

核技术利用建设项目

福州滨海新城综合医院（一期） 核技术利用项目

环境影响报告表 （公开版）

福州市卫生健康委员会（盖章）

二〇二一年六月

核技术利用建设项目

福州滨海新城综合医院（一期） 核技术利用项目

环境影响报告表 (公开版)

建设单位名称：福州市卫生健康委员会

建设单位法人代表（签名或签章）：陈劲松

通讯地址：福建省福州市仓山区南江滨西大道 193 号东部办公区

邮政编码： 350007

联系人：×××

电子邮箱： fz_szf@sina.com

联系电话：×××

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	12
表 3	非密封放射性物质.....	13
表 4	射线装置.....	14
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	15
表 6	评价依据.....	16
表 7	保护目标与评价标准.....	18
表 8	环境质量和辐射现状.....	29
表 9	项目工程分析与源项.....	39
表 10	辐射安全与防护.....	55
表 11	环境影响分析.....	85
表 12	辐射安全管理.....	125
表 13	结论与建议.....	144
表 14	审批.....	153

附件：

附件 1：项目委托书

附件 2：福州滨海新城综合医院使用 V 类放射源和 III 类医用射线装置核技术利用项目环境影响登记表

附件 3：福州滨海新城综合核技术利用辐射环境本底检测报告

附件 4：类比 DSA 机项目机房检测报告

附件 5：福州滨海新城综合医院辐射事故应急预案

附件 6：福州滨海新城综合医院辐射监测方案

附件 7：福州市长乐区环境保护局关于《福州滨海新城综合医院（一期）环境影响报告书》的审批意见

表 1 项目基本情况

建设项目名称	福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目				
建设单位	福州滨海新城综合医院				
法人代表	陈劲松	联系人	×××	联系电话	×××
注册地址	福建省福州市仓山区南江滨西大道 193 号东部办公区				
项目建设地点	福州滨海新城 201 省道东侧、沙壶路南侧、 壶井路北侧、万沙路西侧				
立项审批部门	福州市长乐区 发展和改革局		批准文号	长发改基〔2018〕33 号	
建设项目总投资 (万元)	69000	项目环保投资 (万元)	677	投资比例(环保 投资/总投资)	0.98%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	—
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" 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 type="checkbox"/> III 类		
	其他	—			
	项目概述:				
1 建设单位概况					
福州滨海新城综合医院是新建项目，地址位于福州滨海新城 201 省道东侧、沙壶路南侧、壶井路北侧、万沙路西侧，由福州市政府、复旦大学附属华山医院和福建医科大学附属第一医院合作共建，是一家综合三甲医院。福州滨海新城综合医院定位为 国家区域医疗中心，项目建成后将立足滨海新城，辐射海西地区及境内外，为省内外 公众和境外人士提供医疗、预防、保健、教学、培训、科研及学术交流服务。院区内 新建建筑物包括门诊楼、医技楼、病房楼、感染楼、倒班宿舍、教学、科研楼、报告					

厅、污水处理站、液氧站等。



图 1-1 福州滨海新城综合医院效果图

2 项目由来、建设目的和规模

为进一步改善投资环境，全面提升滨海新城医疗服务水平，完善福州滨海新城医疗布局和规划，发展医疗卫生事业，满足居住群众的要求，福州市政府计划在滨海新城新建一座综合三甲医院，由福州市卫生健康委员会作为业主部门负责建设，建成后交付滨海新城综合医院使用，滨海新城综合医院建成后，将成为服务本地及周边地区的集体医疗服务，科研教学、疾病防治为一体的重要公共卫生基地。

福州滨海新城综合医院总规模为 1500 床位，采取“一次规划，分期实施”式建设，其中一期项目按 1000 张住院床位，建筑面积 244000m²，地上建筑面积 164500 m²，地下建筑面积 79500m²，机动车停车位 1900 辆。主要建筑为门诊、医技楼 78200m²，住院楼 43200m²，传染楼 4500m²，科教行政综合楼 20100m²、医护倒班宿舍 12300m²，餐厅后勤配套 6200 m² 及配套附属设施。该项目工程设计单位为为中国中元国际工程有限公司（工程设计综合资质甲级，编号 A111000295），辐射防护设施施工单位为中建海峡建设发展有限公司（建筑行业建筑工程人防工程甲级，编号 A135000315）。

福州滨海新城综合医院拟在病房楼地下室负一层建设 3 台直线加速器用于患者放射治疗；拟分别在医技楼一层建设 4 台 DSA 机，在医技楼三层建设 1 台 DSA 机、在门诊楼一层急诊科建设 1 台 DSA 机用于介入诊疗；拟在医技楼地下一层回旋加速器机房使用 1 台回旋加速器；共使用 10 台 II 类射线装置。

拟在病房楼地下室一层后装治疗机房使用 1 枚 Ir-192 放射源进行近距离放射治疗，活度为 $3.7E+11Bq$ ，为使用 III 类放射源。

拟在医技楼地下室负一层回旋加速器机房使用 1 台回旋加速器，用于生产 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素；拟在医技楼地下室负一层 1 号 PET/CT 机房、地下室负一层 2 号 PET/MR 机房，使用 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素用于 PET/CT 或 PET/MR 显像诊断；拟在小动物 PET/CT 室，使用 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素用于小动物 PET/CT 显像诊断；拟在医技楼地下一层钼-铈发生器室使用钼-铈发生器，用于淋洗、分装 Tc-99m 放射性核素；拟在医技楼地下室负一层 1 号、2 号、3 号、4 号 SPET/CT 机房，使用 Tc-99m 放射性核素，用于 SPECT/CT 显像检查；拟在医技楼地下室负一层小动物 SPET/CT 机房，使用 Tc-99m 放射性核素，用于小动物 SPECT/CT 显像检查；拟使用 I-131 放射性核素用于核素治疗或甲功测定；拟使用 Lu-177、Re-188、Sr-89、Ra-223 放射性核素用于癌症治疗；使用 I-125 核素用于放免分析。使用 F-18、Tc-99m、I-131、Lu-177、Re-188、Ga-68、Zr-89、Ra-223 等放射性核素为使用乙级非密封放射性物质工作场所，使用 Cu-64、C-11、Sr-89、I-125 等放射性核素为使用丙级非密封放射性物质工作场所。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）和关于发布《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），本项目中使用的 1 台 PET/CT、1 台 PET/MR、4 台 SPECT/CT、1 台小动物 PET/CT、1 台小动物 SPECT/CT、1 台 CT 模拟定位机等为 III 类射线装置，福州滨海新城综合医院 38 台 III 类射线装置和使用的 1 枚 Sr-90 放射源（V 类放射源），已在“建设项目环境影响登记表备案系统（福建省）”备案，备案号为 202135018200000001（见附件 2）。

福州滨海新城综合医院放射源使用情况见表 2-1；福州滨海新城综合医院非密封放射性物质使用情况见表 2-2；福州滨海新城综合医院 II 类射线装置使用情况见表 2-3；福州滨海新城综合医院 III 类射线装置使用情况见表 2-4。

表 2-1 福州滨海新城综合医院放射源使用情况

序号	放射源名称	数量	单枚活度 (Bq)	放射源类别	工作场所名称	来源	用途	备注
1	Ir-192	1	$3.7E+11$	III	病房楼地下室负一层后装治疗机房	外购	放射治疗	本次评价
2	Sr-90	1	$1.48E+9$	V	医技楼地下室负一层	外购	放射治疗	已备案

					敷贴治疗室		
--	--	--	--	--	-------	--	--

表 2-2 福州滨海新城综合医院非密封放射物质使用情况一览表（本次环评）

序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所名称	来源	备注
1	乙级	F-18	1.11E+08	医技楼地下室负一层核医学科	回旋加速器	PET 显像诊断
2	乙级	Ga-68	5.55E+07	医技楼地下室负一层核医学科	回旋加速器	PET 显像诊断
3	乙级	Zr-89	7.4E+07	医技楼地下室负一层核医学科	回旋加速器	PET 显像诊断
4	乙级	Cu-64	7.4E+06	医技楼地下室负一层核医学科	回旋加速器	PET 显像诊断
5	乙级	C-11	1.85E+07	医技楼地下室负一层核医学科	回旋加速器	PET 显像诊断
6	乙级	Tc-99m	2.96E+08	医技楼地下室负一层核医学科	钼-铈发生器	SPECT/CT 显像诊断
7	乙级	I-131	1.67E+09	医技楼地下室负一层核医学科	外购	核素治疗/甲功测定
8	乙级	Lu-177	5.55E+08	医技楼地下室负一层核医学科	外购	肿瘤骨转移治疗
9	乙级	Re-188	1.85E+08	医技楼地下室负一层核医学科	外购	肿瘤骨转移治疗
10	乙级	Sr-89	1.48E+07	医技楼地下室负一层核医学科	外购	肿瘤骨转移治疗
11	豁免	I-125	5.0E+04	地下室负一层核医学科	外购	放免分析
12	乙级	Ra-223	7.4E+05	医技楼地下室负一层核医学科	外购	肿瘤骨转移治疗

表 2-3 福州滨海新城综合医院 II 类射线装置使用情况一览表（本次环评）

序号	射线装置名称	数量	参数	射线装置类别	工作场所名称	来源	用途
----	--------	----	----	--------	--------	----	----

1	医用电子直线加速器	3	15MV、600cGy/min	II	病房楼地下室负一层	外购	放射治疗
2	回旋加速器	1	9.6MeV、70uA	II	医技楼地下室负一层	外购	生产 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素
3	DSA	4	150kV、1000 mA	II	医技楼一层	外购	介入放射诊断
4	DSA	1	150kV、1000 mA	II	医技楼三层	外购	介入放射诊断
5	DSA	1	150kV、1000 mA	II	门诊楼一层	外购	介入放射诊断

表 2-4 福州滨海新城综合医院 III 类射线装置具体情况一览表（已备案）

序号	射线装置名称	数量	参数	射线装置类别	工作场所名称	来源	用途	备注
1	CT 模拟定位机	1	150kV、500mA	III类	地下室负一层 CT 模拟定位机房	外购	放射治疗	已在“建设项目环境影响登记表备案系统（福建省）”备案，备案号为 20213501820000001
2	PET/CT	1	150kV、500mA	III类	医技楼地下室负一层 1 号 PET/CT 机房	外购	PET 显像诊断	
3	PET/MR	1	——	III类	医技楼地下室一层 2 号 PET/MR 机房	外购	PET 显像诊断	
4	SPECT/CT	4	150kV、500mA	III类	医技楼地下室负一层 1 号、2 号、3 号、4 号 SPET/CT 机房	外购	SPECT/CT 显像诊断	
5	小动物 PET/CT	1	——	III类	医技楼地下室负一层小动物 PET/CT 机房	外购	PET 显像诊断	
6	小动物 SPECT/CT	1	150kV、500mA	III类	医技楼地下室负一层小动物 SPET/CT 机房	外购	SPECT/CT 显像诊断	
7	CT	4	150kV、500mA	III类	医技楼一层 1 号、2 号、3 号、4 号 CT 机房	外购	影像诊断	
8	CT	1	150kV、500mA	III类	门诊楼一层急诊科 CT 机房	外购	影像诊断	
9	CT	1	150kV、500mA	III类	门诊楼一层高端门诊 CT 机房	外购	影像诊断	
10	CT	1	150kV、500mA	III类	病房楼 12 层神经外科 ICU 的 CT 机房	外购	影像诊断	

11	CT	1	150kV、500mA	III类	医技楼三层复合 CT 手术室	外购	影像诊断
12	DR	4	150kV、630mA	III类	医技楼一层 1 号、2 号、3 号、4 号 DR1 机房	外购	影像诊断
13	DR	1	150kV、630mA	III类	门诊楼一层高端门诊 DR 机房	外购	影像诊断
14	X 射线透视设备（胃肠机）	2	150kV、800mA	III类	医技楼一层胃肠 1 机房、2 机房	外购	影像诊断
15	牙科 X 光射线机	1	——	III类	门诊楼四层全景室 1	外购	影像诊断
16	计算机数字化体层摄影系统	1	——	III类	门诊楼四层全景室 2	外购	影像诊断
17	X 射线透视设备（透视机）	1	150kV、800mA	III类	医技楼四层 ERCP 机房	外购	影像诊断
18	乳腺钼靶机	2	60kV、250 mA	III类	医技楼一层钼靶 1 机房、2 机房	外购	影像诊断
19	C 型臂	8	150kV、500mA	III类	医技楼四层手术室 1、2、3、4、5、6、7、8	外购	影像诊断
20	C 型臂	1	150kV、500mA	III类	医技楼二层手术室	外购	影像诊断

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》和《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，应对建设项目进行环境影响评价。医用直线加速器(3 台)、回旋加速器(1 台)和 DSA 机(6 台)属于 II 类射线装置，放射源 Ir-192(1 枚，活度为 3.7E+11Bq)属于 III 类放射源，医技楼地下负一层核医学科 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT、核素治疗区及核素制药区工作场所使用 F-18、Tc-99m、I-131、Lu-177、Re-188、Ga-68、Zr-89、Ra-223 等放射性核素为使用乙级非密封放射性物质工作场所，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版)的规定，生产 PET 类放射性药物 (F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64)；生产、使用 II 类射线装置、使用 III 类放射源、乙、丙级非密封放射性物质工作场所的建设项目，需编制环境影响报告表。因此福州市卫生健康委员会于 2020 年委托福建省环境保护股份公司对其核技术利用项目进行环境影响评价工作（委托书见附件 1）。

我单位受委托后，安排工作人员到现场进行调查，收集数据，分析污染源，进行项目环境影响评价，依照《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）要求编制本环境影响报告表。本次环境影响评价重点是对运营中存在的放射性环境影响因素及环境影响进行分析，提出相应的环境保护措施，为生态环境主管部门和医院营运单位日常管理提供环境保护管理的依据。

3 产业性政策分析

经对照《产业结构调整指导目录（2019年本）》，本项目属于国家鼓励类的“三十七、卫生健康 5、医疗卫生服务建设”。

随着城镇化、老龄化社会发展，全面两孩政策实施，以及人民生活水平和健康意识提高、医疗保障制度完善，居民医疗卫生服务需求将进一步释放，福建省医疗卫生服务供需矛盾将更加突出。目前，我省尚无国家级区域医疗中心，省办医院整体实力在全国排名有待提升。省办医院现有建筑面积按照国家每张实际开放床位应占建筑面积标准计算，短缺约 29 万平方米；教学、科研等配套用房缺乏，一定程度上影响了医院整体实力提升。为进一步优化全省医疗卫生资源配置，提高医疗卫生服务可及性、能力和资源利用效率，指导各地科学合理地制订并实施本地区卫生发展规划，福建省人民政府根据《国务院办公厅关于印发全国医疗卫生服务体系规划纲要（2015—2020年）的通知》（国办发〔2015〕14号），以及《中共福建省委 福建省人民政府关于印发〈福建省深化医药卫生体制改革综合试点方案〉的通知》、《福建省人民政府办公厅关于印发福建省“十三五”卫生计生事业发展专项规划的通知》（闽政办〔2016〕178号）制定了《福建省人民政府办公厅关于印发福建省医疗卫生服务体系规划（2016—2020年）》（闽政办〔2017〕61号）。该规划以“调结构、控规模、优布局、补短板、提效率、升能级”为主线，以深化改革、多元办医为动力，合理布局，优化结构，提高资源利用效率，不断满足人民群众日益增长的多层次、多样化的健康需求。该规划的重点任务之一就是实施高水平医院建设，落实省立、协和、附一与北京协和医院、上海交通大学医学院附属瑞金医院、复旦大学附属华山医院的合作共建，开展“对标国家队，管理上台阶”合作共建活动，在管理、技术、文化上学“真经”，通过国内顶尖医院“带一把”“托一把”“拉一把”，帮助建设一批临床重点专科、培养一批领军人才、突破一批难点技术、推动一批重点项目。

福州滨海新城综合医院由福州市政府、复旦大学附属华山医院和福建医科大学附属第一医院合作共建，是一家综合性三甲医院，定位为国家区域医疗中心，项目建成后立足滨海新城，辐射海西地区及境内外，为省内外公众和境外人士提供医疗服务。因此，该项目的建设是可行的，满足社会经济发展的需要，符合国家和福建省的产业政策。

4 项目选址及项目周边保护目标

该项目位于福州滨海新城 201 省道东侧、沙壶路南侧、壶井路北侧、万沙路西侧，地理位置及周围环境分别见图 1-2、1-3。项目周围未来规划建设为行政办公区域，正在进行其他项目建设。本项目的直线加速器，后装治疗机含 III 类放射源，位于病房楼地下室负一层，核医学工作场所位于医技楼地下室负一层，回旋加速器位于医技楼核医学工作场所内，DSA 分别位于医技楼一层和三层和门诊楼一层急诊科。

根据项目放射性设备分布位置，结合《辐射环境保护管理导则-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的“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”相关规定。本项目评价范围均在医院范围内，主要包括医技楼、门诊楼、病房楼及周围配套马路、绿化区域，详见图 1-4。

因此，本项目保护目标主要为地下室、医技楼、门诊楼、病房楼及周围区域的放射性医务人员、病患家属和其他非放射性医务工作人员。



图 1-2 福州滨海新城综合医院地理位置图



图 1-3 本项目周边环境状况

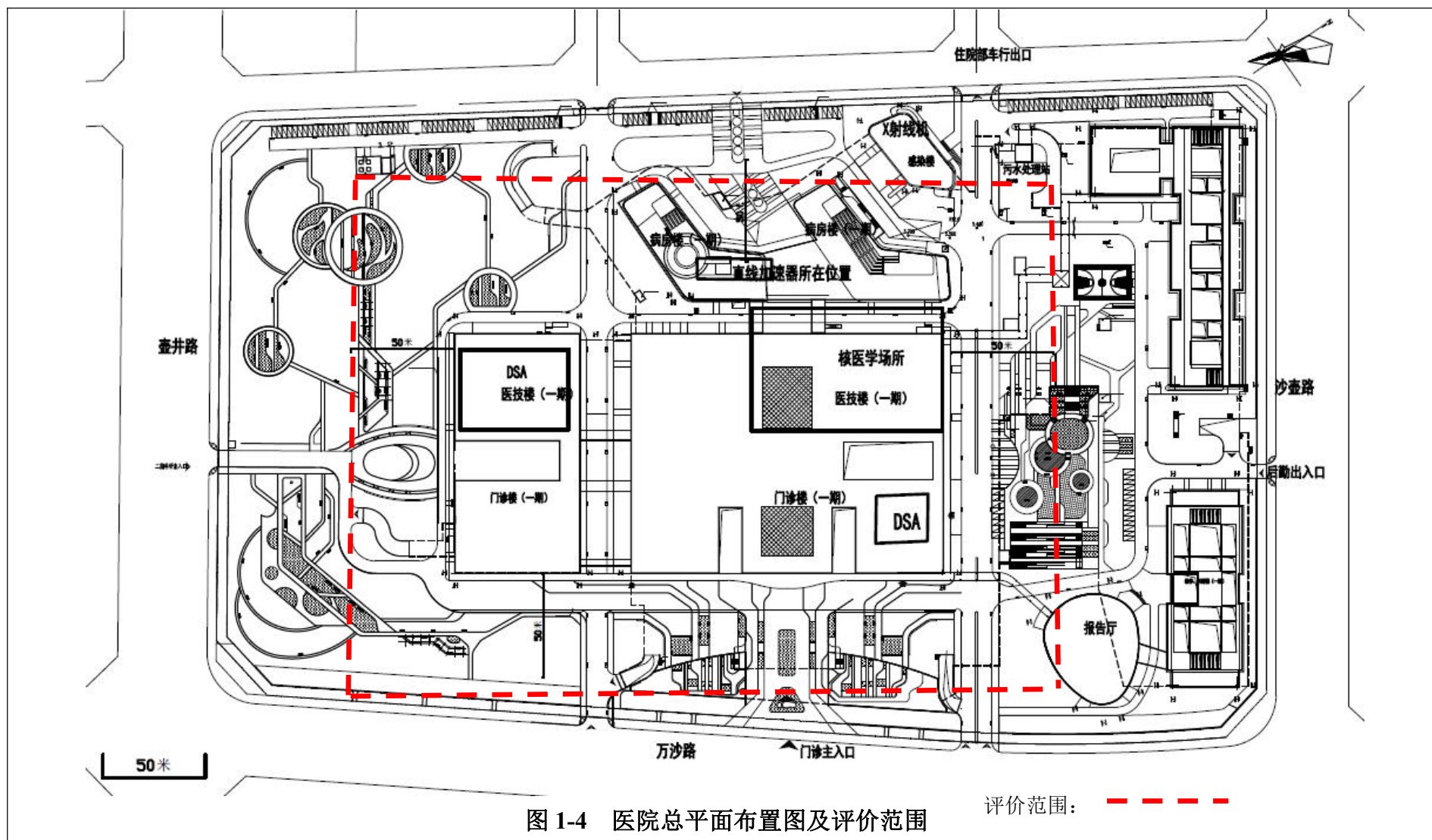


表 3 非密封放射性物质

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	暂存方式与地点
1	F-18	液态	生产、使用	1.11E+10	1.11E+08	2.78E+12	PET 显像	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	合成室 防护铅罐
2	Tc-99m	液态	使用	2.96E+10	2.96E+08	7.40E+12	SPECT 显像	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	分装室 防护铅罐
3	I-131	液态	使用	1.67E+10	1.67E+09	4.18E+12	治疗	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	储源室
4	Lu-177	液态	使用	5.55E+09	5.55E+08	1.39E+12	治疗	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	储源室
5	Re-188	液态	使用	1.85E+09	1.85E+08	4.63E+11	治疗	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	储源室
6	Ga-68	液态	生产、使用	5.55E+09	5.55E+07	1.39E+12	PET 显像	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	合成室 防护铅罐
7	Zr-89	液态	生产、使用	7.4E+08	7.40E+07	1.85E+11	PET 显像	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	合成室 防护铅罐
8	Cu-64	液态	生产、使用	7.4E+08	7.40E+06	1.85E+11	PET 显像	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	合成室 防护铅罐
9	C-11	气态	生产、使用	1.85E+09	1.85E+07	4.63E+11	PET 显像	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	防护铅罐
10	Sr-89	液态	使用	1.48E+08	1.48E+07	3.70E+10	治疗	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	储源室
11	I-125	液态	使用	5.0E+05	5.00E+04	1.25E+08	放免分析	简单操作	医技楼地下室负一层核医学科	储源室
12	Ra-223	液态	使用	7.4E+06	7.40E+05	1.85E+09	治疗	简单操作	医技楼医技楼地下室负一层核医学科	储源室

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	医用电子直线加速器	II	3	拟购待定	电子	15MV	≤600cGy/min	放射治疗	病房楼地下室负一层	/
2	回旋加速器	II	1	拟购待定	氢负离子	9.6MeV	70uA	生产 F-18、C-11	医技楼地下室负一层	/

(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 机	II	4	拟购待定	≅150	≅1000	介入治疗	医技楼一层	/
2	DSA 机	II	1	拟购待定	≅150	≅1000	介入治疗	医技楼三层	/
3	DSA 机	II	1	拟购待定	≅150	≅1000	介入治疗	门诊楼一层	/

(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
病人排泄物、分装、清洗等产生的含放射性废水	液态	F-18、Tc-99m、I-131、Lu-177、Re-188、Ga-68、Zr-89、Ra-223、Cu-64、Sr-89、I-125	/	/	/	/	贮存在衰变池内	在贮存衰变后总β放射性满足《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）中规定的总β放射性<10Bq/L的要求后经审管部门核准后，可作普通废液处理。
给药杯、污染的针头、注射器、棉棒、破碎的玻璃器皿以及治疗中产生的放射性固体废物	固态	F-18、Tc-99m、I-131、Lu-177、Re-188、Ga-68、Zr-89、Ra-223、Cu-64、Sr-89、I-125	/	/	/	/	污物间衰变桶收集后，存放于废弃物存放间分类衰变10个半衰期	当废物活度浓度小于或者等于 $1 \times 10^3 \text{Bq/g}$ 时，可作免管固体废物处理，可当作非放射性废物处理。
气载放射性废物	气态	I-131、C-11	/	/	/	/	/	在核医学科拟安装独立的排风系统，拟采用活性炭过滤，设有分装柜，分装柜等独立排风，排风口设于屋顶，排风速率大于1m/s，不接入核医学科排风系统。

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

法规文件	<p>1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2016 年 9 月 1 日起施行，主席令 第 24 号，2018 年 12 月 29 日起实施；</p> <p>3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日起施行；</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；国务院令 第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>5) 《放射性物品运输安全管理条例》国务院令 第 562 号，2010 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>6) 《放射性废物品安全管理条例》国务院令 第 612 号，2012 年 3 月 1 日 起施行；</p> <p>7) 《建设项目环境保护管理条例》国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日 起施行；</p> <p>8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部第 7 号令修 订，2019 年 8 月 22 日起施行；</p> <p>9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环 境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>10) 《放射性物品运输安全许可管理办法》，中华人民共和国环境保护部 第 11 号令，2010 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共 和国生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>12) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，环境保护部和国家卫生和计 划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起实施；</p> <p>13) 《关于发布放射源分类办法的公告》，原国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号，2006 年 12 月 23 日起实施；</p> <p>14) 《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；</p> <p>15) 《关于加强放射性物品运输监督检查的通知》，中华人民共和国环境保 护部，环办[2010]158 号；</p> <p>16) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共</p>
------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>和国环境保护部，环办辐射函[2016]430号；</p> <p>17) 《放射工作人员职业健康管理办法》，中华人民共和国卫生部令第55号，2007年3月23日经卫生部部务会议讨论通过，2007年11月1日起施行。</p> <p>18) 《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》，闽环保辐射[2013]10号；</p> <p>19) 《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。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2021）；</p> <p>4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>6) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）</p> <p>7) 《10 MeV~20 MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T 34127-2017）</p> <p>8) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）</p> <p>9) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；</p> <p>13) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>14) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>15) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）。</p>
<p>其 他</p>	<p>1) 福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目环境影响评价委托书及相关基础技术资料；2) 福州滨海新城综合医院建设项目环境影响评价报告书及批复；3) 福州滨海新城综合医院提供的其他相关资料。</p>

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》（HJ10.1-2016）的规定，“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。”因此，本项目评价范围为各核技术应用场所各屏蔽体外 50m 范围。本项目评价范围均位于医院内。

保护目标：

该项目周围 50m 范围在医院范围内，环境保护目标为医院的地下室、医技楼、门诊楼、病房楼及周边区域的放射性医务人员、病患家属和其他非放射性医务工作人员，见图 1-3。本项目周围环境及主要环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目周围环境及主要环境保护目标一览表

序号	敏感对象	方位	距离	规模	
1	职业人员	直线加速器操作人员、摆位医生	加速器控制室、加速器机房内	50m 范围内	6 人
2		回旋加速器操作人员	加速器机房	50m 范围内	2 人
3		后装治疗机操作人员、摆位医生	后装治疗机控制室及机房	50m 范围内	4 人
4		DSA 机操作人员	DSA 机房内及控制室	50m 范围内	12 人
5		核医学科工作人员	工作场所内	50m 范围内	30 人
4	公众成员	地下室、医技楼、门诊楼、病房楼内工作人员及公众成员	直线加速器、后装治疗机、DSA 机	50m 范围内	约 500 人
5		流动人员	四周	50m 范围内	约 300 人

评价标准：

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

1) 职业照射限值

放射性职业工作人员的照射限值及公众人员照射的剂量限值见表 7.2。

表 7-2 职业照射人员公众人员限值要求

对象	限值要求
职业人员	由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv
	任何一年中的有效剂量，50mSv
公众人员	年有效剂量，1mSv

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

对于一项实践中的特定的源，本评价项目取其剂量限值的四分之一作为剂量约束值：即辐射工作人员的年照射剂量约束值不超过 5mSv，公众的年照射剂量约束值不超过 0.25mSv。

2) 表面污染控制水平

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制水平见表 7.3。

7.3 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质 (Bq/cm ²)		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
		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	4E-01	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	4E-01	4E-01	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4E-02	4E-02	4E-02

3) 辐射工作场所分区

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：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：不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域

4) 放射性废物管理

按照本标准和国家其它有关法规与标准的要求，对其所负责实践和源所产生的放射性废物实施良好的管理，进行分类收集、处理、整备、运输、贮存和处置，确保：

- 使放射性废物对工作人员与公众的健康及环境可能造成的危害降低到可以接受的水平；
- 使放射性废物对后代健康的预计影响不大于当前可以接受的水平；
- 不给后代增加不适当的负担。

5) 放射性废液向环境排放的控制

不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放

废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流的普通下水道，并应对每次排放做好记录。

- a) 每月排放的总活度不超过 $10 ALI_{min}$ 。
- b) 每一次排放的活度不超过 $1 ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

(2) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5 172-85）

回旋加速器放射防护应满足如下放射防护要求。

- 1) 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。
- 2) 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。
- 3) 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。
- 4) 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊、出入口和控制台上须安装工作状态热指示灯。
- 5) 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。
- 6) 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计、可携式监测仪、气体监测仪等。
- 7) 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

(3) 《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》（G BZ/T201.2-2011）

直线加速器辐射防护屏蔽应满足如下要求：

1) 治疗机房墙外和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量参考水平应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

- a) 由周剂量参考控制水平 H_c 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ， H_c 如下：

放射治疗机房外控制区工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

放射治疗机房外非控制区人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

- b) 按照关注点人员居留因子不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平

$\dot{H}_{c,\text{max}}$ ：

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

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

- c) 有上述 a) 中的导出剂量率参考水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ，

选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

2) 治疗机房顶的剂量控制要求

在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房邻近建筑物的高度超过自放射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,\text{max}} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制。

(4) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》

(GBZ/T 201.3-2014)

后装治疗机房辐射防护屏蔽要求应满足如下要求：

1) 治疗机房墙外和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量参考水平应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

- a) 由周剂量参考控制水平 H_c 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ， H_c 如下：

放射治疗机房外控制区工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

放射治疗机房外非控制区人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

- b) 按照关注点人员居留因子不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平

$\dot{H}_{c,\text{max}}$ ：

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

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

- c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

2) 治疗机房顶的剂量控制要求

在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房邻近建筑物的高度超过自放射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 加以控制。

(5) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

直线加速器、后装治疗机房的放射防护要求应满足如下要求：

- 1) 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。
- 2) 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。
- 3) 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。
- 4) 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。
- 5) 含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。
- 6) 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。
- 7) 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志。
 - ◇ 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；
 - ◇ 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。
- 8) 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

- 9) 放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。
- 10) 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。
- 11) γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。

(6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

DSA 机房的辐射防护应满足如下要求：

- 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。
- 2) X 射线设备机房（照射室）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。
- 3) 每台 X 射线机（不含移动式 and 便携式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于下表要求。

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度
单管头 X 射线机	20m ²	3.5m

- 4) X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：
- ◇ 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于下表要求。
 - ◇ 机房的门和窗关闭时应满足下表的要求。
 - ◇ 距 X 射线设备表面 100 cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 时且 X 射线设备表面与机房墙体距离不小于 100 cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

表 7-5 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 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
介入 X 射线设备机房	2	2

- 5) 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：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。
- 6) 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。

- 7) 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 患者和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。
- 11) 电动推拉门宜设置防夹装置。
- 12) 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。
- 13) 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于下表基本种类要求的工作人员、患者和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。

表 7-6 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

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

（7） 临床核医学放射卫生防护标准（GBZ120—2020）

本项目核医学场所辐射防护应满足如下要求：

- 1) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- 2) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。
- 3) 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

◇ 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮

存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

- ◇ 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；
 - ◇ 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；
 - ◇ 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；
 - ◇ 正电子药物制备工作场所至少应包括回旋加速器机房工作区、药物制备区、药物分装区及质控区等。
- 4) 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。
 - 5) 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。
 - 6) 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。
 - 7) 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。
 - 8) 核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱

- 应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。
- 9) 分装药物操作宜采用自动分装方式，I-131 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。
 - 10) 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。
 - 11) 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。
 - 12) 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。
 - 13) 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。
 - 14) 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。
 - 15) 开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品，其数量应满足开展工作需要。
 - 16) 根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。
 - 17) 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。
 - 18) 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。
 - 19) 核素治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。
 - 20) 核素治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。
 - 21) 核素治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。
 - 22) 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。
 - 23) 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 I-131 宜采用机械或自动、半

自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

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

25) 病房中应配备对讲、监控等设施。

(8) 操作非密封源的辐射防护规定（GB11930-2010）

本项目核医学场所非密封放射源工作场所放射性废物管理应满足如下要求：

- 1) 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。
- 2) 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。
- 3) 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。
- 4) 不得将放射性废液排入普通下水道，不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品。
- 5) 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。
- 6) 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。
- 7) 使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。
- 8) 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

(9) 《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）

医院的放射性废水（含放射性核素的清洗废水和病员的粪便水）先经衰变池存放 10 个半衰期后，再进入医院废水处理站处理达标后排入市政污水管网，至市政污水处理厂处理后排放。衰变池排放口废水应满足《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）预处理标准，即：总 β 放射性 $<10\text{Bq/L}$ 。

(10) 《室内空气质量标准》GB/T 18883-2002

本项目放射性工作场所的室内臭氧和氮氧化物质量标准应满足如下要求：

- 1) 臭氧浓度不大于 $0.16\text{mg}/\text{cm}^3$ ；
- 2) 二氧化氮浓度不大于 mg/cm^3 。

表 8 环境质量和辐射现状

1 项目地理位置、布局和周边环境

2019 年 12 月，福州市政府发布《福州滨海新城核心区城市设计与控制性详细规划》，规划福州滨海新城规划建设为“创新高地、开放门户、宜业家园、生态绿城”重要战略部署和样板示范区，是以中央商务、滨海旅游、商业娱乐、和谐宜居等功能为主的生态型综合发展区，土地规划详见图 8-1。福州滨海新城综合医院位于福州滨海新城 201 省道东侧、沙壶路南侧、壶井路北侧、万沙路西侧，在福州滨海新城核心区域，地理位置图详见图 1-2。目前，福州滨海新城综合医院四周规划为行政办公区域，也正在进行行政办公大楼开发建设阶段，详见图 1-3。

本项目涉及核技术利用项目计划在病房楼地下室负一层建设直线加速器和后装治疗机，在医技楼地下室负一层拟建核医学工作场所；在医技楼和门诊楼建设 DSA 机房，各核技术场所位置示意图见图 1-4。

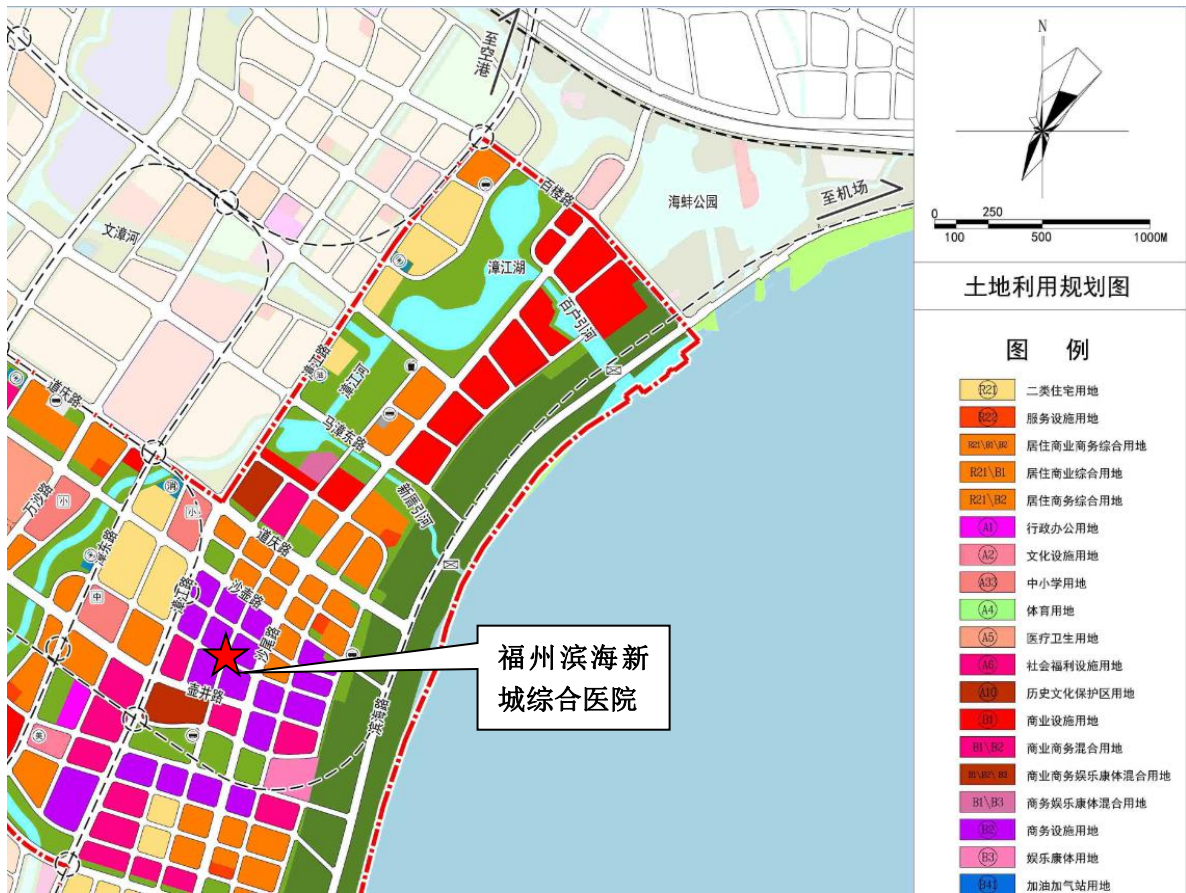


图 8-1 福州滨海新城土地利用规划

2 辐射环境现状评价

福建省环境保护股份公司受福州市卫生健康委员会委托，开展福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目环境影响评价工作，并于2020年12月20日对该项目应用场所及周边环境进行辐射环境现状本底监测，测量 γ 辐射剂量率，监测仪器参数详见表8-1。

表8-1 监测仪器主要技术参数一览表

仪器名称	γ 辐射剂量率仪
仪器型号/规格	HK8000
最小响应时间	10ns
剂量率测量范围	0.01~200.00 μ Sv/h
能量响应范围	38kev~3Mev
出厂编号	631501209117
检定日期	2020年4月10日
有效日期	2021年4月9日

2.1 监测方案

监测布点：参照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2021）中的方法布设监测点，根据本次项目周围环境现状，监测点位的选取覆盖项目区域及周围公众人员工作区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图8-2至图8-9所示。

监测因子： γ 辐射剂量率。

监测工况：环境本底值。

2.2 质量保证措施

- 1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- 2) 监测方法采用国家有关部门颁布标准，监测人员经考核持有合格证书上岗。
- 3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格方可使用。
- 4) 每次测量前后均检查仪器的工作状态是否正常。
- 5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- 6) 检测报告严格实行三级审核制度，经过原始记录校核、监测报告审核，最后由授权签字人审定。

表8-2 环境质量现状监测结果

编号	监测点描述	γ 剂量率 (nSv/h)
1	R1 拟建地下室负一层1号加速器机房	114
2	R2 拟建地下室负一层1号加速器机房南侧控制室	117

3	R3 拟建地下室负一层 2 号加速器机房	120
4	R4 拟建地下室负一层 2 号加速器机房南侧控制室	120
5	R5 拟建地下室负一层 3 号加速器机房	117
6	R6 拟建地下室负一层 3 号加速器机房南侧控制室	103
7	R7 拟建地下室负一层后装治疗机房	120
8	R8 拟建地下室负一层后装治疗机房南侧控制室	103
9	R9 拟建地下室负一层 PET/CT 注射室	93
10	R10 拟建地下室负一层 PET/CT 注药后普通候诊室	110
11	R11 拟建地下室负一层 PET/CT 注药后 VIP 候诊室 1	107
12	R12 拟建地下室负一层 PET/CT 注药后 VIP 候诊室 2	110
13	R13 拟建地下室负一层 PET/CT 注药后 VIP 候诊室 3~VIP 候诊室 4	110
14	R14 拟建地下室负一层 PET/CT 机房	110
15	R15 拟建地下室负一层 PET/CT 机房东侧	103
16	R16 拟建地下室负一层 PET/MR 机房	117
17	R17 拟建地下室负一层 PET/MR 机房东侧	120
18	R18 拟建地下室负一层 SPET/CT 注射室	90
19	R19 拟建地下室负一层 SPET/CT 注药候诊 VIP 室	104
20	R20 拟建地下室负一层 1 号 SPET/CT 机房	107
21	R21 拟建地下室负一层 2 号 SPET/CT 机房	110
22	R22 拟建地下室负一层 3 号 SPET/CT 机房	110
23	R23 拟建地下室负一层 4 号 SPET/CT 机房	104
24	R24 拟建地下室负一层 SPET/CT 机房南侧控制室	100
25	R25 拟建地下室负一层 SPET/CT 配药分装室	110
26	R26 拟建地下室负一层钼-铯发生器室	120
27	R27 拟建地下室负一层回旋加速器机房	110
28	R28 拟建地下室负一层回旋加速器机房东侧操作间	120
29	R29 拟建地下室负一层分碘室	107
30	R30 拟建地下室负一层服碘室	90

31	R31 拟建地下室负一层病房 1~病房 9	100
32	R32 拟建地下室负一层病房 1~病房 6	97
33	R33 拟建地下室负一层小动物 PET/CT 机房	103
34	R34 拟建地下室负一层小动物 PET/CT 机房北侧控制室	107
35	R35 拟建地下室负一层小动物 SPECT/CT 机房	110
36	R36 拟建地下室负一层小动物 SPECT/CT 机房北侧控制室	110
37	R3 7 拟建医技楼一层 A 区 DSA1 机房	114
38	R38 拟建医技楼一层 A 区 DSA2 机房	103
39	R39 拟建医技楼一层 A 区 DSA3 机房	117
40	R40 拟建医技楼一层 A 区 DSA4 机房	110
41	R41 拟建医技楼一层 A 区 DSA 机房南侧设备间	108
42	R42 拟建医技楼三层 A 区复合 DSA 手术室	120
43	R43 拟建医技楼三层 A 区复合 DSA 手术室北侧操作间	120
44	R44 拟建门诊楼一层急诊科 DSA 机房	100
45	R45 拟建门诊楼一层急诊科 DSA 机房北侧控制室	110
46	R46 福州滨海新城综合医院门口（环境本底）	110
备注	本次测量未扣除宇宙射线响应，监测点位示意图见图 8-2~图 8-9。	

由表 8-2 可知，福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目拟建场所周围环境 γ 剂量率监测值在 109~120nSv/h（即 90~100nGy/h），处于福建省福州市室外、室内辐射环境本底范围值内（福建省福州市室外辐射环境本底范围值 34.0~145.4nGy/h，室内辐射环境本底范围值 89.9~231.0nGy/h，来源于《福建省环境天然贯穿辐射水平调查》（辐射防护期刊），辐射防护，1991 年第 11 卷第 4 期），项目周围本底辐射环境现状较好，未受到其他辐射影响。

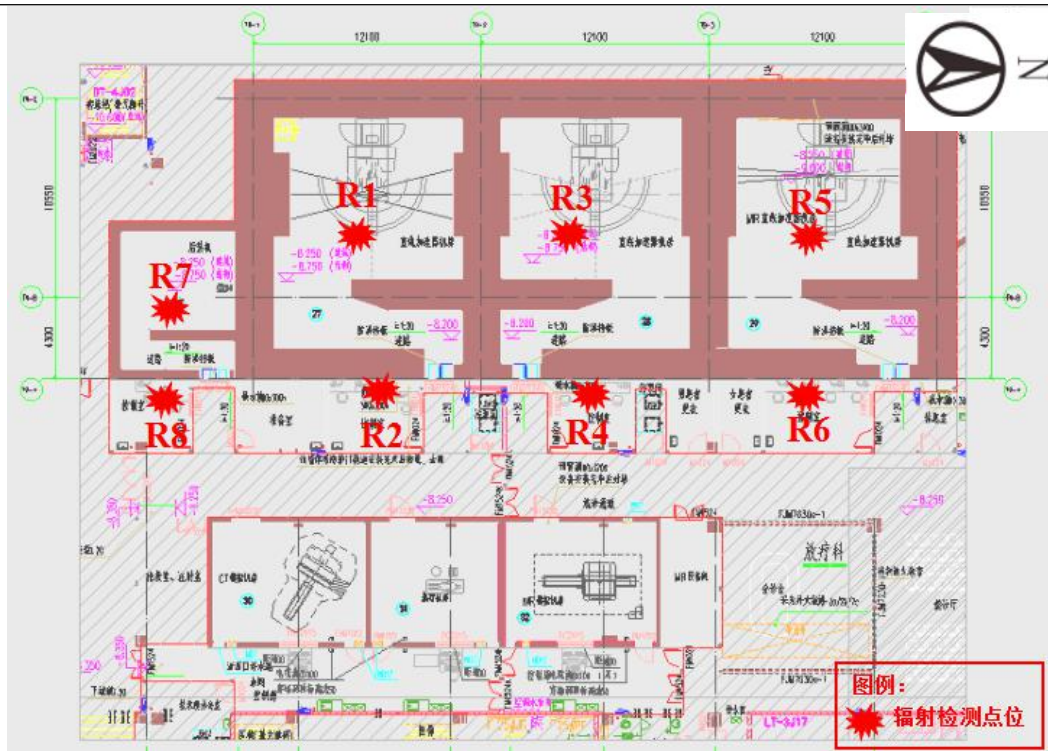


图 8-2 拟建地下室负一层 1 号、2 号、3 号加速器机房及后装治疗机房
周围环境及监测点位示意图

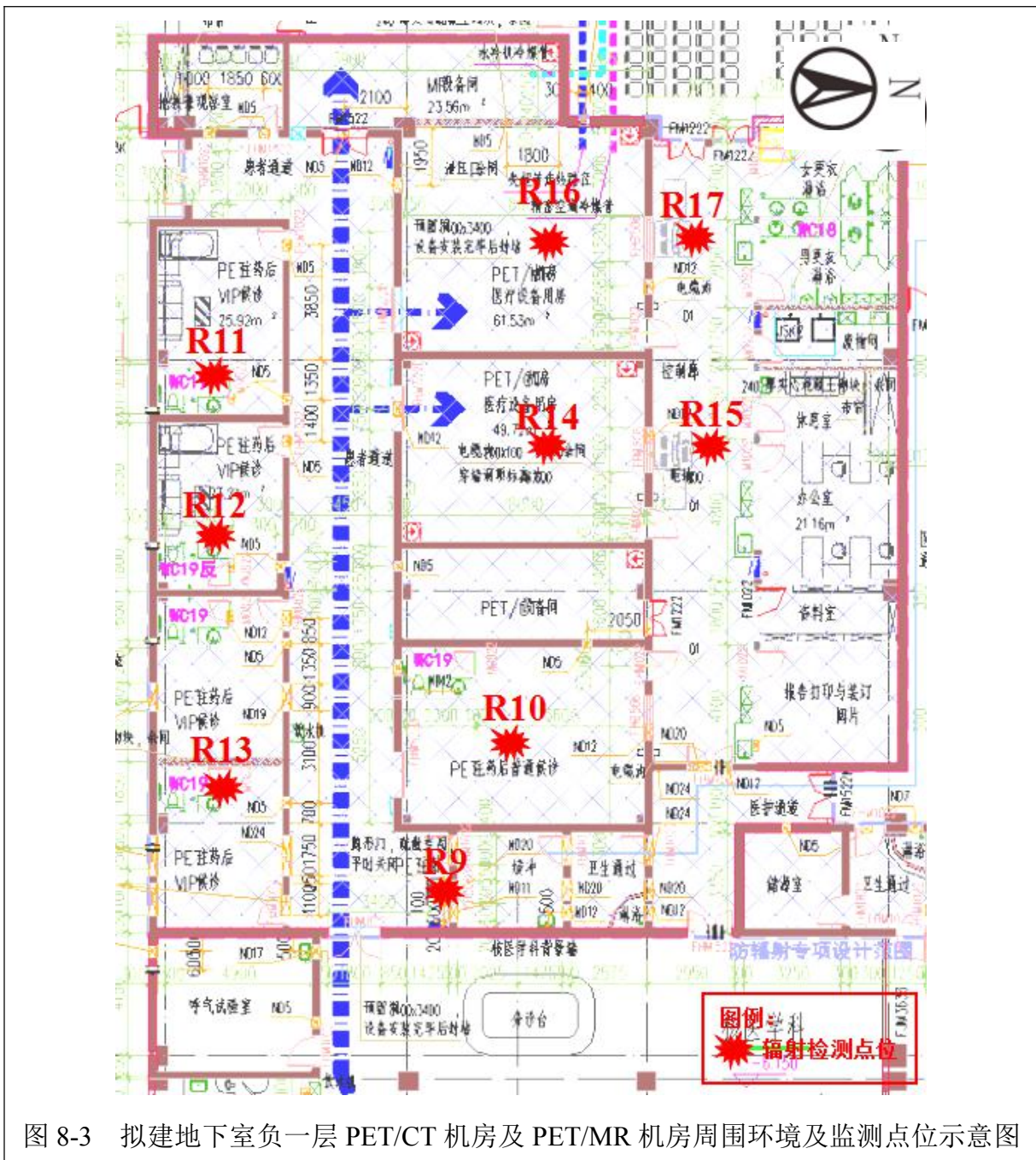


图 8-3 拟建地下室负一层 PET/CT 机房及 PET/MR 机房周围环境及监测点位示意图

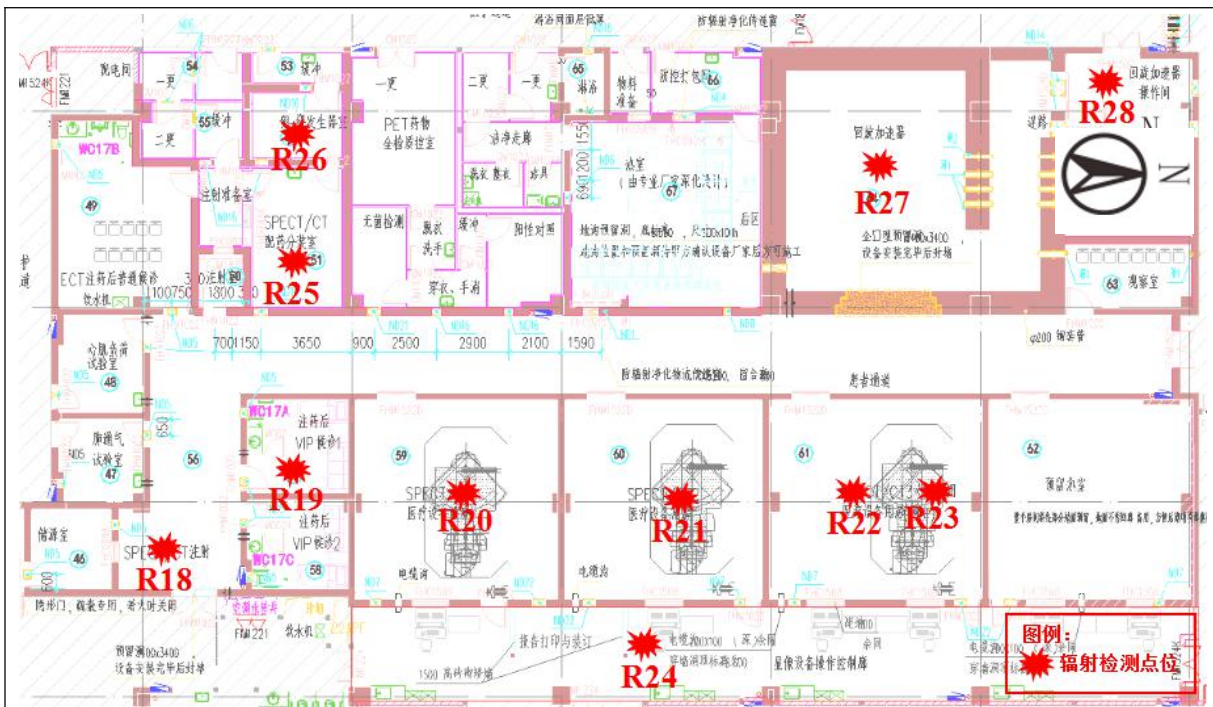


图 8-4 拟建地下室负一层 1 号、2 号、3 号、4 号 SPET/CT 机房及回旋加速器
周围环境及监测点位示意图



图 8-5 拟建地下室负一层分碘室、服碘室、病房
周围环境及监测点位示意图

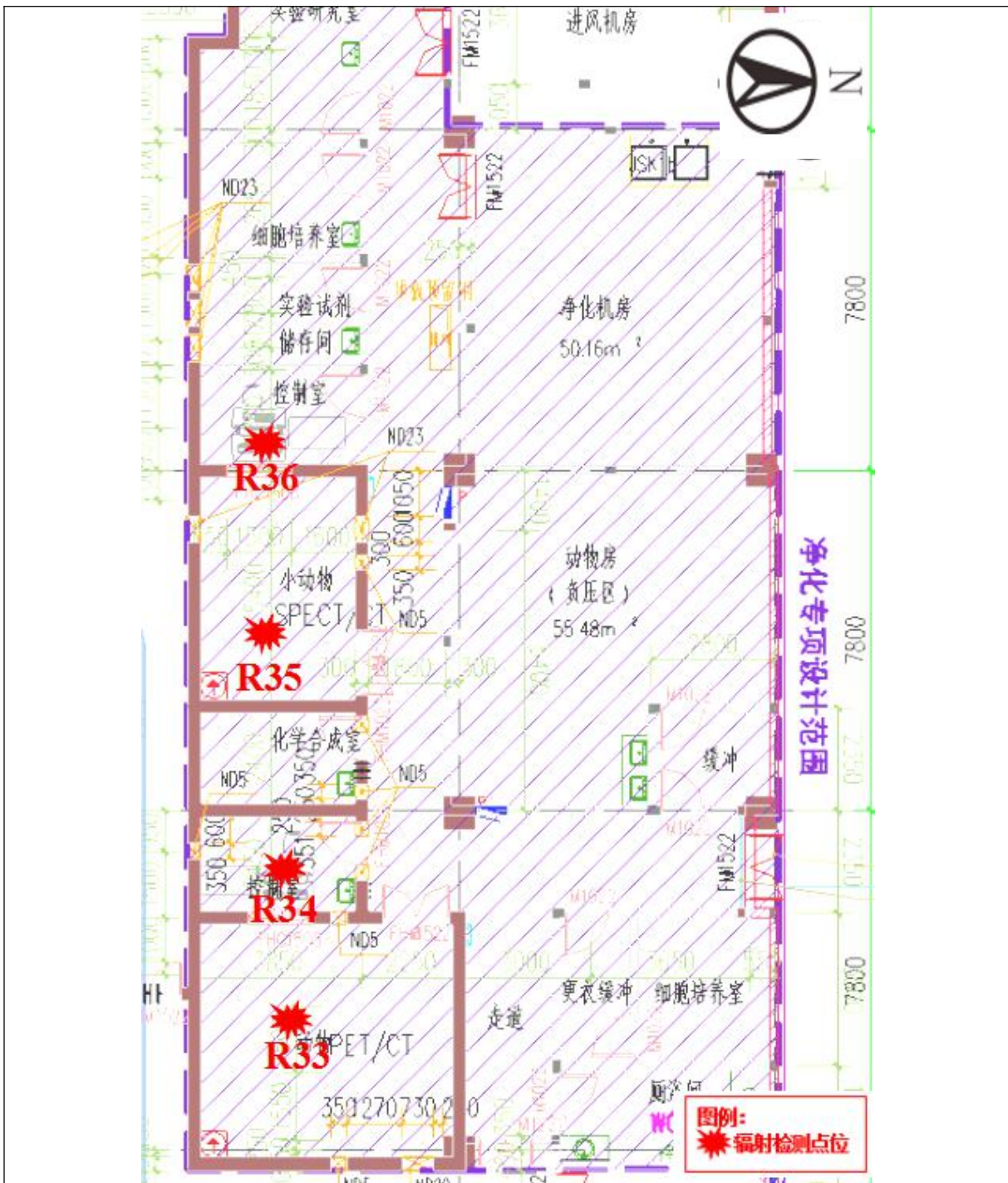


图 8-6 拟建地下室负一层小动物 PET/CT 机房及小动物 SPECT/CT 机房周围环境及监测点位示意图

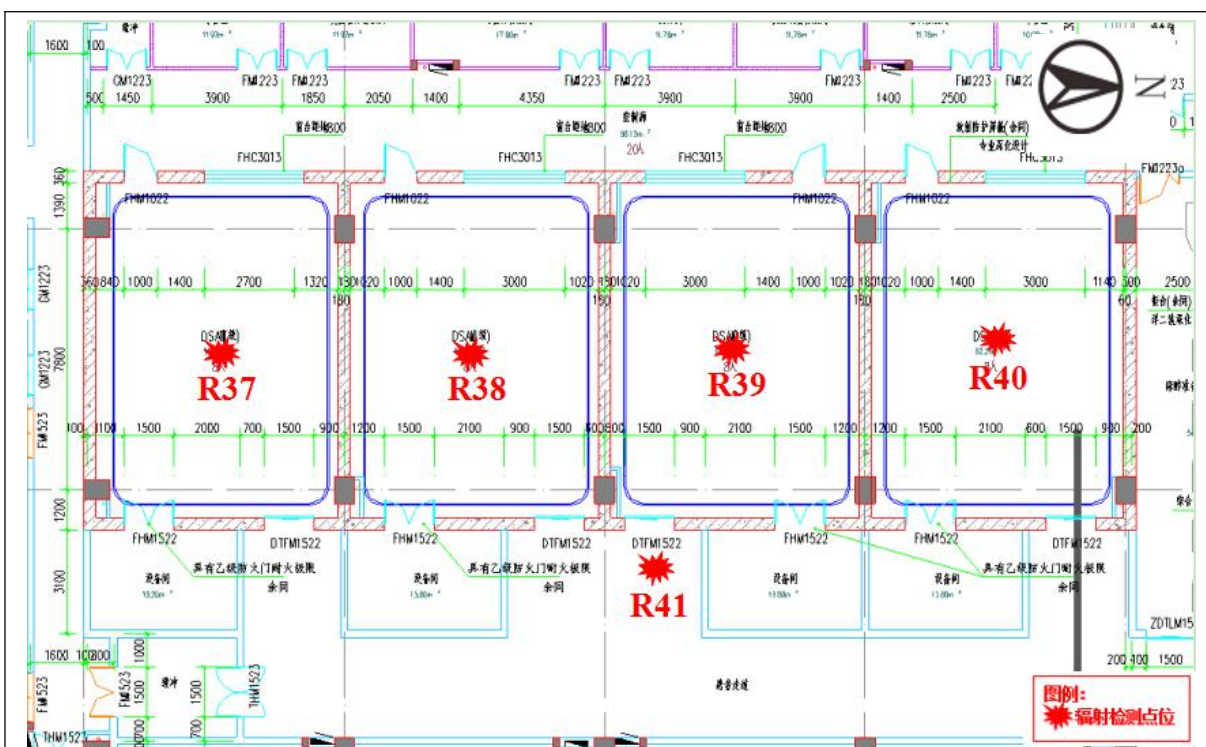


图 8-7 拟建医技楼一层 A 区 DSA1、DSA2、DSA3、DSA4 机房
周围环境及监测点位示意图

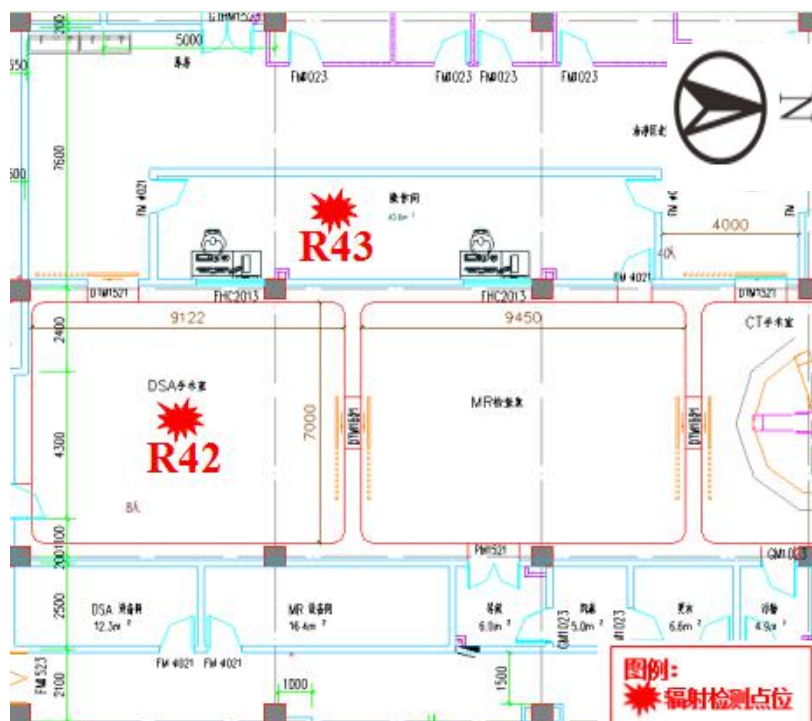


图 8-8 拟建医技楼三层 A 区复合 DSA 机房周围环境及监测点位示意图



图 8-9 医拟建门诊楼一层急诊科 DSA 机房周围环境及监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析：

1 医用直线加速器

1.1 设备组成与工作原理

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270 度偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270 度后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-1 和图 9-2。

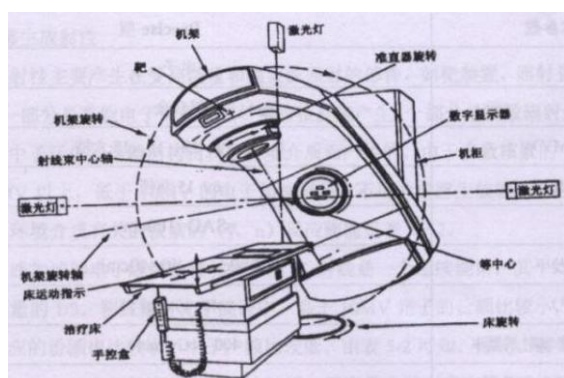


图 9-1 典型医用直线加速器示意图

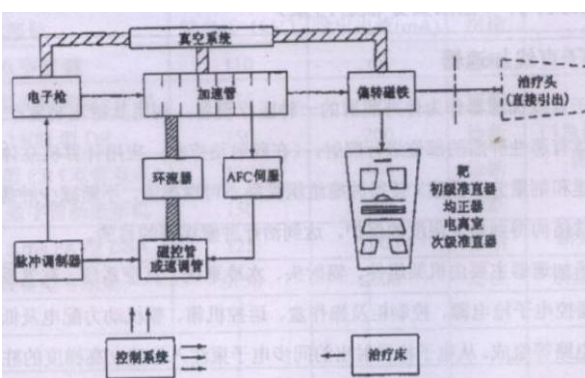


图 9-2 典型医用直线加速器结构图

1.2 工作流程及产污分析

直线加速器工作流程如下：

- 1) 患者经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者于放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。
- 2) 预约患者首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状。
- 3) 确定肿瘤位置和形状后，工作人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。
- 4) 治疗计划制定后，肿瘤患者在工作人员的协助下，依据计划在治疗床上进行摆位，确定照射位置和面积，该过程在治疗机房治疗床上完成。

5) 摆好位后，工作人员进入控制室，确定所有安全措施到位后，启动医用电子直线加速器进行照射。

6) 照射完毕后，工作人员协助患者离开机房，为下次照射做准备。

医用电子直线加速器肿瘤治疗的基本流程及产污环节见图 9-3。

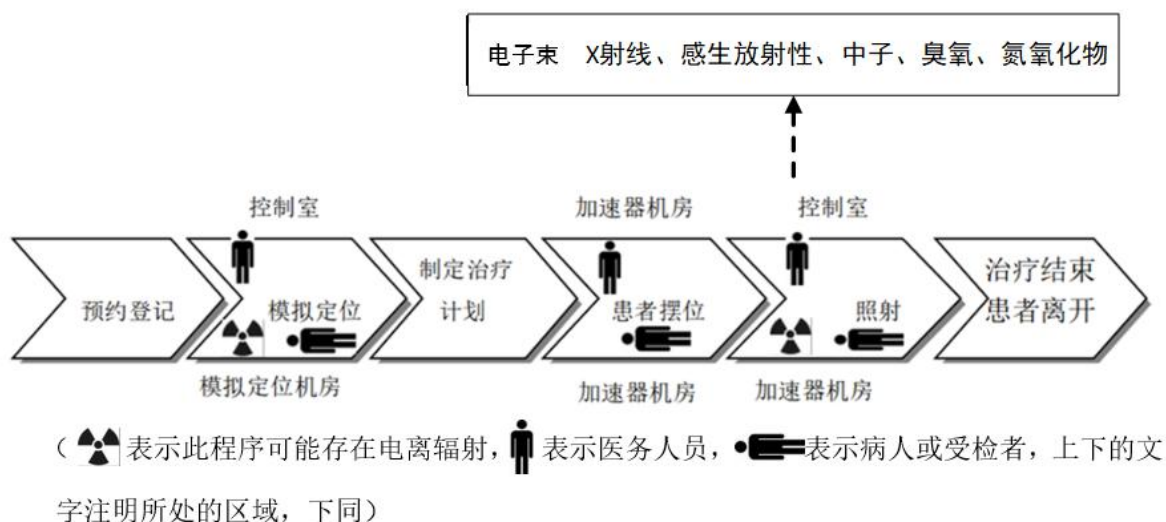


图 9-3 直线加速器工作流程及产污环节图

2 后装治疗机

2.1 设备组成及工作原理

后装治疗机的结构组成为：施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备和施源器、治疗床，部分一体化后装治疗主机配有定位用 X 射线 C 形臂。后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在病人需要治疗的部位正确地放置施源器，然后采用自动或手动控制，将贮源器内放射源输入施源器内实施治疗的技术。后装治疗属于近距离放疗，治疗时依照临床要求，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及分布的治疗手段，后装治疗具有放射源强度小、治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，如胰腺、胆管、膀胱癌、直肠癌及头颈部恶性肿瘤。

2.2 工作流程及产污分析

后装治疗机工作流程如下：

- 1) 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- 2) 预约病人首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤具体位置和形状；

- 3) 确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成；
- 4) 治疗计划制定后，肿瘤病人在医护人员的协助下，依据计划在治疗床上进行摆位，在人体自然腔管道或组织间靶区位置预置治疗容器，该过程在治疗机房治疗床上完成；
- 5) 摆好位后，医护人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动 γ 后装治疗机进行照射；
- 6) 照射完毕后，医护人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

后装治疗机治疗实施一般工作流程及产污环节见图 9-4。

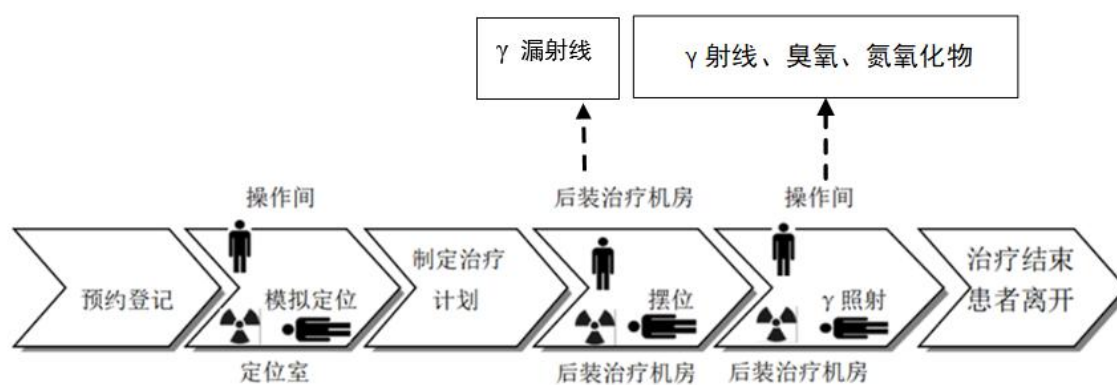


图 9-4 后装治疗机工作流程及产污环节图

3 DSA

3.1 设备组成及工作原理

DSA 为采用 X 射线进行摄影或诊断的技术设备。由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置等设备组成。X 射线管由阴极和阳极组成，阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成，典型 X 射线管示意图见图 9-5。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。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到很高的速度，这些高速电子到达靶面被靶突然阻挡从而产生 X 射线。

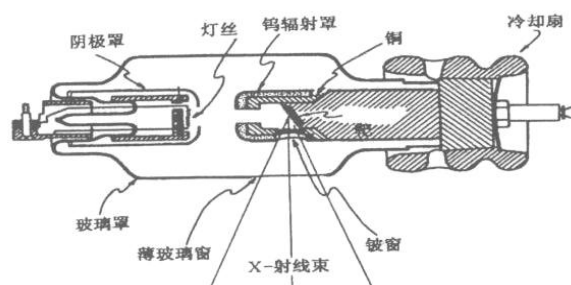


图 9-5 典型 X 射线管示意图

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

3.2 工作流程及产污分析

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动静脉，送入导丝及扩张管与外鞘，退出导丝及扩张管将外鞘保留于动静脉内，经鞘插入导管，推送导管在 X 线透视下将导管送达靶动脉、靶静脉，顺序取血测定相关指标或者进行灌注、栓塞、球囊扩张、支架置入等血管介入治疗，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。同时也可在 X 线透视监视下，进行经食管、胃肠道、气管、泌尿道、生殖道或者经皮穿刺腔道、器官、病变组织进行非血管介入治疗。

本项目 DSA 工作流程及产污环节见图 9-6。

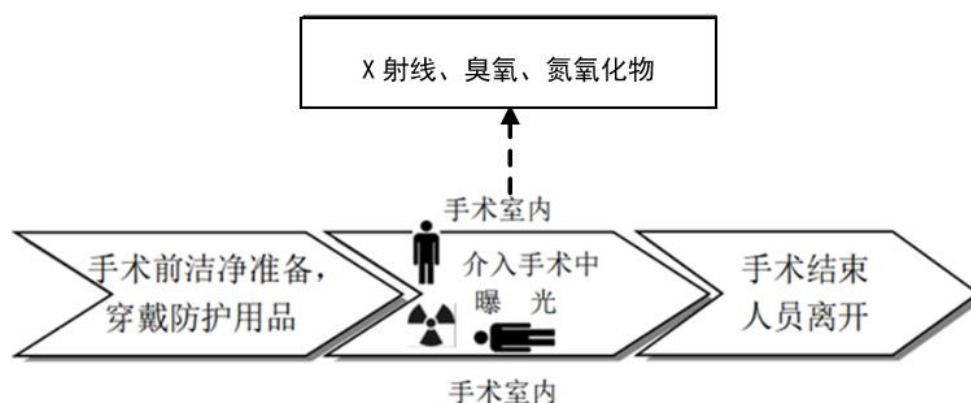


图 9-6 DSA 工作流程及产污环节图

4 非密封放射性物质工作场所

拟在医技楼地下室负一层回旋加速器机房使用 1 台回旋加速器，用于生产 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素；拟在医技楼地下室负一层 1 号 PET/CT 机

房、地下室负一层 2 号 PET/MR 机房，使用 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素用于 PET/CT 或 PET/MR 显像诊断；拟在小动物 PET/CT 室，使用 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素用于小动物 PET/CT 显像诊断；拟在医技楼地下一层钼-铈发生器室使用钼-铈发生器，用于淋洗、标记、分装 Tc-99m 放射性核素；拟在医技楼地下室负一层 1 号、2 号、3 号、4 号 SPET/CT 机房，使用 Tc-99m 放射性核素，用于 SPECT/CT 显像检查；拟在医技楼地下室负一层小动物 SPET/CT 机房，使用 Tc-99m 放射性核素，用于小动物 SPECT/CT 显像检查；拟使用 I-131 放射性核素用于核素治疗或甲功测定；拟使用 Lu-177、Re-188、Sr-89、Ra-223 放射性核素用于癌症治疗；使用 I-125 核素用于放免分析。整个核医学工作场所为使用乙级非密封放射性物质工作场所。

4.1 回旋加速器

4.1.2 设备组成及工作原理

回旋加速器一般由以下几个部分组成：磁场系统、真空系统、射频系统、离子源系统、束流提取系统、靶系统和冷却系统。其工作原理是将离子源系统产生的氢负离子（离子源）在离子源偏压（通常 14-15kV）作用下被推至离子源通道并进入加速区域。在加速区域，负离子束流在磁场（D 型盒）的作用下不断发生偏转，在高频作用下不断获得能量而加速。束流以固定角速度运动，在速率增加后，其运动半径也随之增大，故而束流的轨迹就变成了一种螺旋形。当束流到达提取半径后也就获得足够的能量和速度。获得加速的负离子束流通过碳膜（即提取膜）时，其与氢结合松散的两个电子被剥离，导致束流从负电性变成正电性，它所受的磁场作用力的方向也发生改变，带正电荷的束流转向出口飞行并轰击靶，产生放射性核素 F-18、C-11，核反应分别为 $N-14(p, \alpha) C-11$ 、 $O-18(p, n) F-18$ 。回旋加速器打击靶物质生成所需核素后，尚需在药物合成室内进行化学合成并作质量检验，药品合格后方可投入使用。

4.1.3 工作流程及产污分析

F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 主要利用回旋加速器打靶制备而得，回旋加速器制药主要通过回旋加速器室、控制室、热室房间以及质控室来完成。根据预约病人数量所需的药物量，计算出需要生产的核素量，设定轰击束流大小和轰击时间，生产放射性核素。热室内拟安装的化学自动处理控制系统，在合成热室房间通风橱内自动合成、自动分装，分装好后通过机械手将药物装入送药防护铅罐（40mmPb）内，再送

到送到质控打包间进行打包后由人工经送药通道送至 PET/CT 或 PET/MR 工作场所注射间或储源室。

工作流程及产污环节见图 9-7。

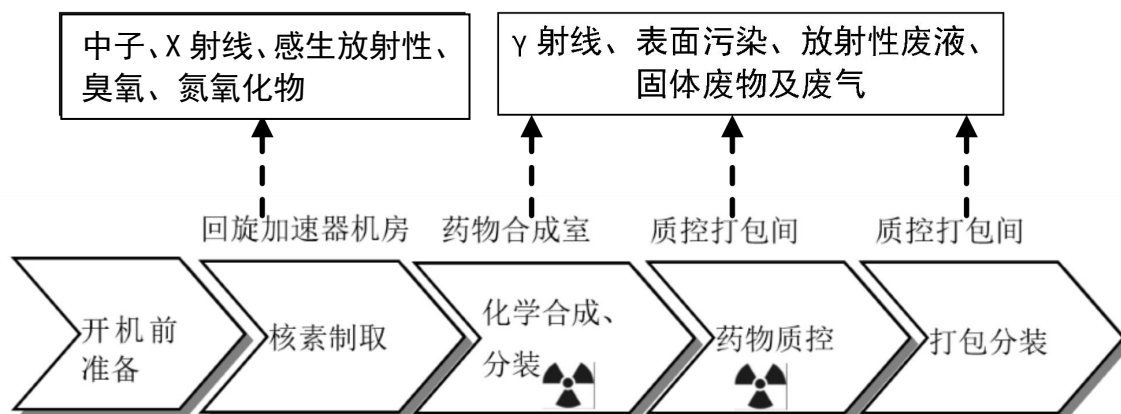


图 9-7 回旋加速器工作流程及产污环节图

4.2 PET 显像检查（C-11、F-18 等）

4.2.1 设备组成及工作原理

PET/CT（或 PET/MR）利用 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等正电子核素标记或合成相应的显像剂，引入机体后定位于靶器官，这些核素在衰变过程中发射正电子，这种正电子在组织中运行很短距离后，即与周围物质中的电子相互作用，发生湮灭辐射，发射出方向相反、能量相等（511keV）的两个 γ 光子。

CT 全称为电子计算机 X 射线断层扫描技术（Computed Tomography），它是利用 X 射线对人体进行体层检查。PET/CT 将 PET 和 CT 有机的结合在一起，使用同一个检查床合用一个图像工作站，PET/CT 同时具有 PET 和 CT 的功能以及将 PET 图像与 CT 图像融合等功能。PET/CT 显像是采用一系列成对的互成 180 度排列并与符合线路相连的探测器来探测湮灭辐射光子，从而获得机体正电子核素的断层分布图，显示病变的位置、大小、形态、代谢和功能，对疾病进行诊断。

PET/MR，则是正电子发射计算机断层显像仪 PET 和核磁共振成像术 MR 两强结合一体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，同时具有 PET 和 MR 的检查功能。目前核磁共振成像术(MR)图像能提供最精细的解剖学和组织特征，而正电子发射计算机断层显像仪（PET）则是目前最灵敏的检测显像技术，两者相结合可以看到组织功能和新陈代谢状况，达到最大意义上的优势互补。且因为 MR 对人体无任何放射损伤，PET/MR 检查大幅度减低了射线对人体的损伤。

4.2.2 工作流程及产污分析

- 1) 预约登记：通过热线电话或网络在线预约方式进行预约。
- 2) 给药前诊断：病史采集、查看报告、测量体重等。
- 7) 注射：静脉注射显像剂，根据检查目的不同，选用 F-18、C-11、Ga-68 标记的不同显像剂；
- 3) 注药后候诊：根据不同检查目的，决定检查等候时间，候诊时间一般为 30-60min；
- 4) 上机扫描：PET/CT 和 PET/MR 检查前排空小便,不带任何饰品；
- 5) 留观：前往留观室留观，等确认扫描图像清晰无误和患者留观后无异常征兆后方可通过专用通道直接核医学区域。
- 6) 检查完成，受检者通过专用通道离开核医学区域。

工作流程及产污环节见图 9-8。

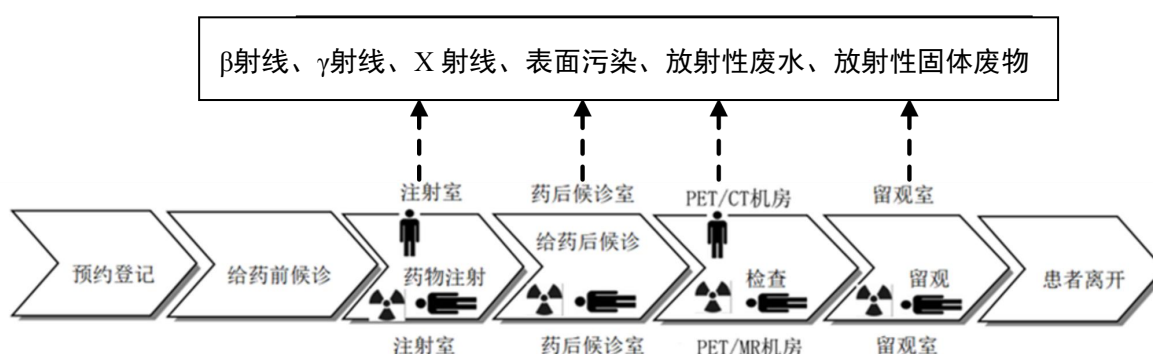


图 9-8 PET/CT (PET/MR) 工作流程及产污环节图

4.3 SPECT 显像检查 (Tc-99m)

4.3.1 设备组成及工作原理

SPECT 全称单光子发射计算机断层成像术 (Single-Photon Emission Computed Tomography) 是通过示踪技术，将具有选择性聚集在特定脏器或病变部位的放射性核素或其标记化合物（本项目涉及的核素有 Tc-99m）引入体内（吸入、静注或口服），根据在体内器官发射到体表的光子（γ射线）密度，由计算机处理重建断层影像。其成像原理是：病人通过摄入含有半衰期适当的放射性同位素药物，在药物到达所需要成像的断层位置后，由于不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的γ射线，利用

SPECT/CT 探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。SPECT 系统一般由探测器、机架、控制台、计算机（包括接口）和外围设备五部分构成。

4.3.2 工作流程及产污分析

SPECT 显像检查（Tc-99m）主要工作流程如下：

- 1) 预约登记：通过热线电话或网络在线预约方式进行预约。
- 2) 病史采集：请受检者出示所有检查报告、X片、CT、MRI 或超声等。
- 3) 测量体重：以保证检查能够得到最好的效果。
- 4) 注射：静脉注射显像剂，根据检查目的不同，选用不同显像剂。
- 5) 检前休息：根据不同检查目的，决定检查等候时间。
- 6) 上机扫描：SPECT/CT 检查前排空小便,不带任何饰品。
- 7) 留观：前往留观室留观，等确认扫描图像清晰无误和患者留观后无异常征兆后方可通过专用通道直接核医学区域。
- 8) 检查完成，受检者通过专用通道离开核医学区域。

工作流程及产污环节见图 9-9。

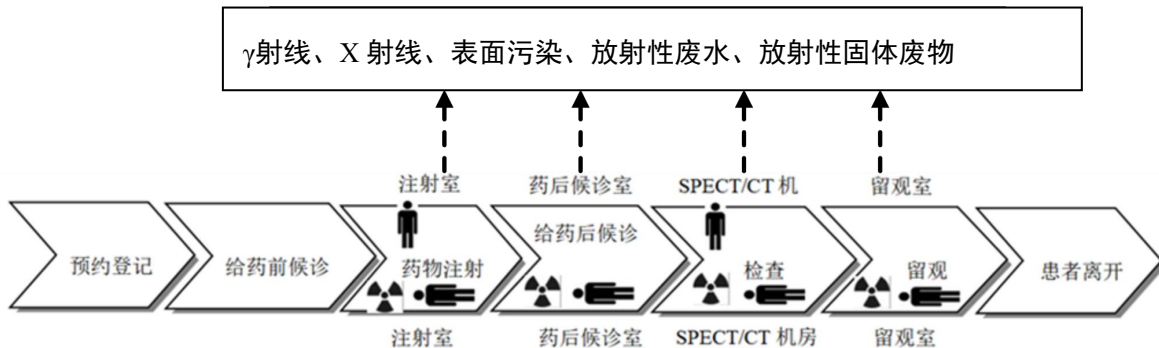


图 9-9 SPECT 工作流程及产污环节

4.4 核素治疗

4.4.1 设备组成及工作原理

核素治疗原理是通过一些放射性核素在衰变过程中，可以释放出 α 射线或 β 射线等，具有较强的电离辐射效应，对于肿瘤细胞或异常增殖组织等具有较强的杀灭作用。核素治疗就是指利用具有治疗作用的放射性核素，如 I-131、Sr-89、Y-90、Lu-177、Ra-223 等核素或标记药物，以及 I-125 粒子等，近距离精准杀伤病变细胞和组织，达到治疗的目的。

甲状腺或分化型甲癌组织的高度选择性来摄取 I-131。I-131 在甲状腺中停留的时间较长，在甲亢和甲癌患者的甲状腺内有效半衰期由于人体代谢等原因，比正常半衰期 8.04 天短。甲亢患者，如给予适当剂量的 I-131，则可利用其放射性“切除”部分甲状腺组织而又保留一定量的甲状腺组织，达到治疗目的，使甲状腺功能恢复正常。

Sr-89、Re-188、Lu-177 和 Ra-223 主要用于治疗肿瘤骨转移疼痛。癌症晚期患者多会发生癌细胞骨转移，同时引发骨痛症状。骨肿瘤病灶部分由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用及其活跃，易浓聚大量 Sr-89、Re-188、Lu-177 Ra-223 标记的放射性药物，发射 β 射线，杀死肿瘤细胞而发挥治疗作用。

4.4.2 工作流程及产污分析

(1) 甲癌治疗流程

- 1) 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，进行治疗前准备：需停用抗甲状腺药物两周以上，低碘饮食四周。
- 2) 进行相关体检，在吸碘室进行甲状腺 I-131 摄取率测定。
- 3) 医师计算甲状腺重量，制定治疗剂量方案。
- 4) 签署知情同意书：告知治疗方案、隔离要求及不良反应，签署知情同意书，登记订药。
- 5) 根据制定方案给患者服碘，甲癌患者需住院待体内放射性药物衰变至 400MBq 以下方可出院。

工作流程及产污环节见图 9-10。

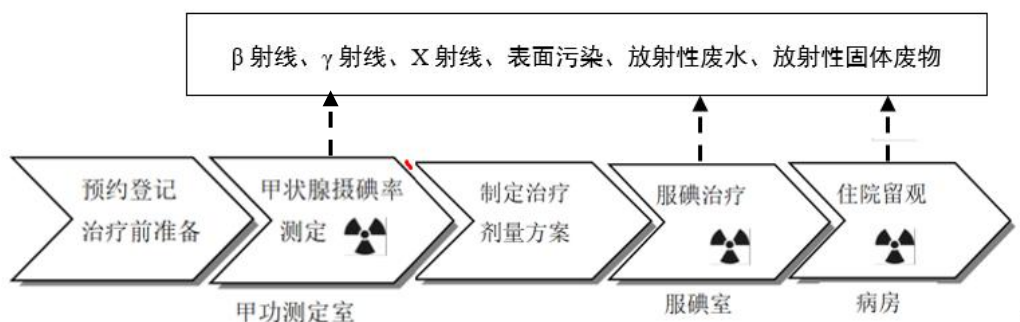


图 9-10 甲癌治疗工作流程及产污环节图

(2) 甲亢治疗流程

- 1) 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，进行治疗前准备：需停用抗甲状腺药物两周以上，低碘饮食四周。

- 2) 进行相关体检和甲状腺 I-131 摄取率测定。
- 3) 计算甲状腺重量，制定治疗剂量方案。
- 4) 根据制定方案给患者服碘，甲亢治疗患者一般可直接离开，当服药量较大时，甲亢患者住院一天以上再离开。

工作流程及产污环节见图 9-11。

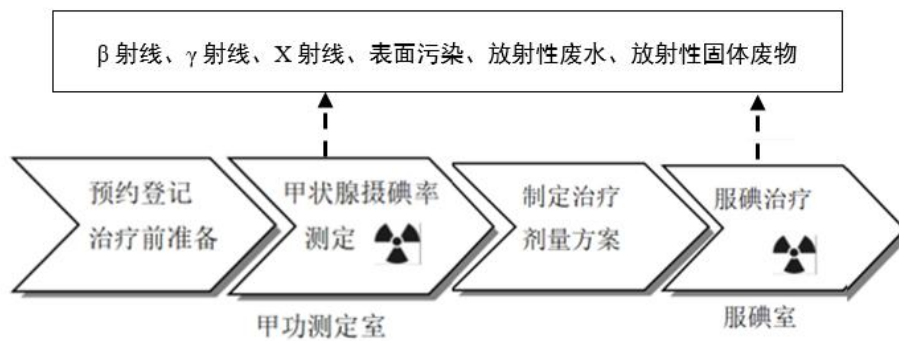


图 9-11 甲亢治疗工作流程及产污环节图

(3) 肿瘤（骨转移）治疗流程

- 1) 病史采集：请受检者出示病理报告、全身骨显像结果、血常规及生化检查结果、X 片、CT、MRI 或超声等；
- 2) 疼痛分级：根据患者疼痛反应，进行治疗前疼痛分级；
- 3) 测量体重：以估算治疗用药剂量；
- 4) 签署知情同意书：告知治疗方案及不良反应，签署知情同意书，登记订药；
- 5) 治疗前准备：无需特殊准备，正常饮食；
- 6) 注射 Sr-89(或 Re-188、Lu-177 和 Ra-223)：一次性静脉缓慢注射给药(1~2min)；注射后生理盐水冲管，注射后无特殊情况可直接离开核素治疗区；
- 7) 治疗后疗效评估：治疗后定期随访复查血常规，3~6 个月复查全身骨显像，并进行疼痛反应评价及疗效评价；
- 8) 重复治疗：第一次治疗疗效好，骨痛未完全消失或复发，可重复治疗；89Sr 重复治疗间隔 3 个月以上。

工作流程及产污环节见图 9-12。

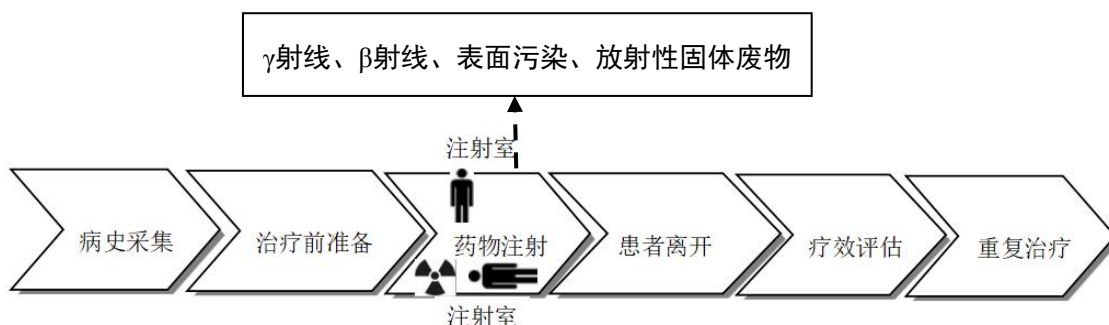


图 9-12 核素治疗工作流程及产污环节图

4.5 小动物 PET/MR 和 SPECT/CT 显像检查

4.5.1 设备组成及工作原理

小动物 PET/MR 和 SPECT/CT 的原理同上 4.2 和 4.3 章节描述原理一致，只不过通过对小动物注射 F-18、C-11、Ga-68、Tc-99m 等核素进行显像检查，科研用途一般在周末进行，且用量较少。

4.5.2 工作流程及产污分析

PET/MR、SPECT/CT 显像检查主要工作流程如下：

- 1) 注射前准备：根据实验目的，选择小动物，确定注射核素和注射量
- 2) 注射：根据注射核素和注射量，配置注射剂，并对小动物进行注射。
- 3) 上机扫描：对小动物进行 PET/MR 或 SPECT/CT 扫描；
- 4) 扫描完成：扫描完成，将小动物放回动物房。

工作流程及产污环节见图 9-13。

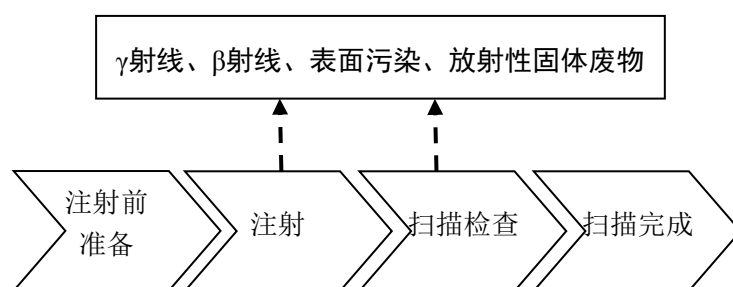


图9-13 小动物PET/MR和SPECT/CT工作流程产污环节图

污染源项描述：**5 建设阶段的污染源项**

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物。本项目机房为新建建筑，滨海新城综合医院项目一期主体工程已经完成，正进行内装、机电施工收尾工作，同步开展医疗设备采购、信息化建设等相关工作。产生的环境影响主要是装修、设备安装调试期间产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，合理安排施工秩序。建设期间常规环境影响评价在《福州滨海新城综合医院(一期)环境影响报告书》进行单独描述，福州市长乐区环境保护局对该报告书也提出具体审批意见，见附件 8，《福州市长乐区环境保护局关于《福州滨海新城综合医院(一期)环境影响报告书》的审批意见》（长环评[2018]81 号）。

6 运行阶段的污染源项**6.1 医用直线加速器****6.1.1 放射性污染源分析****(1) 电子束**

加速器用电子束治疗时，因电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线，故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑。

(2) X 射线

当医用直线加速器加速的电子与物质相互作用时，会产生轫致辐射（X 射线）。由加速器工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止而产生高能 X 射线，然后，以此 X 射线对患者的肿瘤病灶进行治疗。因为 X 射线具有较大的贯穿能力，如果没有采取足够防护措施对其进行屏蔽，一旦泄入环境，势必对工作人员和公众造成不必要的辐射照射，危及人们健康与安全。但这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。可见，在开机的一段时间里，X 射线成为加速器污染环境的主要污染源。

(3) 中子和感生放射性

绝大多数核素的（X，n）反应阈能在 10MV 以上，对于 X 射线能量大于 10MV 的加速器，会产生中子，中子产生方式主要按 $14\text{N}(\text{X}, \text{n})\text{N-13}$ 反应式进行，轫致辐射在空气中诱发的感生放射性核素是 N-13 和 O-15。在医用直线加速器上，中子是

由各种核反应产生的，电子与靶材料相互作用产生韧致辐射，生成高能 X 射线，X 射线又与靶材料及其他材料相互作用得到中子；加速器的结构材料、冷却水及加速器治疗室内的空气受中子照射会产生感生放射性，放射出 α 、 γ 、 β 射线，其中 α 、 β 射程比较短，屏蔽要求低， γ 射线成为重要放射性污染源。

该医院医用直线加速器的最大 X 射线能量为 15MeV，在辐射屏蔽时，要考虑中子的影响。感生放射性在加速器停机后仍然存在，加速器停机后，进入加速器机房时，要考虑感生放射性的影响。

6.1.2 非放射性污染源

医用直线加速器机房内的空气受到 X 线及电子线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。由类似工程可知，只要确保每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

6.2 后装治疗机

6.2.1 放射性污染源分析

本项目后装治疗机内 Ir-192 放射源最大装源活度为 $3.7E+11Bq$ ，后装治疗机未使用时，放射源处于贮源器内，少量 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入治疗机房的人员及室外公众等产生外照射。后装治疗机在治疗过程中，Ir-192 放射源位于施源器内，放射源发射出的 γ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对治疗机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

Ir-192 放射源使用一定时间后会产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

6.2.2 非放射性污染源

后装治疗机机房内的空气受到 γ 射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。由类似工程可知，只要确保每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

6.3 DSA

由 DSA 的工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。

6.4 非密封放射性物质工作场所

6.4.1 回旋加速器

(1) 回旋加速器

回旋加速器用质子轰击靶子发生 N-14 (p, α) C-11、O-18 (p, n) F-18 反应，在产生 C-11、F-18 的同时，也产生中子。该反应产生的 C-11、F-18 等核素发生β衰变时伴随发射 0.511MeV 的γ射线，中子与周围物质相互作用时产生俘获中子γ射线。C-11、F-18 等核素发生β衰变时，产生的β射线在与周围屏蔽材料相互作用，发生韧致辐射，会产生少量的 X 射线。该项目回旋加速器带有自屏蔽，能够屏蔽大部分的 X、γ 射线和中子。

回旋加速器工作时，内循环系统冷却水在回旋加速器内受照射后产生放射性核素，主要是 O-15（半衰期 T_{1/2}=2.1min）、N-13（半衰期 T_{1/2}=10min）、C-11（半衰期 T_{1/2}=20.4min），半衰期均较短，且冷却水沿闭合回路在自屏蔽体内循环使用，因此这一过程不会对水造成放射性污染。

回旋加速器生产核素的过程中，中子及次级辐射与空气作用，在室内会产生少量的放射性气体（如 O-15 半衰期 T_{1/2}=2.1min；N-13 半衰期 T_{1/2}=10min；C-11 半衰期 T_{1/2}=20.4min；Ar-41 半衰期 T_{1/2}=1.83h；）及臭氧、氮氧化物等。

质子轰击靶等物体时，会产生感生放射性，回旋加速器的靶膜由厂家专业人员负责更换，换下的靶膜置于回旋加速器自带的铅罐中，由生产厂家回收处理。废气处理系统更换产生的少量废旧活性炭，防止专门位置暂存衰变，低于清洁解控水平后进行清洁解控或交由有资质单位处理。

(2) 合成热室

回旋加速器生产的同位素产物 C-11、F-18 液体经过专用的防护管道系统，传输到热室的药物合成器内，合成器是放置在带有铅屏蔽的合成热室中，期间产生的射线为γ射线。热室房间自动合成 C-11、F-18 药物时，每次合成产生约 10ml 的废水。药物分装、合成期间产生的固体废物主要为合成、分装过程中的损坏设备/部件。药物合成过程中产生的短半衰期放射性气体，废气由专用排风管排出，排气管道安装有活性炭过滤吸附装置。

6.4.2 PET 药物显像

- 1) 放射性药品 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 发射β、γ射线。
- 2) F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 放射性药品注射过程中产生的β表面污染。

- 3) 放射性废水：在医院候诊期间病人排泄物和放射性药品操作过程的去污洗涤液。
- 4) 放射性固体废物：废药瓶、注射器、棉签、棉球、手套等放射性固体废物。
- 5) 放射性药品给药过程中产生的微量放射性气溶胶。
- 6) PET 机房区域工作场所通风系统过滤装置更换下来的废弃的活性炭。

6.4.3 SPECT 显像检查

- 1) 放射性药品 Tc-99m 发射的 γ 射线。
- 2) 放射性药品 Tc-99m 使用过程中产生的表面污染。
- 3) 放射性废水（Tc-99m）：在医院候诊期间病人排泄物和放射性药品操作过程的去污洗涤液。
- 4) 放射性固体废物（Tc-99m）：废药瓶、注射器、棉签、棉球、手套等放射性固体废物。
- 5) 放射性药品（Tc-99m）给药过程中产生的微量放射性气溶胶。
- 6) SPECT 扫描时产生的 X 射线对公众及辐射工作人员的外照射。
- 7) SPECT 区域工作场所通风系统过滤装置更换下来的废弃的活性炭。

6.4.4 核素治疗

- 1) I-131 放射性药物的给药、收集含放射性废物等操作过程中，操作人员将受到放射性药物或含 I-131 核素的液体、固体等发射的 β 射线、 γ 射线。
- 2) I-131 诊断或治疗患者服药后，本身短时间内便是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响，主要为 γ 射线。
- 3) I-131 为挥发性核素，在人员给药、收集放射性废物等操作过程或服 I-131 药物患者呼出，而使 I-131 进入空气中，非密封源工作场所周围工作或公众成员吸入 I-131 而产生内照射影响。
- 4) 放射性核素操作过程及 I-131 患者留院期间将产生放射性废液和受污染的固体废物，放射性药品使用过程中产生的 β 表面污染。
- 5) I-131 工作场所通风系统过滤装置更换下来的废弃的活性炭。
- 6) 注射 Sr-89（或 Re-188、Lu-177 和 Ra-223）时，会发射 β 射线、 γ 射线。

6.4.5 高活性室

- 1) Mo-99 的衰变方式是 β^- ，衰变时除发射 β 射线外还发射 γ 射线，在淋洗产生

Tc-99m 的过程中会产生 γ 射线和 β 射线；

- 2) Tc-99m 的主要衰变方式是同质异能跃迁，同时发射 γ 射线，在分装过程中会产生 γ 射线。
- 3) Tc-99m 洗脱液操作过程中可能对工作台面、地面等造成表面污染。
- 4) 固态放射性废物主要是经淋洗后衰变到无使用价值的 Mo-99—Tc-99m 发生器、工作人员操作戴的手套，沾有 Tc-99m 标记液的分装瓶、事故情况下使用滤纸，棉球等。

6.4.6 核医学科研区

- 1) 放射性药品 F-18、C-11、Ga-68、Tc-99m 发射 β 、 γ 射线。
- 2) 放射性药品注射过程中产生的 β 表面污染。
- 3) 放射性固体废物：废药瓶、注射器、棉签、棉球、手套等放射性固体废物。
- 4) 注核放射性核素的小动物的排泄物会带有放射性。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施:

1 直线加速器辐射安全与防护

1.2 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目拟在病房楼地下室负一层中部设置放射治疗中心，配置 3 台医用电子直线加速器，拟建的 3 间加速器机房南北相邻并排设置。3 间加速器机房的西侧均为过道，控制室均设置在相应机房的东侧位置，1 号加速器机房的南侧为后装治疗机房和过道，3 号加速器的北侧为进风机房和仓库，加速器机房上方为病房楼住院大厅区域，楼下均为地下岩土层，3 间加速器机房的迷路均采用“L”字型迷路，迷路均设置于机房东侧，加速器主轴均为南北向，主射的投照方向回避了控制室，见图 10-1、10-2 和 10-3。

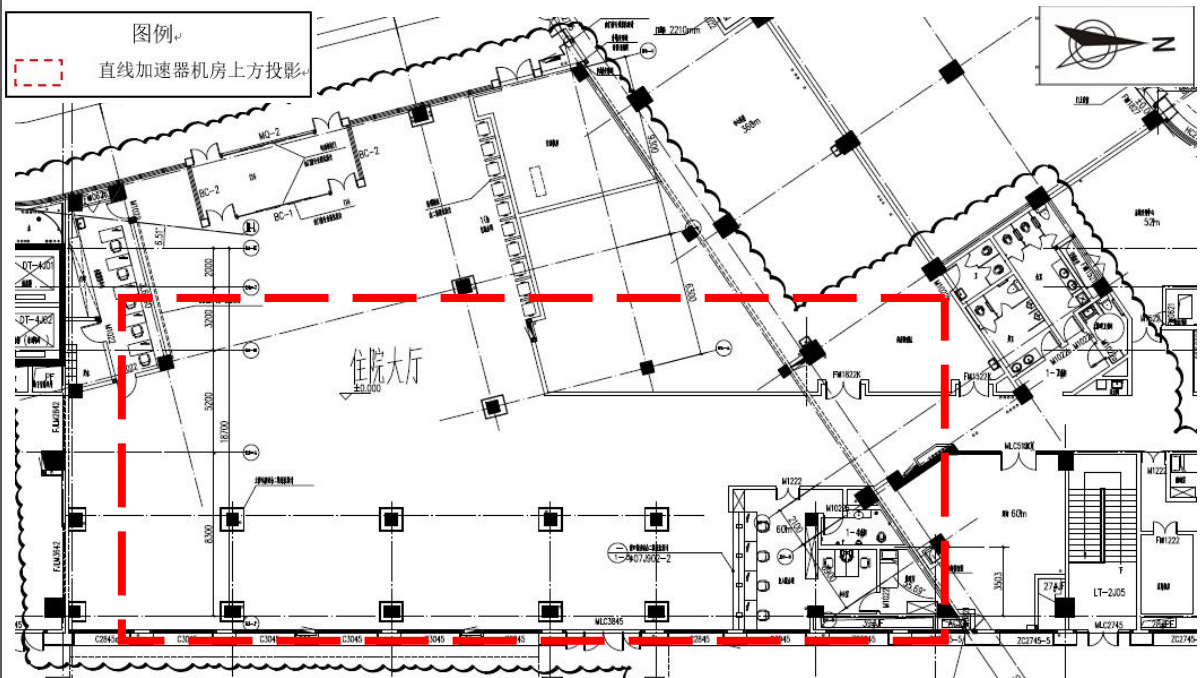


图10-1 直线加速器上方投影图

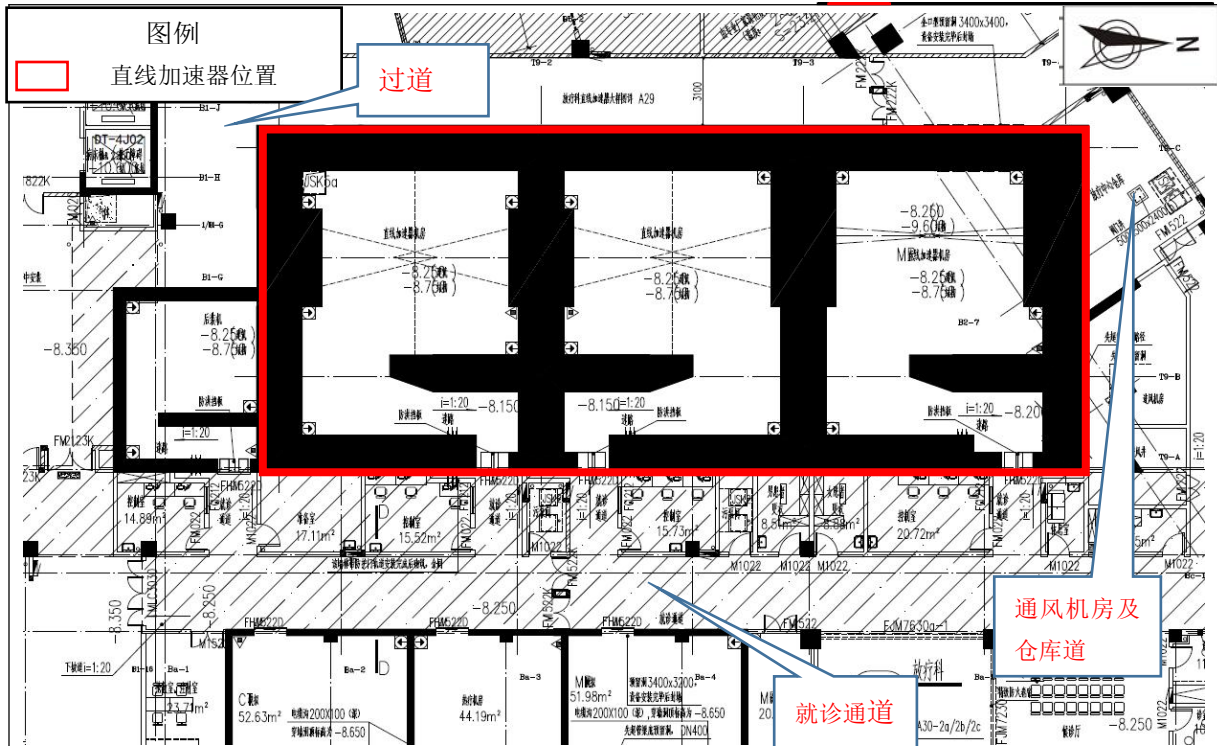
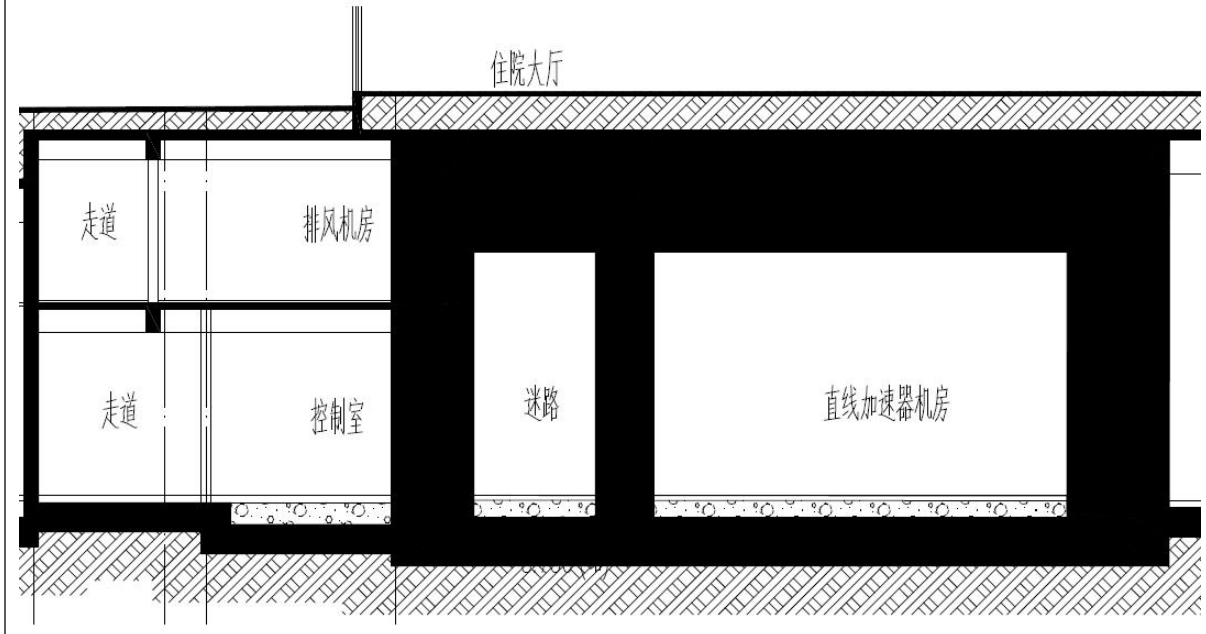


图10-2 直线加速器工作场所布局图



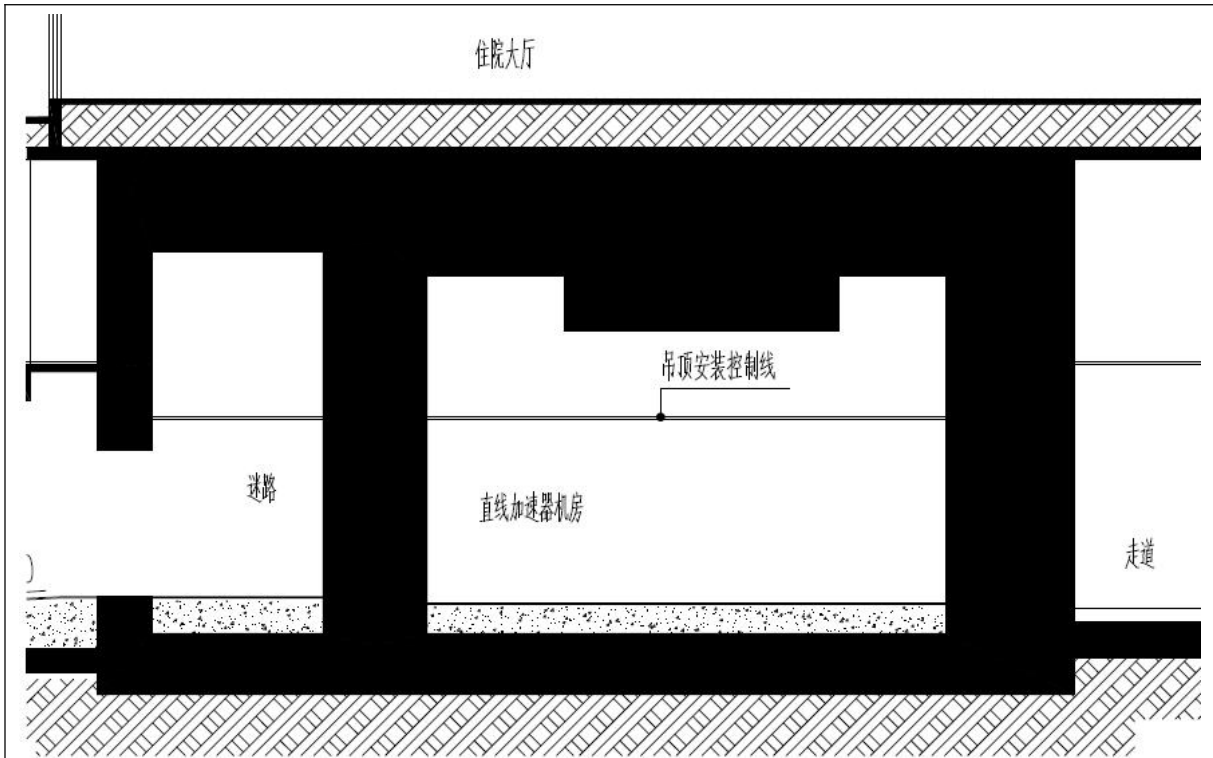


图 10-3 直线加速器机房剖面图

(2) 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，应将直线加速器工作场所划分为控制区和监督区，机房入口内的所有区域划分为控制区，控制室、污泵间、休息室等划分监督区。在监督区和控制区门口应设置明显的电离辐射警告标志，在出入口处安装射线装置工作状态指示灯，控制区内只有工作人员可以进入，以避免不必要的照射，监督区内严格限制无关人员进入。同时，放疗区入口也应粘贴电离辐射警告标志。本项目直线加速器工作区域分区图详见图 10-2。

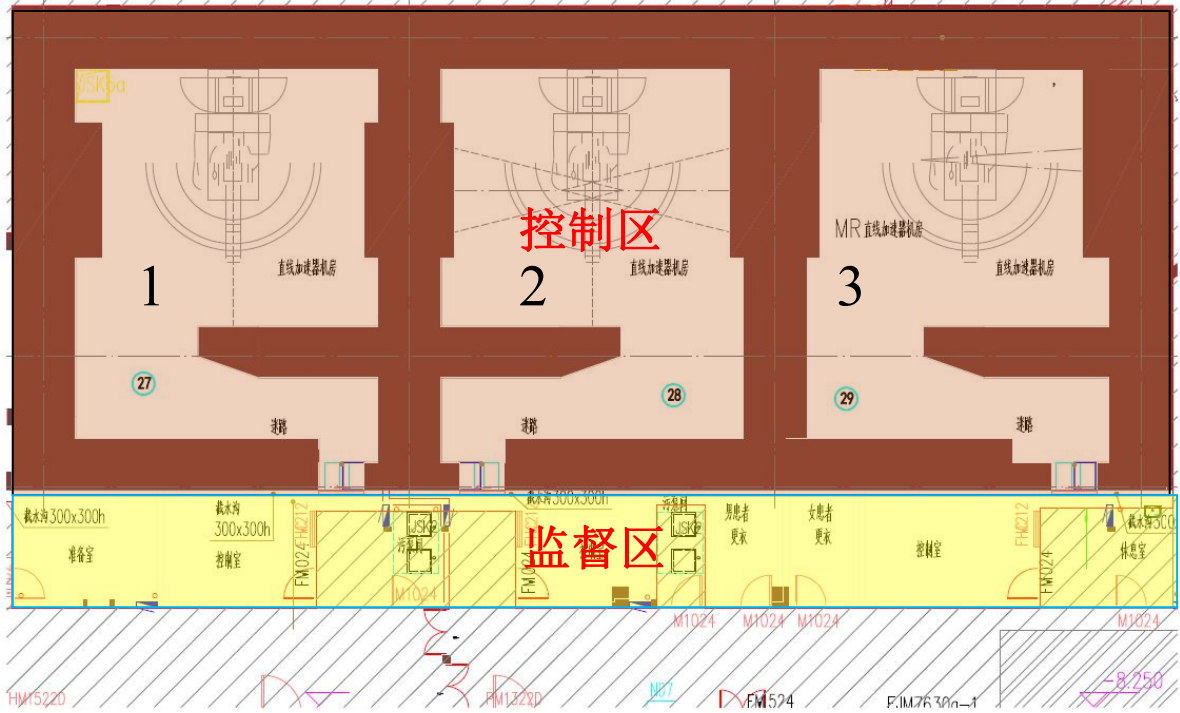


图 10-4 直线加速器工作场所分区图

1.3 工作场所辐射安全与防护设施

(1) 机房屏蔽防护措施

直线加速器机房空间尺寸见表 10-2。3 间直线加速器机房均采用密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 混凝土浇筑，设有 L 型迷道，机房电缆线均采用“U”型穿墙管道，送风管和排风管道均从迷道外墙采用 45° 斜穿过屏蔽墙，不影响防护墙的屏蔽效果。排风口距地板高度为 300mm，送风口位于天花板上，见图 10-4、图 10-5。防护门选用钢制机构，门扇内衬铅板、面层采用不锈钢。整体门套配置与防护门相同材质，且做防护处理，避免射线透过门缝射出。

3 台加速器主射束朝南、北及上、下方向照射，主屏蔽墙位于南、北墙及室顶，其他墙壁为次屏蔽墙。靠西侧 1 号、2 号机房直线加速器位于房间中央，主屏蔽墙位于房间中间，3 号机房直线加速器位于房间北侧，主屏蔽区靠近北侧墙体。各机房的防护情况相同，机房各屏蔽墙、室顶及防护门屏蔽参数见表 10-2。

表 10-1 加速器机房空间尺寸一览表

项目	位置	尺寸 (mm)	备注
1 号机房	机房长度 (南北)	8650	主屏蔽墙间距
	机房宽度 (东西)	8500	
	迷路宽度	2000	
	迷路内入口宽度	4050	

	迷路外入口宽度（门洞）	1500	
	机房高度（吊顶）	3300	
	等中心到东侧迷路内墙内表面距离	4500	
	等中心到西侧防护墙内表面距离	4000	
	等中心到南侧、北侧主防护墙内表面距离	4325	
	等中心到主防护顶盖内表面距离	2950	
	主防护墙宽度	4500	
	顶盖主防护宽度	4500	
2号机房	机房长度（南北）	9100	
	机房宽度（东西）	8500	
	迷路宽度	2000	
	迷路内入口宽度	4050	
	迷路外入口宽度（门洞）	1500	
	机房高度（吊顶）	3300	
	等中心到东侧迷路内墙内表面距离	4500	
	等中心到西侧防护墙内表面距离	4000	
	等中心到南侧、北侧主防护墙内表面距离	4550	
	等中心到主防护顶盖内表面距离	2950	
	主防护墙宽度	4500	
	顶盖主防护宽度	4500	
3号机房	机房长度（南北）	8650	
	机房宽度（东西）	8500	
	迷路宽度	2000	
	迷路内入口宽度	4050	
	迷路外入口宽度（门洞）	1500	
	机房高度（吊顶）	3300	
	等中心到东侧迷路内墙内表面距离	5475	
	等中心到西侧防护墙内表面距离	3125	
	等中心到南侧、北侧主防护墙内表面距离	4325	
	等中心到主防护顶盖内表面距离	2950	
	主防护墙宽度	6250	
	顶盖主防护宽度	4500	

表 10-2 加速器机房各屏蔽体参数一览表

位置		墙体厚度（mm）	备注
北墙	主屏蔽	3000	1号机房主屏蔽墙宽度4500m。 3号机房主屏蔽墙宽度6250mm。
	次屏蔽	2100	
东墙	迷道内墙	1700	
	迷道外墙	1600	
南墙	主屏蔽	3000	
	次屏蔽	2100	
西墙		2100	
顶板	主屏蔽墙	3000	
	次屏蔽墙	2100	

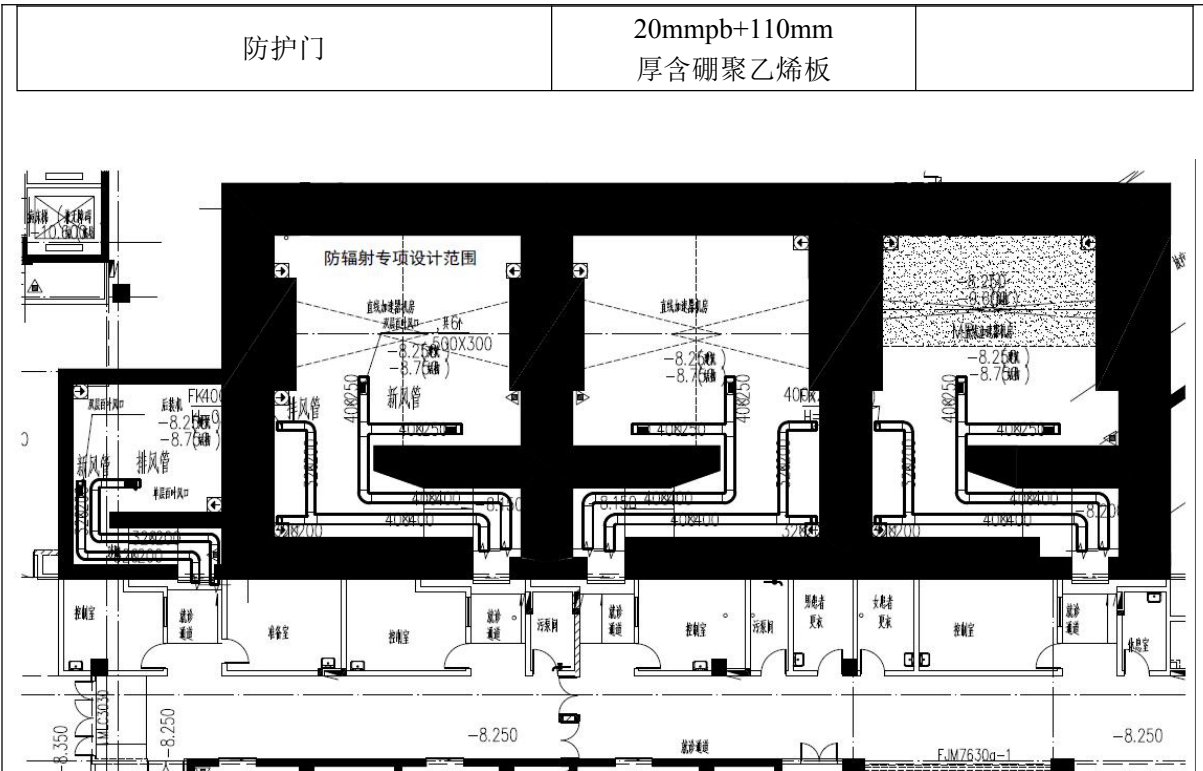


图 10-5 直线加速器机房通风管道布局图

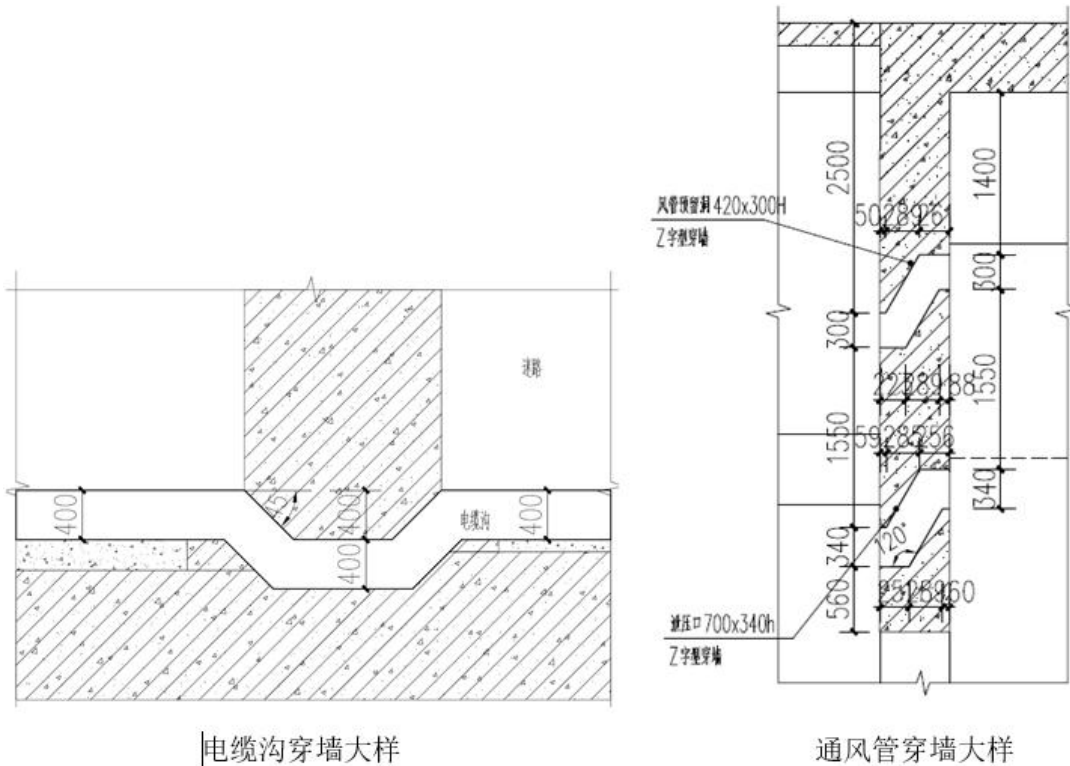


图 10-6 直线加速器机房穿墙贯穿口大样图

(2) 机房连锁安全防护措施

医用电子直线加速器设计有灵敏、安全、可靠的一系列安全联锁装置。安全联锁

系统是多重的，它包括防护门门机联锁，治疗机本身设置的钥匙开关联锁、双道剂量监测系统、紧急终止照射应急开关等。

钥匙开关联锁：治疗机设计有电源的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动治疗装置。

防护门门机联锁：防护门被打开，联锁装置即切断加速器的出束开关，使加速器不能正常出束或立即停止出束。双道剂量监测系统：每道剂量监测通道都应设置为达到预置参数时能终止照射；超过预置参数必值须能自动终止照射。

照射控制计时器：在复零后才能启动照射，其设定值应不超过说明书给定的限值，超过设置应能终止照射。

（3） 紧急开门按钮

防护门内迷道口安装有紧急开门按钮，并有明显的标志，紧急情况下，可通过此按钮紧急开门。

（4） 紧急停机装置

控制台、机房内各墙面、入口门内旁侧应设有急停开关并有明显的标志，供应急停机使用。事故处理完毕后，再于本地复位，加速器才能重新启动。

（5） 防挤压装置

防护门两侧设计有红外探测器，探测人员穿越时，防护门不关闭。

（6） 视频监控和对讲系统系统

直线加速器机房内拟安装视频监控系统和语音对讲系统，便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路内病人及医护人员的情况，与机房内人员沟通。

（7） 警示标志

直线加速器机房防护门外顶部设置工作状态指示灯，直线加速器开机使用时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；在防护门外张贴电离辐射警示标志。

（8） 人员防护措施

控制室内操作人员采取隔室操作的方式，辐射工作人员及机房周边的其他人员通过控制室与各机房之间的墙体、铅门等屏蔽射线。

（9） 辐射剂量率监测系统

在治疗室迷道出、入口设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能，显示单元设置在控制室内或机房门附近，剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值，当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值

时进行报警。

（10）通风系统、机房管道设计

医用电子直线加速器运行过程中，射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目3间加速器机房均拟设计采用机械通风，机房体积最大约为340m³。3间加速器机房新风管道和排风管道均从防护门上方以45°角穿过防护门上方墙体进入加速器机房，送风口布置在机房的装饰天花板上，新风风量为2100m³/h，排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地30cm，排风风量为2100m³/h（通风换气为6.1次/h），符合相关的标准要求。

（11）辐射监测设备

应配备1台γ辐射监测仪、2台个人剂量报警仪和个人剂量片。

1.4 辐射安全与防护设施符合性分析

本项目直线加速器机房辐射防护设施与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表10-3。

表10-3 直线加速器机房辐射安全与防护设施符合性分析

标准防护要求	本项目设计方案	符合性
放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	本项目3间直线加速器机房位于病房楼负一层，机房由专业设计单位进行了设计。	符合
放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。	机房入口内的所有区域划分为控制区，控制室、污泵间、休息室等划分监督区。	符合
治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	机房内只安装直线加速器，其他辅助设备均布置在机房外。	符合
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。	每间加速器机房分别设置1台排风机，排风机排风量均为2100m ³ /h，3间加速器机房内有效容积（包含迷道体积）分别为340m ³ 。进风口与排风口位置应对角设置，可保证每间加速器机房每小时通风次数不小于4次。	符合
放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	在控制台、迷道出口处墙面和治疗床上装有紧急停机开关，并有明显的标志，供应急停机使用。防护门被打开，联锁装置即切断加速器的出束开关，使加速器不能正常出束或立即停止出束。 防护门设置有红外探头，探测工作人员进	符合

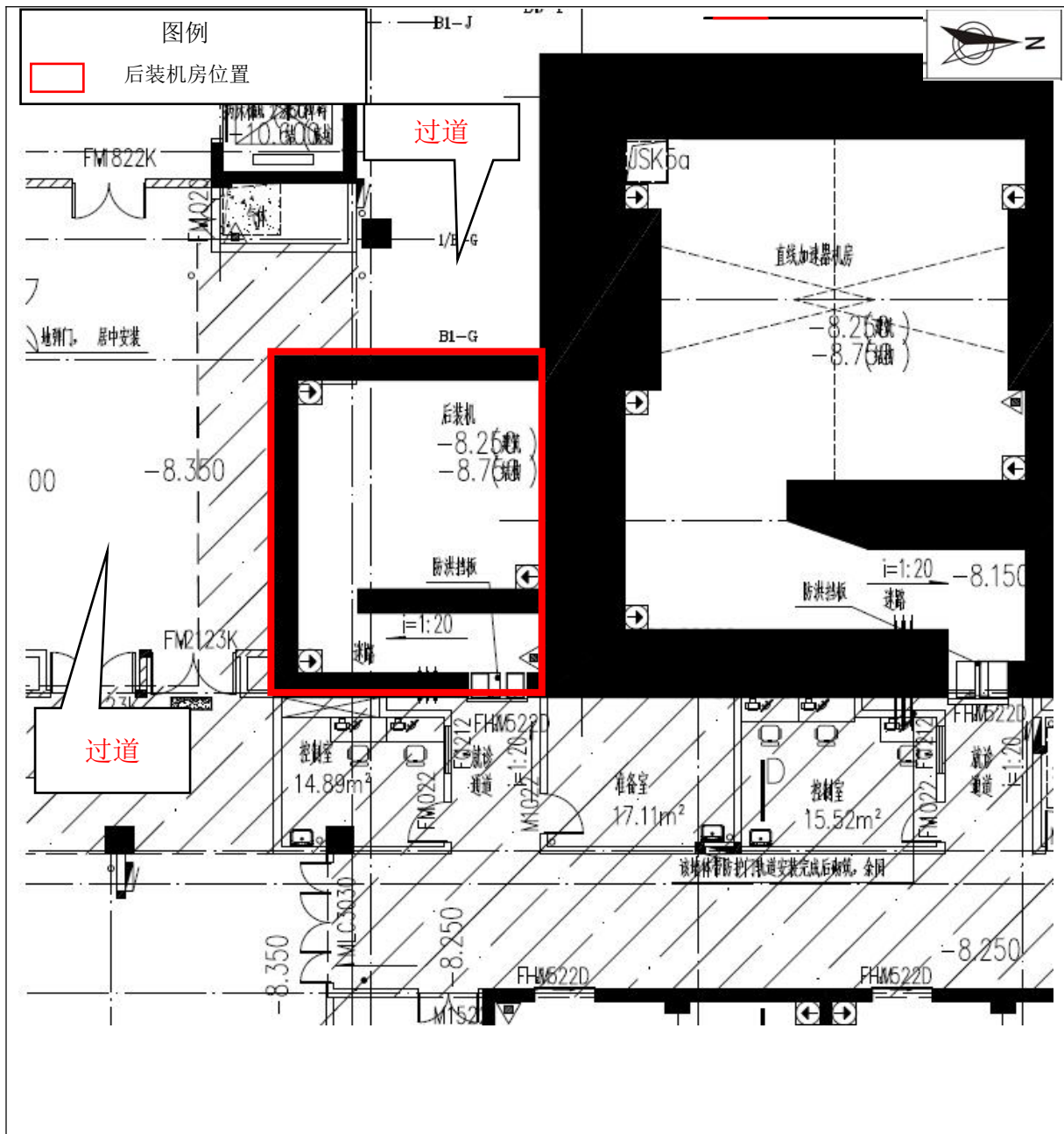
	入，防护门不关闭，防人员挤压。	
放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	在控制台、迷道出口处墙面和治疗床上装有紧急停机开关，并有明显的标志，供应急停机使用。	符合
控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	治疗室和控制室之间安装监视和对讲设备，工作人员可与患者双向沟通。	符合
放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	机房防护门外将设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合

2 后装治疗机辐射安全与防护

2.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

后装治疗机房东侧为控制室和过道，西侧为和南侧均为过道，北侧为1号加速器机房，机房正下方为地下岩土层，楼上正上方为病房楼住院大厅，机房拟设置“L”字型迷路，防护门和控制室均拟设置在机房东侧，平面图和剖面图见图10-5。



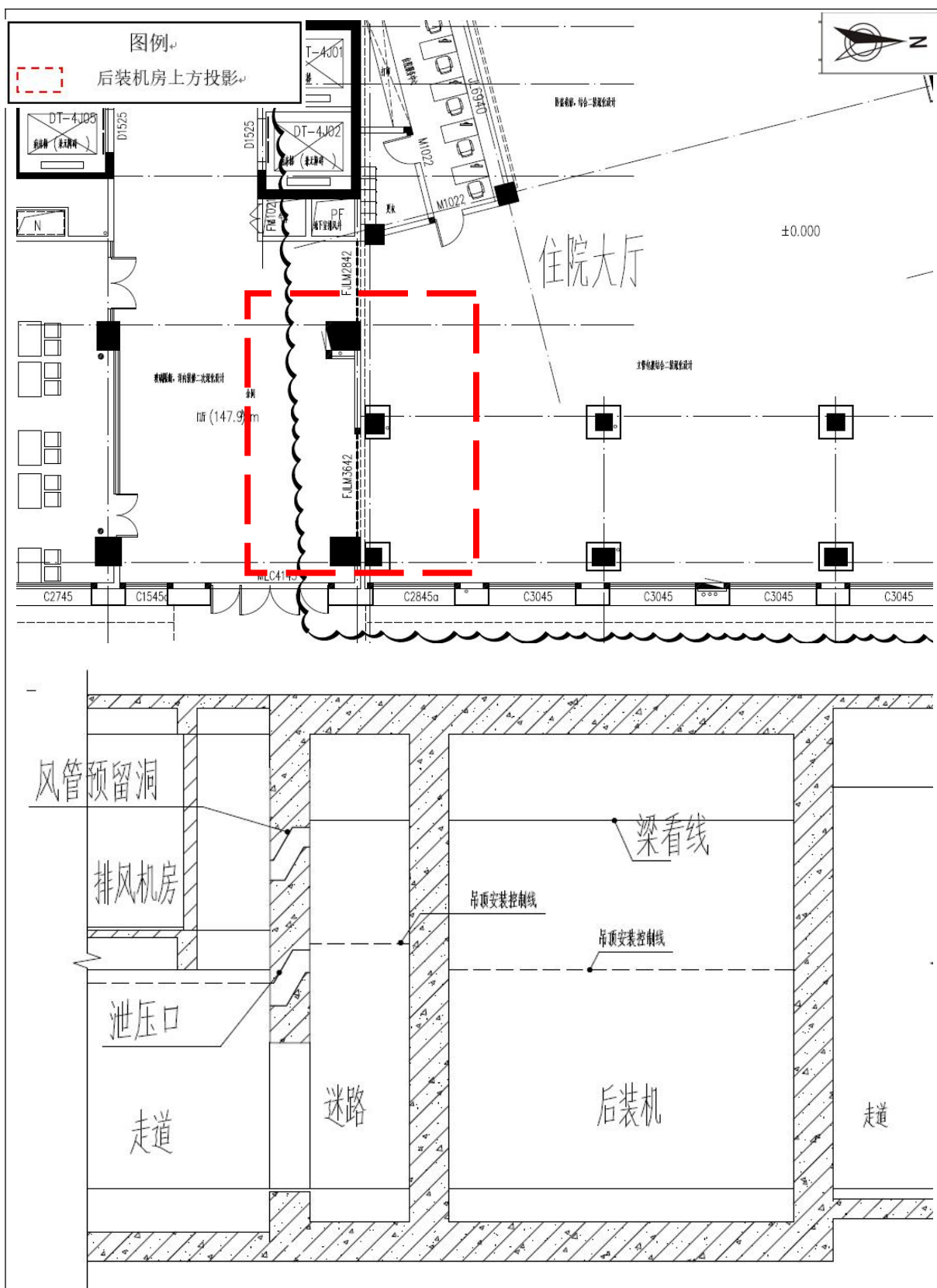


图 10-5 后装治疗机房平面及剖面图

(2) 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，应将后

装治疗工作场所划分为控制区和监督区，机房入口内的所有区域划分为控制区，控制室、后装准备间及中间就诊通道划分监督区。在监督区和控制区门口设置明显的放射性警告标识，在出入口处安装射线装置工作指示灯，控制区内只有工作人员可以进入，以避免不必要的照射，监督区内严格限制无关人员进入。本项目后装治疗机房工作区域分区图详见图 10-6。

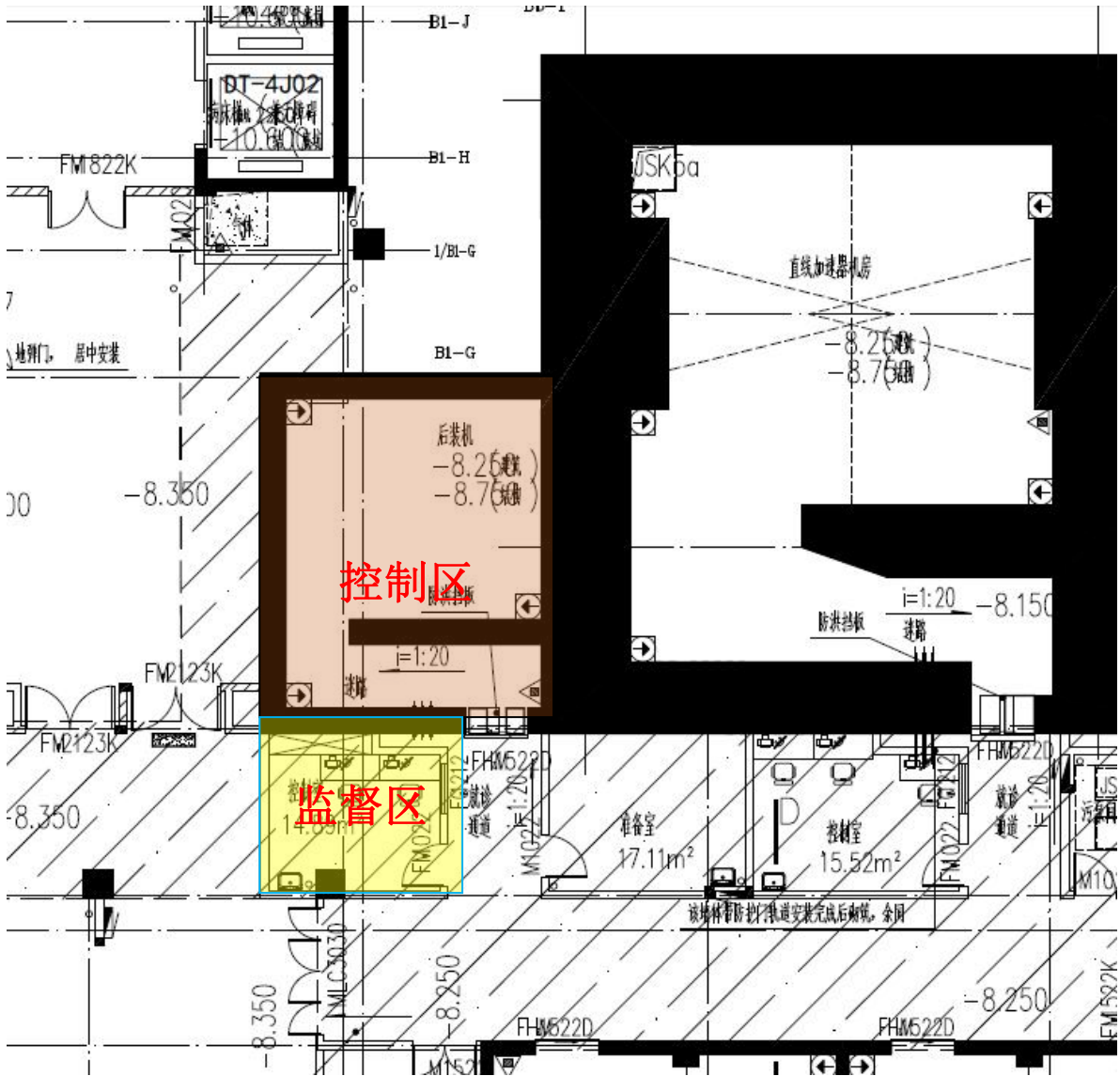


图 10-6 后装治疗机工作场所分区图

2.2 工作场所辐射安全与防护设施

(1) 机房屏蔽防护措施

本项目后装治疗机房四侧墙体、地坪及顶棚拟采用标准混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) 浇筑而成，防护门拟采用铅板制作，拟安装 1 台最大装源活度为 $3.7\text{E}+11\text{Bq}$ (10Ci) 的后装治疗机。设有 L 型迷道，机房电缆线采用“U”型穿墙管道，送风管和排风管道均

采用 45°斜穿过屏蔽墙。排风口距地板高度为 30cm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置。

机房各屏蔽墙、室顶及防护门屏蔽参数见表 10-4。

表 10-4 后装治疗机房空间尺寸一览表

位置	尺寸 (mm)	备注
机房长度	6025	主屏蔽墙间距
机房宽度 (不含迷道)	5200	/
迷道宽度	1500	/
迷道内墙厚度	600	/
迷道外墙厚度	600	/
北侧墙体厚度	2100	/
南侧墙体厚度	600	/
西侧墙体厚度	600	/
顶盖厚度	600	/
机房净高	7290	/
防护门	20mmpb	/

(2) 机房联锁安全防护装置

后装治疗机机房设计有门-灯-设备联锁装置，防护门开启时，放射源自动返回贮存器内。

(3) 紧急开门按钮

防护门内迷道口设计有紧急开门按钮，并有明显的标志，紧急情况下，可通过此按钮紧急开门。

(4) 防挤压装置

防护门两侧安装有条式防夹感应系统，探测人员穿越时，防护门不关闭。

(5) 紧急停机装置

应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置及治疗机房内墙面各设置紧急停机开关，并有明显的标志，紧急情况下可快速停机。事故处理完毕后，再于本地复位，后装机才能重新启动。

(6) 视频监控和对讲系统系统

后装机房内拟安装视频监控系统和语音对讲系统，便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路内病人及医护人员的情况，与机房内人员沟通。

(7) 电离辐射警示标志和工作状态指示灯

后装机房防护门门外顶部设置工作状态指示灯，开机使用时，指示灯为红色，以

警示人员注意安全；在防护门外张贴电离辐射警示标志。

（8） 人员防护措施

控制室内操作人员采取隔室操作的方式，辐射工作人员及机房周边的其他人员通过控制室与各机房之间的墙体、铅门等屏蔽射线。同时，机房内配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙等辐射防护用品，以及储源容器、长柄镊子应急设备。

（9） 辐射剂量率监测系统

在治疗室设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能，剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值，当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值时且治疗室门没有关好时，进行报警。

（10） 装置故障保护系统

实施放疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源能自动返回工作贮源器，同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始。当自动回源装置功能失效时，有手动回源措施进行应急处理。

（11） 通风系统、机房管道设计

后装治疗机房采用机械通风，机房体积约为 143m³。新风管道和排风管道拟从防护门上方以 45°角穿过防护门上方墙体进入后装治疗机房，送风口布置在机房装饰天花板上，新风风量为 800m³/h，排风口拟设置在机房墙角处，风管底部（吸风口）离地 30cm，排风风量为 1000m³/h（通风换气约 7 次/h），符合标准要求。

（12） 辐射监测设备

γ 辐射监测仪与直线加速器室共用，应配备个人剂量报警仪和个人剂量片。

2.3 辐射安全与防护设施符合性分析

本项目后装治疗机房辐射防护措施与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10-5。

表 10-5 后装治疗机房辐射安全与防护设施符合性分析

标准防护要求	本项目设计方案	符合性
放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	机房位于地下负一层，与直线加速器机房一起，布置在放疗区机房由专业设计单位进行了设计，治疗室与准备室和控制室分开设置。	符合
放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。	治疗室设置为控制区、准备室、控制室、人员通过设置为监督区。	符合
治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设	治疗机与控制室分开布置，治疗机	符合

备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	房只防止治疗机和屏蔽设备。	
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。	治疗室设置机械通风装置，排风机排风量为1000m ³ /h，本项目后装治疗机机房内净容积约为143m ³ ，通风换气次数超过4次/h。	符合
含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。	治疗室迷道出、入口处设置具有报警功能的固定式辐射剂量监测仪，显示单元设置在控制室内，对治疗机房剂量率水平进行实时监测。	符合
放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	治疗室采用迷路设计，并设置门机联锁，在治疗室门上设置声、光报警；治疗室内设置应急开关，按下急停开关应能使放射源自动返回贮源器，防护门通过红外探测器探测人员通过时，门不关闭，防挤压。	符合
医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志。 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	放疗区出入口及后装机房入口均粘贴有电离辐射警示标志。	符合
放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	后装机旁、入口门内旁侧和控制台均装有紧急停机开关，并有明显的标志，紧急情况下可快速停机。工作人员或患者很容易观察和触发。	符合
放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。	后装机控制台和机房门均设置紧急开关，工作人员或患者很容易观察和触发。	符合
控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	控制室与治疗室之间设置视频与对讲设施，未设置观察窗	符合
γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。	治疗室内配置储源容器、长柄镊子等应急设备。	符合

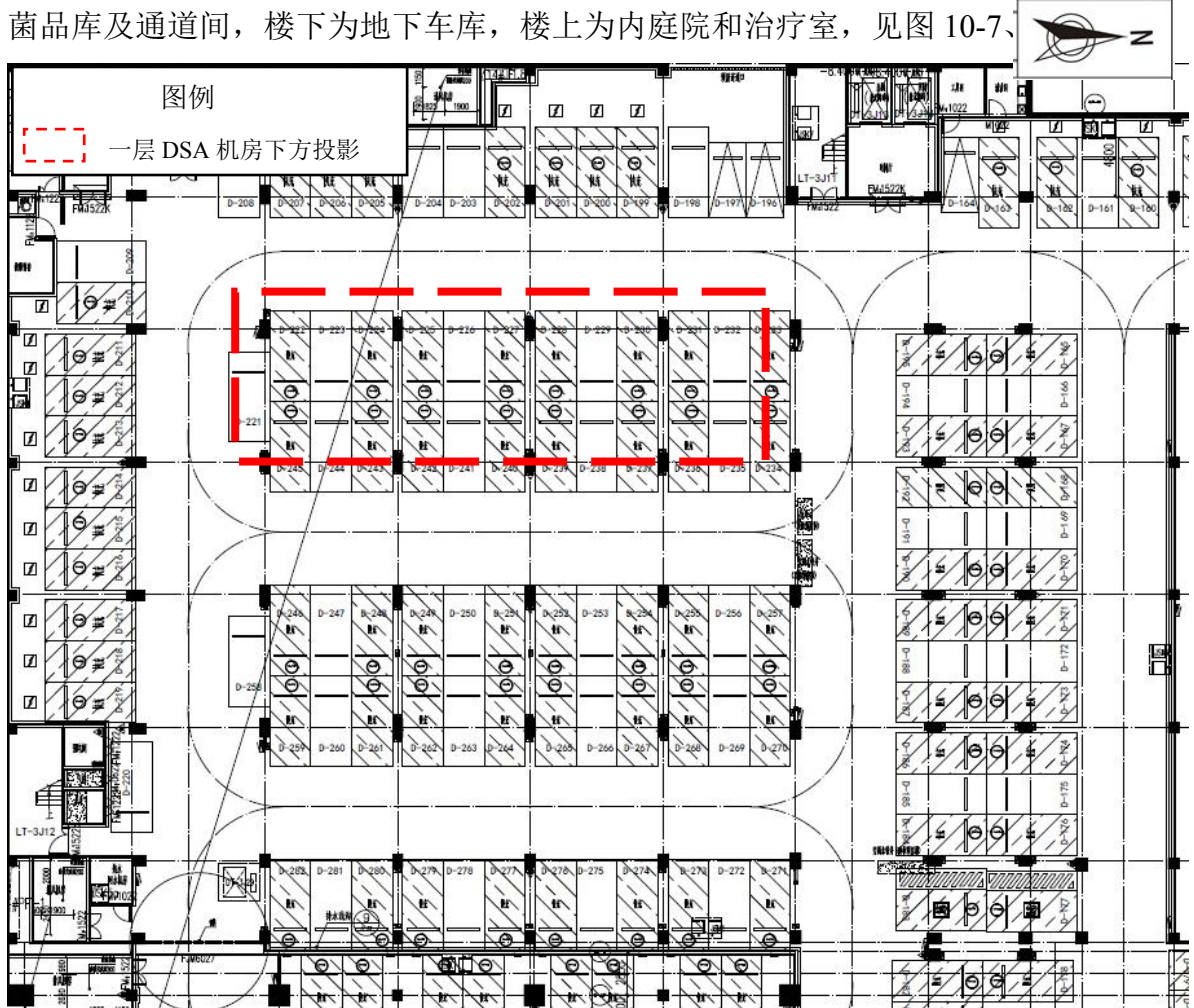
3 DSA 机辐射安全与防护

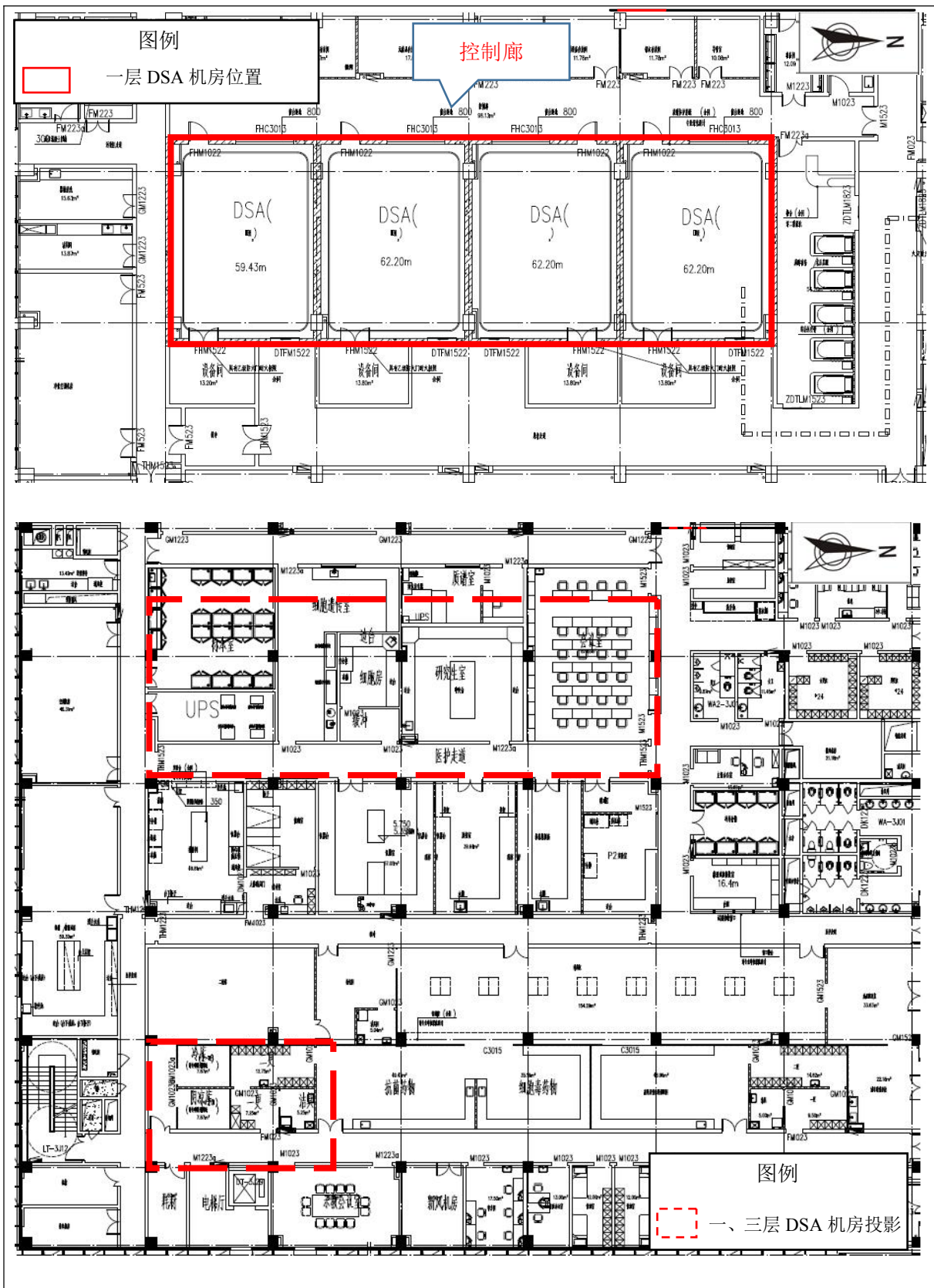
3.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目共6台DSA机，其中4台DSA机拟设置于医技楼一层A区，4台DSA分别在4间机房并排设置，西侧为控制廊，东侧均为设备间和准备间，北侧为麻醉准

备/术后苏醒间，南侧为过道，楼下为停车场，楼上均为细胞遗传室、研究生室、标本室、会议室、UPS 间和医护走道；1 台 DSA 机房位于医技楼三层 A 区 DSA 机房，DSA 机房间东侧为设备间，南侧为走廊，西侧为 DSA 控制室、洁净区走道，北侧为 MR 检查室，楼下为冷库、阴凉库和更衣室，楼上为防辐射手术库。1 台位于门诊楼一层急诊室，东侧为患者通道，南侧为通道和卫生间，西侧为控制室、设备间，北侧为无菌品库及通道间，楼下为地下车库，楼上为内庭院和治疗室，见图 10-7、





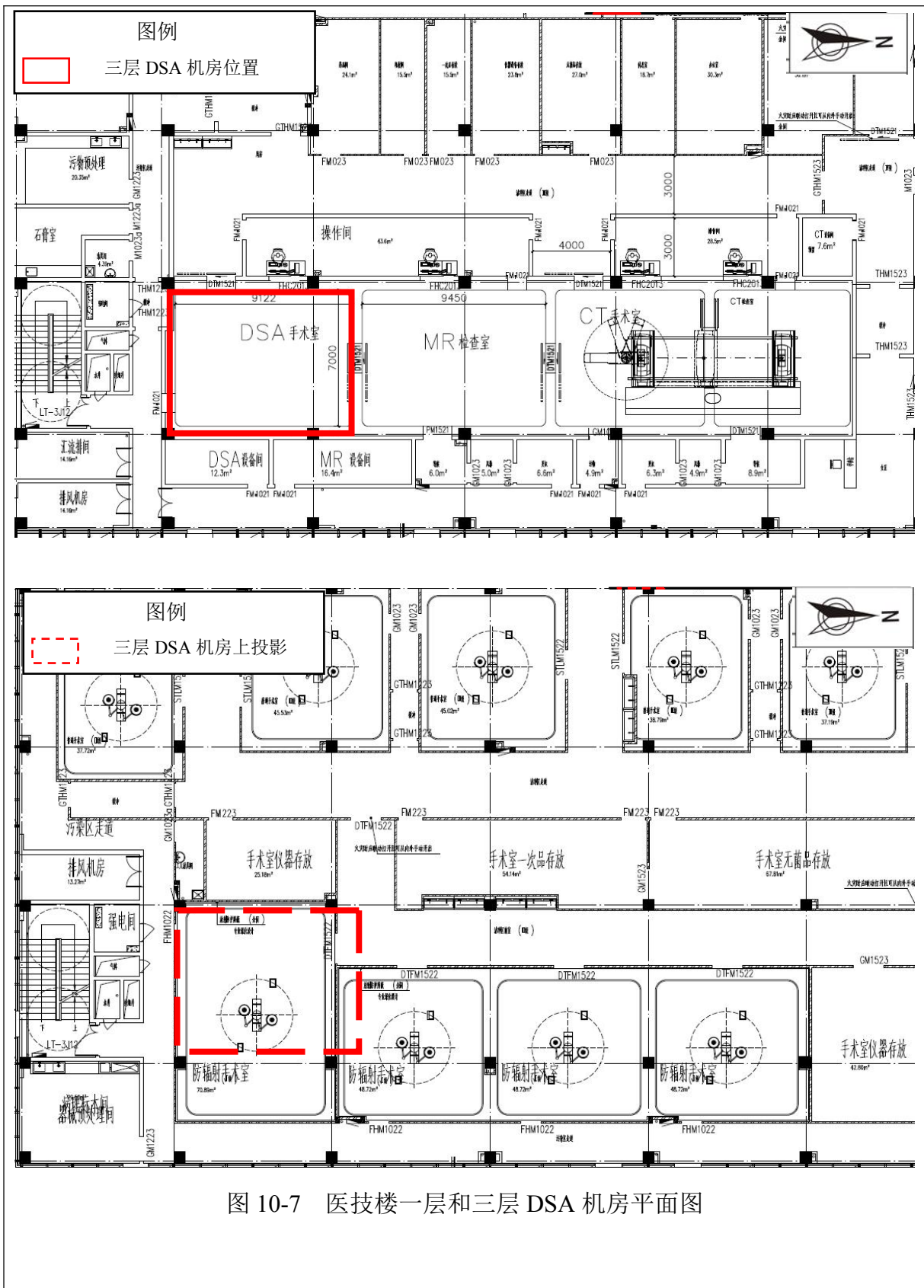
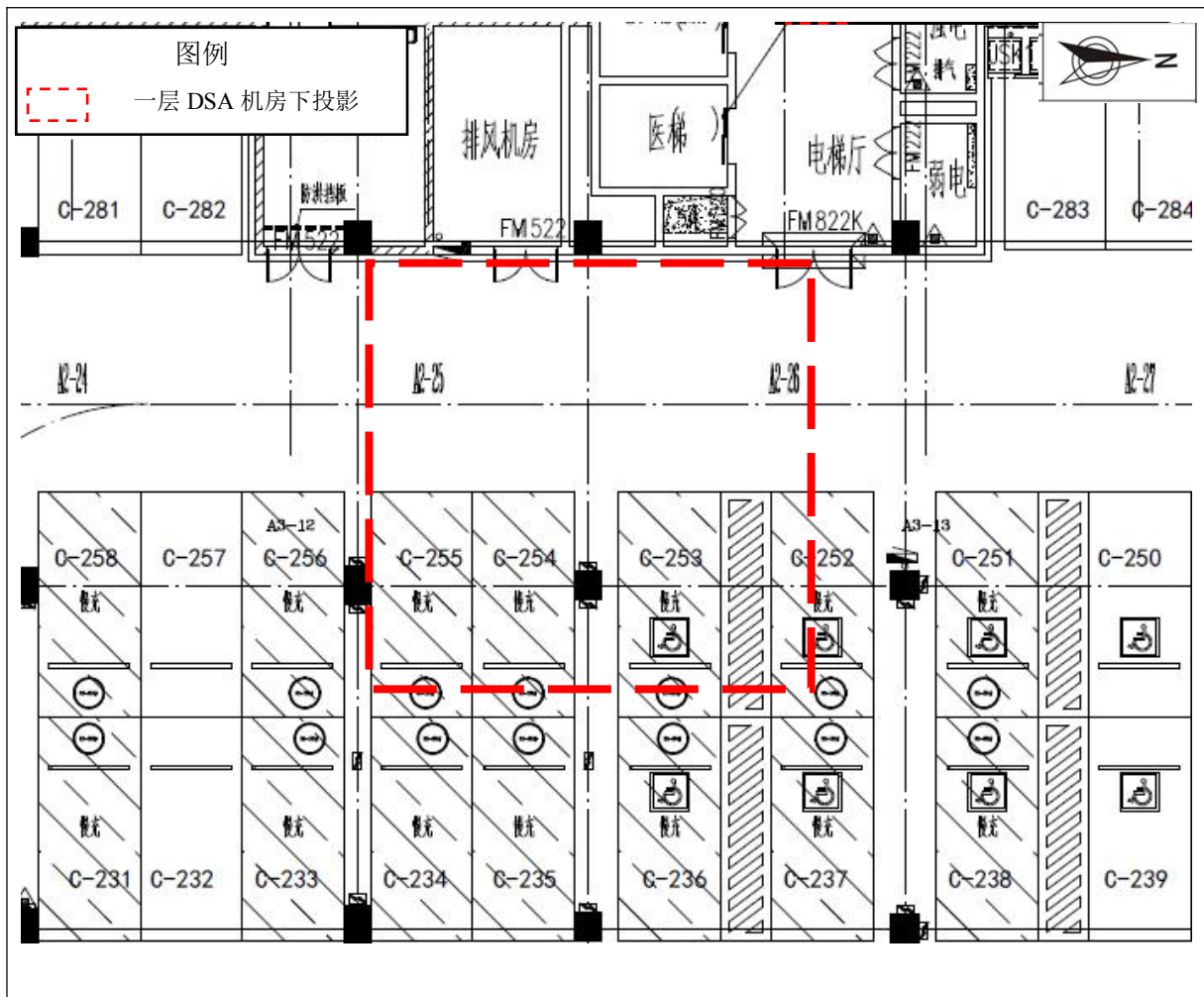


图 10-7 医技楼一层和三层 DSA 机房平面图



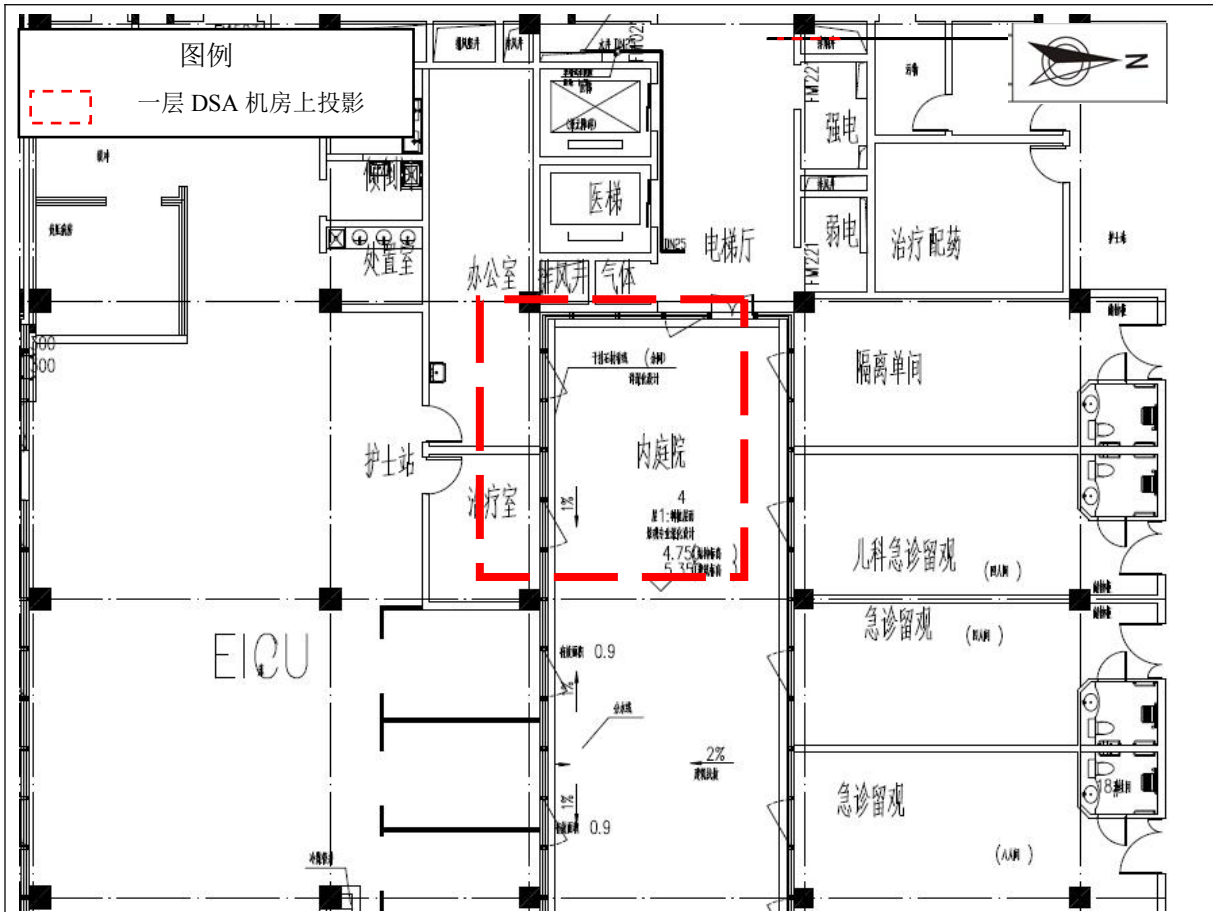


图 10-8 门诊楼一层 DSA 机房平面图

(2) 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求,将 DSA 机工作场所划分为控制区和监督区,其中 DSA 机房划为控制区,控制廊、设备间和准备间划为监督区,实行分区管理,避免人员误闯入或误照射。本项目 DSA 机房及周边用房分区图详见图 10-9、图 10-10、图 10-11。

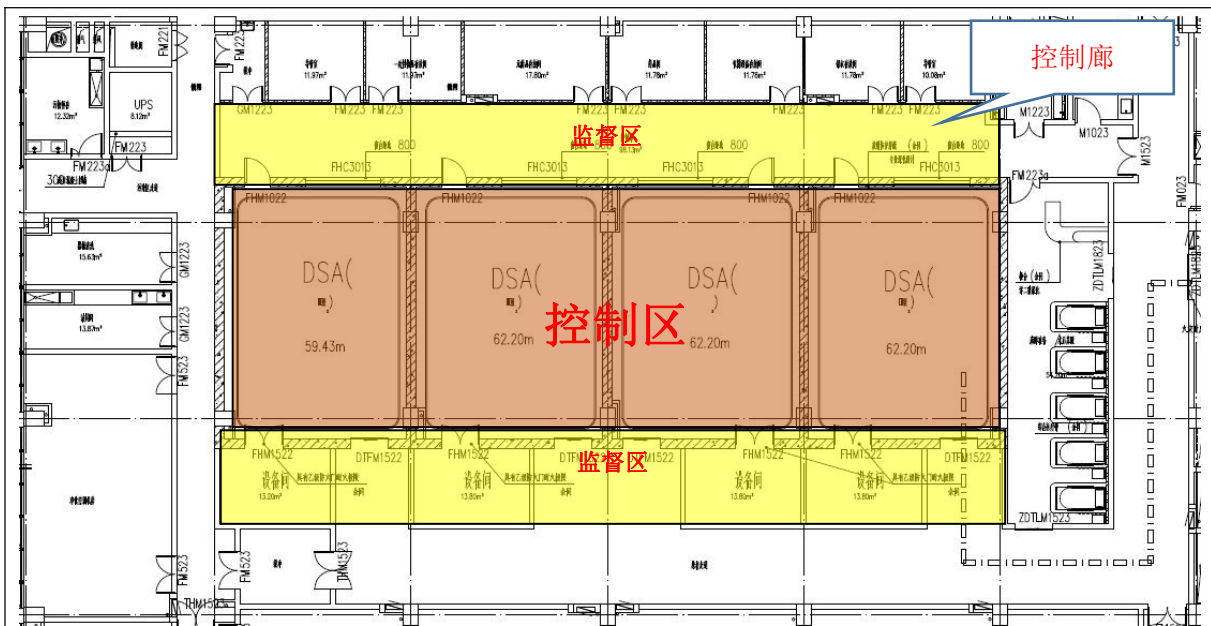


图 10-9 医技楼一层 DSA 机工作场所分区图

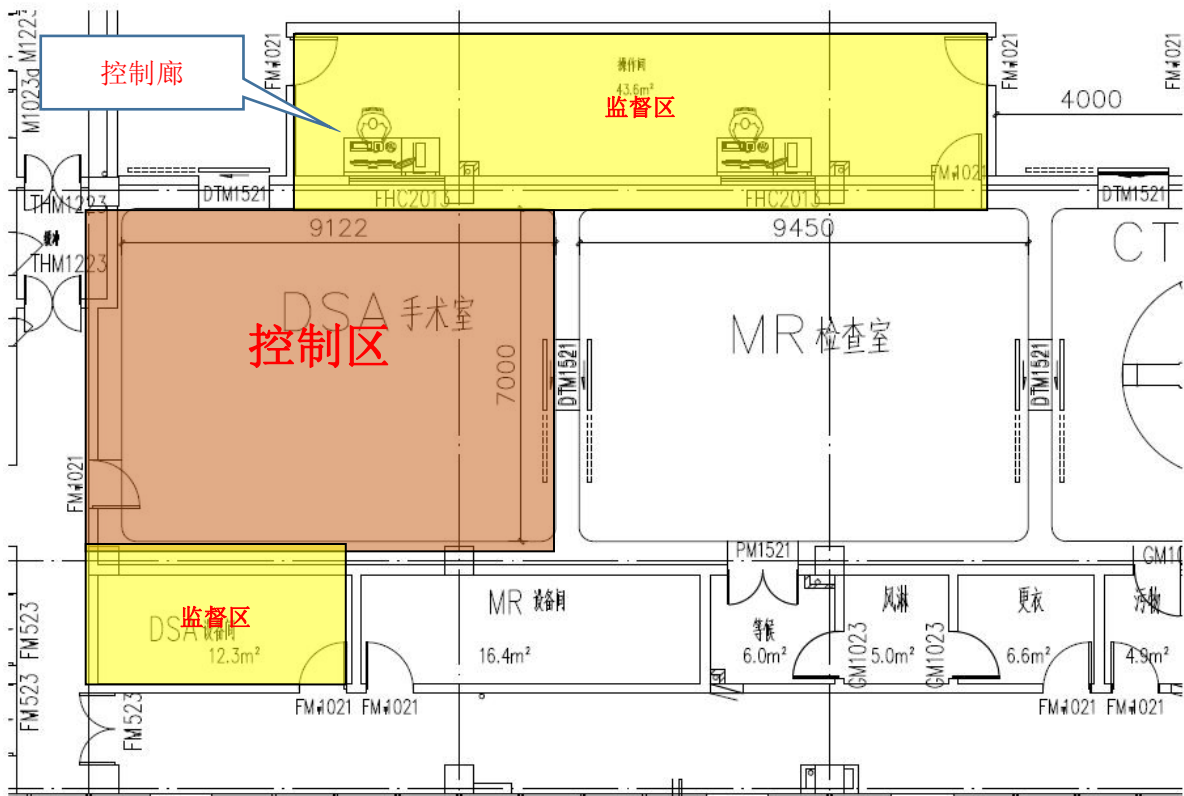


图 10-10 医技楼三层 DSA 机工作场所分区图

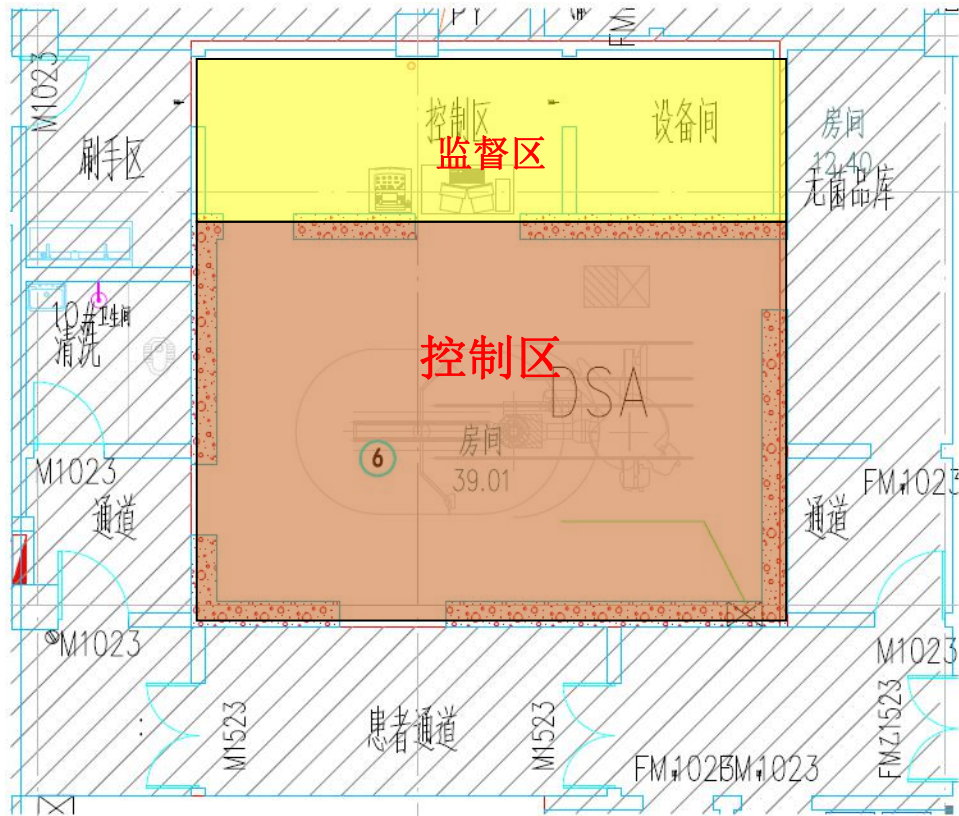


图 10-11 门诊楼一层 DSA 机工作场所分区图

3.2 工作场所辐射安全与防护设施

(1) 机房屏蔽防护措施

表 10-6 DSA 机房屏蔽设计参数一览表

机房名称	四周墙壁	顶棚	地板	防护门	观察窗	其他
DSA 机	240mm 实心砖墙+3mmpb 防护涂料	200mm 厚结构楼板+2mmpb 防护涂料	200mm 厚结构楼板+2mmpb 防护涂料	3.5 mmpb	3.5 mmpb	铅帽、铅围脖、移动铅屏风

(1) 机房连锁安全防护措施

受检者防护门均拟设置电动闭门装置，且工作状态指示灯与受检者防护门能有效联动。

(2) 警示标志

在防护门外张贴电离辐射警示标识。

(3) 人员防护措施

应在 DSA 机房开展介入手术的辐射工作人员配备足够数量的包裹式铅围裙及防护铅围脖、铅眼镜等防护用品。辐射剂量率监测系统

3.3 辐射安全与防护设施符合性分析

本项目 DSA 机房辐射防护措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10-7。

表 10-7 DSA 机房辐射安全与防护设施符合性分析

标准防护要求	本项目设计方案	符合性
单管头 X 射线机：机房内最小有效使用面积 20m ² ，机房内最小单边长度 3.5m。	一楼 1 号、2 号、3 号、4 号 DSA 机房面积分别为 59.43m ² 、62.20m ² 、62.20m ² 、62.20m ² ，最小单边长度均为为 7.8m。 三楼 DSA 机房面积为 63.85 m ² ，最小单边长度均为为 7.0m。。	符合
X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求： 介入 X 射线设备机房：有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	本项目 DSA 机房：四周墙体为 240mm 实心砖墙+3mmpb 防护涂料；顶板为 200mm 厚结构楼板+2mmpb 防护涂料；地板为 200mm 厚结构楼板+2mmpb 防护涂料；观察窗为 3mmPb 的铅玻璃，防护门为 3.5mmpb。	符合
在距机房屏蔽体外表面 30cm 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值不应大于 2.5μSv/h 的要求。	理论计算和类比分析结果表明，医院 DSA 机在正常运行使用条件下，机房周围剂量当量率均满足 2.5μSv/h 的控制目标值的要求。	符合
机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，保持良好的通风。	DSA 机房有用线束朝向上方，未直接照射门、窗和管线口位置，机房内设有通风装置。	符合
机房门外应有电离辐射标志，放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和机房防护门能有效联动。	DSA 机房门外拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；设置门灯联锁装置。	符合
患者和受检者：铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏。铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、阴影屏蔽器具。	拟配备铅衣，铅背心，铅帽，铅围脖件，铅眼镜，铅屏风。	符合

4 核医学工作场所辐射安全与防护

4.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

核医学科拟设置于地下室负一层中间区域。核医学科西侧与放射治疗中心相邻、南侧为医疗街、东侧为办公区域、北侧为过道、上方为医技楼一层 B 区放射科，下方

为地下岩土层，四周及楼上无妇科、儿科、食堂相邻。核医学工作场所从功能划分可分为 SPECT/CT、PET/CT 和 PET/MR 显像检查（包括医疗科研）、正电子药物制备、核素治疗等。

南侧为 PET/CT、PET/MR 检测区域。设有 PET/CT 候诊区、卫生通过间、PET 注射室、PET 注药后普通候诊室、PET 注药后 VIP 候诊室、PET/CT 机房、PET/CT 设备间、PET/MR 机房、MR 设备间、PET 控制廊、留观室、男沐浴更衣室、女沐浴更衣室、休息室、办公室、资料室、报告打印与装订片室。

中间是放射性药物制备工作场所。设有回旋加速器机房、合成热室、质控打包间、制药区洗污间、回旋加速器操作间、回旋加速器设备间、换鞋间、一更室、二更室、洁净走廊、更衣间、洁具室、灭菌室、全药物质控室、无菌检测室、阳性对照室。

北侧为医疗科研区域。设有卫浴间、小动物 PET/MR 室、动物解剖及标本分析室、放射性测量室、化学合成室、动物房、小动物 SPECT/CT 室、控制室、实验试剂储存间、净化机房、细胞培养室、药物临床研究室等。

东侧为 SPECT/CT 检测区域

东侧为 SPECT/CT 检查区域。设有卫生通过间、储源室、备用间、肺通气试验室、心肌负荷试验室、注药后普通候诊室、高活性室、洗消室、注射准备间、注射室、废药室、注药后 VIP 候诊室、SPECT/CT 机房、留观室、患者通道、缓冲间、换鞋间、一更室、二更室、控制廊。

西侧为核素治疗工作区域。设有候诊厅、接诊室、配餐间、护士站、值班室、敷贴治疗室、甲功测定室、抽血室、被服室（净）、卫生通过间、抢救室、给药室、治疗室、分碘室、服碘室、患者通道、核素治疗普通病房（每间 2 个床位，共计 12 床位）、核素治疗 VIP 病房（每间 1 个床位，共计 5 床位）、污洗间、被服（污）等。

（2）工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，将核医学科工作场所划分为控制区和监督区，各医学功能场所分区见表 10.7。

表 10-8 核医学工作场所辐射分区表

功能区域	场所分区类别	分区房间
PET-CT/PET-MR 区	控制区	卫生通过间、缓冲（注射准备室）、PET 注射室、PET 注药后普通候诊室、PET 注药后 VIP 候诊室、PET/CT 机房、PET/MR 机房、留观室、患者通道。
	监督区	控制廊、设备间、女更衣淋浴室、男更衣淋浴室、

		休息室、办公室、资料室、报告打印室。
SPECT/CT 区	控制区	卫生通过间、储源室、备用间、肺通气试验室、心肌负荷试验室、注药后普通候诊室、高活性室、洗消室、注射准备间、注射室、废药室、注药后VIP候诊室、SPECT/CT 机房、留观室、患者通道。
	监督区	缓冲间、换鞋间、一更室、二更室、控制廊。
放射性药物制备区	控制区	回旋加速器机房、合成热室、质控打包间、制药区洗污间。
	监督区	回旋加速器操作间、回旋加速器设备间、换鞋间、一更室、二更室、洁净走廊、更衣间、洁具室、灭菌室、全药物质控室、无菌检测室、阳性对照室。
医疗科研区	控制区	小动物 PET/MR 室、小动物 SPECT/CT 室、化学合成室。
	监督区	控制室、走道、动物房、净化机房、厕浴室、细胞培养室、实验试剂储存室。药物临床试验研究室。
核素治疗区	控制区	卫生通过间、抢救室、分碘室、给药室、服碘室、治疗室、甲亢治疗休息室、甲癌普通病房、甲癌VIP病房、洗污间、被服间（污）、患者通道。
	监督区	配餐间、配电间、排风机房、电梯井、患者离开通道。

(3) 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的规定，非密封放射性物质工作场所的分级见表 10-9。

表 10-9 非密封源工作场所的分级要求

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 $\sim 2 \times 10^7$

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 10-10 和表 10-11，放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

表 10-10 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 10-11 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、溶剂、 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

根据日等效操作量计算公式（日最大等效操作活度=（日最大操作活度 X 核素毒性修正因子）/操作方式与放射源修正因子）计算，本次评价拟新增核素日等效最大操作量计算结果见表 10-12。经计算，本项目辐射工作场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 10-12 本项目非密封放射性物质工作场所分级

序号	场所区域	核素名称	实际日最大操作 量 (Bq)	毒性组别 修正因子	操作方式 与放射源 状态修正 因子	日等效最 大操作量 (Bq)	总有效最 大操作量 (Bq)
1	核医学 场所	F-18	1.11E+10	0.01	1	1.11E+08	2.99E+09
2		Tc-99m	2.96E+10	0.01	1	2.96E+08	
3		I-131	1.67E+10	0.1	1	1.67E+09	
4		Lu-177	5.55E+09	0.1	1	5.55E+08	
5		Re-188	1.85E+09	0.1	1	1.85E+08	
6		Ga-68	5.55E+09	0.01	1	5.55E+07	
7		Zr-89	7.40E+08	0.1	1	7.40E+07	
8		Cu-64	7.40E+08	0.01	1	7.40E+06	
9		C-11	1.85E+09	0.01	1	1.85E+07	
10		Sr-89	1.48E+08	0.1	1	1.48E+07	
11		I-125	5.00E+05	0.1	1	5.00E+04	
12		Ra-223	7.40E+06	0.1	1	7.40E+05	

(4) 工作场所分类

非密封放射源工作场所除了按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的进行分级管理外，还需要遵守《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求进行分类管理，不同类别的核医学工作场所用房室内表面及装备需满足标准要求。本项目核医学场所使用核素见表 3，《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 计算核医学工作场所的核素加权活度为 2.47E+12Bq，属于 I 类工作场所。该项目核医学场所按

照 I 类场所标准要求进行场所装修，地面采用花岗岩地板，易于清洁、去污，前面采用无机环保饰板、无机防霉涂料等易去污墙面，I-131、Tc-99m、F-18 等放射性药物进行分装、质控工作场所配有通风厨，核医学场所所有设置有单独的通风系统，排往环境前采取了过滤净化措施，场所内的配置污染检测设备及去污设备，放射性废液管道均采用铅板包裹，排往衰变池衰变，满足排放标准后排往市政污水管道。

表 10-13 核医学工作场所分类一览表

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

表 10-14 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

项目	分类		
	I	II	III
地面	地板与墙壁 接缝无缝隙	易清洗 且不易渗透	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
通风橱	需要	需要	不必
室内通风	应设抽风机	有较好通风	一般自然通风
管道	特殊要求	一般要求	一般要求
管道及去污设备	需要	需要	只需清洗设备

说明：1、通风厨项目要求针对实验室。

表 10-15 核医学工作场所分类计算结果

序号	工作区域	核素名称	实际日最大操作量 (Bq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)
1	核医学场所	F-18	1.11E+10	1	1	1.11E+10	2.47E+12
2		Tc-99m	2.96E+10	1	1	2.96E+10	
3		I-131	1.67E+10	100	1	1.67E+12	
4		Lu-177	5.55E+09	100	1	5.55E+11	
5		Re-188	1.85E+09	100	1	1.85E+11	
6		Ga-68	5.55E+09	1	1	5.55E+09	
7		Zr-89	7.40E+08	1	1	7.40E+08	
8		Cu-64	7.40E+08	1	1	7.40E+08	
9		C-11	1.85E+09	0.01	1	1.85E+07	
10		Sr-89	1.48E+08	100	1	1.48E+10	
11		I-125	5.00E+05	0.01	1	5.00E+03	
12		Ra-223	7.40E+06	1	1	7.40E+06	

(5) 人流、物流分流

1) 医务人员与患者分流

核医学科设置医患双通道，将核医学场所按医学功能分为 PET-CT/PET-MR 区、SPECT/CT 区、放射性药物制备区、核医学科研区、核素治疗区五大功能区，分布在不同方位，将各功能区房间布置在一起，使不同检测、治疗需求的患者进行地理隔离，并便于后续检测、治疗流程优化。在同一功能区的工作人员和患者，分别设计了患者就检查、治疗路线和工作人员工作路线，使二者尽量在时间和空间上分开，避免患者对工作人员造成额外放射性照射。对于各功能房间设置，也根据患者的治疗流程按直线式方式布置功能房间，避免了注射放射性药物的患者走回头路，或与未注射放射性药物的患者存在路线交叉，从而避免了注射放射性药物患者对未注射放射性药物患者的额外放射性照射，具体见图 10-12。

2) 人员与放射性物质分流

核医学场所配置有回旋加速器和钼-99m 发生器分别生产放射性核素 F-18、C-11 和 Tc-99m，用于 PET-CT/PET-MR、SPECT/CT 检查使用。回旋加速器间生产的 F-18，经热室进行在药物合成，在质控打包间进行质控打包后，送至 PET 注射间或源库，用于患者注射。钼-99m 发生器室生产出 Tc-99m 后，在药物分装室进行分装后，拿到注射准备室，通过注射准备室的注射窗口给患者注射或口服。除了 F-18、C-11 和 Tc-99m 以外，其他医疗和科研用到的放射性核素均通过外购获得。PET-CT/PET-MR 区、SPECT/CT 区医疗和核医学科研区用到的放射性核素通过尽量短的路径，并避开检查、治疗时间，在制药区生产的放射性药物和外购的放射性药物在工作人员上班前准备好，运送到化学合成室、PET 注射室、源室、分碘室等指定房间，使放射性药物与工作人员和患者在空间和时间上分开。在 PET-CT/PET-MR 区、SPECT/CT 区和核素治疗区的出口和入口均设置单向门禁，禁止逆向通行。

F-18、C-11 和 Tc-99m 生产过程中会产生放射性废物，在生产点设置废物收集点，应在避开工作人员时间段通过医护通道运输到制药区放射性废物储存间，在时间上分开，避免与工作人员进行接触，见图 10-12。

3) 通风系统

根据《核医学放射防护要求》要求，核医学科设置多套通风系统，通风系统独立设置，每个房间均有单独的送气、排气口，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量，核医学科通风图见 10-13。I-131、F-18 和 Tc-99m 的分装在分装厨中进行，设计通风橱通风速率不小于 1m/s，排气口高度应高于本建筑

屋脊，并酌情设置活性炭过滤装置或其它专用过滤装置，排出放射性气体浓度不超过有关法规标准规定的限值。核素治疗工作场所设计 1 套独立的送风系统和 1 套独立的排风系统。该区域的所有房间共用一套送风、排风系统（排风系统还兼具制药区放射性废物储存室的排风），送风系统拟从医疗科研区域西北角的进风机房送入，排风系统拟排至配餐间西侧的排风井内。在分碘室、注射室、合成热室、化学合成室等房间的通风系统应比周围房间的更低的负压，避免这几个重点区域的空气向四周扩散。



图 10-12 核医学科放射性工作区域平面布局及分区图

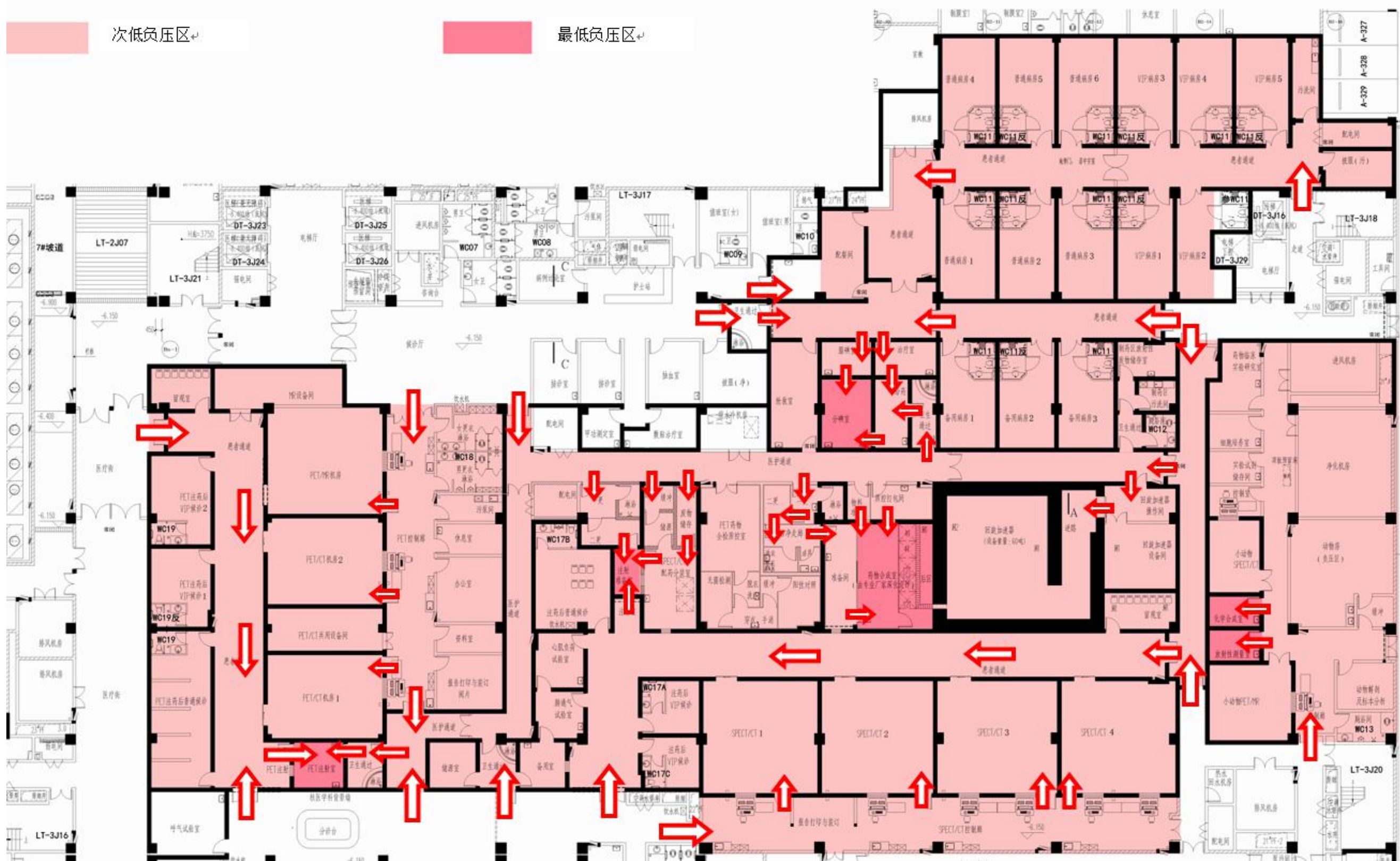


图 10-13 核医学区通风气流图（各房间均保持负压）

4.2 工作场所辐射安全与防护

(1) 屏蔽防护措施

核医学工作场所各医学功能区的墙体、门、窗屏蔽参数见表 10-12。其中，屋顶顶棚防护设施为 200mm 厚结构楼板和 800mm 覆土。核医学科中病人注射或服用放射性药物后，代谢产生废水具有放射性，注射后等候区、扫描后等候区、留观室、甲癌病房卫生间等排水管道需做辐射防护处理。放射性污水排水管为塑料管，采用铅板包裹，铅板包裹厚度为 4mmpb，包裹位置从洗手间排水管到衰变池。

表 10-16 核医学工作场所屏蔽设计参数一览表

序号	区域	房间名称	防护措施
1	PET/MR、 PET/CT 区	卫生通过间、缓冲（注射准备室）	防护门：6mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料
2		PET 注射室、患者通道、PET 注射后普通候诊室、注射后 VIP 候诊室、留观室。	防护门：8mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂料
3		PET/MR 机房、PET/CT 机房	电动推拉门：8mmpb 屏蔽铅玻璃观察窗：8mmpb。 墙体：300mm 混凝土+5mmpb 防护涂料
4	SPECT/CT 区	卫生通过间、储源室、备用间、肺通气试验室、心肌负荷试验室、注药后普通候诊室、注射准备间、注射室、废药室、注药后 VIP 候诊室、SPECT/CT 机房、留观室、患者通道。	防护门：6mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料
5		SPECT/CT 机房	防护门：6mmpb 铅玻璃观察窗：6mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料
6	放射性药物制备区	回旋加速器室	防护门：18mmpb+50mm 含硼聚乙烯板 墙体：1000mm 厚混凝土
7		质控打包间、合成热室	防护门：8mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂料
8			
9		高活性室、洗消室、缓冲室	防护门：6mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料
10		卫生通过、卫浴、制药区洗污间、废物储存间	防护门：6mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料
11	医疗科研区	小动物 PET/MR 室、小动物 SPECT/CT 室	防护门：8mmpb 屏蔽铅玻璃观察窗：8mmpb。

			墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂料
12		化学合成室	防护门：6mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料
13	核素治疗区	卫生通过间、抢救室、治疗区病患通道（服碘室、治疗室外侧）	防护门：12mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+8mmpb 防护涂料
14		给药室、分碘室、治疗室、服碘室、核素治疗休息室	防护门：15mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+10mmpb 防护涂料
15		核素治疗病房、核素治疗 VIP 病房、污洗间、被服间（污）	防护门：15mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+12mmpb 防护涂料
16		病房区患者走道	防护门：12mmpb 墙体：300mm 厚混凝土+12mmpb 防护涂料

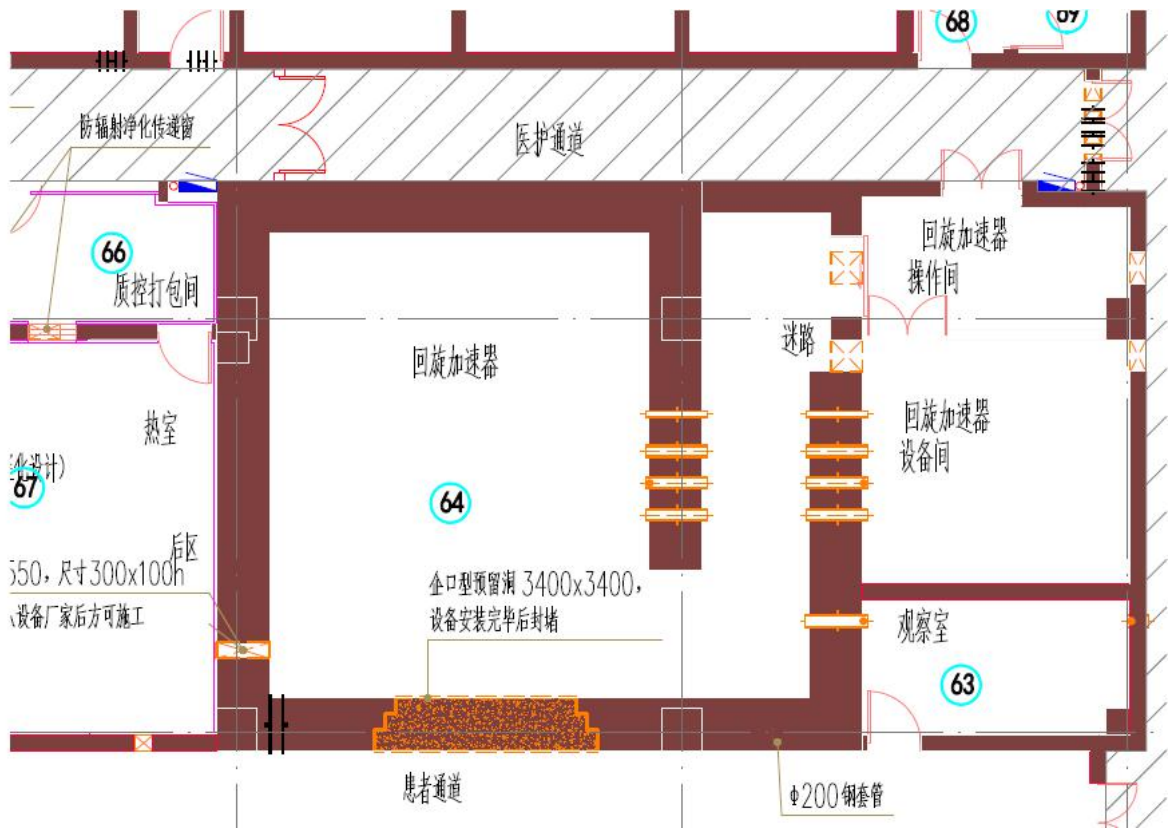


图 10-14 回旋加速器平面布局图

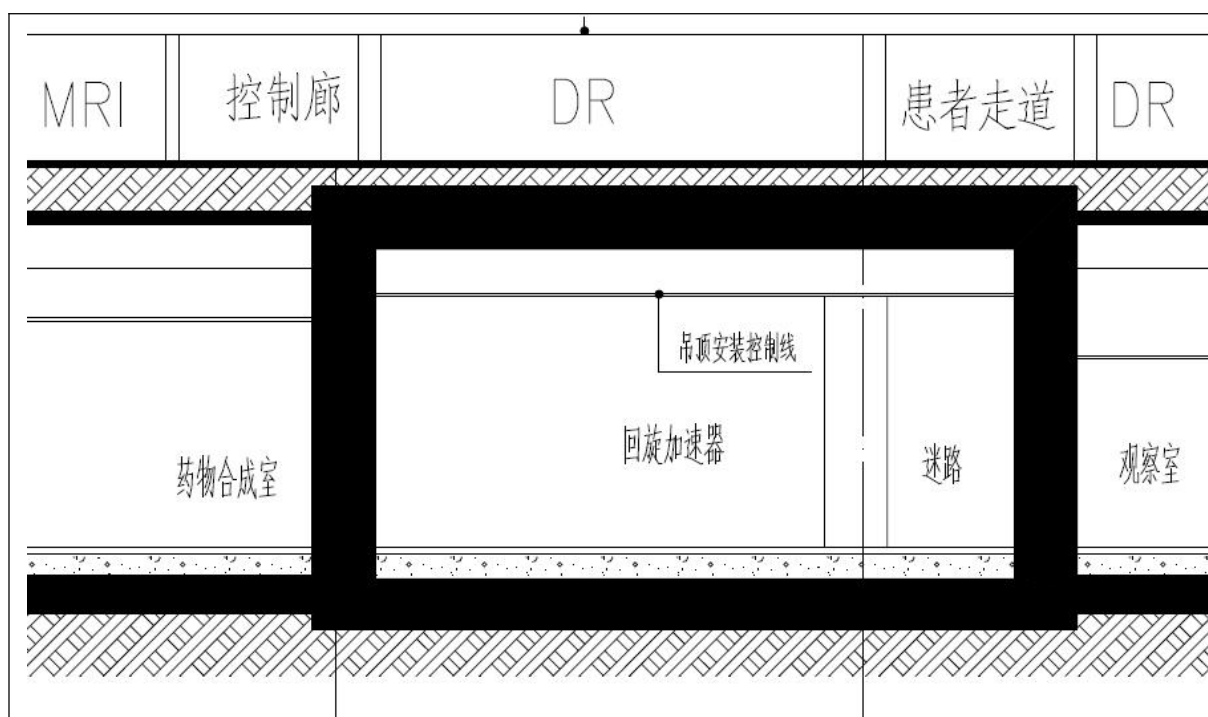


图 10-15 回旋加速器剖面图

(2) 回旋加速器防护措施

- 1) 回旋加速器机房外防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警示标志，提醒工作人员和患者注意辐射安全。
- 2) 回旋加速器机房内、药物制备室安装固定式剂量率报警仪。
- 3) 回旋加速器机房设置门机联锁装置，机房内拟设置紧急停机开关和紧急开门按键。
- 4) 回旋加速器机房内装备应急对外通讯设施，方便与外界沟通。

(3) 辐射防护标识

各相关放射工作用房如放射性药物储源、分装、标记、注射、候诊、PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房等工作场所均拟设置电离辐射警示标志，提醒工作人员和患者注意辐射安全。

PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房入口设置工作指示灯，提醒机房工作状态。

核医学场所内各功能区设置有患者检查流程路线导向标识和医护人员路线导向标识。

(4) 视频监控和对讲系统系统

PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房、候诊室、病房、留观室设置对讲装置，医务人员可通过对讲装置与患者远程沟通。

（5）废物收集

核医学工作区设置放射性废物收集桶和放射性废物暂存区。在注射室、注射后病人候诊室、给药室、制药区、高活性区、合成热室、质控室应设置带放射性屏蔽的放射性废物收集桶。放射性废物收集桶和放射性废物暂存区均粘贴电离辐射标识。

放射性废物根据来源、种类、放射性水平进行分类收集，放射性较高的废物暂存于制药区放射性废物储存间，放射性较低的放射性废物，放置于指定房间。

（6）个人防护及去污

核医学场所卫生通过间、更衣间以及 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房配备足够的个人辐射防护用品，例如铅衣、纸衣、乳胶手套等。根据实际需要，在 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房、注射室、甲癌病房等场所应设置辅助用品，例如移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等。工作人员在进行 F-18 和 Tc-99m 放射性药物注射室，应穿戴铅衣，使用带铅屏蔽套的注射器进行注射工作。甲癌病房两个病床之间应使用铅屏风进行屏蔽，减少患者照射。

在各卫生通过间配置足够的去污用品，在工作人员检测污染时，及时进行去污。

工作人员进入放射工作场所需更换服装，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套等相应的个人防护用品，并佩戴个人剂量计。

在注射室等场所设置工作人员专用洗手台盆，用于工作人员清洗。

对于甲癌患者，I-131 治疗完成后，由于体内仍残留部分放射性 I-131，医院应向患者出具出院后的辐射防护书面指导说明，明确辐射防护注意事项。例如避免和小孩和孕妇接触，尽量与其他人员距离一定距离沟通，出院后一段时间注意避孕等。

（7）通风系统

核医学科设置多套通风系统，通风系统独立设置，每个房间均有单独的送气、排气口，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。在分碘室、注射室、合成热室、化学合成室等房间的通风系统应比周围房间的更低的负压，避免这几个重点区域的空气向四周扩散。

I-131、Tc-99m、F-18 等放射性药物进行分装、标记时拟在不同的通风橱内进行，通风橱通风速率应大于 1m/s。I-131 通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。通风设施出入口处应设置电离辐射警告标志。

（8）放射性管道辐射屏蔽

核医学场所放射性核素制备区、PET/MR、PET/CT、SPECT/CT 的注射后候诊室病人专用卫生间以及核素治疗病房、治疗污洗间、制药区污洗间、卫浴间等场所会产生放射性废液，这些位置均有废液接收装置，接收后通过放射性废物排放管道排往衰变池，放射性污水管道外表面包裹有铅屏蔽并进行标记。

（9）辐射污染控制

除注射、给药外其余涉及放射性药物的所有操作均应在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。

在钼铯发生器和回旋加速器核素生产分装区域设置卫生通过区域，工作人员进入需进行辐射污染检查；在碘分装区域、PET 注射区域、储源室设置卫生通过间，工作人员进出工作时，需进行辐射污染测量。

（10）辐射水平测量

核医学工作场所应定期进行辐射水平测量和表面污染测量，发现污染时及时去污。

（11）核素治疗患者限制活动区

核素治疗的住院患者设置有专门的甲癌病房活动区，病房入口设置有缓冲区，并设置方向入口门，甲癌患者住院期间限定在甲癌病房活动区活动。

（1）核素治疗患者病房防护

1-131 患者在核医学区设置专门的病房，每个病房不超过 2 个床位，床位之间采用铅屏风进行屏蔽，每个房间设置对讲和视频监控设备，每个病房设置专门的厕所和淋浴间，病房产生的放射性废液通过专门的放射性废物收集管线排往衰变池。

4.3 辐射安全与防护设施符合性分析

本项目核医学工作场所辐射防护措施与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10-17。

表 10-17 核医学工作场所辐射安全与防护设施符合性分析

标准防护要求	本项目设计方案	符合性
在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；	本项目 I-131、Tc-99m、8F-18 等放射性药物进行分装、标记时拟在不同的通风橱内进行，通风橱通风速率应大于 1m/s。通风橱排风管道设置有活性炭过滤装置，使排放气体满足标准要求。	符合
在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。	本项目有 10 个衰变池，包含 2 个事故衰变池，核医学工作场所的放射性废水通	符合

	过放射性废液排放管道排往衰变池，经过若干半衰期满足排放标准后，排往市政污水管道。	
核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所	本项目核医学科分为 PET/CT、PET/MR 检查区域、SPECT/CT 检查区、药物制备工作区、核素治疗区。	符合
核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。	本项目核医学科根据放射性风险情况进行控制区和监督分区划分。	符合
通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。	本项目核医学科设置医患双通道，将核医学场所按医学功能分为 PET-CT/PET-MR 区、SPECT/CT 区、放射性药物制备区、核医学科研区、核素治疗区五大功能区，分布在不同方位，将各功能区房间布置在一起，使不同检测、治疗需求的患者进行地理隔离，并便于后续检测、治疗流程优化。在同一功能区的工作人员和患者，分别设计了患者就检查、治疗路线和工作人员工作路线，使二者尽量在时间和空间上分开，避免患者对工作人员造成额外放射性照射。	符合
核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。	本项目辐射工作场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。	符合
应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。	本项目核医学场所为 I 类工作场所。	符合
核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。	本项目核医学科设置多套通风系统，通风系统独立设置，每个房间均有单独的送气、排气口，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。I-131、F-18 和 Tc-99m 的分装在分装厨中进行，设计通风橱通风速率不小于 1m/s，排气口高度应高于本建筑屋脊	符合
分装药物操作宜采用自动分装方式，I-131 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。	本项目分碘室内的 I-131 采用自动分装方式进行分装。	符合
控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	本项目核医学工作场所的出入口处粘贴电离辐射警示标识。	符合
核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	本项目场所中粘贴患者路线导向标识。	符合
给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应配备应急对外通讯设施。	本项目回旋加速器机房内装备应急对外通讯设施。PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房、候诊室、病房、留观室设置对讲装置，医务人员可通过对讲装置与患者远程沟通。	符合
扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	本项目各相关放射工作用房如放射性药物储源、分装、标记、注射、候诊、PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房等	符合

	工作场所均拟设置电离辐射警示标志，提醒工作人员和患者注意辐射安全。	
开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品，其数量应满足开展工作需要。	本项目核医学场所卫生通过间、更衣间以及 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房配备足够的个人辐射防护用品，例如铅衣、纸衣、乳胶手套等。在 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房、注射室、甲癌病房等场所应设置辅助用品。	符合
放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。	本项目放射性废物根据来源、种类、放射性水平进行分类收集，放射性较高的废物暂存于制药区放射性废物储存间，放射性较低的放射性废物，放置于指定房间。	符合
供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。	本项目本项目废物收集桶均有铅屏蔽，并粘贴电离辐射标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置均放置污物桶。	符合
核素治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。	本项目核素治疗区为单独的场所，甲癌病房区有缓冲区，甲癌患者日常被限定在甲癌病房区内活动。	符合
核素治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	本项目核素治疗工作场所设计 1 套独立的送风系统和 1 套独立的排风系统。该区域的所有房间共用一套送风、排风系统（排风系统还兼具制药区放射性废物储存室的排风），送风系统拟从医疗科研区域西北角的进风机房送入，排风系统拟排至配餐间西侧的排风井内。	符合
核素治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。	本项目核医学场所放射性核素制备区、PET/MR、PET/CT、SPECT/CT 的注射后候诊室病人专用卫生间以及核素治疗病房、治疗污洗间、制药区污洗间、卫浴间等场所会产生放射性废液，这些位置均有废液接收装置，接收后通过放射性废物排放管道排往衰变池，放射性污水管道外表面包裹有铅屏蔽层。	符合
病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。	本项目核素治疗区病房均单独配置厕所和淋浴间，并有冲洗和洗手提示说明。	符合
分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 I-131 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	本项目分装室与给药室之间通过窗口传递，方便快捷。给药过程医务人员视频指导。工作人员卫生通过去配有辐射防护用品，污染监测仪表和去污设施。	符合
施用了 I-131 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。	本项目 I-131 治疗有专门的病房，最多 2 人一间，床体之间用铅屏风进行屏蔽。	符合
病房中应配备对讲、监控等设施。	本项目核素治病房配置有视屏对讲和监控系统。	符合
三废的治理：		

5 核技术项目三废治理

5.1 直线加速器三废治理

(1) 废气

本项目医用直线加速器运行过程中会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，故治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

医用电子直线加速器运行过程中，射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目3间加速器机房均拟设计采用机械通风，机房体积最大约为340m³。3间加速器机房新风管道和排风管道均从防护门上方以45°角穿过防护门上方墙体进入加速器机房，送风口布置在机房的装饰天花板上，新风风量为2100m³/h，排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地30cm，排风风量为2100m³/h（通风换气为6.1次/h），符合相关的标准要求。

(2) 固废

本项目医用直线加速器靶、辅助过滤器等部件，可能带有感生放射性核素，以短半衰期核素为主，一般在停机半小时后机房内的周围剂量当量率就接近本底水平，因此，医院报废的加速器先在环保和卫生行政管理部门注销后即可作为废品回收。

(3) 废水

本项目直线加速器能量大于10MV时，冷却水会有微量的感生放射性。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是O-15和N-13，半衰期分别为2.1min和7.3s，只需静置一段时间后活度就衰弱到可忽略水平。另外，加速器靶头冷却水封闭循环，不外排，不会对周围环境产生影响。

5.2 后装治疗机三废治理

(1) 废气

后装治疗机机房内的空气受到γ射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，后装治疗机治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。本项目后装治疗机机房内设有送排风系统，排风机排风量为800m³/h，后装治疗机机房内有效容积（包含迷道体积）为123m³，能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

(2) 放射性固废

放射源使用到一定时间无法满足治疗要求，需进行退役处理，返回设备厂家或送

交专业资质单位处置。

5.3 DSA 机三废治理

DSA 机在运行状态下产生少量的臭氧和氮氧化物，无放射性废气、废水和固体废弃物产生。臭氧及氮氧化物气体对人体健康有害，只需通过动力排风，进行通风换气。

5.4 核医学场区三废治理

（1） 废气

核医学制药区采用独立的直膨式净化空调系统，送风量为 12 次/h，新风量为 3 次/h，气流组织为送风口均匀上送，双层百叶上回。PET/MR 设备用房、回旋加速器采用恒温恒湿空调，送风量为 6 次/h，新风量位次 3/h。核医学制药区、PET/MR 设备用房、回旋加速器采用变制冷剂流量多联式空调系统和全新风系统组合。排风管道中均安装有过滤净化装置，对放射性物质进行吸附、过滤，以满足排放标准。

（2） 废液

核医学场所放射性核素制备区、PET/MR、PET/CT、SPECT/CT 的注射后候诊室病人专用卫生间以及核素治疗病房、核素治疗污洗间、制药区污洗间、厕浴间等场所会产生放射性废液，这些位置均有废液接收装置，接收后通过放射性废物排放管道排往衰变池，放射性污水管道外表面有屏蔽层，放射性废液在衰变池衰变到满足国家标准后，排往市政污水管道。

（3） 固废

核医学场所放射性固体废物来源主要包括制药区过程中以及制药设备维修产生放射性废物，医疗放射性药物注射器、针管、一次性手套，通风管道中活性炭过滤器以及污染的放射性固体物品。将这些放射性废物根据来源、种类、放射性水平进行分类收集，放射性较高的废物暂存于制药区放射性废物储存间，放射性较低的放射性废物，放置于指定房间。

表 11 环境影响分析

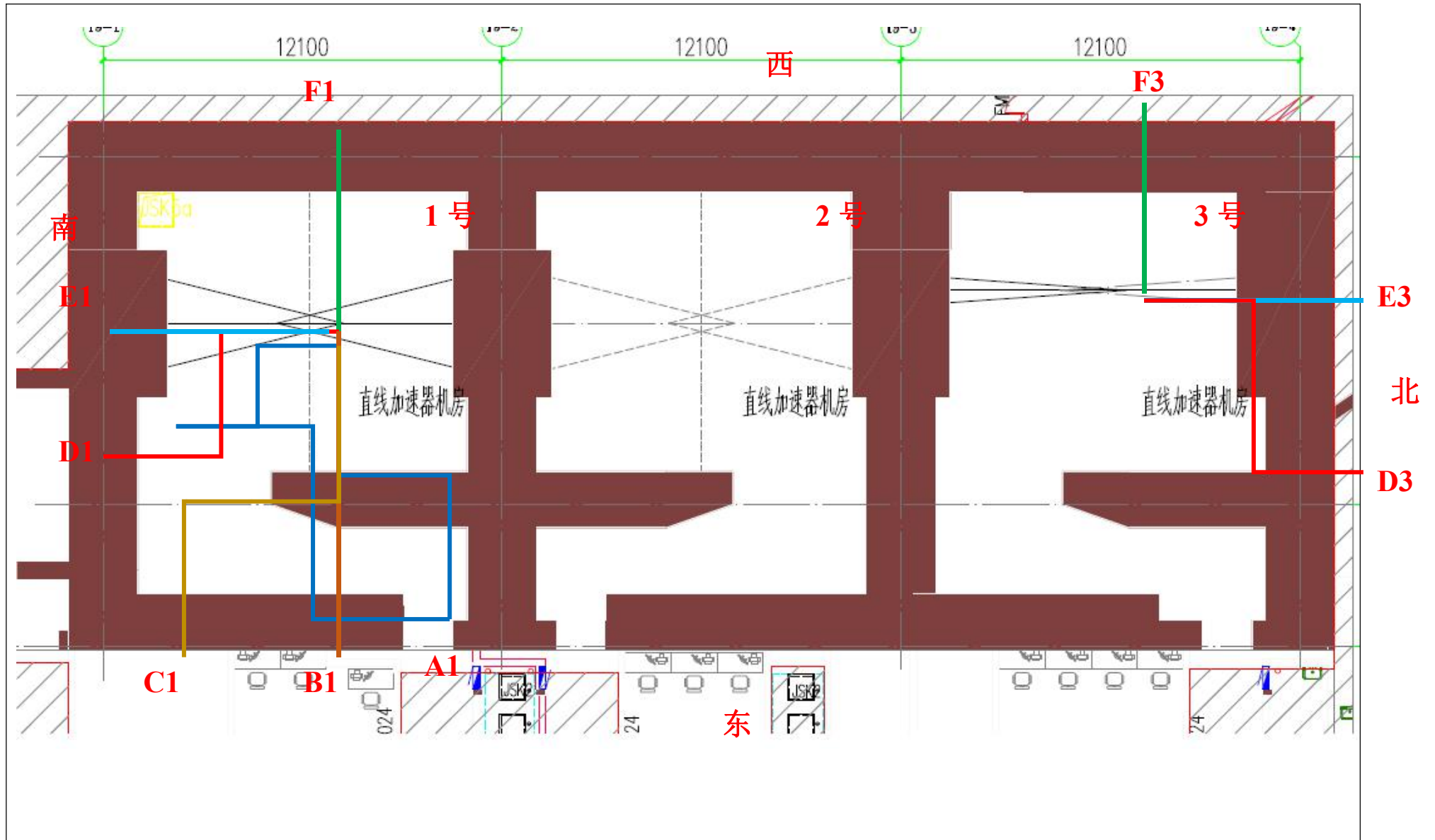
建设阶段对环境的影响：

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性废气。本项目机房为新建建筑，滨海新城综合医院项目一期主体工程已经完成，正进行内装、机电施工收尾工作，同步开展医疗设备采购、信息化建设等相关工作。产生的环境影响主要是装修、设备安装调试期间产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，合理安排施工秩序。建设期间常规环境影响评价在《福州滨海新城综合医院(一期)环境影响报告书》进行单独描述，福州市长乐区环境保护局对该报告书也提出具体审批意见见附件 8，《福州市长乐区环境保护局关于《福州滨海新城综合医院(一期)环境影响报告书》的审批意见》（长环评[2018]81 号）。

运行阶段对环境的影响：**1 直线加速器周围辐射环境影响**

本项目评价的 3 台直线加速器西侧均为过道，控制室均设置在相应机房的东侧位置，1 号加速器机房的南侧为后装治疗机房和过道，3 号加速器的北侧为进风机房和仓库，加速器机房上方为病房楼住院大厅区域，楼下均为地下岩土层，3 间加速器机房的迷路均采用“L”字型迷路，迷路均设置于机房东侧，加速器主轴均为南北向，主射线的投照方向回避了控制室。

三台直线加速器机房的尺寸和辐射防护屏蔽参数详见表 10-1、表 10-2。三台加速器型号一致，机房尺寸几乎一致，3 号机房直线加速器机房位置稍微靠西，影响可忽略不计，故主要选取 1 号直线加速器机房作为代表进行理论计算。在直线加速器机房屏蔽效果理论计算预测过程中，机房底为土壤层不设置理论预测关注点，加速器机房楼顶的土壤层在计算过程中暂不考虑。因此，本次三台直线加速器机房关注点示意图详见图 11-1。



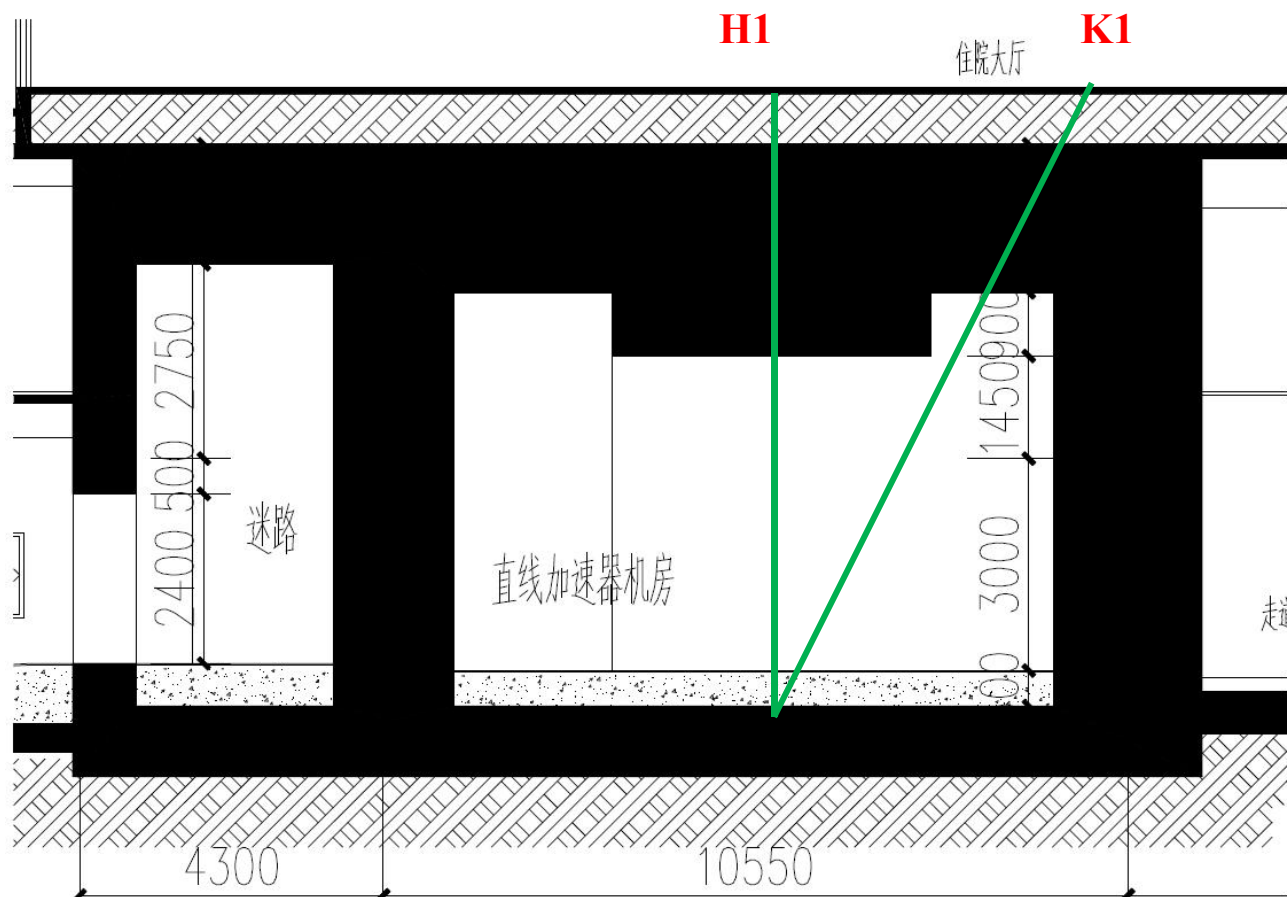


图 11-1 直线加速器机房屏蔽及关注点示意图

1.1 主屏蔽区宽度符合性

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的相关公式核算加速器机房有用线束主屏蔽区的宽度：

$$Y_p = 2[(\alpha + SAD) \tan \theta + 0.3] \quad (11-1)$$

Y_p —机房有用线束主屏蔽区的宽度，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；

α —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。

将各参数带入上述公式得出本项目的主屏蔽宽度核算结果见表 11-1。

表 11-1 直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	1号加速器机房				2号加速器机房				
	南侧	北侧		屋顶	南侧		北侧		屋顶
		内凸	外凸		内凸	外凸	内凸	外凸	
SAD (m)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
θ (°)	14	14	14	14	14	14	14	14	14
α (m)	5.225	4.775	7.325	4.350	5.000	7.325	5.000	7.325	4.350
Y_p 计算值	3.7	3.5	4.9	3.3	3.6	4.9	3.6	4.9	3.3
Y_p 设计值	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
评价结果	满足	满足	不满足	满足	满足	不满足	满足	不满足	满足

从表 11-1 可知，本项目 1 号直线加速器南侧、屋顶和 2 号直线加速器屋顶的主屏蔽区宽度理论计算值均小于设计值，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关要求；1 号直线加速器的北侧和 2 号直线加速器的南侧和北侧由于主屏蔽区上面凸起，基于主屏蔽区向机房外凸的保守考虑，主屏蔽区理论计算值比设计值大约 0.4m，不满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关要求。3 号直线加速器和 1 号直线加速器相对 2 号加速器对称，房间尺寸参数与 1 号直线加速器房间一直，南侧主屏蔽区理论计算值比设计值大约 0.4m。

因此，1 号与 2 号机房之间的主防护墙半宽度应增加 0.2m，2 号与 3 号机房之间的东侧主防护墙半宽度应增加 0.2cm。

1.2 关注点辐射控制水平

本评价采用《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/T201.2—2011）中的相关计算公式进行理论估算。对加速器四周的关注点的剂量率控制水平进行计算。

剂量率参考控制水平 H_c 取导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和最高剂量率参考控制水平 H_{cmax} （ $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）中的较小者。

医院未提供具体工作负荷情况，根据 GBZ/T 201.2-2011 附录 A1.1：“未获得放射治疗单位的工作负荷时，在屏蔽设计中取 $W=1500\text{Gy/周}$ ”的要求，此次计算中取周工作负荷 $W=1500\text{Gy/周}$ 。直线加速器最大额定功率为 600cGy/min ，即 6Gy/min 。加速器等中心处治疗模体内参考点的最高吸收率为 3Gy/min 。

表 11-2 不同场所居留因子

场所	居留因子	示例
全居留	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区等。
半居留	1/4	相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室、走廊、雇员休息室、职员休息室等。
偶尔居留	1/16	各治疗室房门、公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室以及病人滞留区域、屋顶、门岗室等。

(1) 主屏蔽区（E1、E3、H1）

主屏蔽区主要辐射为有限线束的强贯穿辐射，为单一的有用线束。加速器机房尺寸几乎一致，设备布局也几乎一样，可用 E1、E3、H1 代表主屏蔽区的剂量控制关注点，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》要求，根据单一有用线束导出剂量率参考剂量率控制水平公式：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-2)$$

表 11-3 主屏蔽区墙外剂量率参考控制水平

关注点	E1	E3	H1
辐射类型	有用束	有用束	有用束
周参考剂量控制水平 H_c (uSv/周)	5	5	5
使用因子 U	0.25	0.25	0.25
居留因子 T	1/4	1/4	1/4
周治疗时间 t (h)	8.3	8.3	8.3
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	9.6	9.6	9.6

关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, \max}$	10	10	10
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	9.6	9.6	9.6

(2) 侧屏蔽墙区 (B1、F1、F3)

东、西侧屏蔽区主要辐射为加速器的泄漏辐射，可按单一的泄漏辐射进行剂量控制。加速器机房尺寸几乎一致，设备布局也几乎一样，可用关注点 B1、F1、F3 代表侧屏蔽区的剂量控制关注点，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》(GBZT201.2-2011) 要求，根据单一泄漏辐射导出剂量率参考剂量率控制水平公式：

$$\dot{H}_{c, d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \quad (11-3)$$

表 11-4 侧墙屏蔽外剂量率参考控制水平

关注点	B1	F1	F3
辐射类型	泄漏辐射	泄漏辐射	泄漏辐射
周参考剂量控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	100	5	5
使用因子 U	1	1	1
居留因子 T	1	1/16	1/16
调强因子 N	5	5	5
周治疗时间 t (h)	8.3	8.3	8.3
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	2.4	1.9	1.9
关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, \max}$	2.5	10	10
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.4	1.9	1.9

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区(D1、D3、K1)

南、北侧屏蔽区和机房顶侧屏蔽区，辐射射线包括有用束的散射和加速器的泄漏辐射，剂量控制需考虑这两种辐射。加速器机房尺寸几乎一致，设备布局也几乎一样，可用关注点 D1、D3、K1 代表与主屏蔽区相连的次屏蔽区的剂量控制关注点。

假设散射辐射导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, d \text{ 散射}}$ ，泄漏辐射导出剂量率参考控制水平为 $\dot{H}_{c, d \text{ 泄漏}}$ 。则复合辐射场下的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, d}$ ：

$$\dot{H}_{c, d} = \dot{H}_{c, d \text{ 散射}} + \dot{H}_{c, d \text{ 泄漏}} \quad (11-4)$$

如果 $\dot{H}_{c, d}$ 满足如下要求，即可满足放射治疗机房外非控制区工作人员的周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 的要求。

$$\dot{H}_{c, d} \leq H_c \quad (11-5)$$

根据公式 10-2、10-3、10-4、10-5，可推导出如下不等式。

$$\dot{H}_{c, d} \leq \frac{H_c}{t \cdot N \cdot T} + \frac{(N-U) \cdot H_{c, d \text{ 散射}}}{N} \quad (11-6)$$

根据公式 10-5，保守计算取 $\dot{H}_{c, d} = \frac{H_c}{t \cdot N \cdot T}$ ，

表 11-5 侧屏蔽墙外剂量率参考控制水平

关注点	D1		D3		K1	
	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射
周参考剂量控制水平 H_c (uSv/周)	5		5		5	
使用因子 U	0.25	1	0.25	1	0.25	1
调强因子 N	NA	5	NA	5	NA	5
居留因子 T	1/4		1/16		1/4	
周治疗时间 t (h)	8.3		8.3		8.3	
导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.5		1.9		0.5	
关注点的最高剂量率参考 控制水平 $\dot{H}_{c, \text{max}}$	10		10		10	
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	0.5		1.9		0.5	

(4) 迷路外墙(C1)和加速器入口(A1)

加速器东侧迷路外墙和加速器入口处主要辐射，迷路外墙主要受到加速器泄漏辐射照射，加速器入口处包含散射辐射核泄漏辐射。加速器机房尺寸几乎一致，设备布局也几乎一样，可用关注点 C1、A1 代表与主屏蔽区相连的次屏蔽区的剂量控制关注点。参考剂量率导出公式可参考上述导出公式，即：

$$\dot{H}_{c, d} = \frac{H_c}{t \cdot N \cdot T} \quad (11-7)$$

表 11-6 迷路外墙和加速器入口剂量率参考控制水平

关注点	C1		A1	
	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射
周参考剂量控制水平 H_c (uSv/周)	100		5	
使用因子 U	0.25	1	0.25	1
调强因子 N	NA	5	NA	5
居留因子 T	1		1/4	
周治疗时间 t (h)	8.3		8.3	

导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	2.4	0.5
关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, \max}$	2.5	10
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.4	0.5

综合上述计算结果，直线加速器机房各关注点剂量率控制水平参数见表 11-7。

表 11-7 各关注点剂量率参考控制水平计算参数及结果

关注点	H ($\mu\text{Sv/周}$)	U	T	t (h)	$\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	需屏蔽 辐射源
E1	5	0.25	1/4	8.3	9.6	10	9.6	有用线束
E3	5	0.25	1/4	8.3	9.6	10	9.6	
H1	5	0.25	1/4	8.3	9.6	10	9.6	
B1	100	1	1/16	8.3	2.4	10	2.4	泄漏辐射
F1	5	1	1/16	8.3	1.9	10	1.9	
F3	5	1	1/16	8.3	1.9	10	1.9	
D1	5	0.25	1/4	8.3	0.5	10	0.5	散射辐射
		1						泄漏辐射
D3	5	0.25	1/4	8.3	1.9	10	1.9	散射辐射
		1						泄漏辐射
K1	5	0.25	1/4	8.3	0.5	10	0.5	散射辐射
		1						泄漏辐射
C1	100	0.25	1	8.3	2.4	2.5	2.4	散射辐射
		1						泄漏辐射
A1	5	0.25	1/4	8.3	0.5	10	0.5	散射辐射
		1						泄漏辐射

1.3 直线加速器机房屏蔽分析

- (1) 主屏蔽区、侧墙屏蔽区和迷路外墙屏蔽区 (E3、E1、H1、B1、F1、F2、C1)

以下列方法进行有用线束和泄漏辐射的剂量估算：

- ◇ 对于给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按式 (11-8) 计算有效厚度 X_e 。
- ◇ 按式 (11-9) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B。
- ◇ 按式 (11-10) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

1) 有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X(cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$ 见式 (3)：

$$X_e = X / \cos \theta \quad (11-8)$$

其中， θ 为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-9)$$

TVL1 (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 TVL1 时，TVL1=TVL。

3) 屏蔽体外关注点的剂量率

$$\dot{H} = H_0 \cdot f / (R^2 \cdot B) \quad (11-10)$$

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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目直线加速器最大额定功率为 600cGy/min，即 6Gy/min， $3.6\text{E}+08\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点取相应屏蔽体外 0.3m；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

将各参数代入计算，得到主屏蔽墙外 30cm 处关注点（A、E、G、J）的剂量见表 11-8。

表 11-8 主屏蔽和侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	主屏蔽			侧屏蔽			迷路外墙
	南墙 E1	北墙 E3	房顶 H1	东墙 B1	西墙 F1	西墙 F3	东侧 C1
X (cm)	300cm 混凝土	300cm 混凝土	300cm 混凝土	330cm 混凝土	210cm 混凝土	210cm 混凝土	160cm 混凝土
X _e (cm)	300	300	300	330	210	210	160
TVL (cm)	41	41	41	33	33	33	33
TVL ₁ (cm)	44	44	44	36	36	36	36
B	5.7E-08	5.7E-08	5.7E-08	1.2E-10	5.3E-07	5.3E-07	1.7E-05
R (m)	8.625	8.625	7.75	8.45	6.1	5.225	8.45
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.8E-01	2.8E-01	3.4E-01	6.2E-07	5.2E-03	7.0E-03	8.8E-02

(2) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区（D1、D3、K1）

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射，二者之和为该点的总剂量率。

1) 泄漏辐射

通过公式（11-10）进行计算。

2) 散射辐射:

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先按照式 (11-8) 计算有效厚度 Xe (cm), 再按式 (11-9) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B, 再按下式计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$);

$$\dot{H} = H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400) \cdot B/R_s \quad (11-11)$$

\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, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, 本项目为 $3.6\text{E}+08\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

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。根据散射线能量和参考点斜射角, 查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。

F—治疗装置有用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。

叠加与主屏蔽区直接相连的次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的辐射剂量率值, 计算参数和计算结果见表 11-9。

表 11-9 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点		南墙 D1	北墙 D3	房顶 K1
泄漏辐射	X (cm)	210	210	210
	Xe (cm)	242.49	242.49	242.49
	TVL (cm)	33	33	33
	TVL ₁ (cm)	36	36	36
	B	5.5E-08	5.5E-08	5.5E-08
	R (m)	8.8	8.8	8.4
	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08
	f	0.001	0.001	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	2.6E-04	2.6E-04	2.8E-04	
散射辐射	TVL (cm)	31	31	31
	B	1.5E-08	1.5E-08	1.5E-08
	R_s (m)	8.8	8.8	8.4
	α_{ph}	1.04E-03	1.04E-03	1.04E-03
	F (cm^2)	1600	1600	1600
	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08
	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	2.9E-04	2.9E-04	3.2E-04
泄漏辐射和散射辐射的复合剂量率($\mu\text{Sv/h}$)		5.5E-04	5.5E-04	6.0E-04

(3) 加速器入口(A1)

对直线加速器能量低于 10MV 的加速器，迷道入口处的辐射水平，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》（GBZT201.2-2011）分析，加速器运行过程中由于泄漏辐射、患者散射等由加速器机房墙体散射至迷道入口处产生的散射辐射能量相对中子俘获 γ 射线能量较低，在防护中子俘获 γ 射线的屏蔽门外，此部分剂量往往是可以忽略。因此只需考虑加速器泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口处的辐射和迷路内的散射中子及中子俘获 γ 射线所产生的辐射。

1) 泄漏辐射

通过公式 11-10 进行计算，计算参数及计算结果见表 11-10。

表 11-10 迷道门外的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口 A1	
X (cm)	170cm 混凝土	2cmpb 防护门
Xe (cm)	170cm	2cmpb
TVL (cm)	33cm	5.4cm
TVL ₁ (cm)	36cm	5.4cm
B	4.33E-05	5.27E-01
R (m)	8.45	
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6E+08	
f	0.001	
\dot{H}_{0g} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.2E-01	

2) 迷道入口处的中子俘获 γ 射线剂量率 (\dot{H}_r)

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线，机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获 γ 射线剂量率按下式计算：

$$\Phi_B = Q_n/4\pi d_1^2 + 5.4Q_n/2\pi S + 1.26Q_n/2\pi S \quad (11-12)$$

Φ_B —等中心处 1Gy 照射治疗时 B 处的总中子注量， m^2/Gy ；

Q_n —等中心点处单位 X 射线吸收剂量的中子数，取值参考 TableB.9，取 $7.6\text{E}+11$ ；

S—治疗室的总表面积（不含迷道），取 312.8m^2 ；

d_1 —等中心点到迷道内口的距离，取 8.9m ；

$$\dot{H}_r = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/\text{TVD}} \cdot \dot{H}_0 \quad (11-13)$$

TVD—将 γ 射线能量较少至十分之一时的距离，m，当 X 射线输出能量为 15MeV 时取 3.9；

d_2 —迷道内口到迷道入口处的距离， 12.6m ；

\dot{H}_0 —等中心点 X 剂量率， $3.6\text{E}+08\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

经计算可得：迷道入口处 A1 的中子俘获 γ 射线剂量率 \dot{H}_r 分别为： $0.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

3) 迷道入口处的中子剂量率 (\dot{H}_n)

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率按下式计算：

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \phi_B \cdot \sqrt{S_0/S_1} \cdot [1.64 \times 10^{-d_2/1.9} + 10^{-d_2/T_n}] \cdot H_0 \quad (11-14)$$

T_n —中子当量剂量每衰减 10 行径时在迷道中经过的距离，m； $T_n = 2.06\sqrt{S_1}$

S_0 —迷道内口截面，取 16.2m²；

S_1 —迷道径向截面，取 11.3m²；

d_2 —迷道内口到迷道入口处的距离，取 12.6m；

经计算可得：迷道入口处 A 的中子剂量率 \dot{H}_n 为 52.3μSv/h。

本项目防护门铅当量为 20mm，含硼聚乙烯板厚度 110mm，防护门外 A1 点的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_r \cdot 10^{-X_\gamma/TVL_\gamma} + \dot{H}_r \cdot 10^{-X_n/TVL_n} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \quad (11-15)$$

X_γ —防护门中铅当量厚度，20mm；

TVL_γ —取 31mm；

X_n —防护门中硼聚乙烯板厚度，110mm；

TVL_n —取 45mm。

经计算可得：防护门屏蔽情况下，迷道入口处 A 点的辐射剂量率分别为：0.3μSv/h。

综上所述，医院拟建直线加速器机房墙体及防护门外各关注点的剂量率情况，见表 11-11。加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率值为 2.8E-01~6.2E-07μSv/h，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)的相关要求，即“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”，也满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2—2011)中各关注点剂量率参考控制水平的要求。因此，本项目拟建 3 间直线加速器机房屏蔽措施能满足标准要求，满足法律法规要求。

表 11-11 直线加速器机房外各关注点的剂量率情况统计表

关注点	位置描述	导出剂量率控制水平 μSv/h	辐射剂量率计算值 μSv/h	结果评价
E1	南墙主屏蔽区	9.6	2.8E-01	满足要求
E3	北墙主屏蔽区	9.6	2.8E-01	满足要求
H1	房顶主屏蔽区	9.6	3.4E-01	满足要求

B1	东墙侧墙屏蔽	2.4	6.2E-07	满足要求
F1	西墙侧墙屏蔽	1.9	5.1E-03	满足要求
F3	西墙侧墙屏蔽	1.9	7.0E-03	满足要求
D1	南墙与主屏蔽区相连的次屏蔽区	0.5	5.5E-04	满足要求
D3	北墙与主屏蔽区相连的次屏蔽区	1.9	5.5E-04	满足要求
K1	房顶与主屏蔽区相连的次屏蔽区	0.5	6.0E-04	满足要求
C1	东侧迷路外墙	2.4	8.8E-02	满足要求
A1	东侧加速器入口	0.5	3.0E-01	满足要求

1.4 人员附加剂量预测

按照典型放射治疗工作量 60 人/d，每周 5d，平均每人每次治疗 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，最高吸收剂量率 3Gy/min，则每年出束时间约 390h。本项目直线加速器的职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算结果见表 11-12。

表 11-12 直线加速器职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算

关注点	所处位置	对象	居留因子	附加年有效剂量 mSv
E1	南墙主屏蔽区	公众成员	1/4	1.1E-01
E3	北墙主屏蔽区	公众成员	1/4	1.1E-01
H1	房顶主屏蔽区	公众成员	1/4	1.3E-01
B1	东墙侧墙屏蔽	职业人员	1	2.4E-07
F1	西墙侧墙屏蔽	公众成员	1/16	2.0E-03
F2	西墙侧墙屏蔽	公众成员	1/16	2.7E-03
D1	南墙与主屏蔽区相连的次屏蔽区	公众成员	1/4	2.1E-04
D3	北墙与主屏蔽区相连的次屏蔽区	公众成员	1/16	2.1E-04
K1	房顶与主屏蔽区相连的次屏蔽区	公众成员	1/4	2.3E-04
C1	东侧迷路外墙	职业人员	1	3.4E-02
A1	东侧加速器入口	公众成员	1/4	1.2E-01

由表 11-12 可知，预测直线加速器职业人员最大附加年有效剂量为 3.4E-02mSv，低于管理限值 5mSv，公众成员附加年有效剂量最大为 1.2E-01mSv，低于管理限值 0.25mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188 71-2002）中关于“剂量限值”的要求。

1.5 三废治理措施及环境影响

1.5.1 感生放射性影响

电子直线加速器电子束能量大于 10MeV，直线加速器机房内由于中子活化会产生感生放射性。医用直线加速器感生放射性包括：加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。空气中会产生 C-11（半衰期 20.5min）、N-13（半衰期 10min）和 O-15（半衰期 124s）；偏转磁铁上，将产生 Cu-62（半衰期 9.7min）、Cu-64（半衰期 12.7h）、Cu-66（半衰期 5.1min）、Ni-65（半衰期 38min）等核素。感生放射性的衰变较快，停机后 5~10min 就可减弱到初始值的一半，所以对感生放射性的有效防护措施之一是等其衰变。同时，机房有足够的通风，停机后，其辐射影响较小。

冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 O-15 和 N-13，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，只需放置较短的时间，其活度就可衰减到可忽略的水平，因此正常运行时被活化的水对人体的危害较小。

综上所述，建议医院工作人员适当延缓进入机房，尽量缩短摆位时间，注意与机头等产生感生放射性的部位保持适当距离。

1.5.2 臭氧对环境的影响

本项目运行过程中，产生的臭氧浓度较低，建设单位拟设置通风系统来保证室内的臭氧浓度达标。直线加速器的 X 射线和电子束是扩展辐射束，依据 IAEA188《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 VoL14, 2, P101, 1994），加速器辐射所致臭氧的产额估算方法如下：

1) 有用线束的臭氧产额

$$P = 2.43D_0 \cdot (1 - \cos \theta) \cdot R \cdot G \quad (11-16)$$

式中：P—臭氧的产额，mg/h；

D_0 —辐射有用束在靶 1m 处的输出量，本项目 3 台加速器均取 $6\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ ；

R—靶到屏蔽物（墙）的距离，各机房分别取距东侧主屏蔽墙 4.325m，为本项目距屏蔽物的最小距离；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数（一般为 6-10，为保守考虑取 10）；

θ —有用束的半张角，本项目为 14° ；

根据上式计算得，各机房有用线束的臭氧产额分别为 18.7mg/h 。

2) 泄露辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内的臭氧产额增加 10%，臭氧的产额 P (mg/h) 为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} D_0 \cdot G \cdot V^{1/3} \quad (11-17)$$

式中： V —加速器机房的体积， m^3 （各机房体积约 $470 m^3$ ，含迷道）；

根据上式计算得，各加速器机房泄露辐射的臭氧产额分别为 $1.5 mg/h$ 。

3) 臭氧的浓度

辐射所致有害气体以臭氧为主，在考虑通风的情况下，空气中的臭氧平衡浓度由下式估算：

$$Q = P \cdot T/V \quad (11-18)$$

式中： Q —加速器治疗室内臭氧平衡浓度， mg/m^3 ；

P —臭氧的辐射产额， mg/h ；

T —有效清洗时间， h ；

V —治疗室体积， m^3 。

其中，有效清洗时间 T 由下式计算：

$$T = T_v \cdot T_d / (T_v + T_d) \quad (11-19)$$

式中： T_v —换气一次所需时间， h ；

T_d —臭氧的有效分解时间，取 $0.83h$ 。

根据上述计算公式得出不同换气次数时的臭氧平衡浓度见表 11-13。

表 11-13 加速器机房不同换气次数时的臭氧浓度

换气次数	换气时间 T_v (h)	平衡浓度 Q (mg/m^3)
1	1	0.066
2	0.5	0.024
3	0.33	0.014
4	0.25	0.010
5	0.2	0.007
6	0.17	0.006
7	0.14	0.005
8	0.13	0.004

根据表 11-13，本项目的排风设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/小时”的要求，以及《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2002）中 $0.16 mg/m^3$ （1 小时平均值）的臭氧浓度标准值要求。

1.5.3 氮氧化物对环境的影响

在多种氮氧化物（ NO_x ）中，以 NO_2 为主，其产额约为臭氧的一半，工作场所中 NO_2 的标准时（ $0.24 mg/m^3$ ）大于臭氧的标准值。因而工作场所中臭氧浓度达到《室内

空气质量标准》（GB/T 18883-2002）要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

2 后装治疗机周围辐射环境影响

本项目涉及的后装治疗机机房位于地下室负一层，与直线加速器机房相邻，采用密度为 2.35g/cm³ 混凝土浇筑。后装治疗机的空间尺寸及屏蔽设计见表 10.4。送排风管道采用 45°斜穿过屏蔽墙，并在施工时进行预留通风管道等穿墙管道均采用迷道式设计。

后装治疗机房北侧为 1 号加速器机房，东侧为控制室和过道，西侧为和南侧均为过道，机房正下方为地下岩土层，楼上正上方为病房楼住院大厅，后装治疗机安装在房间靠近直线加速器机房侧。后装治疗机房设计结构及预测点位分布示意图详见图 11-2。

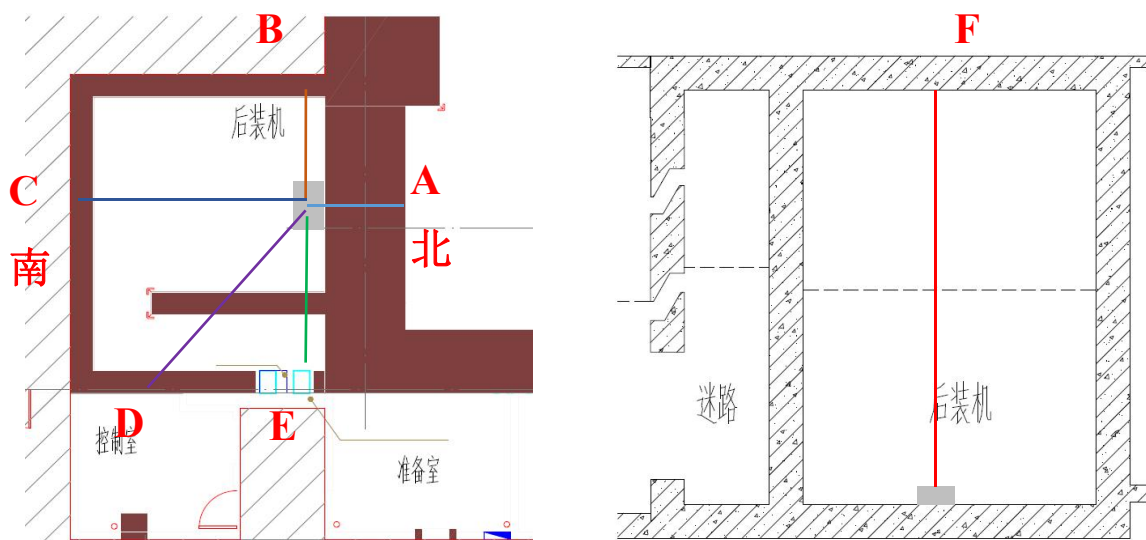


图 11-2 后装治疗机房屏蔽及关注点示意图

2.1 关注点辐射水平控制

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中的相关要求，剂量率参考控制水平 H_c 取导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ （2.5μSv/h）中的较小者。

导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ （μSv/h）计算公式如下：

$$H_{c,d} = H / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-20)$$

H—周剂量参考控制水平，单位为微希每周（μSv/周），职业工作人员： $H \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ，公众： $H \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

U—使用因子，取 1；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—周治疗时间，单位为小时每周（h/周）。后装治疗机房投入使用后，预计平均

每天接待治疗病人不超过 20 人次，平均每位病人治疗时间约 10 分钟，每周工作 5 天，即周照射时间约为 17 小时。

各关注点剂量率参考控制水平计算参数及结果见表 11-14。

表 11-14 各关注点剂量率参考控制水平计算参数及结果

关注点	H ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	U	T	t (h)	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	H_{cmax} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A	5	1	0.25	17	1.2	10	1.2
B	5	1	0.25	17	1.2	10	1.2
C	5	1	0.25	17	1.2	10	1.2
D	100	1	1	17	5.9	2.5	2.5
E	5	1	0.125	17	2.4	10	2.4
F	5	1	0.25	17	1.2	10	1.2
说明	后装治疗室 B 点侧远处为电梯厅、电梯，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007），B 侧远处区域的居留因子均小于 0.25。						

2.2 后装治疗机房屏蔽分析

该后装治疗机拟装载 1 枚出厂活度为 $3.7\text{E}+11\text{Bq}$ 的 Ir-192 放射源。Ir-192 放射源的主要辐射特性参数见表 11-15。

表 11-15 Ir-192 放射源技术参数

使用核素	γ 射线能量均值 MeV	空气比释动能率常数 K_γ $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	混凝土 TVL (mm)	距离地面 (mm)
Ir-192	0.37	0.111	152	400

根据拟使用的后装治疗机的技术参数及机房的设计方案，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZT201.3-2014）中使用的什值层（TVL）计算方法，预测后装治疗机最大装载放射源活度时，放疗机房外各预测点的初始辐射剂量率水平。

当 γ 射线以 θ 角斜射入厚度为 X （mm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （mm）：

$$X_e = X/(\cos \theta) \quad (11-21)$$

θ 为斜射角，即入射与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

再根据如下公式计算对于给定的屏蔽物质的有效屏蔽厚度 X_e （mm）相应的屏蔽透射因子 B ：

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1)/\text{TVL}} \quad (11-22)$$

式中 $\text{TVL}_1(\text{mm})$ 和 $\text{TVL}(\text{mm})$ 分别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，具体数值参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZT201.3-2014）附录 C 表 C.1。

最后根据如下公式计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$):

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B / R^2 \quad (11-23)$$

\dot{H}_0 —活度为 A 的放射源在其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

R—放射源到参考计算点的距离, m;

f—对有用束为 1;

B—屏蔽透射因子;

放射源的体积相对于放疗室的体积非常小, 因此可将放射源作为点源进行考虑, 利用如下公式计算活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_r \quad (11-24)$$

A—为放射源的活度 (MBq);

K_r —放射源的空气比释动能率常数, 单位 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$;

根据后装治疗机机房的设计方案, 得出放射源到各面墙外参考计算点的距离 R, 计算出后装治疗机机房外各参考点的初始辐射剂量率水平。计算参数和计算结果见表 11-16。

表 11-16 各参考点辐射剂量率的计算参数及结果一览表

关注点	X_e	A (MBq)	K_r	R (m)	f	TVL ₁	TVL	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
A	2100	3.70E+05	0.111	2.1	1	152	152	1.4E-10
B	600	3.70E+05	0.111	5.8	1	152	152	1.4E-01
C	600	3.70E+05	0.111	6.9	1	152	152	9.7E-02
D	1700	3.70E+05	0.111	8.2	1	152	152	4.0E-09
E	600	3.70E+05	0.111	6.1	1	152	152	1.2E-01
F	600	3.70E+05	0.111	6.9	1	152	152	9.7E-02

(1) 散射射线辐射影响分析

散射剂量率可按下式进行预测计算:

$$H = A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w / (R_1^2 \cdot R_2^2) \quad (11-25)$$

H —预测点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

R_1 —放射源至散射体中心点的距离, 取 6.9m;

R_2 —散射体中心点至计算点的距离, 取 6.1m;

α_w —散射体的散射因子, 取 3.39E-02;

S_w —迷路内口墙的散射面积, 其为放射源和机房入口共同可见的墙区面积, 取 11.2m²。

经计算得: 初始射线经散射到达迷道入口处剂量率为 8.8 $\mu\text{Sv/h}$, 后装治疗机房铅防

护厚度为 20mmPb，经查《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZT201.3-2014）附录 C 表 C.1，铅的 TVL 为 16mmPb，散射射线保守估计以 10 度角的反散射穿过屏蔽门，铅屏蔽门的有效屏蔽厚度为 115mm，根据透射公式 10-21 算出散射射线的透射因子为 6.5E-08，则散射射线穿透铅防护门后门口剂量率为 $6.5 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ 。机房入口有用束的垂直穿过铅屏蔽防护门，穿透因子为 0.056，则有用束穿透铅防护门后，门口剂量率为 $6.5\text{E-}03 \mu\text{Sv/h}$ 。因此，有用束射线和散射射线穿过铅屏蔽门后，门口关注点 E 的复合剂量率为 $6.5\text{E-}03 \mu\text{Sv/h}$

综上所述，后装治疗机房机房墙体及防护门外各关注点的剂量率情况，见表 11-17。加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率值为 $4.0\text{E-}09 \sim 1.4\text{E-}01 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的相关要求，即“治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。”，也满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZT201.3-2014）中各关注点剂量率参考控制水平的要求。因此，本项目拟建 1 间后装治疗机房屏蔽措施能满足辐射防护要求，满足法律法规要求。

表 11-17 后装机房外各关注点的剂量率情况统计表

关注点	位置描述	导出剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	辐射剂量率计算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	结果评价
A	北侧	1.2	$1.4\text{E-}10$	满足要求
B	西侧	1.2	$1.4\text{E-}01$	满足要求
C	南侧	1.2	$9.7\text{E-}02$	满足要求
D	东侧（控制室）	2.5	$4.0\text{E-}09$	满足要求
E	东侧（机房入口）	2.4	$6.5\text{E-}03$	满足要求
F	房顶	1.2	$9.7\text{E-}02$	满足要求

2.3 人员附加剂量预测

后装治疗机机房建成投入使用后，预计平均每天接待治疗病人不超过 20 人次，平均每位病人治疗时间约 10 分钟，医生指导摆位时间约 4 分钟/天，年运行 250 天。根据上面的辐射剂量率的计算结果，推算得到放射工作人员和公众的年剂量，结果详见表 11-18。

表 11-18 人员有效剂量预测

关注点	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	居留因子	预测当量剂量 (mSv/a)	剂量管理限值 (mSv/a)	备注
A	$1.4\text{E-}10$	833	0.25	$3.0\text{E-}11$	0.25	公众
B	$1.4\text{E-}01$	833	0.25	$2.9\text{E-}02$	0.25	公众
C	$9.7\text{E-}02$	833	0.25	$2.0\text{E-}02$	0.25	公众
D	$4.0\text{E-}09$	833	1	$3.3\text{E-}09$	5	控制室医生
E	$6.5\text{E-}03$	833	0.125	$6.8\text{E-}04$	0.25	公众

F	9.7E-02	833	0.25	2.0E-02	0.25	公众
---	---------	-----	------	---------	------	----

由预测结果可知，在正常工作状态下，后装治疗机机房的辐射工作人员年所受附加剂量在 $3.3\text{E}-09\text{mSv/a}$ ，低于项目剂量管理限值（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ）；公众年所受附加最大剂量为 $8.1\text{E}-02\text{mSv/a}$ 范围内，低于项目剂量管理限值（公众年有效剂量不超过 0.25mSv ），均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

2.4 三废治理措施及环境影响

2.4.1 放射性固体固废

放射源使用到一定年限会产生退役的放射源，需定期更换，废源由放射源供应厂家负责调换、运输、处置，医院负责日常安全管理。医院应与放射源生产厂家签订放射源更换和退役放射源回收协议。

2.4.2 臭氧和氮氧化物

后装治疗机机房内的空气受到 γ 射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。本项目后装治疗机机房内设有送排风系统，排风机排风量为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ ，后装治疗机机房内有效容积（包含迷道体积）为 143m^3 ，能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗室通风换气次数应不小于 4次/h ”的要求，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定：“不同类型 X 射线机房的屏蔽防护应不小于表 7-3 的要求。应该合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门、窗应有其所在墙壁相同的防护厚度，设于多层建筑的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。”本项目医技楼和门诊楼的 6 台 DSA 机，最大管电压为 150kV 。机房采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11-19。从 DSA 机屏蔽措施符合性分析可知，本项目 6 台 DSA 机的屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

表 11-19 DSA 机房辐射屏蔽

项目		防护材料名称和厚度/机房尺寸	设计铅当量 (mmPb)	标准要求	符合性
医技楼 一楼 DSA 机	四周墙体	360mm 实心砖墙 +2.0mmPb 防护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	顶板	200mm 混凝土+2mm 防护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	底板	200mm 混凝土+2mm 防护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	防护门	3.5mm 铅当量	3.5	3mm 铅当量	符合

	观察窗	3.5mm 铅当量	3.5	3mm 铅当量	符合
医技楼 三楼 DSA 机	四周墙体	240mm 实心砖墙 +2.0mmpb 防护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	顶板	200mm 混凝土+2mm 防 护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	底板	200mm 混凝土+2mm 防 护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	防护门	3.5mm 铅当量	3.5	3mm 铅当量	符合
	观察窗	3.5mm 铅当量	3.5	3mm 铅当量	符合
门诊楼 一层 DSA 机	四周墙体	360mm 实心砖墙 +2.0mmpb 防护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	顶板	200mm 混凝土+2mm 防 护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	底板	200mm 混凝土+2mm 防 护涂料	3	3mm 铅当量	符合
	防护门	3.5mm 铅当量	3.5	3mm 铅当量	符合
	观察窗	3.5mm 铅当量	3.5	3mm 铅当量	符合

3.1 DSA 机周围辐射环境类比分析

为进一步估计 DSA 机房建成后对机房周围的影响，从结合实际出发，本项目采用类的方法进行分析，选择中山大学附属第一医院已有的一台西门子生产的 Artis Zeego 型 DSA 机运行时机房周围检测数据进行类比分析，检测单位是广州达盛检测技术服务有限公司（见附件 4）。评价项目及类比项目机房的防护设施参数对照见表 11-20。评价项目 DSA 与类比项目 DSA 机的最大管电压稍高，最大管电流相同。因此以类比项目 DSA 机运行机房周围检测数据进行类比分析是可行的，具有重要的参考意义。

类比项目 DSA 机运行时现场检测的测量结果见表 11-21，类比 DSA 项目机房检测报告见附件 1。类比项目现场检测数据表明，DSA 机在实际使用过程中，周围剂量当量率处于环境本底水平，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“距机房屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h”的要求。

表 11-20 评价 DSA 机与类比 DSA 机的防护设施参数类比分析一览表

参数	评价项目	类比项目
设备型号	待定	西门子 Artis Zeego 型
参数	150kV、1000 mA	125kV、1000 mA
屏蔽参 数	四周墙体	360mm 实心砖墙+2.0mmpb 防护涂 料
	顶板	200mm 混凝土+2mm 防护涂料
	底板	200mm 混凝土+2mm 防护涂料
	防护门	3.5mm 铅当量
	观察窗	3.5mm 铅当量
		240mm 实心砖墙+2.0mmpb
		100mm 混凝土+2mmpb 防 护涂
		100mm 混凝土+2mmpb 硫 酸钡
		2mmPb
		2mmPb

表 11-21 类比项目 DSA 机运行时机房外 X- γ 辐射剂量率测量结果

检测条件		透视：68kV，101.2mA，15fps，标准水模			
检测仪器		DosimeterAT1123 型辐射检测仪			
透视防护区（介入）工作人员位置空气比释动能率检测结果：					
序号	部位	离地高度（cm）	检测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）		备注
			第一术者位	第二术者位	
1	头部	155	67.75	318.80	
2	胸部	125	156.21	146.65	
3	腰部	105	31.88	24.79	
4	下肢	80	12.91	16.90	
5	足部	20	145.85	68.54	
检测条件：		摄影：84.8kV，205.9mA，15 fps，标准水模+1.5mm 铜板检测仪器			
检测仪器		DosimeterAT1123 型辐射检测仪			
监测点	检测位置		检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	操作位		0.14	≤ 2.5	/
2	观察窗	左	0.16	≤ 2.5	/
		中	0.16	≤ 2.5	/
		右	0.15	≤ 2.5	/
		上	0.17	≤ 2.5	/
		下	0.14	≤ 2.5	/
3	控制室门	左	0.17	≤ 2.5	/
		中	0.14	≤ 2.5	/
		右	0.17	≤ 2.5	/
		上	0.14	≤ 2.5	/
		下	0.39	≤ 2.5	/
		门上窗	0.14	≤ 2.5	/
4	机房大门	左	0.16	≤ 2.5	/
		中	0.27	≤ 2.5	/
		右	0.17	≤ 2.5	/
		上	0.99	≤ 2.5	/
		下	0.16	≤ 2.5	/
		门上窗	0.15	≤ 2.5	/
5	侧门	左	0.15	≤ 2.5	/
		中	0.16	≤ 2.5	/
		右	0.30	≤ 2.5	/
		上	0.17	≤ 2.5	/
		下	0.72	≤ 2.5	/
		门上窗	0.16	≤ 2.5	/
6	线孔外 30cm 处		0.14	≤ 2.5	/
7	控制面板外 30cm 处		0.14	≤ 2.5	/
8	显示屏外 30cm 处		0.16	≤ 2.5	/
9	气动阀外 30cm 处		0.15	≤ 2.5	/
10	电箱外 30cm 处		0.16	≤ 2.5	/

11	柜子外 30cm 处	0.15	≤2.5	/
12	南墙外 30cm 处	0.15	≤2.5	/
13	西墙外 30cm 处	0.14	≤2.5	/
14	北墙外 30cm 处	0.17	≤2.5	/
15	机房楼上距房顶棚 100cm 处	0.15	≤2.5	/
16	机房楼下距楼下地面 170cm 处	0.16	≤2.5	/
检测结果含本底值：0.14-0.18μSv/h				

3.2 人员附加剂量预测

(1) 公众和控制室工作人员附加剂量预测

根据预测，DSA 机运行后每年工作量约为 500 台手术，手术医生单人最大年工作量不超过 300 台，单台曝光时间 20 分钟，结合类比 DSA 机房外防护监测数据（取最大测量值 0.99μSv/h 作为估算依据），机房外公众人员的时间居留因子取 1/16，控制室的职业工作人员的时间居留因子取 1。

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下式计算：

$$H_{E-\gamma} = D_{\gamma} \cdot t \cdot T \quad (11-26)$$

式中：

$H_{E-\gamma}$ —外照射附加年有效剂量，mSv；

D_{γ} —外照射附加剂量率，μSv/h；取 0.99μSv/h。

t—年照射时间，h；取年治疗时间约 333h。

T—居留因子。公众取 1/16，控制室操作人员取 1。

经上式计算可得，机房外职业工作人员年有效剂量为 0.33mSv，机房外公众人员年有效剂量为 0.02mSv，此值未扣除环境本底的贡献，可知扣除本底贡献后机房外职业工作人员所受年有效剂量小于 0.33mSv，机房外公众人员所受年有效剂量小于 0.02mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年有效剂量限值的要求，也低于本次项目设定的职业工作人员及公众成员的年有效剂量约束值（即职业工作人员的年有效剂量不超过 5mSv，公众成员的年有效剂量不超过 0.25mSv）。

(2) 介入手术人员附加剂量预测

工作人员介入操作时需要穿戴防护裙等防护用品，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“轻型和包裹式防护裙的铅当量在 120kV 时应不小于 0.25 mmPb。”，和附录 C 的透射如下公式，可计算出 150kV 下，防护裙的透射因子：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11-27)$$

B——给定铅厚度的屏蔽透射因子。

β ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；150kV 时，取 5.177。

α ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；150kV 时，取 1.757。

γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；150kV 时，取 0.3156。

X——铅厚度。防护裙的铅当量取 0.25 mmPb。

根据上述公式可算出防护裙子的透射因子为 0.23，按照机房内介入手术医务人员工作位置处的最大剂量率为 156.21 μ Sv/h，穿上防护裙子后，剂量率为 36.2 μ Sv/h。则介入操作医务工作人员的年剂量为：

$$36.2\mu\text{Sv/h} \times 300 \text{ 台/年} \times 20\text{min/台} = 3.58 \text{ mSv/h}$$

从计算结果看，机房内介入手术医务人员的年度职业照射剂量不超过 5mSv 的剂量管理值。

3.3 三废治理措施及环境影响

DSA 机房内的空气受到 γ 射线照射会产生少量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。本项目 DSA 机房内臭氧和氮氧化物产生量很少，并设有送排风系统，最大限度降低机房内有害气体的浓度，排出外环境的微量废气经过室外空气的稀释后，对环境的影响可忽略不计。

4.1 核医学区周围辐射水平

4.1.1 回旋加速器周围辐射水平

回旋加速器室空间尺寸及屏蔽参数见表 11-24。该项目计划采购的回旋加速器为自屏蔽回旋加速器，自带屏蔽系统，自屏蔽体中既有铅屏蔽材料，又充满硼酸溶液，能够较好地屏蔽中子和 γ 射线，使回旋加速器自屏蔽体周围剂量率低于 50 μ Sv/h。

表 11-22 回旋加速器房间尺寸及屏蔽参数

项目	尺寸	项目	尺寸
长	8750mm	宽	7120mm
高	4400mm	墙厚（包括内墙）	1000mm
防护门	18mmpb+50mm 含硼聚乙烯板	迷道宽度	2025mm
楼顶	1000mm 结构板 +800 土壤层		

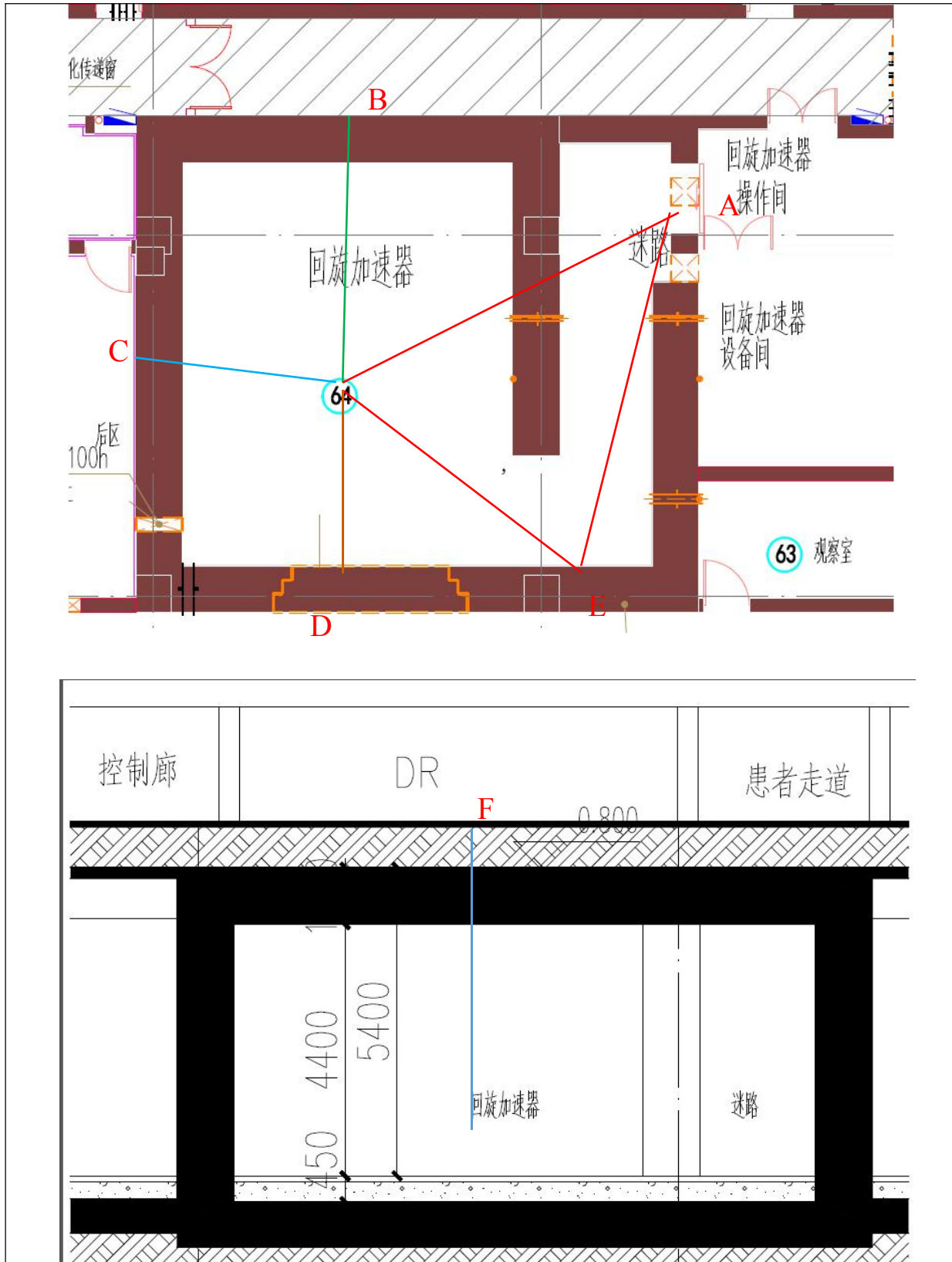


图 11-3 回旋加速器机房屏蔽及关注点示意图

依据《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）附录 I 的周围剂量率计算方法进行估算。参考 GE 的 Qilin 回旋加速器（10MeV，束流 70uA）的产家说明书，当束流和靶相互作用时，将产生中子和瞬时 γ 射线，自屏蔽系统将设备周围的辐射量控制为“受

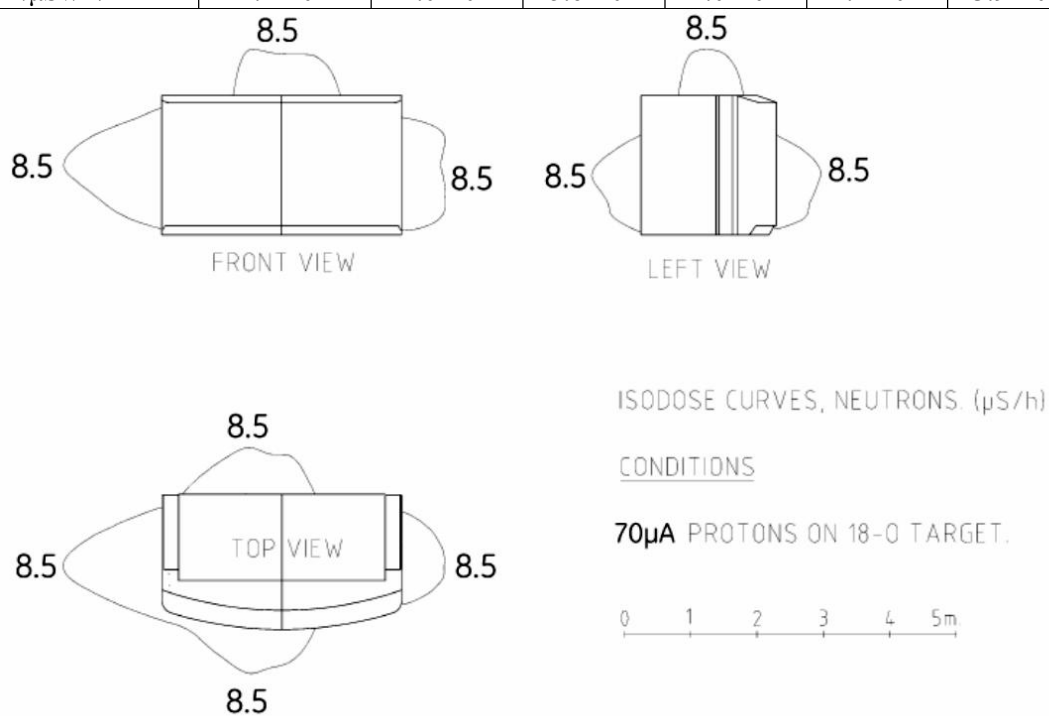
限区域”，平均剂量小于 14uSv/h（距离自屏蔽体 1m，离地面高度 1m 处），具体剂量见图 11-4。

通过保守计算，回旋加速器墙外各参考点的辐射剂量率结果见表 11-23，经过混凝土墙体屏蔽后，混凝土外表面剂量率均不超过 5.6E-02μSv/h。

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right) \cdot \left(\dot{H}_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma} + \dot{H}_n \times 10^{-x/TVL_n}\right) \quad (11-28)$$

表 11-23 回旋加速器墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	A	B	C	D	E	F
位置描述	北墙	西墙	南墙	东墙	观察室	屋顶
X (cm)	100	100	100	100	100	100
r ₀ (m)	1	1	1	1	1	1
R (m)	8.6	4.6	3.3	4.6	8.6	4.7
H _γ (μSv/h)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
H _n (μSv/h)	35	35	35	35	35	35
TVL _γ (cm)	38	38	38	38	38	38
TVL _n (cm)	43	43	43	43	43	43
H _R (μSv/h)	2.2E-02	4.0E-02	5.6E-02	4.0E-02	2.2E-02	3.9E-02



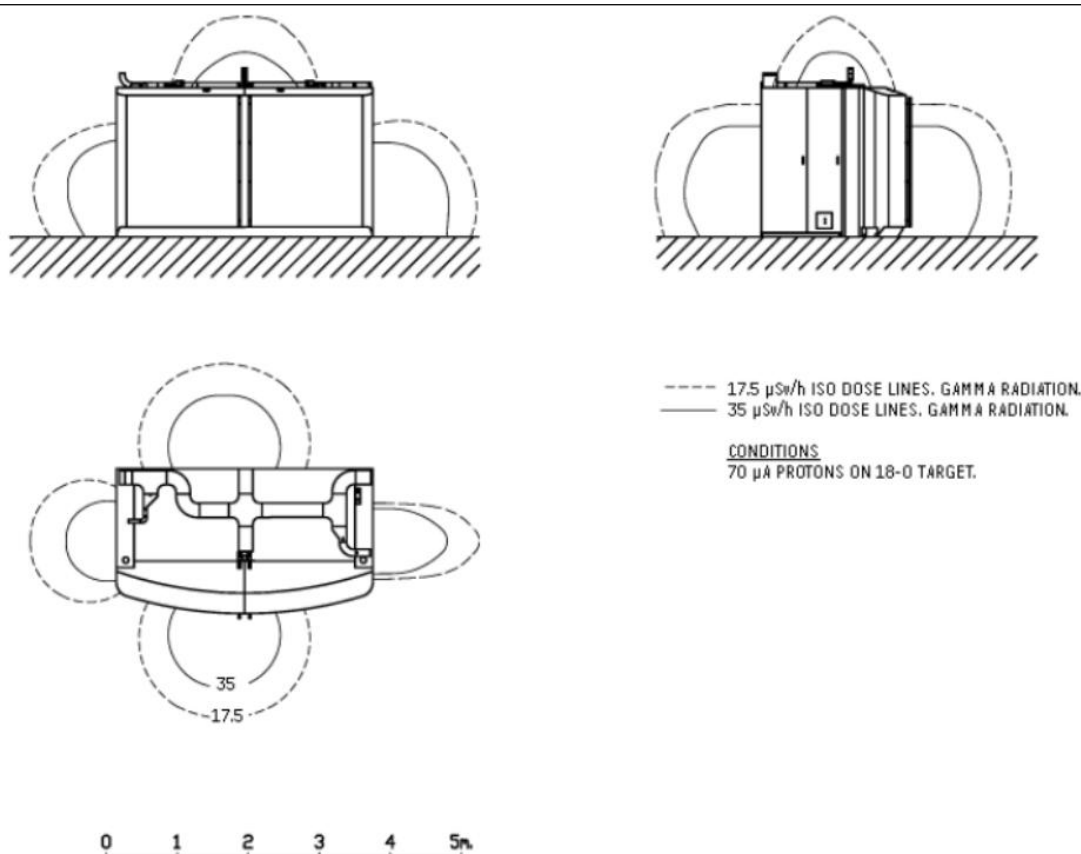


图 11-4 Qilin 回旋加速器中子和 γ 剂量等高线分布图

4.1.2 核素使用场所辐射水平

根据如下照射率与活度公式，可算出放射性核素对周边辐射影响情况，对于周边有屏蔽物质的情况下，还需乘以屏蔽透射因子（B）。

$$\dot{X} = A \cdot \Gamma \cdot B / R^2 \quad (11-29)$$

\dot{X} —照射率，X/(kg·s) 或 $\mu\text{Sv/h}$ 。

A—放射源活度，Bq。本处为核素单次使用活度值。

Γ —距离源 1m 处的照射量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ，参考《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020) 表 H1。

R—距离辐射原点的距离，m。

B—屏蔽体的屏蔽透射因子。

人员附加剂量计算根据如下公式进行计算：

$$H = \dot{X} \cdot t \quad (11-30)$$

t—屏蔽体的屏蔽透射因子。

假设单次使用活度为 $A_{\text{总}}$ ，年诊断、治疗患者次数为 n，单次操作时间为 t_1 ，由公式

11-9、11-29、11-30 可进一步推导人员附加剂量公式：

$$H = \frac{A_{\text{总}}}{n} \cdot \Gamma \cdot R^{-2} \cdot 10^{-\frac{Xe}{TVL}} \cdot n \cdot t_1 = A_{\text{总}} \cdot \Gamma \cdot t_1 \cdot 10^{-Xe/TVL} \quad (11-31)$$

由公式 11-29 可知，辐射场强度于单次使用核素活度、照射率和屏蔽透射因子成正比，与距离成反比。由公式 11-31 可知，对于核医学区中的某一功能区（例如 PET/MR、PET/CT 区、SPECT/CT 区等）的不同核素对周围公众及工作人员年附加受照剂量与年核素活度、照射率常数成正比。

根据医院提供非密封放射源使用数据，见表 11-24，各核素物理特性见表 11-25。从表 11-24 和表 11-25 可以看出，用于 PET 显像诊断的 F-18、Ga-68、Zr-89、Cu-64、C-11 中，F-18 的年最大用量比其他核素用量 1.1 倍，照射率常数差异非常小，因此，PET 显像诊断（PET/MR、PET/CT）以 F-18 作为关键代表核素进行环境影响分析。用于 SPECT/CT 显像诊断的 Tc-99m、I-125 中，Tc-99m 的年最大用量是 I-125 用量多 10000 倍，照射率常数是 I-125 的 0.5 倍，因此，SPECT/CT 显像诊断以 Tc-99m 作为关键代表核素进行环境影响分析。用于肿瘤癌症治疗的 I-131、Lu-177、Re-188、Sr-89、Ra-223 中，I-131 的年最大用量比其他核素用量的 1.23 倍，照射率常数比核素用量较多的 Lu-177、Re-188 均大，因此，在放射性核素治疗区域，以 I-131 作为关键代表核素进行环境影响分析。

经计算，各常用核素使用场所周围剂量率见表 11-26。计算结果表明，未考虑房间屏蔽的情况下，PET/MR、PET/CT 区、医疗科研工作区房间内的核素 1 米处辐射剂量率不超过 39.7 μ Sv/h，SPECT/CT 区房间内核素 1 米处辐射剂量率不超过 22.4 μ Sv/h，核素治疗区的剂量率核素 1 米处不超过 440.3 μ Sv/h。通过对放射性核素和医务工作人员之间增加屏蔽措施后，医务人员注射 F-18 时距离 30cm 处剂量率约 18.1 μ Sv/h，注射 Tc-99m 时距离 30cm 处剂量率约 2.49E-15 μ Sv/h，距离铅罐中的 I-131 源 30cm 处剂量率约 1.1 μ Sv/h。

各核医学场所医务工作人员（含核素分装、质控人员）接触核素在运输、使用核素时，与核素的距离为 30cm，根据（11-28）可计算工作人员的受照剂量率水平，计算结果见表 11-25。

由于核医学工作场所设计有辐射防护屏蔽，包括混凝土墙、含铅辐射防护涂料、含铅防护门、铅玻璃窗等防护屏蔽措施，屏蔽参数见表 10-9。根据这些参数可计算出各个场所的屏蔽透射因子，分别计算屏蔽墙和铅涂层的屏蔽透射因子，然后计算总的

屏蔽透射因子。按照关注点距离原点距离 2m，铅和混凝土的什层值（TVL）和射线穿透屏蔽体的墙外的剂量率参见《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）中的附录 I 屏蔽计算办法，计算核医学工作房间外表面 30cm 的剂量率水平，计算结果见表 11-27。计算结果表明，各核素使用房间的屏蔽墙能够很好地对核素使用场所进行屏蔽，并确保墙外 30cm 处剂量率低于 2.5 μ Sv/h。

表 11-24 放射性核素使用情况

使用核素种类	单次给药量 (mCi)	每天最大诊疗人数	每年诊疗病人人数	注射药后，单个病人候诊时间 (min)	每个病人扫描时间 (min)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
F-18	0.1 mCi/kg	40	10000	60	20	1.11E+10	2.78E+12
Tc-99m	20	40	10000	/	20	2.96E+10	7.40E+12
I-131	80-200	3-5	750	/	/	1.67E+10	4.18E+12
Lu-177	150	1	250	/	/	5.55E+09	1.39E+12
Re-188	50	1	250	/	/	1.85E+09	4.63E+11
Ga-68	3	15	3750	30	20	5.55E+09	1.39E+12
Zr-89	4	5	1250	120	20	7.4E+08	1.85E+11
Cu-64	4	5	1250	60	20	7.4E+08	1.85E+11
C-11	15	3	750	10	20	1.85E+09	4.63E+11
Sr-89	4	1	250	/	/	1.48E+08	3.70E+10
I-125	/	/	/	/	/	5.0E+05	1.25E+08
Ra-223	0.2	1	250	/	/	7.4E+06	1.85E+09

表 11-25 放射性核素参数

使用核素种类	衰变模式	α/β 射线能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) μ Sv·m ² /MBq·h	用途
F-18	β^+ , EC	0.63	0.511	0.143	PET 显像
Tc-99m	γ	—	0.140	0.0303	SPECT/CT 显像
I-131	β	606.5	0.284, 0.047, 0.637	0.0595	核素治疗
Lu-177	β	0.2058	0.2084	—	肿瘤骨转移治疗
Re-188	β	2120	0.155	—	肿瘤骨转移治疗
Ga-68	β^+ , EC	1.9	0.511	0.134	PET 显像
Zr-89	β^+ , EC	0.395	0.511	—	PET 显像
Cu-64	β^+ , EC, β^-	0.65	0.511	0.029	PET 显像
C-11	β^+ , EC	0.96	0.511	0.148	PET 显像
Sr-89	β	0.58	—	—	肿瘤骨转移治疗
I-125	γ	—	0.027, 0.028, 0.031, 0.036	0.0165	放免
Ra-223	α	5.87 (α)	0.117, 0.0838, 0.2695	—	肿瘤骨转移治疗

说明：上述参数来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）附录H

表 11-26 工作人员所处辐射场最大剂量率

核素	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	单次给药量 MBq	铅屏蔽厚度 mm	铅十分之一值层厚度 值	屏蔽透射 因子	工作人员剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
F-18	0.143	278	23	16.6	4.1E-02	18.1
Tc-99m	0.0303	740.0	17	1	1.0E-17	2.5E-15
I-131	0.0595	7400.0	40	11	2.3E-04	1.1

备注：
 1、按患者体重 75kg，患者单次给药量按 0.1 mCi /kg，则单次 F-18 活度为 7.5mCi，即 278MBq。
 2、对于 F-18、Tc-99m，工作人员受照剂量率以工作人员距离放射源 30cm 操作计算，对于 I-131，医务人员距离放射源 200cm 指导患者服药说明，离开后患者自行服药。
 3、F-18 注射窗采用 8mmpb 铅当量玻璃，注射器屏蔽套为 10mmpb 铅当量，注射 F-18 时使用给药防护屏为 6mmpb 铅当量，则 F-18 注射时铅屏蔽厚度为 23mm；Tc-99m 注射窗采用 8mmpb 铅当量玻璃，注射器屏蔽套为 9mmpb 铅当量，则 Tc-99m 注射时铅屏蔽厚度为 17mm。医务工作人员在指导病人服碘方法后即离开服碘室并视频观察服药过程，医患人员自己从铅罐中取出碘药服用，铅罐厚度为 40mmpb 铅当量。
 4、保守估计，周围剂量当量率常数和铅十分之一值层厚度值参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）。

表 11-27 核医学工作场所剂量率水平

区域	关注核素	房间	边界是否在控制区内	方位	屏蔽	综合屏蔽透射因子 B	距关注点距离 (m)	核素活度 (MBq)	照射量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2$)	屏蔽后关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
F-18	卫生通过间		内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料 运输屏蔽材料（40mmpb）	5.06E-05	1.8	278	0.143	6.21E-04
			内	西墙体		5.06E-05	2.3	278	0.143	3.80E-04
			外	东墙体		5.06E-05	2.3	278	0.143	3.80E-04
			内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器（40mmpb）	1.69E-03	2.9	278	0.143	8.01E-03
	缓冲（注射准备室）		内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料 屏蔽容器（40mmpb）	5.06E-05	2.3	278	0.143	3.80E-04
			内	西墙体		5.06E-05	2.3	278	0.143	3.80E-04

福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目

PET/MR 、 PET/CT 区		外	东墙体		5.06E-05	2.3	278	0.143	3.80E-04
		内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器（10mmpb）	1.69E-03	3.3	278	0.143	6.18E-03
	PET 注射室	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料 屏蔽容器（40mmpb）	3.83E-05	1.8	278	0.143	4.70E-04
			西墙体		3.83E-05	2.3	278	0.143	2.88E-04
		外	东墙体		3.83E-05	2.3	278	0.143	2.88E-04
		外	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器（10mmpb）	1.69E-03	2.9	278	0.143	8.01E-03
	PET 注射后 普通候诊室	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料	9.85E-03	4.6	278	0.092	1.19E-02
			东、西墙体		9.85E-03	3.6	278	0.092	1.94E-02
		内	防护门	防护门：6mmpb	4.35E-01	4.9	278	0.092	4.63E-01
	注射后 VIP 候诊室	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料	9.85E-03	2.7	278	0.092	3.45E-02
		内	北墙体		9.85E-03	2.7	278	0.092	3.45E-02
		内	东、西墙体		9.85E-03	3.3	278	0.092	2.31E-02
		内	防护门	防护门：8mmpb	3.30E-01	4.3	278	0.092	4.56E-01
	留观室	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料	9.85E-03	2.7	278	0.092	3.45E-02
		内	北墙体		9.85E-03	2.7	278	0.092	3.45E-02
		外	西墙体		9.85E-03	2	278	0.092	6.30E-02
		内	东墙体		9.85E-03	2	278	0.092	6.30E-02
		内	防护门	防护门：8mmpb	3.30E-01	3.4	278	0.092	7.29E-01
	PET/MR 机 房	内	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护 涂料	9.85E-03	4.6	278	0.092	1.19E-02
			外		北墙体	9.85E-03	4.6	278	0.092
外		西墙体	9.85E-03		4.3	278	0.092	1.36E-02	
内		东墙体	9.85E-03		4.3	278	0.092	1.36E-02	
内		防护门	防护门：8mmpb		3.30E-01	6.3	278	0.092	2.12E-01
PET/CT 机 房	内	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料	9.85E-03	4.6	278	0.092	1.19E-02	
	外	北墙体		9.85E-03	4.6	278	0.092	1.19E-02	

福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目

			内	西墙体		9.85E-03	4.3	278	0.092	1.36E-02
			外	东墙体		9.85E-03	4.3	278	0.092	1.36E-02
			内	防护门	防护门：8mmpb	3.30E-01	6.3	278	0.092	2.12E-01
		各房间楼顶	外	楼顶	楼顶：200mm 混凝土楼板+800mm 覆土	3.39E-05	5	278	0.143	5.39E-05
SPECT/ CT 区	Tc-9 9m	储源室	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂 料 屏蔽容器（40mmpb）	1.87E-46	2.2	740	0.0303	8.68E-46
			内	北墙体		1.87E-46	2.2	740	0.0303	8.68E-46
			外	东、西墙体		1.87E-46	2.3	740	0.0303	7.94E-46
			内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.00E-46	3.2	740	0.0303	2.19E-46
		卫生通过	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂 料 屏蔽容器（40mmpb）	1.87E-46	1.9	740	0.0303	1.16E-45
			外	东、西墙体		1.87E-46	2.3	740	0.0303	7.94E-46
			内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.00E-46	3	740	0.0303	2.49E-46
		备用间	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂 料 屏蔽容器（40mmpb）	1.87E-46	2.2	740	0.0303	8.68E-46
			外	东、西墙体		1.87E-46	2.3	740	0.0303	7.94E-46
			内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.00E-46	3.2	740	0.0303	2.19E-46
		肺通气试验 室	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂 料 屏蔽容器（40mmpb）	1.87E-46	2.2	740	0.0303	8.68E-46
			内	北墙体		1.87E-46	2.2	740	0.0303	8.68E-46
			内	东、西墙体		1.87E-46	2.5	740	0.0303	6.72E-46
			内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.00E-46	3.3	740	0.0303	2.06E-46
		心肌负荷试 验室	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂 料 屏蔽容器（40mmpb）	1.87E-46	2.2	740	0.0303	8.68E-46
			内	北墙体		1.87E-46	2.2	740	0.0303	8.68E-46
			内	东、西墙体		1.87E-46	2.5	740	0.0303	6.72E-46

福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目

		内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.00E-46	3.3	740	0.0303	2.06E-46	
	注药后普通候诊室	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料	1.87E-06	3.2	740	0.0207	2.80E-06	
		内	北墙体		1.87E-06	3.2	740	0.0207	2.80E-06	
		外	西墙体		1.87E-06	4.3	740	0.0207	1.55E-06	
		内	东墙体		1.87E-06	4.3	740	0.0207	1.55E-06	
		内	防护门	防护门：6mmpb	1.00E-06	5.4	740	0.0207	5.25E-07	
	注射准备室、卫生通过间、废药室、注射室	内	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料 屏蔽容器（40mmpb）	1.87E-46	3.3	740	0.0303	3.86E-46	
		外	北墙体		1.87E-46	3.3	740	0.0303	3.86E-46	
		外	西墙体		1.87E-46	3.4	740	0.0303	3.63E-46	
		内	东墙体		1.87E-46	3.4	740	0.0303	3.63E-46	
		内	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.00E-46	4.7	740	0.0303	1.02E-46	
	注药后 VIP 候诊室	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料	1.87E-06	2.3	740	0.0207	5.43E-06	
		内	西墙体		1.87E-06	2.4	740	0.0207	4.98E-06	
		外	东墙体		1.87E-06	2.4	740	0.0207	4.98E-06	
		内	防护门	防护门：6mmpb	1.00E-06	3.3	740	0.0207	1.41E-06	
	留观室	内	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料	1.87E-06	3	740	0.0207	3.19E-06	
		外	北墙体		1.87E-06	3	740	0.0207	3.19E-06	
		外	西墙体		1.87E-06	1.8	740	0.0207	8.86E-06	
		内	东墙体		1.87E-06	1.8	740	0.0207	8.86E-06	
		内	防护门	防护门：6mmpb	1.00E-06	3.5	740	0.0207	1.25E-06	
	SPECT/CT 机房	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂料	1.87E-06	4.6	740	0.0207	1.36E-06	
		内	西墙体		1.87E-06	4.6	740	0.0207	1.36E-06	
		外	东墙体		1.87E-06	4.6	740	0.0207	1.36E-06	
		内	防护门	防护门：6mmpb	1.00E-06	6.5	740	0.0207	3.63E-07	
	各房间楼顶	外	楼顶	楼顶：200mm 混凝土楼板+800mm 覆土	3.39E-05	5	740	0.0303	3.04E-05	
放射性药物制备区	F-18 /Tc-99m	合成热室	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂料 屏蔽容器：40mmpb	3.83E-05	4.4	278	0.143	7.87E-05
			内	北墙体		3.83E-05	4.4	278	0.143	7.87E-05
			外	西墙体		3.83E-05	4.5	278	0.143	7.53E-05

福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目

			内	东墙体		3.83E-05	4.5	278	0.143	7.53E-05		
			外	防护门	防护门：8mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.28E-03	6.3	278	0.143	1.29E-03		
		质控打包间	外	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料 屏蔽容器：40mmpb	3.83E-05	2.9	278	0.143	1.81E-04		
			内	北墙体		3.83E-05	2.9	278	0.143	1.81E-04		
			外	西墙体		3.83E-05	1.8	278	0.143	4.70E-04		
			内	东墙体		3.83E-05	1.8	278	0.143	4.70E-04		
			外	防护门		防护门：8mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.28E-03	3.4	278	0.143	4.41E-03	
		卫生通过、 卫浴、制药 区洗污间、 废物储存间	内	南墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂 料 屏蔽容器：10mmpb	3.83E-05	2.7	278	0.143	2.09E-04		
			外	北墙体		3.83E-05	2.7	278	0.143	2.09E-04		
			内	西墙体		3.83E-05	1.8	278	0.143	4.70E-04		
			外	东墙体		3.83E-05	1.8	278	0.143	4.70E-04		
			外	防护门		防护门：8mmpb 屏蔽容器：10mmpb	1.28E-03	3.1	278	0.143	5.31E-03	
		高活性室、 缓冲室、洗 消室	外	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+3mmpb 防护涂 料 屏蔽容器（40mmpb）	1.87E-46	2.7	740	0.0303	5.76E-46		
			外	西墙体		1.87E-46	2.8	740	0.0303	5.36E-46		
			内	东墙体		1.87E-46	2.8	740	0.0303	5.36E-46		
			外	防护门	防护门：6mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.00E-46	3.9	740	0.0303	1.47E-46		
		各房间楼顶	外	楼顶	楼顶：200mm 混凝土楼板+800mm 覆土	3.39E-05	5	278	0.143	5.39E-05		
		医学科 研区	F-18 /Tc- 99m	小动物 PET/MR 室	外	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料 屏蔽容器：40mmpb	8.59E-03	3.6	278	0.143	2.64E-02
					外	东、西墙体		8.59E-03	3.3	278	0.143	3.14E-02
					外	防护门		防护门：8mmpb	3.30E-01	4.9	278	0.143
				小动物 SPECT/CT 室	外	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂 料 屏蔽容器：40mmpb	1.87E-08	2.1	740	0.0303	9.53E-08
					外	西墙体		0.00E+00	3.3	740	0.0303	0.00E+00
					内	东墙体		0.00E+00	3.3	740	0.0303	0.00E+00
外	防护门				防护门：8mmpb	1.00E-08		3.9	740	0.0303	1.47E-08	
化学合成室	外			南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+5mmpb 防护涂	3.83E-05	2.1	278	0.143	3.46E-04		

福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目

		内	西墙体	料 屏蔽容器：40mmpb	3.83E-05	1.8	278	0.143	4.70E-04
		外	东墙体		3.83E-05	1.8	278	0.143	4.70E-04
		外	防护门	防护门：8mmpb 屏蔽容器：40mmpb	1.28E-03	2.8	278	0.143	6.51E-03
	各房间楼顶	外	楼顶	楼顶：200mm 混凝土楼板+800mm 覆土	3.39E-05	5	278	0.143	5.39E-05
	分碘室	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+10mmpb 防护 涂料	2.12E-03	2.3	7400	0.0595	1.76E-01
		内	西墙体		2.12E-03	2.9	7400	0.0595	1.11E-01
		外	东墙体		2.12E-03	2.9	7400	0.0595	1.11E-01
		内	防护门	防护门：30mmpb 屏蔽容器：40mmpb	4.33E-07	3.8	7400	0.0595	1.32E-05
	服碘室	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+10mmpb 防护 涂料	2.12E-03	2.3	7400	0.0595	1.76E-01
		内	东、西墙体		2.12E-03	1.8	7400	0.0595	2.88E-01
		内	防护门	防护门：15mmpb	4.33E-02	2.9	7400	0.0595	2.27E+00
	给药室	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+10mmpb 防护 涂料	2.12E-03	1.8	7400	0.0595	2.88E-01
		内	西墙体		2.12E-03	2.9	7400	0.0595	1.11E-01
		外	东墙体		2.12E-03	2.9	7400	0.0595	1.11E-01
		内	防护门	防护门：30mmpb 屏蔽容器：40mmpb	4.33E-07	1.8	7400	0.0595	5.88E-05
核素治疗休息室	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+10mmpb 防护 涂料	2.12E-03	2.6	14800	0.0583	2.71E-01	
	内	西墙体		2.12E-03	4.4	14800	0.0583	9.45E-02	
	外	东墙体		2.12E-03	4.4	14800	0.0583	9.45E-02	
	内	防护门	防护门：15mmpb	4.33E-02	5.8	14800	0.0583	1.11E+00	
患者走道 (服碘室、 治疗室外 侧)	内	防护门	防护门：12mmpb	8.11E-02	14.4	7400	0.0583	1.69E-01	
	内	东、西墙体	墙体：300mm 厚混凝土+8mmpb 防护涂 料	3.22E-03	1.8	7400	0.0583	4.29E-01	
核素治疗病房 (四周均	内	南、北墙体	墙体：300mm 厚混凝土+12mmpb 防护 涂料	1.39E-03	2.3	14800	0.0583	2.27E-01	

福州滨海新城综合医院（一期）核技术利用项目

	在控制区内部)	内	东、西墙体		1.39E-03	4.5	14800	0.0583	5.94E-02
		内	防护门	防护门: 15mmpb	4.33E-02	5.1	14800	0.0583	1.44E+00
	核素治疗VIP病房(四周均在控制区内部)	内	南墙体	墙体: 300mm 厚混凝土+12mmpb 防护涂料	1.39E-03	2.3	7400	0.0583	1.14E-01
		外	北墙体		1.39E-03	2.3	7400	0.0583	1.14E-01
		内	东、西墙体		1.39E-03	4.5	7400	0.0583	2.97E-02
		内	防护门		防护门: 15mmpb	4.33E-02	5.1	7400	0.0583
	病房区患者走道	内	防护门	防护门: 12mmpb	8.11E-02	11.5	7400	0.0583	2.65E-01
		内	东、西墙体	墙体: 300mm 厚混凝土+12mmpb 防护涂料	1.39E-03	3.6	7400	0.0583	4.64E-02
	核素治疗病房(靠近边界侧)	外	南墙体	墙体: 300mm 厚混凝土+12mmpb 防护涂料	1.39E-03	2.3	14800	0.0583	2.27E-01
		内	北墙体		1.39E-03	2.3	14800	0.0583	2.27E-01
		外	西墙体		1.39E-03	4.5	14800	0.0583	5.94E-02
		内	东墙体		1.39E-03	4.5	14800	0.0583	5.94E-02
		内	防护门	防护门: 15mmpb	4.33E-02	5.1	14800	0.0583	1.44E+00
	污洗间	内	南墙体	墙体: 300mm 厚混凝土+12mmpb 防护涂料	1.39E-03	1.6	7400	0.0595	2.40E-01
		外	北墙体		1.39E-03	1.6	7400	0.0595	2.40E-01
		外	西墙体		1.39E-03	3.3	7400	0.0595	5.64E-02
		内	东墙体		1.39E-03	3.3	7400	0.0595	5.64E-02
		内	防护门	防护门: 15mmpb	4.33E-02	3.7	7400	0.0595	1.39E+00
	被服间(污)	内	南墙体	墙体: 300mm 厚混凝土+12mmpb 防护涂料	1.39E-03	2.8	7400	0.0595	7.83E-02
外		北墙体	1.39E-03		2.8	7400	0.0595	7.83E-02	
外		东、西墙体	1.39E-03		1.9	7400	0.0595	1.70E-01	
内		防护门	防护门: 15mmpb	4.33E-02	3.4	7400	0.0595	1.65E+00	
各房间楼顶	外	楼顶	楼顶: 200mm 混凝土楼板+800mm 覆土	3.39E-05	5	7400	0.0595	5.97E-04	

4.2 人员附加剂量预测

4.2.1 PET/MR、PET/CT 区人员附加剂量预测

(1) 辐射工作人员附加剂量

PET/MR、PET/CT 工作场所使用的放射性核素主要包括 F-18、C-11 和 Ga-68，每年的病人诊断数量和诊断环节耗费时间见表 11-24，工作人员剂量计算时，应以 F-18 参考同时考虑上述核素的剂量贡献。工作环节包括核素分装、注射、注射后等候、摆位、扫描、留观。按一年工作 250 天，注射准备及注射时间 0.5min，病人注射后等候室等候时间 60min，进入机房后，护士摆位时间 0.5min，扫描时间 20min，留观时间 20min。2 台 PET/MR、PET/CT，每台机房一组工作人员，平均每年检查人数一样。辐射工作人员年受照剂量计算公式如下，辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-28。

表 11-28 PET/MR、PET/CT 区工作人员年受照剂量

工作人员	单次接触时间 h	每年接触次数	每年接触时间 h	接触剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	年受照剂量 μSv
注射护士	8.3E-03	7250	60.4	18.1	1093.5
摆位人员	8.3E-03	7250	60.4	18.1	1093.5
控制室医生	3.3E-01	7250	2416.7	0.1	314.2

说明：每年人数=10000 (F-18) +3750 (Ga-68) +750 (C-11)，按 2 台机房平均分配，每台机房约 4833 人，一年工作 250 天，每天每台机房检查约 30 人。

(2) 公众人员附加剂量

PET/MR、PET/CT 工作场所东侧、西侧为候诊大厅，南侧为医疗街，北侧为控制室、医护通道等核医学工作房间。周围主要公众人员为东侧、南侧、西侧的通行人员、陪护人员、候诊人员。墙外 30cm 处周围剂量率按最大剂量率 $6.30\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ 计算，按每天工作 12 小时，每年工作 250 天，居留因子为 1/4 计算，公众最大年受照剂量为 $32\mu\text{Sv}$ 。

4.2.2 SPECT/CT 区人员附加剂量预测

(1) 辐射工作人员附加剂量

SPECT/CT 区工作场所使用的放射性核素主要包括 Tc-99m，每年的病人诊断数量和诊断环节耗费时间见表 11-26，工作人员剂量计算时。工作环节包括核素淋洗、分装、核素运输、注射、注射后等候、摆位、扫描、留观。按一年工作 250 天，注射准备及注射时间 1min，病人注射后等候室等候时间 60min，进入机房后，护士摆位时间 0.5min，扫描时间 20min，留观时间 20min，3 台机房每台机房安排一组工作人员，平均每年检查人数一样。辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-29。

表 11-29 SPECT/CT 区辐射工作人员年受照剂量

工作人员	单次接触时间 h	每年接触次数	每年接触时间 h	接触剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	年受照剂量 μSv
注射护士	1.7E-02	10000	166.7	2.5E-22	4.2E-20
摆位人员	1.7E-02	3300	55.0	3.0E-05	1.7E-03
控制室医生	3.3E-01	3300	1100.0	3.0E-05	3.3E-02

(2) 公众人员附加剂量

SPECT/CT 区工作场所东侧为办公走道、候诊通道，南侧为 SPECT/CT 区注射后 VIP 候诊室，西侧为 SPECT/CT 区患者通道、北侧为 SPECT/CT 区人员通道。周围主要公众人员主要为医务工作人员。周围剂量率按最大剂量率 $3.04\text{E-}05\mu\text{Sv/h}$ 计算，按每天工作 8 小时，每年工作 250 天，居留因子 1/4 计算，公众年受照剂量为 $2.3\text{E-}02\mu\text{Sv}$ 。

4.2.3 制药区人员附加剂量预测

(1) 辐射工作人员附加剂量

制药区在核医学工作区域内，四周均是医患走道。回旋加速器每年工作 250 天，每天工作 3h，F-18 和 Tc-99m 核素每天分装时间为 30min 计算。工作人员年受照剂量计算结果见表 11-30。

表 11-30 制药区工作人员年受照剂量

工作人员	每天工作时间 h	每年工作天数	每年接触时间 h	接触剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	年受照剂量 μSv
加速器机房操作人员	3	250	750.0	5.6E-02	42.0
F-18 分装人员	0.5	250	125.0	2.0	250.0
Tc-99m 分装人员	0.5	250	125.0	2.5E-22	3.1E-20

(2) 公众人员附加剂量

制药区工作场所四周均是核医学工作场所，楼顶为 DR 室和患者通道，周围主要公众人员为楼顶通过公众人员。按最大剂量率 $5.31\text{E-}3\mu\text{Sv/h}$ ，加速器工作时间 750h，居留因子 1/4 计算，公众年受照剂量为 $1\mu\text{Sv}$ 。

4.2.4 核医学科研实验区人员附加剂量预测

(1) 辐射工作人员附加剂量

科研工作区东侧为 SPECT/CT 患者、医护人员走道，南侧是医护走道，西侧是医护、核素治疗患者走道，北侧是动物房、医护人员走道。此区放射设备为一台 PET/MR 和一台 SPECT/CT，主要工作人员为医院实验人员（含控制室设备操作人员），放射性操作为注射和检查。科研实验区每年工作 250 天，每天核素注射 6min，PET/MR、台

PET/CT 每天开机 2h 计算。工作人员年受照剂量计算结果见表 11-31。

表 11-31 制药区工作人员年受照剂量

工作人员	每天工作时间 h	每年工作天数	每年接触时间 h	接触剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	年受照剂量 μSv
实验人员	0.1	250	25	2	114.6
	2	250	500	0.13	

(2) 公众人员附加剂量

核医学科研实验区工作场所四周均是核医学工作场所，东侧为医务人员走道，南侧和核医学医疗区域，西侧为患者离开通道，北侧为动物房、车库，周围主要公众人员为楼顶通过公众人员。按最大剂量率 $5.46\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，PET/MR、PET/CT 每天开机 2h 计算，居留因子 1/4 计算，公众年受照剂量为 $68.2\mu\text{Sv}$ 。

4.2.5 核素治疗区人员附加剂量预测

(1) 辐射工作人员附加剂量

核素治疗区工作场所使用的放射性核素主要包括 I-131。6 间普通病房（每间 2 个床位，共计 12 床位）、5 间 VIP 病房（每间 1 个床位，5 床位），每名甲癌患者治疗时间约 1 周，每周治疗 17 人，每年按 50 周计算，每年治疗人员约 850 人次。医务人员指导对患者进行服碘治疗，整个操作、指导过程时间 2min。病房里的病人均离开病房后，保洁人员才进入病房整理房间，每次整理时间约 10min，11 间甲癌病房每周进入 11 次，每次进入时收到隔壁房间总计 4 个病人体内 I-131 的放射性照射，按隔壁房间病人距离保洁人员 2m 距离计算，剂量率约 $3.1\mu\text{Sv/h}$ ，医务人员和保洁人员年受照剂量计算结果见表 11-32。

表 11-32 核素治疗区工作人员年受照剂量

工作人员	单次接触时间 h	每年接触次数	每年接触时间 h	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	年受照剂量 μSv
医务人员	3.3E-02	850	25.0	1.1	23.3
保洁人员	1.7E-01	550	91.7	3.1	284.2

(2) 公众人员附加剂量

核素治疗区东侧为制药区医护通道，南侧为核素治疗区入口，西侧为放射治疗医护办公区域，北侧为停车区，楼顶为医技楼人员流动区域。按最大剂量率 $2.4\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，住院时间按 365 天病房均有患者居住，每天 12h 可能会有公众人员经过，居留因子 1/16 计算，公众年受照剂量为 $67.5\mu\text{Sv}$ 。核素治疗南侧的护士站距离甲癌病房约 18m，中间隔了 2 面 0.3m 的混凝土墙，考虑混凝土墙的屏蔽透射因子约 $3.90\text{E-}04$ ，甲癌病房对护士站的剂量率贡献约 $1.95\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$ ，按每天工作 8 小时，一年 250 天，居留因子为 1

计算，甲癌病房对护士站的年附加剂量约 $3.9\text{E}-03\mu\text{Sv}$ 。

综上所述：核医学工作区域的工作人员预测年最大个人剂量为 $1093.5\mu\text{Sv}$ ，周围公众人员最大个人剂量为 $68.2\mu\text{Sv}$ 。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年有效剂量限值的要求，也低于本次项目设定的职业工作人员及公众成员的年有效剂量约束值（即职业工作人员的年有效剂量不超过 5mSv ，公众成员的年有效剂量不超过 0.25mSv ）。SPECT/CT 和核素治疗区日常工作期间受照剂量相对比较高，工作过程中应合理人员工作，进行人员剂量均摊，使工作人员受照剂量保持合理范围内。

4.3 三废治理措施及环境影响

4.3.1 放射性固体废物

由污染源分析可知，核医学科产生的放射性固体废物主要有钨铍发生器、回旋加速器维修产生活化废物、使用后的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、更换下的废活性炭放射性污染的物品等。对于产生注射器、一次性手套、吸水纸、口罩的场所，在应设置设定固定的放射性废物收集桶，并定期收集转运到固定的废物收集点。这些放射性废物所含放射性核素活度低，半衰期短，经过若干半衰期后就会衰变到豁免水平，对周围环境不会产生明显影响。

钨铍发生器使用一段时间报废后，应返回厂家。回旋加速器维修过程中产生的活化废物，可能半衰期比较长，需与使用放射核素药物过程中产生的放射性废物单独存放于收集桶或收集袋中，分类存放，如无法衰变到清洁解控水平，返回厂家或交由有放射性废物处理资质单位进行处理。

4.3.2 放射性废液

本项目核医学放射性废水的主要来源是工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排使用水。核医学场所设置有专门的放射性废液收集、排放系统，在患者等候间、患者病房均设置专门卫生间，核医学场所内的各个卫生通过区、制药区的淋浴区废液收集孔，这些场所产生的废液经房间内的废液收集装置收集后，进入排水管道，排往衰变池，衰变池位置及平面图、剖面图见图 11-4、图 11-5、图 11-6。待放射性废物经过若干核素半衰期，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）排放标准后，排往医院内污水处理站，然后排往市政污水处理管道。

经测算，SPECT/CT 工作场所单日总用水量为 1220L，单日放射性核素的排出量为

1.6E+10Bq；PET/CT、PET/MR 工作场所单日总用水量为 540L，单日放射性核素的排出量为 2.22E+09Bq；核素治疗工作场所每日 I-131 治疗工作场所总用水量为 1700L，每日放射性核素的排出量为 1.19E+10Bq（七日平均）。

每位做 PET/CT、PET/MR 检查的患者使用放射性核素 F-18 的最大活度为 2.78E+08Bq；假设平均每位病人排尿两次，排出量约为 1000ml，每次抽水马桶用水量为 8L，每位病人总用水量约为 17L；假设患者出院时排出量为给药量的 33%，即为 9.17E+07Bq。PET/CT、PET/MR 检查每天最大病人数为 60 人，则单日患者总用水量为 1020L，假设工作人员每日在 F-18 制药区进行放射性核素操作后的清洁用水为 200L，则单日 PET 工作场所总用水量为 1220L，单日放射性核素的排出量为 5.50E+09Bq。

每位做 SPECT/CT 检查的患者使用放射性核素 Tc-99m 的最大活度为 8.00E+08Bq；假设平均每位病人排尿两次，排出量约为 1000ml，每次抽水马桶用水量为 8L，每位病人总用水量约为 17L；假设患者出院时排出量为给药量的 33%（参考省内同等三甲医院核医学科室的情况），即为 2.67E+08Bq。SPECT/CT 检查每天最大病人数为 40 人，则单日患者总用水量为 680L，假设工作人员每日在高活性区进行放射性核素操作后的清洁用水为 200L，则单日 SPECT/CT 工作场所总用水量为 880L，单日放射性核素的排出量为 1.07E+10Bq。

I-131 治疗患者使用放射性核素 I-131 的最大活度为 7.4E+09Bq，患者出院时体内残留 I-131 携带量限值为 400MBq；病人一般住院 4-6 天，保守按 7 天计算，住院病人废水量约为 100L/床·日。病人住院期间，I-131 从尿中排出量约为给药量的 66%（此数据出自李德平，潘自强主编，辐射防护手册第三分册），则 I-131 的排放量为 4.88E+09Bq。建设单位设置的 I-131 治疗病房共 17 个床位，则每日 I-131 治疗工作场所总用水量为 1700L，每日放射性核素的排出量为 1.19E+10Bq（七日平均）。

地下室负一层下沉庭院的西南角建造两套大小独立的衰变池，两套独立衰变池分别有 5 个衰变池并联，每个衰变池可独立接收、储存、排放废水，衰变池按先后顺序单独接收废液，按先装满废液衰变池先排放，后装满废液的衰变池后排放的原则排放废液。其中为考虑事故应急时的清洗需要，均设置有事故池，大衰变池专用于 I-131 治疗废水的接收、存放，小衰变池专用与接收、存放 F-18、Tc-99m。单个 I-131 衰变池有效容积约 202 m³，4 个 I-131 衰变池总容积约 808m³（不计事故池，事故池容积为 202m³），单个 F-18、Tc-99m 衰变池有效容积约 46m³，4 个 F-18、Tc-99m 衰变池有效容积约 46m³（不计事故池，事故池容积为 46m³），则经计算，F-18、Tc-99m 和 I-131 在衰变池内

至少可以分别存放 78.3 天和 356.45 天。衰变后各核素的活度情况与各核素 ALI_{min} 情况如表 11-35 所列。经衰变池衰变后每日排出的各核素活度小于 1ALI_{min}，每月排出的放射性废水总活度不超过 10ALI_{min}，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002：低放废液向环境排放每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}，每次排放的活度不超过 1ALI_{min} 的条件，可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道。

表 11-33 衰变池核素 ALI_{min} 估算一览表

核素	单池衰变池核素最大排入量 (Bq)	半衰期	单池体积 (m ³)	单池存满时间 (d)	可衰变时间 (d)	衰变后核素活度 (Bq)	ALI _{min} (Bq)
Tc-99m	1.07E+10	6.02h	46	26.1	78.3	1.30E+06	2.15E+08
F-18	5.50E+09	109.8 min				7.25E-04	
I-131	1.19E+10	8.02d	202	118.8	356.4	4.99E-04	9.09E+05

说明：ALI=DL/e_j，DL 取 0.02Sv，e (F-18) = 9.30E-11Sv/Bq，e (Tc-99m) = 2.90E-11Sv/Bq，e (I-131) = 2.20E-08；ALI (F-18) = 2.15E+08 Bq，ALI (Tc-99m) = 6.90E+08 Bq，ALI (I-131) = 9.09E+05 Bq。由于 Tc-99m 和 F-18 贮存于同一衰变池，保守考虑，贮存 Tc-99m 和 F-18 的放射性废液 ALI 取 2.15E+08 Bq。

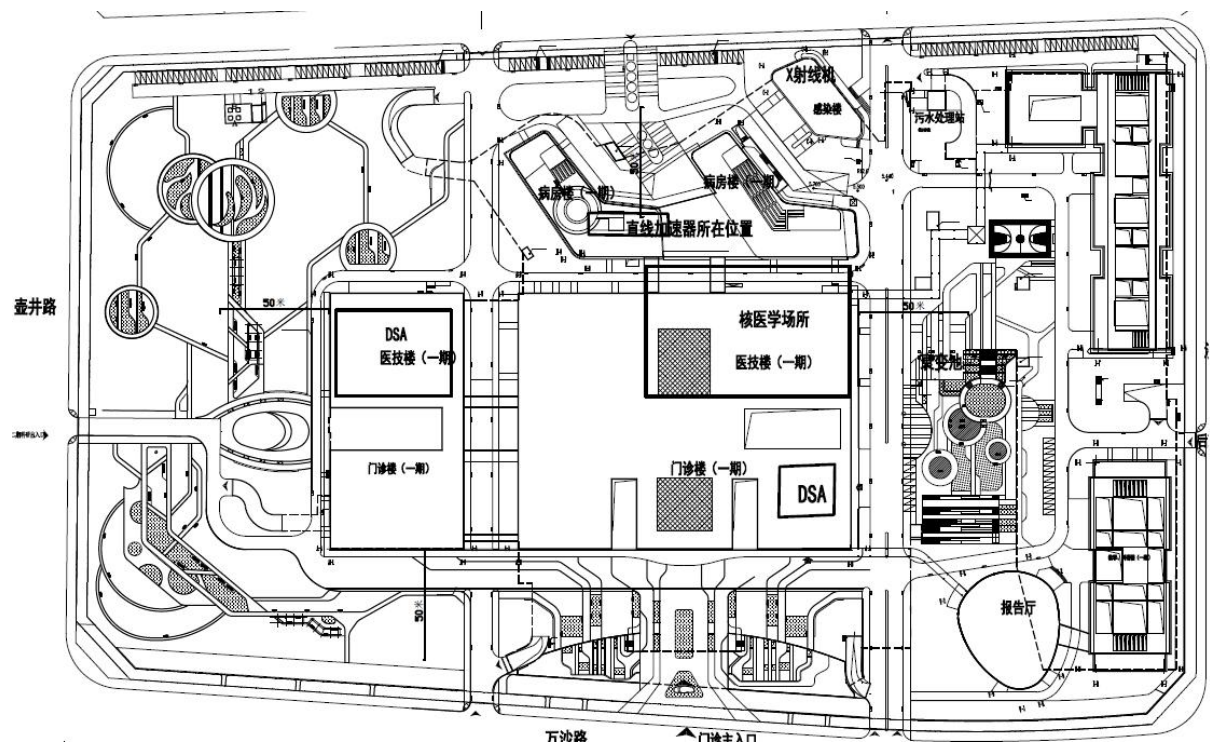


图 11-4 衰变池位置图

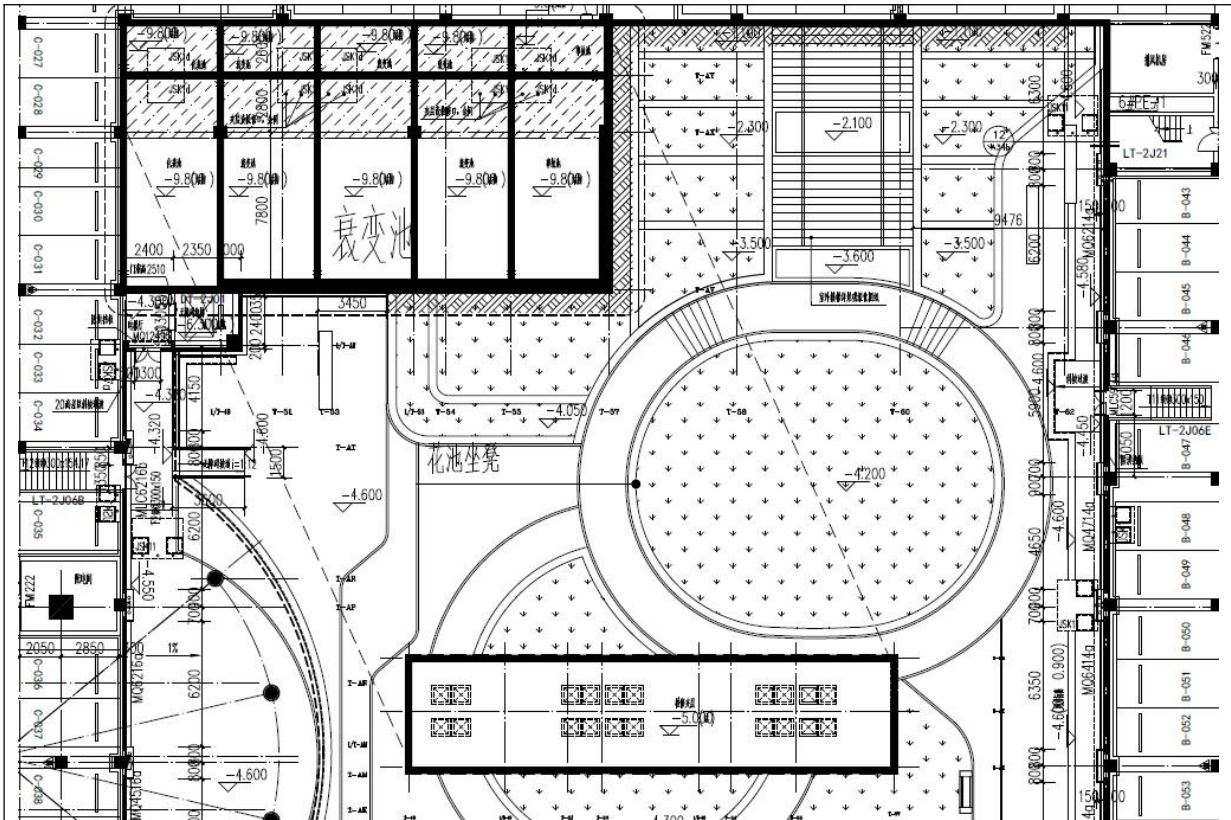


图 11-5 衰变池平面布局图

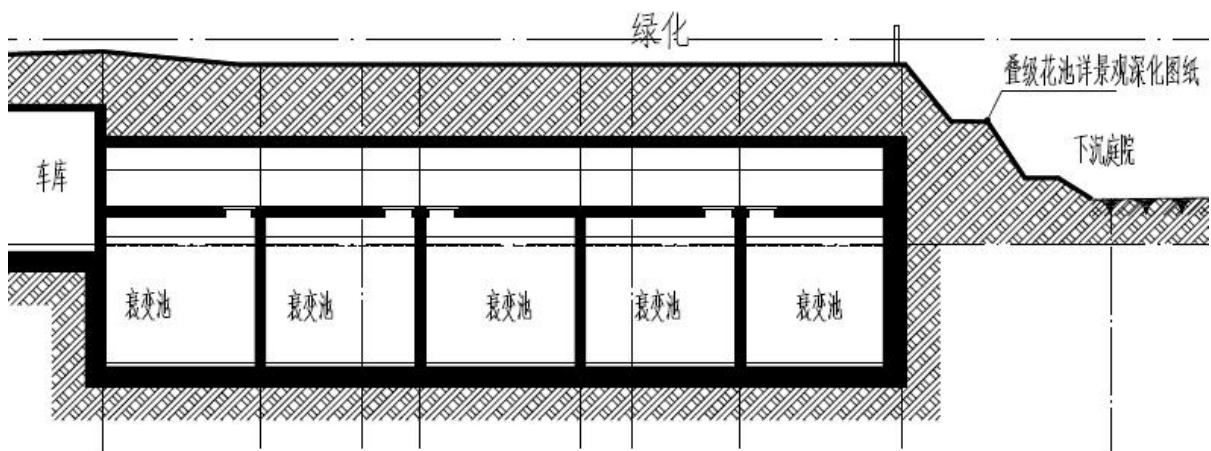
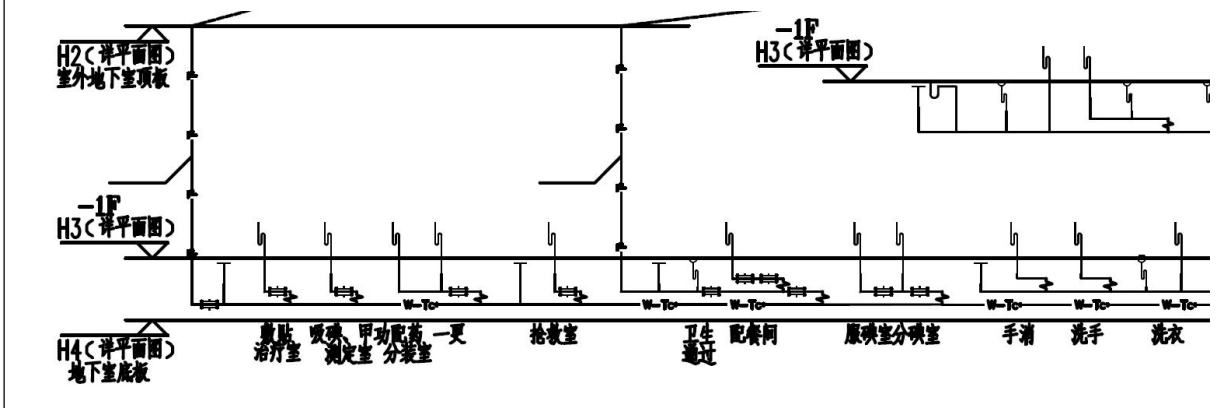
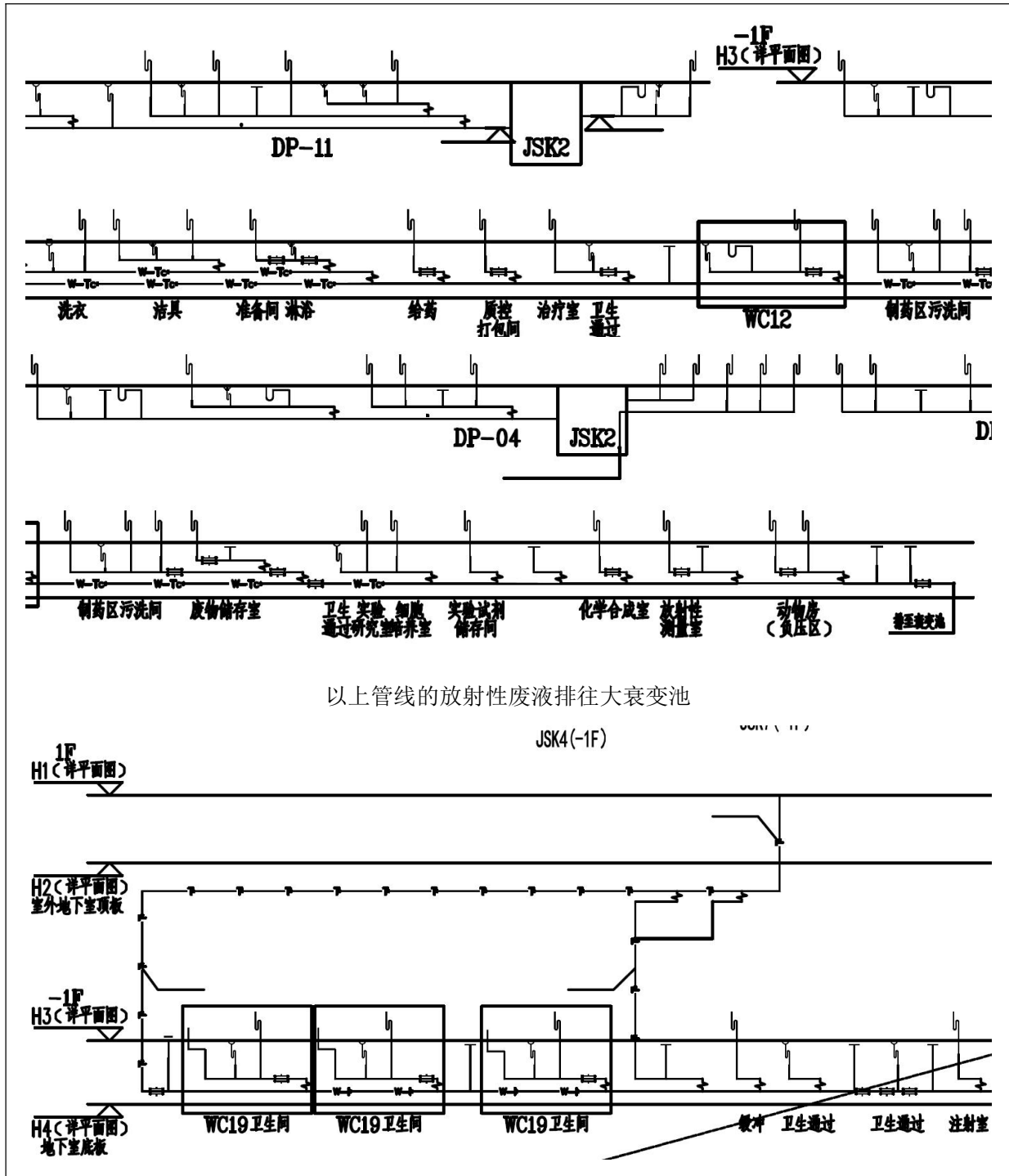
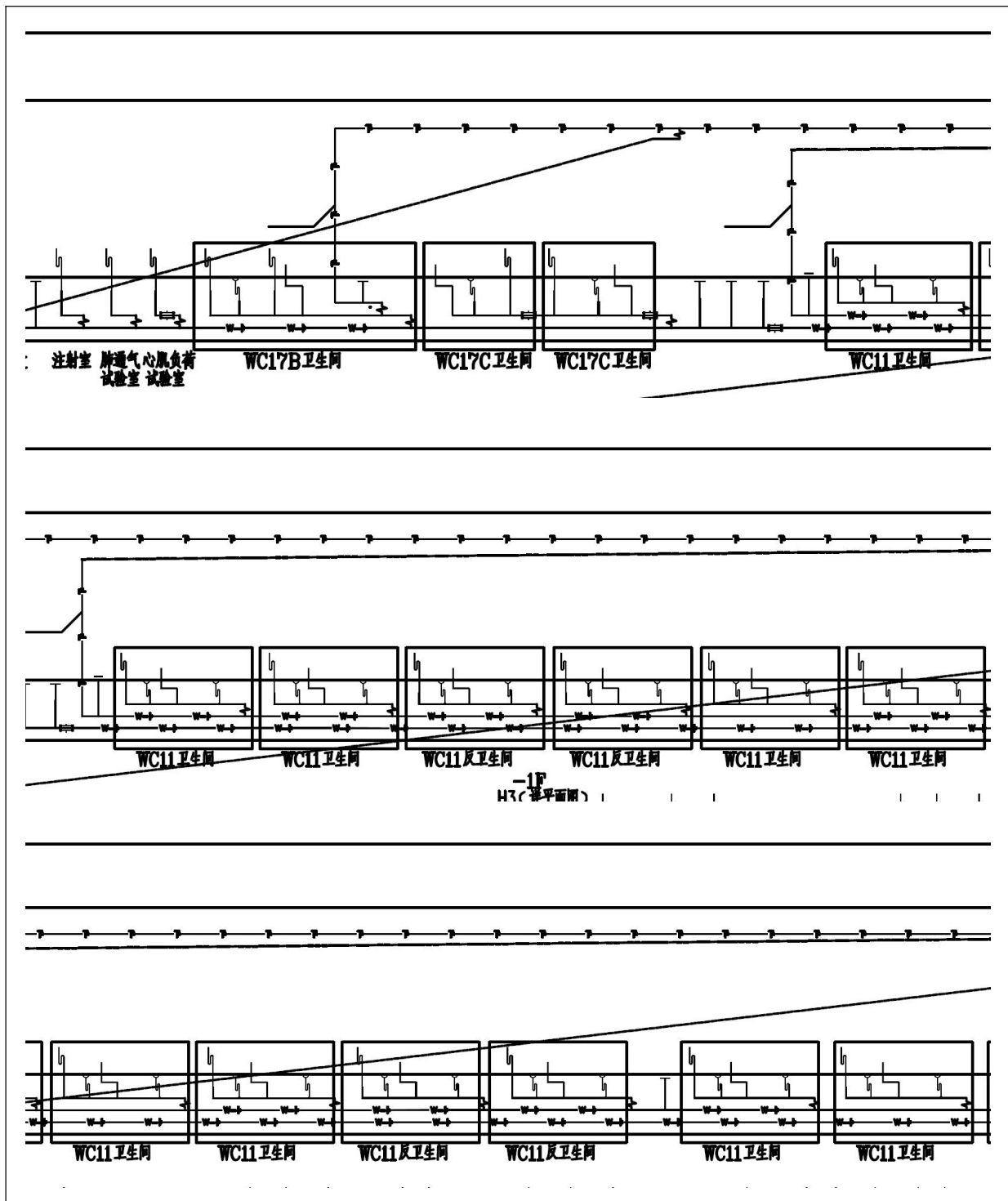
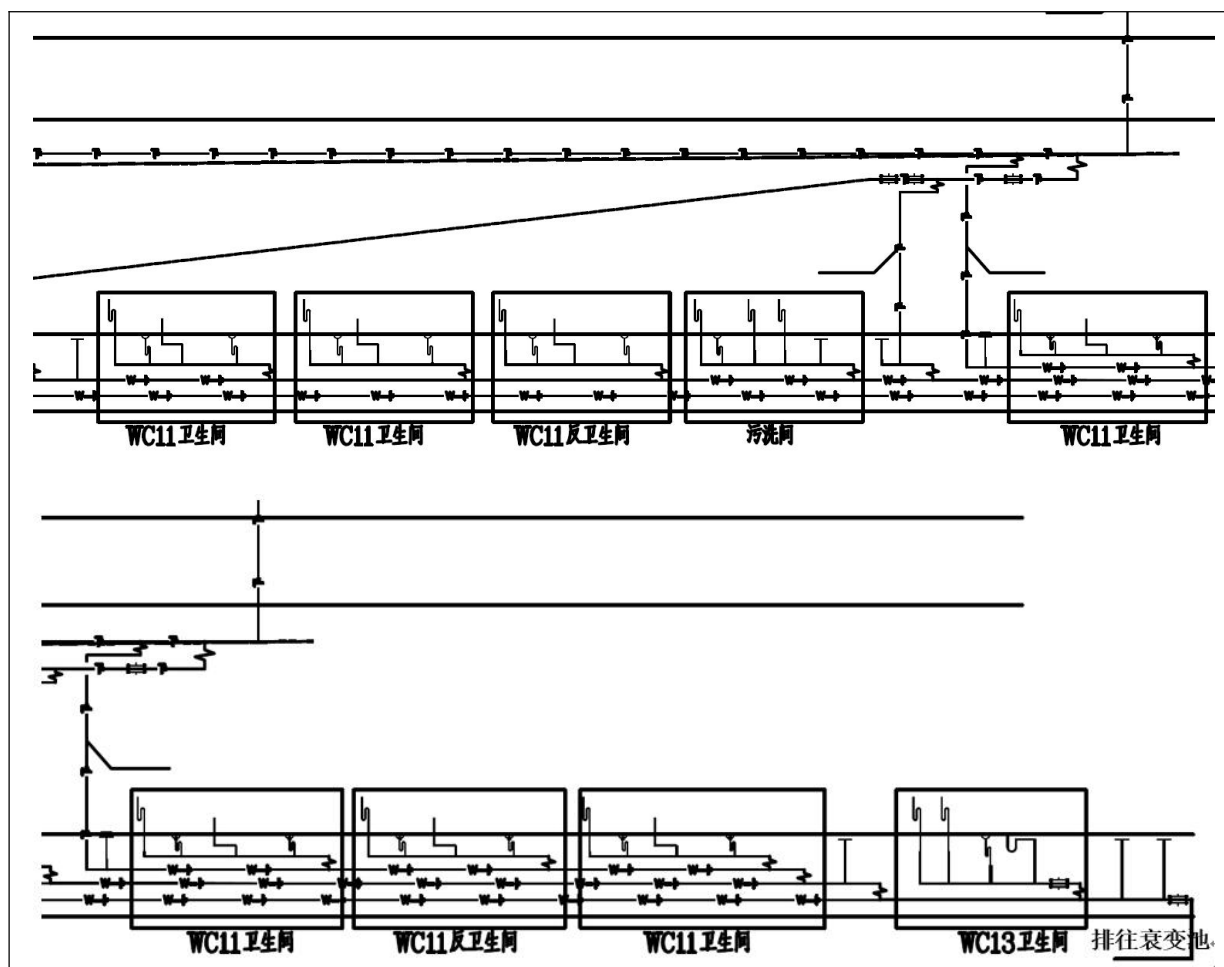


图 11-6 衰变池剖面图









以上管线的废液排往小衰变池

图 11-7 排放衰变池的放射性废液管线图

4.3.3 放射性废气

本项目核医学操作过程中会产生一定量的放射性气体，如核素分装和淋洗等，这些工作场所设计通风橱通风速率不小于 1m/s，排气口高度应高于本建筑屋脊，并酌情设置活性炭过滤装置或其它专用过滤装置，排出放射性气体浓度不应超过有关法规标准规定的限值。核医学科内部用房区域均设置有通风系统，将室内空气经通风管道由风机抽吸至楼顶排出。

表 12 辐射安全管理

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中规定的：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当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。

为此，医院拟设立以院领导为组长的辐射防护领导小组，通过此机构进一步建立辐射安全防护责任制度，落实安全责任，制订辐射防护措施等。对医院所有放射性装置及放射源（包含备案项目）统一管理，制定放射诊疗设备和放射性物质的相关操作规程、辐射事故应急处理预案等，并负责组织开展放射事件的应急处理救援工作。管理小组职责如下：

- 1) 贯彻落实国家、省、市生态环境管理部门有关辐射安全与辐射环境保护工作的方针、政策、法规及要求。
- 2) 负责建立和完善医院放射性药物及射线装置的管理和射线的防护，放射性药物的订购和安全使用、保护，放射性废物、废水的处理工作制度
- 3) 负责协调和检查本单位辐射安全与辐射保护工作情况，了解和掌握动态管理情况。
- 4) 负责组织辐射突发事件的应急救援处理，参与辐射事故的调查和处理。
- 5) 负责组织从事放射性工作人员的健康体检和放射卫生防护知识培训。
- 6) 负责辐射防护管理制度的落实情况进行监督检查。

福州滨海新城综合医院应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和拟开展的核技术应用项目，应制定《辐射安全管理制度》、《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射工作人员的岗位职责》、《放射工作人员健康体检制度》、《放射工作人员培训制度》、《放射卫生档案管理制度》《操作规程与安全防护》、《个人防护用品使用与管理制度》、《射线装置操作规程》、《直线加速器操作规程》、《DSA 操作规程》、《设备检修维护制度》、《放射工作人员剂量监测制度》等一系列规章制度，在日后的运行管理过程中，医院应根据遇到的实际问题，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》）的要求及时进行更新完善，提高制度可操作性，做到所有辐射工作都有章可循，有制度保障。根据《核医学放射防护要求》，医院在管理制度中明确，对于甲癌和甲亢患者，记录每个患者的甲癌或甲亢患者的给药日期、给药量、出院日期、出院前测量周围剂量当量率、估算的患者体内放射性活度，满足出

院的 I-131 活度标准（400MBq）时，向患者出具出院患者辐射防护书面指导手册，提醒患者注意与同事、亲属的接触以及外出旅行相关限制要求，确保满足国标要求。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61—2021）及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关标准和规范的要求，医院针对此次核技术应用项目制定了相应的辐射监测计划（见附件 6），包括：

- 1) 配备足够剂量率监测仪表、表面污染监测仪表，便于工作人员日常监测使用。
- 2) 配备足够的个人剂量计、个人报警式剂量计，对工作人员进行个人剂量监测，在 DSA、放射性药物分装、注射等手部剂量较大的工作，在运行初期，应进行手部肢端剂量监测，根据监测结果，以评估肢端监测的必要性。
- 3) 每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。
- 4) 定期开展放射性工作场所辐射水平监测。
- 5) 定期开展放射性工作场所污染普查工作。
- 6) 辐射工作人员应定期进行职业健康体检，进行职业健康监测，不得少于每两年一次。
- 7) 对放射性废物排放进行监测，确保排出放射性废物满足国标要求。

为有效处理核技术利用项目开展过程中可能产生的辐射事故，强化辐射事故应急处理责任，最大限度地控制事故危害，医院已制定《辐射事故应急预案》（见附件 5）。在《辐射事故应急预案》规定了定期对辐射工作场所进行安全检测和辐射监测，以保证能及时发现问题并预防辐射事故发生。医院应在本项目正式运营前进行一次辐射事故应急演练。同时在日常的工作中需定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演练，演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，并根据实际情况组织修订辐射事故应急预案。

表 13 结论与建议

1.1 项目概况

福州滨海新城综合医院是新建项目，地址位于福州滨海新城 201 省道东侧、沙壶路南侧、壶井路北侧、万沙路西侧，由福州市政府、复旦大学附属华山医院和福建医科大学附属第一医院合作共建，是一家综合三甲医院。院区内新建建筑物包括门诊医技楼、病房楼、感染楼、倒班宿舍、教学、科研楼、报告厅、污水处理站、液氧站等。

福州滨海新城综合医院拟在病房楼地下室负一层建设 3 台直线加速器用于患者放射治疗；拟分别在医技楼一层建设 4 台 DSA 机，在医技楼三层建设 1 台 DSA 机、在门诊楼一层急诊科建设 1 台 DSA 机用于介入诊疗；拟在医技楼地下一层回旋加速器机房使用 1 台回旋加速器；共使用 10 台 II 类射线装置。

拟在病房楼地下室负一层后装治疗机房使用 1 枚 Ir-192 放射源进行近距离放射治疗，活度为 $3.7E+11Bq$ ，为使用 III 类放射源。

拟在医技楼地下室负一层回旋加速器机房使用 1 台回旋加速器，用于生产 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素；拟在医技楼地下室负一层 1 号 PET/CT 机房、地下室负一层 2 号 PET/MR 机房，使用 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素用于 PET/CT 或 PET/MR 显像诊断；拟在小动物 PET/CT 室，使用 F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64 等放射性核素用于小动物 PET/CT 显像诊断；拟在医技楼地下一层钼-锝发生器室使用钼-锝发生器，用于淋洗、标记、分装 Tc-99m 放射性核素；拟在医技楼地下室负一层 1 号、2 号、3 号、4 号 SPET/CT 机房，使用 Tc-99m 放射性核素，用于 SPECT/CT 显像检查；拟在医技楼地下室负一层小动物 SPET/CT 机房，使用 Tc-99m 放射性核素，用于小动物 SPECT/CT 显像检查；拟使用 I-131 放射性核素用于核素治疗或甲功测定；拟使用 Lu-177、Re-188、Sr-89、Ra-223 放射性核素用于癌症治疗；使用 I-125 核素用于放免分析。使用 F-18、Tc-99m、I-131、Lu-177、Re-188、Ga-68、Zr-89、Ra-223 等放射性核素为使用乙级非密封放射性物质工作场所，使用 Cu-64、C-11、Sr-89、I-125 等放射性核素为使用丙级非密封放射性物质工作场所。用于进行核医学诊断治疗和放射治疗医学工作。

1.2 辐射安全与防护分析

(1) 医用电子直线加速器机房大小、屏蔽体、辐射安全联锁等辐射安全与防护措施满足《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)、《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》(GBZ/T

201.2-2011)、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)的相关要求。

(2) 后装治疗机机房大小、屏蔽物质厚度等辐射安全与防护措施满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)、《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017)的相关要求。

(3) DSA 机房大小、屏蔽物质厚度等辐射安全与防护措施满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的相关要求。

(4) 核医学工作场所布局、通风、屏蔽满足《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)的相关要求。

综上所述,该项目的辐射安全与辐射防护措施满足国家法律规范及国家标准相关要求。

1.3 环境影响分析

通过对该项目直线加速器、后装治疗机、DSA 机、核医学场所进行辐射水平分析,并进行工作人员和周围公众人员剂量预测。分析表明,各工作场所的实体屏蔽外墙30cm处的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,符合各场所相关国家标准要求。工作人员预测年最大个人剂量为 4.7mSv ,周围公众人员最大个人剂量为 0.158mSv ,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的年有效剂量限值的要求,也低于本次项目设定的职业工作人员及公众成员的年有效剂量约束值(即职业工作人员的年有效剂量不超过 5mSv ,公众成员的年有效剂量不超过 0.25mSv)。

1.4 可行性分析

该项目属于《产业结构调整指导目录(2019年本)》中国家鼓励类的“三十七、卫生健康 5、医疗卫生服务建设”项目。同时,也符合国家和福建省的医疗卫生服务体系规划。国务院2015年发布《全国医疗卫生服务体系规划纲要(2015—2020年)》,明确优化医疗卫生资源配置,构建与国民经济和社会发展水平相适应、与居民健康需求相匹配、体系完整、分工明确、功能互补、密切协作的整合型医疗卫生服务体系。福建省根据国务院医疗卫生服务体系规划,发布《中共福建省委 福建省人民政府关于印发〈福建省深化医药卫生体制改革综合试点方案〉的通知》、《福建省人民政府办公厅关于印发福建省“十三五”卫生计生事业发展专项规划的通知》(闽政办〔2016〕178号)和《福建省人民政府办公厅关于印发福建省医疗卫生服务体系规划(2016—2020年)》(闽政办〔2017〕61号)。该规划重点任务之一即实施高水平医院建设,落实省立、协和、附一与北京协和医院、上海交通大学医学院附属瑞金医

院、复旦大学附属华山医院的合作共建，对标国家队，管理上台阶。

福州滨海新城综合医院福州市政府、复旦大学附属华山医院和福建医科大学附属第一医院合作共建，是一家综合三甲医院，定位为国家区域医疗中心，项目建成后将立足滨海新城，辐射海西地区及境内外，为省内外公众和境外人士提供医疗。因此，该项目的建设是正当可行的，满足社会经济发展的需要，符合国家和福建省产业政策。

建议：

(1) 在项目建设同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

(2) 本项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收。

(3) 建设单位若未来如需增加本报告表所涉及之外的核技术应用项目或对其使用功能进行调整，则应按要求向有关环保部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的辐射防护措施。

(4) 基于主屏蔽区向机房外凸的保守考虑，1号直线加速器的北侧、2号直线加速器的南侧和3号直线加速器南侧的主屏蔽区理论计算值比设计值大约0.4m，不满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关要求，建议增加主屏蔽区的宽度，1号与2号机房之间的主防护墙半宽度应增加0.2m，2号与3号机房之间的东侧主防护墙半宽度应增加0.2cm。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日

建设项目环评审批基础信息表

建设单位（盖章）：		福州市卫生健康委员会				填表人（签字）：		建设单位联系人（签字）：					
建设项目	项目名称	福州滨海新城综合医院核技术利用项目				建设内容、规模		建设内容：建设3台直线加速器、6台DSA机；使用1台回旋加速器；共使用10台II类射线装置。使用1枚Ir-192放射源。使用1台回旋加速器，用于生产F-18、Ga-68、Zr-89、C-11、Cu-64等放射性核素；使用F-18、Tc-99m、I-131、Lu-177、Re-188、Ga-68、Zr-89、Ra-223等放射性核素为使用乙级非密封放射性物质工作场所，使用Cu-64、C-11、Sr-89、I-125等放射性核素为使用丙级非密封放射性物质工作场所。 建设规模：福州滨海新城综合医院总规模为1500床位，采取“一次规划，分期实施”式建设。其中一期项目按1000张住院床位、建设面积244000㎡、地上建筑面积164600㎡。					
	项目代码 ¹	/											
	建设地点	福州滨海新城201省道东侧、沙壠路南侧、壠井路北侧、万沙路西侧											
	项目建设周期（月）	12.0				计划开工时间	2021年3月						
	环境影响评价行业类别	191核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）				预计投产时间	2022年3月						
	建设性质	改、扩建				国民经济行业类型 ²	综合医院 8411						
	现有工程排污许可证编号（改、扩建项目）	/				项目申请类别	新申项目						
	规划环评开展情况	不需开展				规划环评文件名	/						
	规划环评审查机关	/				规划环评审查意见文号	/						
	建设地点中心坐标 ³ （非线性工程）	经度	119.305595	纬度	25.574456	环境影响评价文件类别				环境影响报告表			
	建设地点坐标（线性工程）	起点经度	/	起点纬度	/	终点经度	/			终点纬度	/	工程长度（千米）	/
	总投资（万元）	225034.65				环保投资（万元）	500.00			环保投资比例	0.22%		
建设单位	单位名称	福州市卫生健康委员会		法人代表	郭春曦		单位名称	福建省福州市五四路环球广场28楼		证书编号	/		
	统一社会信用代码（组织机构代码）	/		技术负责人	/		环评文件项目负责人	庄炎		联系电话	13720835615		
	通讯地址	福建省福州市仓山区南江滨西大道193号东部办公区		联系电话	/		通讯地址	福建省福州市五四路环球广场28楼					
污染物排放量	污染物		现有工程（已建+在建）		本工程（拟建或调整变更）		总体工程（已建+在建+拟建或调整变更）			排放方式			
			①实际排放量（吨/年）	②许可排放量（吨/年）	③预测排放量（吨/年）	④“以新带老”削减量（吨/年）	⑤区域平衡替代本工程削减量 ⁴ （吨/年）	⑥预测排放总量（吨/年） ⁵	⑦排放削减量（吨/年） ⁵				
	废水	废水里（万吨/年）									<input type="radio"/> 不排放 <input type="radio"/> 间接排放： <input type="checkbox"/> 市政管网 <input type="checkbox"/> 集中式工业污水处理厂 <input type="radio"/> 直接排放：受纳水体_____		
		COD											
		氨氮											
		总磷											
	废气	总氮											
		废气里（万标立方米/年）											
		二氧化硫											
		氮氧化物											
颗粒物													
挥发性有机物													
项目涉及保护区与风景名胜区的情况	影响及主要措施		名称		级别	主要保护对象（目标）	工程影响情况	是否占用	占用面积（公顷）	生态防护措施			
	生态保护目标		自然保护区			/		否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			饮用水水源保护区（地表）			/		否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			饮用水水源保护区（地下）			/		否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			
			风景名胜保护区			/		否		<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建（多选）			

注：1、同级经济部门审批核发的唯一项目代码
 2、分类依据：国民经济行业分类（GB/T 4754-2017）
 3、对多点项目仅提供主体工程的中心坐标
 4 指该项目所在区域环评“区域平衡”专项水平衡部分削减量

环境影响评价委托书

福建省环境保护股份公司：

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》等环保法律、法规的规定，特委托贵司承担福州滨海新城综合医院核技术利用项目报告表编制工作，请尽快开展工作。

福州市卫生健康委员会

2020年9月

附件2 福州滨海新城综合医院使用V类放射源和III类医用射线装置核技术利用项目环境影响登记表

建设项目环境影响登记表

填报日期：2021-02-01

项目名称	福州滨海新城综合医院使用V类放射源和III类医用射线装置核技术利用项目		
建设地点	福建省福州市长乐市福州滨海新城201省道东侧、沙壶路南侧、壶井路北侧、万沙路西侧	建筑面积(m ²)	244000
建设单位	福州市卫生健康委员会	法定代表人或者主要负责人	郭春曦
联系人	鄢剑鸣	联系电话	13559107992
项目投资(万元)	225034.65	环保投资(万元)	500
拟投入生产运营日期	2021-05-31		
建设性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目，属于第172核技术利用建设项目项中销售I类、II类、III类、IV类、V类放射源的；使用IV类、V类放射源的；医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的；销售非密封放射性物质的；销售II类射线装置的；生产、销售、使用III类射线装置的。		

建设内容及规模	<p>使用1枚V类放射源、使用38台III类射线装置。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、使用Sr-90放射源（单枚活度1.48E+09Bq，属IV类放射源，数量1枚），使用位置位于医技楼地下室一层敷贴治疗室，暂存位置位于核医学工作区内的源库。 2、使用CT模拟定位机（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于地下室一层CT模拟定位机房。 3、使用PET/CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于医技楼地下室一层1号PET/CT机房。 4、使用PET/MR（1台，III类），使用位置位于医技楼地下室一层2号PET/MR机房。 5、使用SPECT/CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，4台，III类），使用位置位于医技楼地下室一层1号、2号、3号、4号SPET/CT机房。 6、使用小动物PET/CT（1台，III类），使用位置位于医技楼地下室一层小动物PET/CT机房。 7、使用小动物SPECT/CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于医技楼地下室一层小动物SPET/CT机房。 8、使用CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，4台，III类），使用位置位于医技楼一层1号、2号、3号、4号CT机房。 9、使用CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于门诊楼一层急诊科CT机房。 10、使用CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于门诊楼一层高端门诊CT机房。 11、使用CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于病房楼12层神经外科ICU的CT机房。 12、使用CT（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于医技楼三层复合CT手术室。 13、使用DR（最大管电压150kV，最大管电流630mA，4台，III类），使用位置位于医技楼一层1号、2号、3号、4号DR1机房。 14、使用DR（最大管电压150kV，最大管电流630mA，1台，III类），使用位置位于门诊楼一层高端门诊DR机房。 15、使用X射线透视设备（胃肠机）（最大管电压120kV，最大管电流800mA，2台，III类），使用位置位于医技楼一层胃肠1机房、2机房。 16、使用牙科X光射线机（1台，III类），使用位置位于门诊楼四层全景室1。 17、使用计算机数字化体层摄影系统（1台，III类），使用位置位于门诊楼四层全景室2。 18、使用X射线透视设备（透视机）（最大管电压60kV，最大管电流250mA，2台，III类），使用位置位于医技楼一层钼靶1机房、2机房。 19、使用乳腺钼靶机（最大管电压150kV，最大管电流800mA，1台，III类），使用位置位于门诊楼四层全景室2。 20、使用乳腺钼靶机（最大管电压150kV，最大管电流500mA，8台，III类），使用位置位于医技楼四层手术室1、2、3、4、5、6、7、8。 21、使用乳腺钼靶机（最大管电压150kV，最大管电流500mA，1台，III类），使用位置位于医技楼二层手术室。
---------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>主要环境影响</p>	<p>辐射环境影响</p>	<p>采取的环保措施及排放去向</p> <p>环保措施： 一、污染防治措施。1、警示标志：在放射源外包装表面张贴电离辐射警告标志。2、储源库：放射源源库门口设置电离辐射警告标志，并做到“防火、防水、防盗、防丢失、防射线泄漏”的安全措施。二、安全管理措施。1、有专职管理人员负责辐射安全管理。2、规章制度：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案。3、辐射事故应急措施。4、个人剂量监测，职业健康检查监护。三、废物最终去向。报废放射源返回厂家或交由有放射性废物处理资质单位进行处理。</p>
<p>承诺：福州市卫生健康委员会郭春曦承诺所填写各项内容真实、准确、完整，建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由福州市卫生健康委员会郭春曦承担全部责任。 法定代表人或主要负责人签字：</p>		
<p>备案回执 该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：202135018200000001。</p>		



福建创投环境检测有限公司

检 测 报 告

报告编号：CTHT (2021) 019609



项目名称：福州滨海新城综合医院核技术利用项目辐射环境本底监测
委托单位：福建省环境保护股份公司
检测类型：委托检测
报告日期：2021年1月12日

地址：福建省福州市闽侯县上街镇学园路2号福州大学科技园2号科研楼（中领科技大厦）三层
电话：0591-87898221 传真：0591-87898221 E-mail: fjethjc@163.com 邮编：350108



检验检测机构 资质认定证书

证书编号: 171312050005

名称: 福建创投环境检测有限公司

地址: 福建省福州市闽侯县上街镇学园路2号福州大学科技园2号科研楼
(中领科技大厦)三层

经审查,你机构已具备国家有关法律、行政法规规定的基本条件和能力,现予批准,可以向社会出具具有证明作用的数据和结果,特发此证。资质认定包括检验检测机构计量认证。

检验检测能力及授权签字人见证书附表。

你机构对外出具检验检测报告或证书的法律责任由福建创投环境检测有限公司承担。

许可使用标志



171312050005

发证日期: 2017年1月10日

有效期至: 2023年12月31日

发证机关: 福建省质量技术监督局



本证书由国家认证认可监督管理委员会监制,在中华人民共和国境内有效。

福建创投环境检测有限公司

报告说明

1. 报告无“检验检测专用章”及骑缝章无效。
2. 报告无签发、审核、编制签章无效。
3. 未经本公司同意复制报告未重新加盖“检验检测专用章”无效。
4. 本报告涂改、增删无效。
5. 本报告只对采样/送检样品检测结果负责,对送检样品来源不负责,对客户送样未按技术规范保存样品导致的结果偏差不负责。
6. 当客户提供的信息(如生产工况、检测点位等)可能影响结果的有效性时,本公司概不负责。
7. 报告未经本公司同意不得用于商业广告运作。
8. 对本报告若有异议,应于收到报告之日起十五日内向本公司提出,否则不接受。

1.检测信息

委托方	名称	福建省环境保护股份公司				
	地址	福州市鼓楼区五四路 158 号环球广场 A 区 28 层				
	联系人	余师伟	联系电话	15280167714	邮编	/
	委托项目	福州滨海新城综合医院核技术利用项目辐射环境本底监测				
检测内容	电离辐射	检测项目	γ辐射剂量率, α、β表面污染。			
		检测点位	R1~R46			
		样品来源	现场测试	检测频次	1次/天	
		检测人员	李海申 苏英增	检测日期	2021年1月6日	
备注	1、本报告只作为“福州滨海新城综合医院核技术利用项目辐射环境本底监测”检测依据！其他项目引用无效。 2、本报告中的检测项目、点位、频次均依据委托方提供的检测方案或文件。					

2.检测依据

序号	检测项目	检测方法	检测仪器
1	γ辐射剂量率	环境地表γ辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-93	X-γ辐射剂量率仪 HK8000
		辐射环境监测技术规范 HJ/T 61-2001	
3	α、β表面污染	表面污染测定 第1部分: β发射体 (E _{βmax} >0.15MeV) 和α发射体 GB/T14056.1-2008	表面污染检测仪 RAM SURF-1

3.检测结果

检测日期	检测点位	检测结果	
		X-γ辐射剂量率 (nSv/h)	β表面污染 (Bq/cm ²)
2021年 1月6日	R1 拟建地下室一层1号加速器机房	114	/
	R2 拟建地下室一层1号加速器机房南侧控制室	117	/
	R3 拟建地下室一层2号加速器机房	120	/
	R4 拟建地下室一层2号加速器机房南侧控制室	120	/
	R5 拟建地下室一层3号加速器机房	117	/

接上表

检测日期	检测点位	检测结果	
		X-γ辐射剂量率 (nSv/h)	β表面污染 (Bq/cm ²)
2021年 1月6日	R6 拟建地下室一层3号加速器机房南侧控制室	103	/
	R7 拟建地下室一层后装治疗机房	120	/
	R8 拟建地下室一层后装治疗机房南侧控制室	103	/
	R9 拟建地下室一层PET/CT注射室	93	0.47
	R10 拟建地下室一层PET/CT注药后普通候诊室	110	0.56
	R11 拟建地下室一层PET/CT注药后VIP候诊室1	107	0.51
	R12 拟建地下室一层PET/CT注药后VIP候诊室2	110	0.54
	R13 拟建地下室一层PET/CT注药后VIP候诊室3-VIP候诊室4	110	0.64
	R14 拟建地下室一层PET/CT机房	110	0.58
	R15 拟建地下室一层PET/CT机房东侧	103	0.58
	R16 拟建地下室一层PET/MR机房	117	0.56
	R17 拟建地下室一层PET/MR机房东侧	120	0.58
	R18 拟建地下室一层SPET/CT注射室	90	0.41
	R19 拟建地下室一层SPET/CT注药候诊VIP室	104	0.45
	R20 拟建地下室一层1号SPET/CT机房	107	0.56

接上表

检测日期	检测点位	检测结果	
		X-γ辐射剂量率 (nSv/h)	β表面污染 (Bq/cm ²)
2021 年 1 月 6 日	R21 拟建地下室一层 2 号 SPET/CT 机房	110	0.56
	R22 拟建地下室一层 3 号 SPET/CT 机房	110	0.51
	R23 拟建地下室一层 4 号 SPET/CT 机房	104	0.54
	R24 拟建地下室一层 SPET/CT 机房南 侧控制室	100	0.56
	R25 拟建地下室一层 SPET/CT 配药 分装室	110	0.71
	R26 拟建地下室一层钼-铈发生器室	120	0.73
	R27 拟建地下室一层回旋加速器机房	110	0.58
	R28 拟建地下室一层回旋加速器机房 东侧操作间	120	0.69
	R29 拟建地下室一层分碘室	107	0.73
	R30 拟建地下室一层服碘室	90	0.47
	R31 拟建地下室一层休息室 1~休息室 9	100	0.60
	R32 拟建地下室一层 VIP 休息室 1~VIP 休息室 6	97	0.54
	R33 拟建地下室一层小动物 PET/CT 机房	103	0.56
	R34 拟建地下室一层小动物 PET/CT 机房北侧控制室	107	0.51
	R35 拟建地下室一层小动物 SPECT/CT 机房	110	0.51

接上表

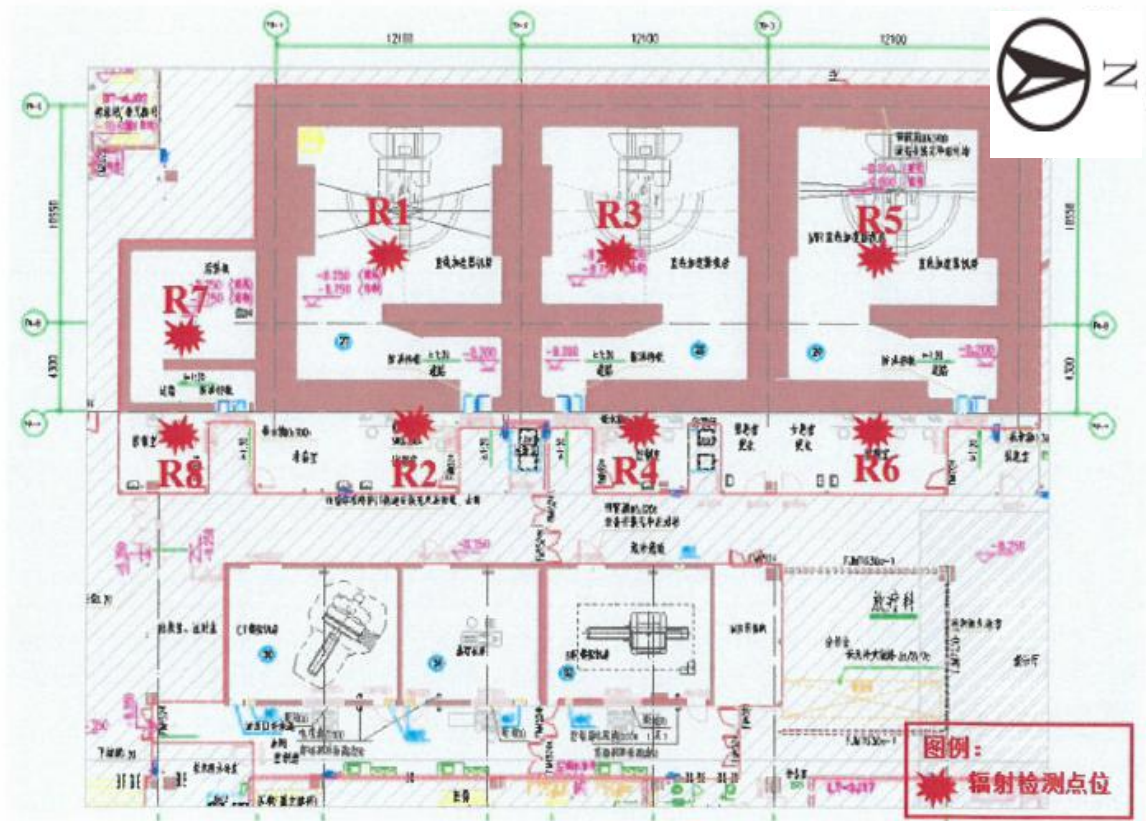
检测日期	检测点位	检测结果	
		X- γ 辐射剂量率 (nSv/h)	β 表面污染 (Bq/cm ²)
2021 年 1 月 6 日	R36 拟建地下室一层小动物 SPECT/CT 机房北侧控制室	110	0.54
	R37 拟建医技楼一层 A 区 DSA1 机房	114	/
	R38 拟建医技楼一层 A 区 DSA2 机房	103	/
	R39 拟建医技楼一层 A 区 DSA3 机房	117	/
	R40 拟建医技楼一层 A 区 DSA4 机房	110	/
	R41 拟建医技楼一层 A 区 DSA 机房南 侧设备间	108	/
	R42 拟建医技楼三层 A 区复合 DSA 手术室	120	/
	R43 拟建医技楼三层 A 区复合 DSA 手术室北侧操作间	120	/
	R44 拟建门诊楼一层急诊科 DSA 机房	100	/
	R45 拟建门诊楼一层急诊科 DSA 机房 北侧控制室	110	/
	R46 门口福州滨海新城综合医院门口 (环境本底)	110	0.56
备注	未扣除宇宙射线响应。		

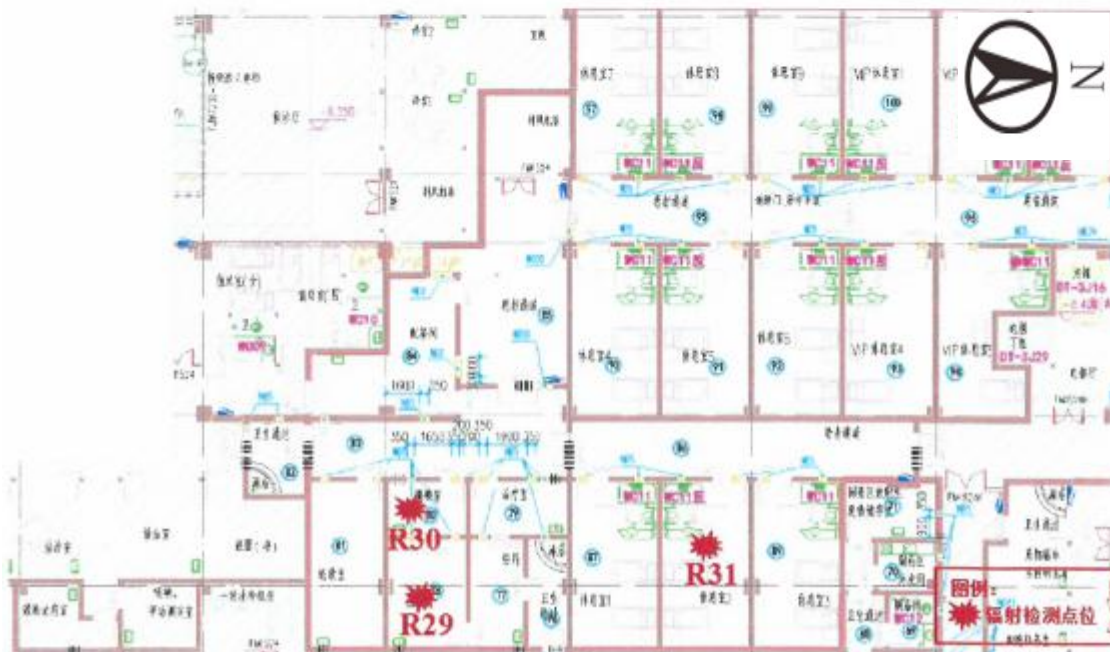
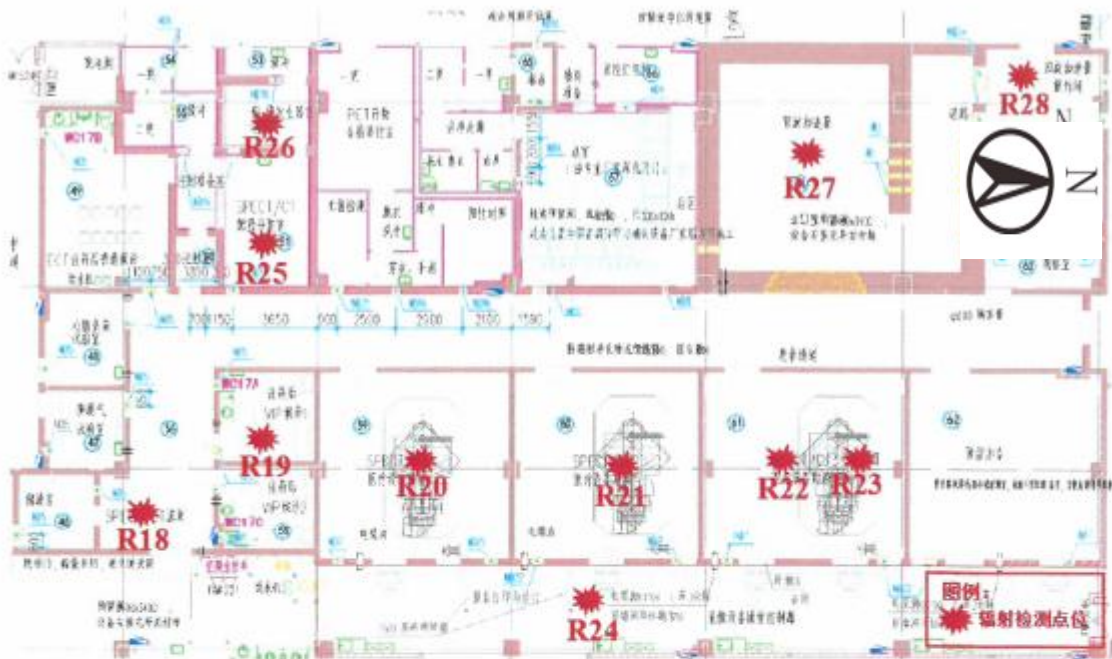
4.检测说明

4.1 检测点位示意图见报告附件

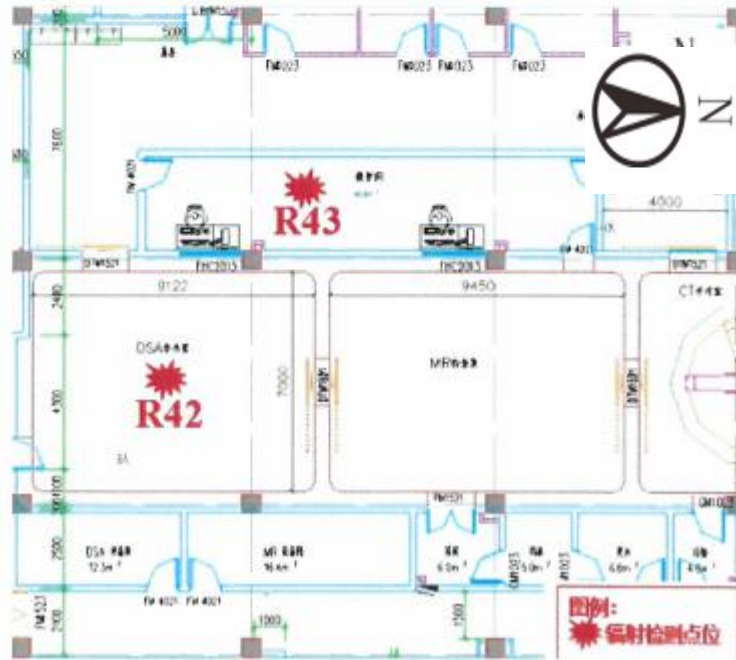
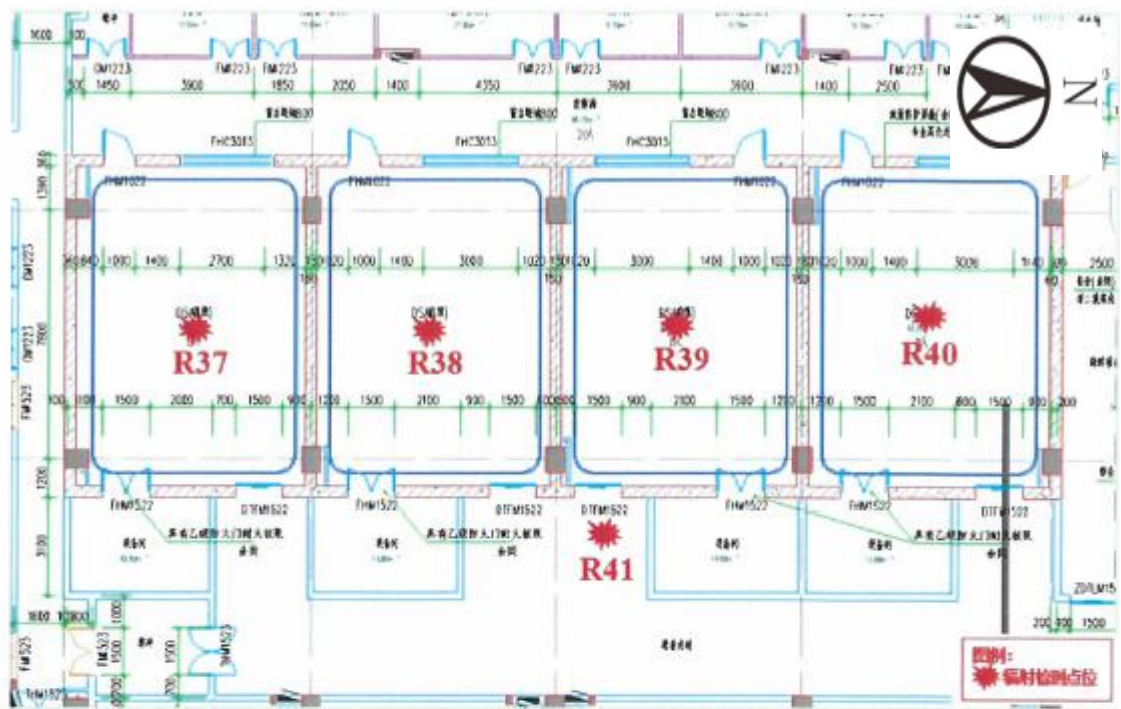
编制: 田甜 审核: 陈香翠 签发: 杨来 签发日期: 2021.1.12

报告附件 检测点位示意图









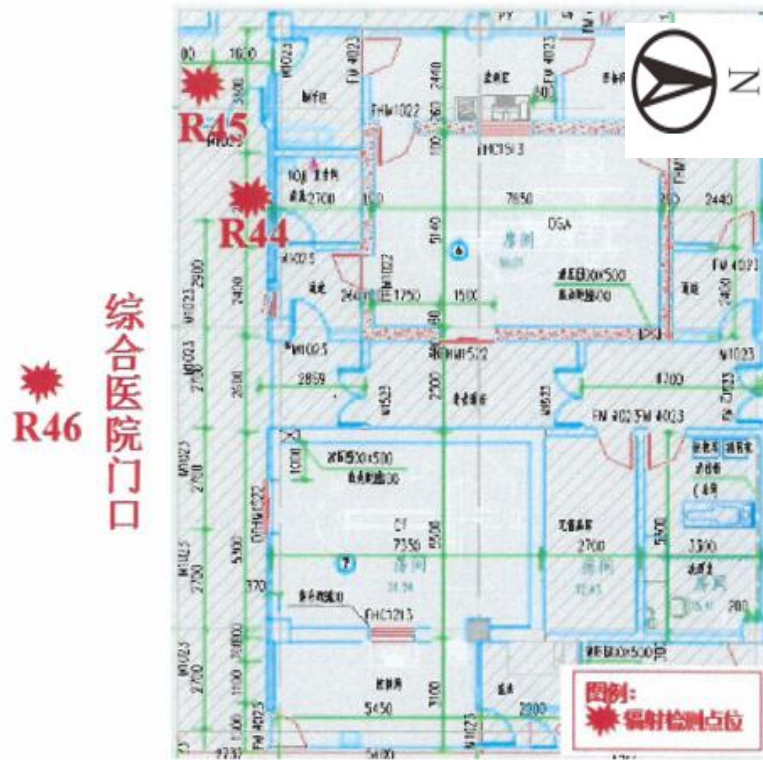
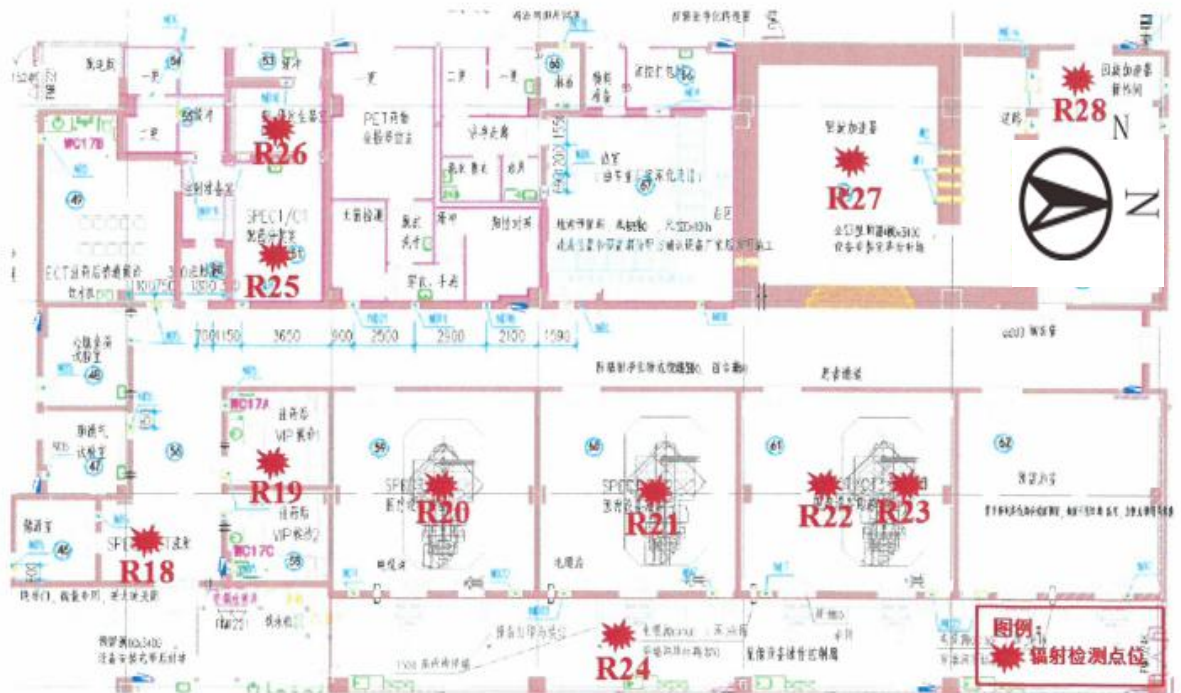



图 8 拟建门诊楼一层急诊科 DSA 机房周围环境及监测点位示意图



仪器检定/校准一览表

管理编号	检测仪器	出厂编号	检定/校准日期	有效期
CTS-117	X-γ辐射剂量率仪 HK8000	631501209117	2020.04.10	2021.04.09
CTS-161	表面污染检测仪 RAM SURF-1	SC001001	2020.10.27	2021.10.26

 广州达盛检测技术服务有限公司

检 测 报 告

报告编号:	FS201900523
受检单位:	中山大学附属第一医院
设备名称:	医用血管造影 x 射线机 (SIEMENS Artis Zeego)
检测项目:	质量控制检测 防护性能检测 放射防护检测
检测类别:	状态检测



说 明

1. 广州达盛检测技术服务有限公司是广东省质量技术监督局计量认证合格机构，证书编号：201719031515。本公司保证检测的公正性、科学性、准确性和有效性，对检测数据负责。
2. 本公司是广东省卫生和计划生育委员会批准的放射卫生技术服务机构（甲级）资质单位[证书编号：粤放卫技字（2012）第002号]。
3. 本公司对委托单位所提供的技术资料保密。
4. 未得到本公司书面批准，本检测报告不得以任何方式部分复制（全部复制除外）。
5. 检测结果及本公司名称等未经同意不得用于广告及商品宣传。
6. 报告无签发人签名、未盖本公司检测专用章（骑缝）无效。
7. 本报告仅对本次受检设备（样品）负责。
8. 受检单位对本公司出具的检测报告持有异议，请于收到报告之日起15个工作日内，以书面形式向本公司提出复核申请。

检测单位：广州达盛检测技术服务有限公司

地 址：广州市天河区中山大道中路1015号3A11、3A12房

邮 编：510660

电 话：020-82525688

传 真：020-82521437

投 诉：020-82525688

电子信箱：gzdsjc@163.com

广州达盛检测技术服务有限公司
检测报告

报告编号: FS201900523

第1页 共5页

受检单位:	中山大学附属第一医院	检测类型:	状态检测
单位地址:	广东省广州市中山二路 58 号	检测日期:	2019.7.5
设备名称:	医用血管造影 X 射线机	使用场所:	5 号楼 4 楼 DSA
设备型号:	Artis Zeego	设备序号:	/
生产厂家:	SIEMENS	设备数量:	1 台
检测项目:	质量控制检测、防护性能检测、放射防护检测		
检测/评价依据:	GBZ 130-2013《医用 X 射线诊断放射防护要求》 WS 76-2017《医用常规 X 射线诊断设备质量控制检测规范》 GB/T 19042.3-2005《医用成像部门的评价及例行试验第 3-3 部分: 数字减影血管造影(DSA)X 射线设备成像性能验收试验》		
主要检测仪器:	X 射线多功能质检仪/Piranha555/GZDSYQ0001 辐射检测仪/AT1123/GZDSYQ0055-3 DSA 检测模体/RoVi-8/GZDSYQ0042		

检测结论与评价

1、质量控制检测

按照标准 GB/T 19042.3-2005、WS 76-2017 的要求进行现场检测, 结果见第 2 页。
检测结果表明, 受检设备所测项目的结果均符合标准规定的要求。

2、防护性能检测

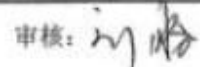
按照标准 GBZ 130-2013 的要求进行现场检测, 结果见第 2 页。
检测结果表明, 受检设备所测防护性能的结果均符合标准规定的要求。

3、放射防护检测

按照标准 GBZ 130-2013 的要求进行现场检测(检测点分布见第 5 页)。
检测结果表明, 本次检测的工作人员所在工作场所和机房外周围剂量当量率均符合标准规定的要求(结果见第 3~4 页)。

(以下空白)

广州达盛检测技术服务有限公司
(盖章)

编制:  审核:  签发:  日期: 2019 年 07 月 12 日

广州达盛检测技术服务有限公司
检测报告

报告编号: FS201900523

第 2 页 共 5 页

一、设备质量控制检测项目和结果

序号	检测项目	检测条件	状态检测判定标准	检测结果	单项结论	备注
1	透视受检者入射体表空气比释动能率典型值, mGy/min	非透视荧光屏设备, 水模	≤25	12.08	符合	
2	透视受检者入射体表空气比释动能率最大值, mGy/min	水模, 2mm 铅板	—	—	—	状态检测无此项
3	空间分辨力, lp/mm	影像增强器透视设备	≥0.8	—	—	平板探测器检测无此项
4	低对比分辨力	低对比度分辨力测试板	4%, ≤7mm	4%, 1.5mm	符合	
5	影像接收器入射屏前空气比释动能率, μGy/min	非透视荧光屏设备	≤48.0	—	—	不满足标准检测方法要求
6	自动亮度控制	不同厚度衰减层时亮度变化	平均值±10%	±0.38%	符合	
7	照射野与影像接受器中心偏差	非透视荧光屏设备	—	—	—	不满足标准检测方法要求


二、防护性能检测项目和结果

序号	检测项目	检测条件	状态检测判定标准	检测结果	单项结论	备注
1	有用线束半值层	66.4kV	≥2.5mmAl	5.76	符合	
2	透视受检者入射体表空气比释动能率典型值, mGy/min	非透视荧光屏设备, 水模	≤25	12.08	符合	

3. 透视防护区(介入)工作人员位置空气比释动能率检测结果:

序号	部位	离地高度(cm)	透视条件	指标要求	检测结果(μGy/h)	
					第一术者位	第二术者位
(1)	头部	155	68kV, 101.2mA, 15fps, 透视模式, 标准水模, 铜板, 上方悬挂式铅屏风, 下方铅帘和床侧防护屏	≤400μGy/h	67.75	318.80
(2)	胸部	125			156.21	146.65
(3)	腹部	105			31.88	24.79
(4)	下肢	80			12.91	16.90
(5)	足部	20			145.85	68.54

注: 由于所有能量光子的辐射权重因子等于1, 故当量剂量率 Sv/h 和吸收剂量率 Gy/h 在数值上是相等的。

编制: 

检测报告

报告编号: FS201900523


第3页 共5页

三、场所防护检测项目和结果

检测条件: 84.8kV、205.9mA、15fps、标准水模+1.5mmCu

序号	检测位置		周围剂量当量率 (μSv/h)		单项结论
			标准要求 (控制目标值)	检测结果 (μSv/h)	
1	放射工作人员操作位		≤2.5	0.14	符合
2	观察窗外 30cm 处	左	≤2.5	0.16	符合
		中		0.16	符合
		右		0.15	符合
		上		0.17	符合
		下		0.14	符合
3	控制室门外 30cm 处	左	≤2.5	0.17	符合
		中		0.14	符合
		右		0.17	符合
		上		0.14	符合
		下		0.39	符合
		门上窗		0.14	符合
4	机房大门外 30cm 处	左	≤2.5	0.16	符合
		中		0.27	符合
		右		0.17	符合
		上		0.99	符合
		下		0.16	符合
		门上窗		0.15	符合
5	侧门外 30cm 处	左	≤2.5	0.15	符合
		中		0.16	符合
		右		0.30	符合
		上		0.17	符合
		下		0.72	符合
		门上窗		0.16	符合
6	线孔外 30cm 处		≤2.5	0.14	符合
7	控制面板外 30cm 处		≤2.5	0.14	符合
8	显示屏外 30cm 处		≤2.5	0.16	符合

(接下页)

编制: 

广州达盛检测技术服务有限公司
检测报告

报告编号: FS201900523

第 4 页 共 5 页

序号	检测位置	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		单项结论
		标准要求 (控制目标值)	标准要求 (控制目标值)	
9	气阀外 30cm 处	≤ 2.5	0.15	符合
10	电箱外 30cm 处	≤ 2.5	0.16	符合
11	柜子外 30cm 处	≤ 2.5	0.15	符合
12	排气口外 30cm 处	≤ 2.5	0.17	符合
13	柜子外 30cm 处	≤ 2.5	0.16	符合
14	气阀外 30cm 处	≤ 2.5	0.15	符合
15	机房南墙外 30cm 处	≤ 2.5	0.15	符合
16	机房西墙外 30cm 处	≤ 2.5	0.14	符合
17	机房北墙外 30cm 处	≤ 2.5	0.17	符合
18	机房楼上距机房顶棚 100cm 处	≤ 2.5	0.15	符合
19	机房楼下距楼下地面 170cm 处	≤ 2.5	0.16	符合

备注:

1. 现场本底测量值范围为 0.14~0.18 $\mu\text{Sv/h}$, 以上检测结果均未扣除本底值;

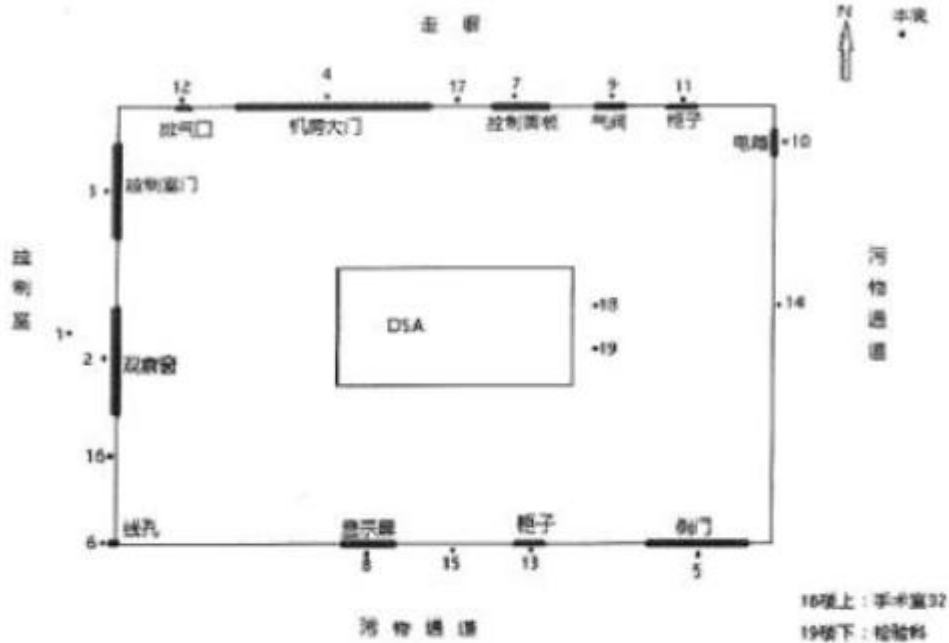
(以下空白)

广州达盛检测技术服务有限公司
检测报告

报告编号: FS201900523

第 5 页 共 5 页

附: 检测布点示意图



(以下空白)

附注:

1.检测环境条件:	不要求	℃	不要求	%RH
2.检测结果不确定度:	不要求			
3.偏离标准方法的例外情况:	/			
4.检测分包情况:	/			
5.非标准方法:	/			
6.非认可/认证项:	/			

编制: *Y. H. 30*

福州滨海新城综合医院辐射事故应急预案

1 总则

1.1 目的

为了保证福州滨海新城综合医院（以下简称滨海医院）直线加速器、回旋加速器、X 射线装置等射线装置、Ir-192、Sr-90 等放射源以及核医学非密封放射性物质工作场所工作期间的辐射安全，防止放射源的丢失和超剂量照射事故，以及在出现放射源被盗、丢失、事故照射和超剂量照射情况下，有关部门和个人能迅速有效、有条不紊、有针对性地正确的防护和处理，避免事故进一步扩大，减小放射事故对人员的放射伤害和对环境的污染，特编制此预案。

1.2 原则

统一领导、分级管理；以人为本、减少危害；职责明确、规范有序；依靠科学、提高效能。

1.3 依据

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》
- 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》主席令第 24 号
- 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》
- 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
- 5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部第 7 号令修订
- 6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部第 18 号令
- 7) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002
- 8) 《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》闽环保辐射〔2013〕10 号

2 事故分级

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，按《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和

射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

3 组织体系

滨海医院成立辐射事故应急响应领导小组（以下简称领导小组），下设辐射事故应急响应领导小组办公室（以下简称领导小组办公室）、应急现场指挥和应急现场事故调查处置组。

3.1 辐射事故应急响应领导小组

- 1) 贯彻执行国家、省辐射应急的方针政策和具体要求，指导制度制定，组织实施辐射事故应急预案；
- 2) 制定和修订辐射事故应急预案；
- 3) 领导、组织、协调开展辐射事故的应急工作，决定启动和实施本预案；
- 4) 负责组织辐射事故应急处置演练，监督检查各部门应急演练，达到应急状态标准；
- 5) 负责向市政府、省环保局和省辐射应急机构报告突发辐射事故应急工作情况；
- 6) 负责事故应急财物的支持，事故应急的物资供应。

3.2 领导小组办公室

- 1) 按照辐射事故应急响应预案的要求，落实应急响应的日常准备工作，并每年安排一次辐射应急培训或训练（演练）；
- 2) 具体组织辐射事故应急响应人员参加培训，组织制定辐射应急响应预案，制定应急响应预案和实战演习方案，负责安排年度辐射应急培训或演练等具体工作；
- 3) 负责应急响应期间信息资料的收集、传递，参与事故调查及后果评价，草拟事故通报和工作报告等；
- 4) 负责与应急现场事故调查处置组的联络工作；
- 5) 组织辐射事故医疗救援工作，保障师生和事故应急人员身体的健康。

3.3 应急处置、调查组

- 1) 划定辐射事故警戒区，维持现场秩序，必要时对人员进行隔离、疏散；
- 2) 分析事故原因，并参考专家意见，确定事故处置措施，为应急领导小组决策提供技术支持；
- 3) 进行现场调查、取证，开展监测工作；
- 4) 负责调度人员、设备和物资；
- 5) 报告现场处理情况，形成事故调查报告。

4 应急准备

4.1 人员准备

滨海医院应配备专业的辐射防护人员和技术人员，并定期组织外部培训和内部培训，使应急人员具备足够的现场辐射事故应急处置能力。

4.2 物资准备

- 1) 准备充足的铅防护服、手套、口罩等辐射防护用品；
- 2) 准备污染隔离带、立柱、去污用品等物资；
- 3) 准备足够的 X、 γ 剂量率仪、 α 、 β 表面污染仪、个人剂量报警仪等辐射监测设备。
- 4) 定期对应急准备物资检查，确保应急物资完整性、可用性。

4.3 应急演习

滨海医院每年组织一次应急演练，演习结束后对演习过程进行总结，对演戏过程中发现的问题采取整改措施，进行整改。

5 应急响应

领导小组办公室确认事故后，立即启动应急响应，领导小组、领导小组办公室以及应急处置、调查组根据职责立即赶赴现场，进入应急岗位，开展辐射事故应急响应工作。

5.1 应急报告

- 1) 辐射事故责任单位或责任人发现事故后，必须立即向辐射事故应急处置领导小组办公室报告。
- 2) 领导小组办公室接报后，立即初步判定事故级别，并报告领导小组。领导小组在 2 小时内，向省、市生态环境部门、卫生主管部门、公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向市卫生部门报告。
- 3) 领导小组应立即组织有关应急处置工作，并及时续报有关情况。

5.2 应急监测

应急监测人员负责组织负责辐射事故区域的辐射环境应急监测工作，确定污染范围，提供实时监测数据，为辐射事故应急决策提供依据，必要时请求市生态环境局、省生态环境厅提供辐射环境应急监测技术支援。

5.3 人员安全防护

应急处理人员到达事故现场后，应根据现场情况确定公众疏散的方式，组织群众安全疏散撤离，并在事故周围拉起隔离带，建立隔离区，避免无关人员靠近。

应急处理人员进行应急事故处理时，必须配备相应的辐射防护装备，采取安全防护措施，严格执行应急救援人员出入事故现场程序，并密切关注和严格控制应急救援人员的个人受照剂量。

5.4 舆情控制

辐射事故情况报告和信息由所辐射事故应急处置领导小组办公室负责起草，经所辐射事故应急处置领导小组审阅批准后，并报告生态环境部门、卫生健康委员会同意后，才可统一对外发布。医院工作人员及应急工作人员未经许可，不得擅自对外散布相关信息。

6 事故后处理

6.1 应急响应终止

符合下列条件之一的，即满足应急终止条件：

- 1) 辐射污染源的泄漏或释放已降至规定限值以内；
- 2) 事故所造成的危害已经被彻底消除，无继发可能；
- 3) 事故现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要。

6.2 调查报告和总结

辐射事故处理完成后，应急处置、调查组负责调查对辐射事故进行调查，并编制调查报告，领导小组办公室组织汇总后，上报领导小组，并报生态环境部门、卫生健康委员会。

7 附录

附录 1 外部关联单位应急通信录

附录 2 辐射事故初始报告表

附录 1 外部关联单位应急通信录

外部关联单位应急通信录

单位	座 机
福州市环保局	0591-83334147
福州市卫健委	0591-88521566
福州市公安局	0591-87557705
福建省环境保护厅	0591-87866777
福建省卫健委	0591-87824676
福建省公安厅	0591-87093999
福建省辐射环境监督站	0591-87739754

附录 2 辐射事故初始报告表

辐射事故初始报告表

事故单位名称	(公章)					
法定代表人		地址		邮编		
电话		传真		联系人		
许可证号		许可证审批机关				
事故发生时间		事故发生地点				
事故类型	人员受照 <input type="checkbox"/> 人员污染		受照人数		受污染人数	
	丢失 <input type="checkbox"/> 被盗 <input type="checkbox"/> 失控		事故源数量			
	放射性污染		污染面积(m ²)			
序号	事故源核素名称	出厂活度(Bq)	出厂日期	放射源编码	事故时活度(Bq)	非密封放射性物质状态(固/液态)
序号	射线装置名称	型号	生产厂家	设备编号	所在场所	主要参数
事故经过情况						
报告人签字		报告时间	年 月 日 时 分			

注：射线装置的“主要参数”是指 X 射线机的电流 (mA) 和电压 (kV)、加速器线束能量等主要性能参数。

福州滨海新城综合医院辐射监测方案

8 总则

对工作场所、环境和个人进行监测，及时发现安全隐患，是辐射防护和安全管理中很重要的一个环节，并可为事故处理提供技术资料。福州滨海新城综合医院（以下简称滨海医院）负责制定监测方案，包括个人剂量监测、工作场所监测、环境监测和应急监测。

8.1 依据

- 9) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002
- 10) 《职业性外照射个人监测规范》GBZ 128-2019
- 11) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-202）

9 个人剂量监测

滨海医院委托第三方个人剂量监测机构对院内辐射工作人员进行职业照射个人剂量监测，监测要求如下：

- 1) 外照射个人剂量监测周期为 3 个月。
- 2) 滨海医院建立辐射工作人员领用、归还登记表，放射性工作人员监测周期开始时，领取个人剂量计，进行个人剂量监测。
- 3) 放射性工作人员进行放射性工作时，需佩戴个人剂量计，并将个人剂量计佩戴在左胸口位置，放射性工作完成后，及时将剂量计放置于非放射性的低本底位置。
- 4) 监测周期完成后，及时归还个人剂量计，剂量计收集完成后统一送到第三方个人剂量检测机构进行检测。
- 5) 滨海医院个人剂量管理人员收到个人剂量检测机构出具的个人剂量检测报告后，对工作人员剂量数据进行分析，发现异常及时调查。对于人员超剂量照射及时报告生态环境部门和卫健委。
- 6) 滨海医院应对放射性工作人员建立个人剂量档案，终生保存。

10 工作场所监测及周围环境监测

滨海医院配备足够剂量率监测仪表、表面污染监测仪表，便于工作人员日常监测使用。每月，开展放射性工作场所辐射水平监测、放射性工作场所污染普查工作，对直线加速器、回旋加速器、后装机房、核医学科非密封放射源工作场所进行放射性监测。

每年委托有资质的单位对辐射工作场所及周围区域的辐射环境进行测量，发现异常情况及时分析、处理。对于重大异常及时报告生态环境部门和卫健委。

表1 自主监测项目及监测周期

	区域		监测周期	
			环境剂量率	表面污染
放疗区	DSA机房、CT机房、X射线装置	控制区、监督区	1/年	NA
	直线加速器机房、后装机房等	控制区、监督区	1/月	1/月
核医学区	PET-CT/PET-MR区、SPECT/CT区、医疗科研区	控制区	1/月	1/月
		监督区	1/月	1/月
	放射性药物制备区、核素治疗区	控制区	1/周	1/天
		监督区	1/月	1/月

11 附录

附录 1 工作场所监测及周围环境剂量率记录表

附录 2 工作场所监测及周围环境表面污染记录表

附录 1 工作场所监测及周围环境剂量率记录表

仪器名称	辐射剂量率仪	型号	出厂编码	检定日期	位置
编号	位置	剂量率 (μ Sv/h)	编号	位置	剂量率 (μ Sv/h)
1			2		
3			4		
5			6		
7			8		
9			10		
11			12		
13			14		
15			16		
17			18		
19			20		
21			22		
23			24		
25			26		
27			28		
29			30		
31			32		
33			34		
35			36		
37			38		
39			40		
41			42		
43			44		
45			46		
47			48		
49			50		
测量人员			日期		

附录 2 工作场所监测及周围环境表面污染记录表

仪器名称	表面污染测量仪	型号	出厂编码	检定日期	位置
编号	位置	表面污染 (Bq/cm ²)	编号	位置	表面污染 (Bq/cm ²)
1			2		
3			4		
5			6		
7			8		
9			10		
11			12		
13			14		
15			16		
17			18		
19			20		
21			22		
23			24		
25			26		
27			28		
29			30		
31			32		
33			34		
35			36		
37			38		
39			40		
41			42		
43			44		
45			46		
47			48		
49			50		
测量人员			日期		

附件 7 福州市长乐区环境保护局关于《福州滨海新城综合医院（一期）环境影响报告书》的审批意见

福州市长乐区环境保护局文件

长环评[2018]81号

福州市长乐区环境保护局关于

《福州滨海新城综合医院（一期）环境影响报告书》的审批意见

福州市卫生和计划生育委员会：

你单位报送的《福州滨海新城综合医院（一期）环境影响报告书》（报批本，以下简称《报告书》）及申请审批的报告收悉，经福州市环境影响评价技术中心组织技术评估，现我局提出审批意见如下：

一、《报告书》内容全面，重点突出，基本符合编制技术规范的要求，我局原则同意《报告书》的评价结论与技术评估意见，同意在福州滨海新城 201 省道东侧、沙壶路南侧、壶井路北侧、万沙路西侧建设福州滨海新城综合医院（一期）项目，项目建设规模：项目按 1000 张住院床位设计，建筑面积 244000 平方米，地上建筑面积 164500 平方米，地下建筑面积 79500 平方米，主要建设内容包括：病房楼、门诊医技楼、感染楼、倒班宿舍、教学科研楼、报告厅及配套附属设施。

二、你单位在该项目的设计、建设、运营过程中，应认真落实《报告书》提出的各项生态保护和污染防治措施，并重点做好如下工作：

1、院区内应严格执行雨污分流，生活区污水和医疗区污水应进行分流处理；生活区污水应经化粪池处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 4 三级

标准（其中氨氮执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/31962-2015）表1中B级标准）后接入市政污水管网并纳入滨海污水处理厂处理；医疗区污水应配套建设污水处理站，病区污水（其中核医学产生的放射性污水应经衰变池预处理，感染楼产生的感染性污水应预先消毒，员工食堂及营养餐厅污水经隔油池预处理）经集中处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中的预处理标准后接入市政污水管网并纳入滨海污水处理厂处理。

2、污水处理站臭气应经密闭、收集、生物除臭并消毒处理后引至病房楼楼顶高空排放，确保满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表3的污水处理站周边大气污染物最高允许浓度标准以及《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）中的相关规定。

3、病理科废气应经通风橱收集净化达标后引至门诊医技楼楼顶高空排放；发电机尾气应经排烟竖井引至病房楼楼顶排放；食堂油烟应经净化处理达标后引至病房楼楼顶排放。

4、应合理布局，对各种高噪声源应采取消声、隔声、减震等综合治理措施，确保边界噪声达标排放。

5、固体废物应严格按照分类管理、妥善储存和合理处置的原则进行处理；医疗废物、特殊废液、栅渣、污水处理站污泥、1#、2#化粪池污泥、废活性炭及生物安全柜产生的废过滤器等均属危险废物，应按规范委托有资质单位处理；生活垃圾应由环卫部门集中清运处置；餐厨垃圾应委托有相应资质单位统一收运、集中处置；严禁固体废弃物随意堆放、倾倒或焚烧。

6、应落实《报告书》中的环境风险防范措施和应急预案。

7、应配备专职环保管理人员，并制定相应的环保管理制度，加强环保设施管理和维护。

8、应加强项目施工期管理，采取综合防治措施，防止水土流失和施工噪声、粉尘、垃圾等污染周边环境；并在施工监理过程中与群众及时沟通，杜绝环境

事故的发生，确保社会安定稳定。

9、电磁及放射性辐射应按规范另行进行环境影响评价。

三、该项目应执行的污染物排放标准为：

生活区污水经化粪池处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表4三级标准（其中氨氮执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/31962-2015）表1中B级标准），医疗区污水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中的预处理标准，污泥清淘前应进行监测，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表4中传染病医疗机构标准；污水处理站废气排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表3中标准及《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）中的相关规定，病理科废气排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表2最高允许排放浓度标准，食堂油烟排放执行《饮食业油烟排放标准（试行）》（GB18483-2001）中相应标准；医院边界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中2类标准；施工期噪声排放执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）噪声限值要求。

四、项目竣工后，应按要求做好项目竣工环保验收工作。

福州市长乐区环境保护局

二〇一八年十一月二十日