kV，最大管电流为 800mA，其原有环保手续详见附件 7）；

5、其他医学影像诊断项目：于病房楼三楼中心手术部新建 2 座 C 臂机机房（即 2#手术室、3#手术室），配备 2 台 C 臂机（型号未定）和 1 台移动式 G 臂机（型号未定）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 64 排 CT（型号未定）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定）；于门诊楼一楼急诊科新建 1 座数字胃肠机机房，配备 1 台数字胃肠机（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建 2 座 CT 机房（即 CT 机房 1、CT 机房 2），分别配备 1 台 64 排 CT（型号未定）和 1 台 256 排 CT（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建 1 座乳腺钼靶机房，

搬迁 1 台乳腺钼靶机（型号为 Senographe Essential）；于门诊楼一楼影像科新建 1 座数字胃肠机机房，搬迁 1 台数字胃肠机（型号为 PT800），于门诊楼一楼影像科新建 1 座口腔 CT 机房，配备 1 台口腔 CT（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建全景口腔机房，配备 1 台全景口腔机（型号未定）；于门诊楼一楼影像科新建骨密度机房，配备 1 台骨密度仪（型号未定）；于门诊楼三楼口腔科新建 1 座牙片机房，配备 1 台牙片机（型号未定）；于门诊楼四楼体检中心新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 64 排 CT（型号未定）；于门诊楼四层体检中心新建 1 座 DR 机房，配备 1 台 DR（型号未定）；于门诊楼四层体检中心新建 1 座骨密度机房，配备 1 台骨密度仪（型号未定）；于传染楼一楼发热门诊新建 1 座 CT 机房，配备 1 台 16 排 CT（型号未定）。

医用直线加速器、DSA 为 II 类射线装置，PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机、模拟定位机及其他医学影像诊断项目的 X 射线装置均为 III 类射线装置。

二、实践正当性

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

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

三、选址合理性

响水县人民医院新院区位于响水县金海路东侧、园林路北侧，医院东侧为开发路，南侧为园林路，西侧为金海路，北侧为规划道路。

医院于病房楼负一楼放疗中心新建 2 座加速器机房及配套设施用房并配置 2 台医用直线加速器、1 台 CT 模拟定位机、1 台模拟定位机。病房楼东侧为院内道路及妇幼保健院，南侧为院内道路及门诊医技楼，西侧为院内道路及停车场，北侧为院内道路及停车场。加速器机房位于病房楼负一楼西侧，2 座机房南北并列设置（南侧 1#、北侧 2#），1#加速器机房东侧由北向南依次为更衣室、控制室、设备机房、水冷机房、新风机房，南侧、西侧为土层，北侧为 2#加速器机房，下方为土层，楼上为地面道路；2#加速器机房东侧由北向南依次为楼梯间、更衣室，南侧为 1#加速器机房，西侧为土层，北侧由西向东依次为设备机房、控制室、更衣室、加压送风机房、更衣室，下方

为土层，楼上为地面道路；CT模拟定位机、模拟定位机位于病房楼负一楼南侧，CT模拟定位机东侧为卫生间，南侧为土层，西侧为控制室及更衣室，北侧为过道，楼上为地面道路，下方为土层；模拟定位机东侧为控制室、更衣室，南侧为土层，西侧为热疗机房，北侧为过道，楼上为地面道路，下方为土层。

医院于病房楼负一楼新建核医学科，核医学科诊断区东侧为过道，南侧为下沉庭院及楼梯间，西侧为更衣室、卫生间及过道，北侧为治疗区过道，下方为土层，楼上为检查包装灭菌区、病房楼一楼大厅、超市、耗材库等；核医学科治疗区东侧为楼梯间，南侧为诊断区过道，西侧、北侧均为过道，楼上为检查包装灭菌区、无菌存放区、洁具间、缓冲间等。

医院于病房楼三楼新建2座DSA机房并配置2台DSA（4#、5#手术室），于门诊医技楼一楼急诊科新建1座DSA机房，并搬迁1台DSA。病房楼三楼2座DSA机房南北并列设置，4#手术室东侧由北向南依次为设备间、控制室、缓冲间，南侧为5#手术室，西侧为污物通道，北侧为过道，下方为医生办公室、过道、资料室，楼上为排烟机房、避难间、过道、库房；5#手术室东侧由北向南依次为缓冲间、控制室、设备间，南侧为缓冲间及过道，西侧为污物通道，北侧为4#手术室，下方为UPS、医生工作站、过道，上方为库房、过道、病案库；门诊医技楼一楼急诊科DSA机房东侧为设备机房、洗污打包间，南侧为收费大厅，西侧为控制室、更衣室、缓冲间、谈话间、观察室、准备区，北侧为过道，下方为车库，楼上为门诊手术家属等候区、洁具间等。

其他医学影像诊断项目中，2台C臂机和1台G臂机位于病房楼三楼的中心手术部，1台CT、1台DR和1台数字胃肠机位于门诊医技楼一楼的急诊科，2台CT、2台DR、1台数字胃肠机、1台乳腺钼靶机、1台口腔CT、1台全景口腔机和1台骨密度仪位于门诊医技楼一楼的影像科，1台牙片机位于门诊医技楼三楼的口腔科，1台CT、1台DR和1台骨密度仪位于门诊医技楼四楼的体检中心，1台CT位于传染楼一楼的发热门诊。

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

加速器机房位于病房楼底层最西端，控制室、设备间均与治疗室分开布置，治疗

室设置迷路；DSA 均设置独立的设备机房，控制室均位于机房外；核医学科位于病房楼负一楼，设有单独出入口，工作场所内人流、物流路径相对独立，患者就诊可沿单向路线流动。为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目按要求划分了辐射防护控制区和监督区，并设置电离辐射警告标志。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。本项目所在地块位于江苏响水经济开发区重点管控单元（编码：ZH32092121368）内，不在生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求。本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目选址及布局合理，项目工作场所分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

四、辐射环境现状评价

响水县人民医院迁建放射诊疗项目 DSA 机房拟建址、医用直线加速器机房拟建址、核医学诊断区和治疗区拟建址及其周围环境 γ 辐射剂量率均处于江苏省环境天然 γ 辐射剂量率水平范围内，均属江苏省环境天然 γ 辐射剂量率本底水平；核医学诊断区 β 表面污染水平均小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，治疗区 β 表面污染水平均小于 $0.09\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

五、环境影响评价

根据预测估算结果，响水县人民医院迁建放射诊疗项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后对辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

六、“三废”的处理处置

核医学科核素分装均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 $0.5\text{m}/\text{s}$ ，排风口高于病房楼屋顶），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响。来自核医学科诊断区的放射性废水，含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素，由独立下水管道统一集中到诊断区衰变池中，衰变 30 天满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理；核医学科

治疗区产生的放射性废水，含有¹³¹I核素，由独立下水管道统一集中到治疗区衰变池中暂存超过180天，监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871-2002中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于1Bq/L、总 β 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。核医学科诊断区、治疗区产生的放射性固体废物分类收集，含¹⁸F、^{99m}Tc核素的集中到诊断区放射性废物间中的放射性废物桶中暂存超过30天、含¹³¹I核素的集中到治疗区放射性废物间中的放射性废物桶中暂存超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

医用直线加速器机房、PET/CT机房、SPECT/CT机房、DSA机房、CT模拟定位机、模拟定位机机房及其他医学影像诊断项目的III类射线装置机房内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约50分钟可自然分解为氧气，对周围环境影响较小；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小；本项目DSA手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

七、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

响水县人民医院拟配备的2台医用直线加速器的X射线最大能量为10MV，电子线最大能量为22MeV，医用直线加速器开机期间，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。本项目医用直线加速器机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设置固定式剂量报警仪，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的安全管理要求。

医院拟配备的CT模拟定位机、模拟定位机最大管电压均 ≤ 140 kV、最大管电流均 ≤ 1000 mA，开机期间，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。本项目CT模拟定位机、模拟定位机机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，机房均拟设置门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮，符合《放射诊断放射防护要

求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），确定核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。核医学科 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房扫描时产生的 X 射线； ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性核素在操作过程中产生的 γ 射线会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学科工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT 机房、SPECT/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警示标识和工作状态灯。PET/CT 机房、SPECT/CT 机房设置有门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统，符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

响水县人民医院拟新购的 2 台 DSA 最大管电压均为 125kV、最大管电流均为 1000mA，拟搬迁的 1 台 DSA 最大管电压 150kV、最大管电流 800mA，DSA 开机期间产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目 DSA 机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯拟与防护大门进行联锁，机房内外均拟设置急停按钮，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的安全管理要求。

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

八、辐射安全管理评价

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

响水县人民医院需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。响水县人民医院还需为本项目配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 1 台及个人剂量报警仪共 14 台。此外，医院应根据相关标准要求，为核医学科、DSA 项目工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，响水县人民医院迁建放射诊疗项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

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

2、根据防护与安全的最优化原则，进一步优化完善辐射工作场所屏蔽措施。

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

4、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

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

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)	
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构,或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构,并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/	
辐射安全和防护措施	屏蔽措施:医用直线加速器机房四侧墙体采用混凝土、顶面采用混凝土进行辐射防护;核医学科工作场所四侧墙体及顶部采用混凝土+铅板进行辐射防护,各防护门均采用铅防护门,观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护;DSA机房四侧墙体采用轻钢龙骨+铅板、实心砖+硫酸钡涂料,顶面采用混凝土+铅板,地面采用混凝土+硫酸钡涂料,防护门均采用铅板,观察窗均为铅玻璃观察窗进行防护;其他医学影像诊断项目机房采用轻钢龙骨+铅板或实心砖+硫酸钡涂料,顶部采用混凝土+铅板,地面采用混凝土+硫酸钡涂料,防护门均采用铅板、观察窗均采用铅玻璃进行防护。详见表 10-1 至表 10-7。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	240	
	安全措施	医用直线加速器机房设置门机联锁装置,并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置,防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯,医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置,防护门拟设有防挤压功能,治疗室迷道口拟设固定式剂量报警仪。		满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)的相关要求。
	CT模拟定位机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯,模拟定位机房设有门机联锁装置,射线装置机房内外均设置有急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。		
	核医学科控制区入口、放射性废物桶表面、PET/CT机房和SPECT/CT机房防护门上均设置电离辐射警告标志,同时在PET/CT机房、SPECT/CT机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置,并设置急停按钮及对讲装置,核医学科控制区出入口设置单向门禁系统。	满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)及《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。		
	DSA机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯;DSA机房设有闭门装置,机房内外均设置有急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。		

	<p>放射性“三废”处理措施：</p> <p>本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，符合非密封放射性物质工作场所相关要求。</p> <p>本项目产生的放射性废水由专用下水管道统一集中到病房楼北侧的衰变池中，¹⁸F、^{99m}Tc 废水暂存 30 天后可直接解控排放，¹³¹I 废水暂存超过 180 天，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871-2002 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。</p> <p>核医学科诊断区、治疗区产生的放射性固体废物分类收集，含 ¹⁸F、^{99m}Tc 核素的集中到诊断区放射性废物间中的放射性废物桶中暂存超过 30 天，含 ¹³¹I 核素的集中到治疗区放射性废物间中的放射性废物桶中暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm²、β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。</p>	<p>满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。</p>	
<p>人员配备</p>	<p>辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。</p> <p>其他医学影像诊断项目辐射工作人员参加医院的自主培训和考核。</p> <p>辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。</p> <p>辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立放射工作人员职业健康档案。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。</p>	/
<p>监测仪器和防护用品</p>	<p>拟配备辐射巡测仪 1 台。</p> <p>拟配备表面沾污仪 2 台。</p> <p>拟配备个人剂量报警仪 14 台。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。</p>	10
<p>监测仪器和防护用品</p>	<p>核医学科配备 2 个手套箱，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。</p> <p>DSA 介入治疗医生配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等，同时设置铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防</p>	<p>满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）</p>	50

	护屏等防护用品。 其他医学影像诊断项目按要求配备相应的防护用品。	的相关要求。	
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	300

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公 章
年 月 日

审批意见：

经办人：

公 章
年 月 日