核技术利用建设项目

西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目

环境影响报告表

西安市第八医院（西安市肝病医院）

2023 年 5 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：西安市第八医院（西安市肝病医院）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：西安市雁塔区丈八东路 2 号

邮政编码：710000　　联系人：羊世森

电子邮箱：xabyjjb@126.com　　联系电话：13709188683

统一社会信用代码

91610103566027405 3

营业执照

（副 本）(1-1)

扫描二维码登录国家企业信用信息公示系统"了解更多登记、备案、许可、监管信息

名　　称　西安海蓝环保科技有限公司

类　　型　有限责任公司(自然人投资或控股)

法定代表人　张荣兴

经营范围　一般项目：环保咨询服务；环境保护监测；生态资源监测；大气环境污染防治服务；水环境污染防治服务；噪声与振动控制服务；土壤环境污染防治服务；土壤污染治理与修复服务；生态恢复及生态保护服务；农业面源和重金属污染防治技术服务；环境应急治理服务；工程技术服务（规划管理、勘察、设计、监理除外）；工程管理服务；安全咨询服务；节能管理服务；石油天然气技术服务；信息技术咨询服务；数据处理服务；地理遥感信息服务；水利相关咨询服务；水文服务；水资源管理；水土流失防治服务；地质灾害治理服务；土地调查评估服务；土地整治服务；技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；软件开发；业务培训（不含教育培训、职业技能培训等需取得许可的培训）。(除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动)

注册资本　贰佰陆拾万元人民币

成立日期　2011 年 01 月 11 日

营业期限　长期

住　　所　西安经济技术开发区凤城十路保利中达广场 1209 室

登记机关

2022 年 06 月 21 日

打印编号：1682230683000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	0549g3
建设项目名称	西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	西安市第八医院（西安市肝病医院）
统一社会信用代码	12610100437200371R
法定代表人（签章）	郭雅玲
主要负责人（签字）	羊世森
直接负责的主管人员（签字）	羊世森
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	西安海蓝环保科技有限公司
统一社会信用代码	916101035660274053
三、编制人员情况	

1. 编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
高明强	2014035610350000003507610076	BH006857	

2 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
高明强	项目概况-保护目标与评价标准	BH006857	
李宗璐	环境质量和辐射现状-结论与建议	BH044169	

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

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

中华人民共和国人力资源和社会保障部

approved & authorized by

Ministry of Human Resources and Social Security

The People's Republic of China

中华人民共和国环境保护部

approved & authorized by

Ministry of Environmental Protection

The People's Republic of China

编号：
No. HP 00015343

姓名：
Full Name 高明强

性别：
Sex 男

出生年月：
Date of Birth 1981.01

专业类别：
Professional Type ——

批准日期：
Approval Date 2014.05.25

持证人签名：
Signature of the Bearer

高明强

管理号：
File No. 20140356103500000003507610076

签发单位盖章：
Issued by

签发日期：2014 年 11 月 20 日
Issued on

目录

表 1 项目概况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">西安市第八医院（西安市肝病医院）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>郭雅玲</td><td>联系人</td><td>羊世森</td><td>电话</td><td>13709188683</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">西安市雁塔区丈八东路 2 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">陕西省西安市高陵区 310 国道与 210 国道交叉口西南角
西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）综合医院门诊医技楼地下二层、地下一层、一层及四层，传染病医院门诊医技楼四层</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>12000</td><td>环保投资（万元）</td><td>285</td><td>投资比例</td><td>2.38%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">■新建 □改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积（m^2）</td><td>约 1300m^2</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="4">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>■使用</td><td colspan="4">□Ⅰ类(医疗使用) □Ⅱ类 ■Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="4">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>■使用</td><td colspan="4">■乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>■使用</td><td colspan="4">■Ⅱ类 ■Ⅲ类</td></tr>
<tr><td colspan="2">其他</td><td colspan="5">/</td></tr>
</table>

一、项目概况

1、医院介绍

西安市第八医院（西安市肝病医院）拟建设新院区，即西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区），该院区位于高陵区 310 国道与 210 国道交叉口西南角，总建筑面积 28.81 万 m^2，设计床位 1500 张。将成为西安市高陵区第一个三级甲等医院，同时将成为国内床位最多、功能最全、医疗设备最先进的公共卫生中心，将极大提升西安市日常公共卫生保障水平和突发事件应急反应能力。

2、工作过程概述

为满足西安市及周边区域广大患者的诊疗需要，提高医疗服务水平，本项目拟

在新院区的综合医院和传染病医院建设核技术利用项目，具体内容如下：

① 在综合医院门诊医技楼地下二层放疗科拟配置 2 台医用电子直线加速器，属于II类射线装置；

② 在综合医院门诊医技楼地下一层放疗科拟配置 1 台后装治疗机用于肿瘤治疗，后装机内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，属于III类放射源。另外，后装机设备购买后，由设备厂家进行初装以及后续放射源的更换，不在本次评价范围内；

③ 在综合医院门诊医技楼地下一层核医学科拟配置 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，属于III类射线装置；使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{99m}Tc，经核算，核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所；

④ 在综合医院门诊医技楼一层拟配置 2 台 DSA，属于II类射线装置；

⑤ 在综合医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-12）拟配置 1 台 DSA，属于II类射线装置；

⑥ 在传染病医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-4）拟配置 1 台 DSA，属于II类射线装置。

本项目加速器及后装治疗机在患者治疗前需借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，该设备属于III类射线装置，已进行环境影响评价登记表的备案，本次不再评价。

依据《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》等有关规定，本项目需要进行环境影响评价，本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中“五十五、核与辐射”、“172、核技术利用建设项目”中“制备 PET 用放射性药物的；医疗使用 I 类放射源的；**使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源的**；生产、**使用Ⅱ类射线装置的**；**乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）**；在野外进行放射性同位素示踪试验的”，需要编制环境影响报告表。2022 年 9 月西安市第八医院（西安市肝病医院）正式委托西安海蓝环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。接受委托后，我公司立即组织技术人员进行现场踏勘，收集、整理有关资料，对项目的建设等情况进行初步分析，并根据项目的应用类型及项目所在地周围区域的环境特征，在现场踏勘、资料调研、预测分析的基础上，按照《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）的基本要求，编制了《西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目环境影响报告表》。

3、产业政策符合性分析

项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年）》（2021 年修改）鼓励类中“六、核能/6、同位素、加速器及辐照应用技术开发项目”、“十三、医药/5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备…”，满足国家相关法律法规和政策规定，符合国家产业政策。

4、实践正当性评价

项目建成后将成为功能最全、医疗设备最先进的公共卫生中心，将极大提升西安市日常公共卫生保障水平和突发事件应急反应能力。项目在采取相应的防护屏蔽措施、管理措施后，对周边环境辐射影响较小，项目建设所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

5、项目地理位置

西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设地位于陕西省西安市高陵区 310 国道与 210 国道交叉口西南角，西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）地理位置见图 1-1。

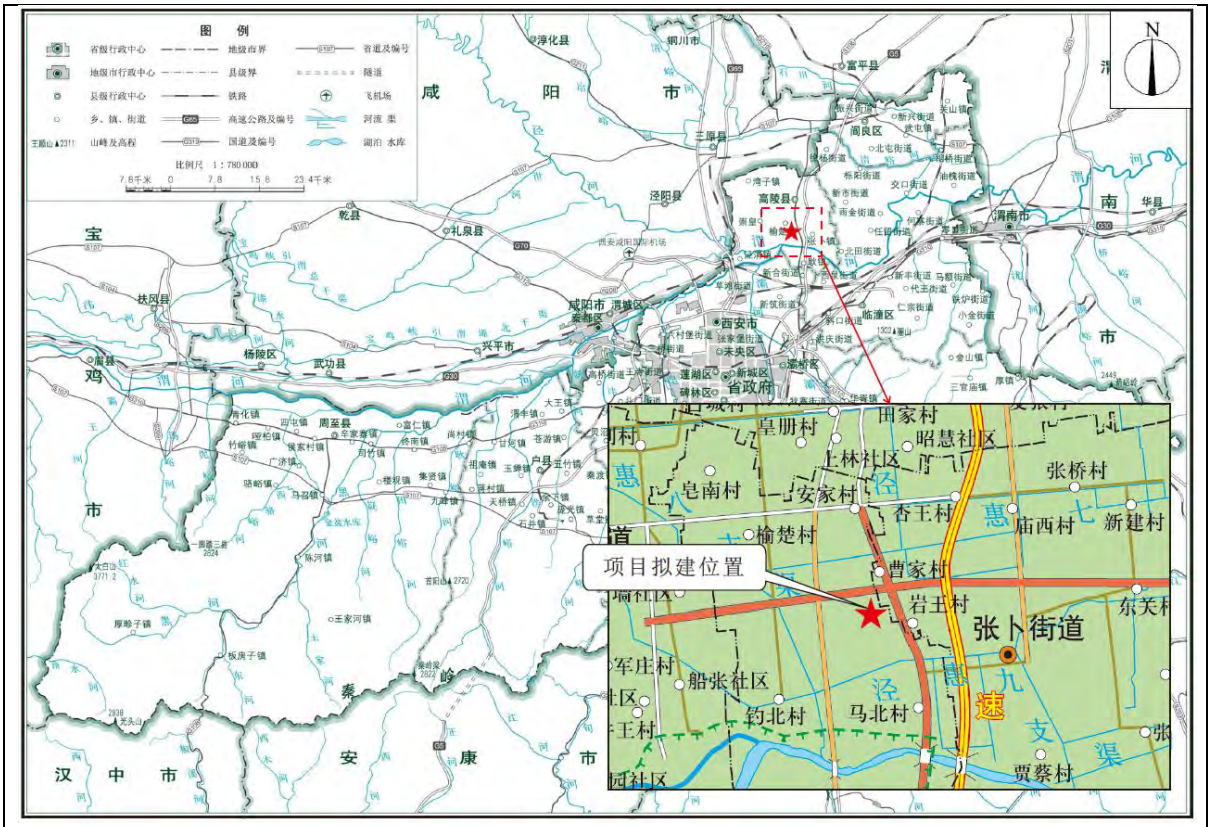


图 1-1　　西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）地理位置示意图

6、项目组成及建设内容

本项目包括综合医院放疗科（医用电子直线加速器、后装机）、核医学科（PET-CT、SPECT-CT）、介入中心（DSA）、手术中心（DSA）及传染病医院手术中心（DSA），具体内容见下表 1-1。

表 1-1　　项目建设内容一览表

组成	项目内容		建设内容
主体工程	综合医院放疗科	医用电子直线加速器（10MV）	机房 1 间，有效面积 115.44m²，安装 1 台医用电子直线加速器，X 射线最大能量为 10MV，为II类医用射线装置
			控制室 1 间，有效面积 14.48m²，用于控制医用电子直线加速器
			水冷机房 1 间，有效面积 15.35m²，用于冷却加速器加速管及其发热部件
		医用电子直线加速器（15MV）	机房 1 间，有效面积 115.44m²，安装 1 台医用电子直线加速器，X 射线最大能量为 15MV，为II类医用射线装置
			控制室 1 间，有效面积 12.91m²，用于控制医用电子直线加速器
			水冷机房 1 间，有效面积 15.88m²，用于冷却加速器加速管及其发热部件
		后装治疗机	机房 1 间，有效面积 36.5m²，安装 1 台 ^{192}Ir（活度为 3.7×10^{11}Bq，III类源）后装治疗机
			控制室 1 间，有效面积 9.66m²，用于控制后装机
	综合医院核医学科	储源室	1 间，有效面积 3.84m²，用于储存拟使用的放射性核素 ^{99m}Tc
		分装质控室	1 间，有效面积 23.91m²，用于 ^{18}F 的储存、分装和质控，分别在 50mmPb 的手套箱内进行分装质控
		注射区	位于分装质控室的北侧，用于患者接受 ^{18}F 和 ^{99m}Tc 药物的注

			射，通过注射台进行注射
		SPECT-CT	SPECT-CT（单光子发射计算机断层成像）机房 1 间，有效面积 46.91m^2，安装 1 台 SPECT-CT，使用 ^{99m}Tc 药物开展显像检查
		控制室	1 间，有效面积 27.56m^2，用于 SPECT-CT 和 PET-CT 设备控制操作
		PET-CT	PET-CT（正电子发射计算机断层成像）机房 1 间，有效面积 49.60m^2，安装 1 台 PET-CT，使用放射性核素 ^{18}F 药物开展显像检查
		运动候诊兼抢救室	1 间，有效面积 20.07m^2，用于患者注射 ^{99m}Tc 药物后可进行运动负荷试验，判断患者对于放射性药物的摄取能力；用于患者注射 ^{99m}Tc 药物后如出现不适症状时，进行抢救的区域
		SPECT-CT 候诊	SPECT-CT 注射后候诊室 1 间，配置有专用卫生间，有效面积 21.2m^2。用于患者注射 ^{99m}Tc 药物后等候显像检查使用
		PET-CT 候诊	PET-CT 注射后候诊室 1 间，配置有专用卫生间，有效面积 22.61m^2。用于患者注射 ^{18}F 药物后等候显像检查使用
		VIP 候诊	VIP 候诊室 1 间，配置有专用卫生间，有效面积 16.27m^2。用于患者注射 ^{18}F 药物后等候显像检查使用
		留观室	1 间，有效面积 15.71m^2，配置有专用卫生间，用于患者注射 ^{18}F 药物后如出现不适症状时，进行留观的区域
	综合医院介入中心	介入手术室 1	介入手术室 1 间，有效面积 42.57m^2，用于开展介入治疗
		介入手术室 2	介入手术室 1 间，有效面积 41.56m^2，用于开展介入治疗
		控制室	控制室 1 间，有效面积 23.46m^2，为介入手术室 1 和介入手术室 2 共用，用于控制介入手术室 1 和介入手术室 2 内的 DSA
	综合医院手术中心（介入手术室）	介入手术室（OR-12）	介入手术室 1 间，有效面积 84.09m^2，用于开展介入治疗
		控制室	控制室 1 间，有效面积 20.59m^2，用于控制 DSA
	传染病医院手术中心（介入手术室）	介入手术室（OR-4）	介入手术室 1 间，有效面积 46.78m^2，用于开展介入治疗
		控制室	控制室 1 间，有效面积 17.45m^2，用于控制 DSA
公辅工程	综合医院放疗科	医用电子直线加速器	设置卫生间、候诊区、质控室，用于医用电子直线加速器日常工作所需
		后装治疗机	设置值班室、更衣、清洗、准备区、注射抢救、诊室、候诊区、卫生间等，用于后装治疗机日常工作所需
	综合医院核医学科		固废室 1 间，有效面积 3.0m^2，用于存储核医学科日常放射性废物
			设置诊室、洁具清洗存放、卫生间等，用于核医学科日常办公使用
			设置缓冲区、一更、二更，用于分装质控、注射过程使用
			拟设置 1 座槽式衰变池，包括 1 个 15.86m^3 沉淀池和 3 个各 14.74m^3 的衰变池池体，用于储存核医学科内产生的放射性废水
	综合医院介入中心		设置有清洁间、污洗、医疗废物暂存、机房、污物走廊、缓冲区等作为 DSA 手术室配套使用
	综合医院手术中心（介入手术室）		设置有体外循环、缓冲区、设备间、铅衣存放处、标本室、刷手缓冲等作为 DSA 手术室配套使用
	传染病医院手术中心（介入手术室）		设置有机房、污物走廊、缓冲区等作为 DSA 手术室配套使用

环保工程	废气	综合医院放疗科	空气电离产生少量臭氧及 NOx，医用电子直线加速器机房及后装治疗机房均设置送风、排风系统
		综合医院核医学科	分装质控室内的手套箱单独设置排风系统，并安装有活性炭过滤器；其他区域设置送风、排风系统
		综合医院介入中心	空气电离产生少量臭氧及 NOx，设置送风、排风系统
		综合医院手术中心（介入手术室）	空气电离产生少量臭氧及 NOx，设置送风、排风系统
		传染病医院手术中心（介入手术室）	空气电离产生少量臭氧及 NOx，设置送风、排风系统
	废水		核医学科拟设置 1 座槽式衰变池，包括 1 个 15.86m^3 沉淀池和 3 个各 14.74m^3 的衰变池池体。核医学科产生的清洗废水、患者排泄物等放射性废水排入衰变池中，经衰变池衰变至符合排放要求后排放
	固废	综合医院放疗科	废金属靶、废辅助过滤器材等作为放射性废物由加速器供应商更换并处置
			后装治疗机产生的废旧放射源（^{192}Ir）作为放射性废物由放射源生产厂家对其进行放射源退役回收
		综合医院核医学科	建设有固废室 1 间，有效面积 3.0m^2，用于放射性固体废物（包括废活性炭）分类收集暂存，暂存至其放射性比活度低于相应清洁解控水平后作为一般医疗固体废物处理，废活性炭作为一般固体废物处理
	噪声		产噪设备均设置于设备间内
	辐射防护	综合医院放疗科	医用电子直线加速器机房及后装治疗机房四周墙体均采用一定厚度的混凝土进行防护；机房门均采用一定铅当量的铅防护门，具体屏蔽防护参数见表 10-6
			各机房外设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；各机房设置有门机连锁装置
		综合医院核医学科	核医学科各工作场所四周墙体均采用一定厚度的实心砖+硫酸钡防护涂料；防护门均采用一定铅当量的铅防护门；SPECT-CT 机房及 PET-CT 机房的观察窗均采用一定铅当量的铅玻璃，具体屏蔽防护参数见表 10-7
			各工作场所设置分区标识，地面设置行走路径标识。各工作场所出入口设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；SPECT-CT 机房及 PET-CT 机房设置有门机连锁装置
			配置有钨合金翻转防护盒、药物转运防护罐、钨合金注射器屏蔽套、^{99m}Tc 注射器防护套、注射器运输防护盒等，分装质控室配置有手套箱
			为工作人员配备有铅防护服、铅帽、铅围脖等个人防护用品
		综合医院介入中心、综合医院手术中心（介入手术室）及传染病医院手术中心	各介入手术室四周墙体均采用轻质墙体+铅板，防护门均采用一定铅当量的铅防护门，观察窗均采用一定铅当量的铅玻璃，屋顶及地面采用一定厚度混凝土+硫酸钡水泥，具体屏蔽防护参数见表 10-8～表 10-10
			各机房外设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；各机房设置有门机连锁装置
			为工作人员配备有铅防护服、铅帽、铅围脖等个人防护用品、

		（介入手术室）	配备有铅防护吊帘、床侧防护帘、移动铅防护屏等辅助防护设施

7、项目建设规模

⑴ 综合医院

① 放疗科

本项目在综合医院门诊医技楼地下二层新增 2 台医用电子直线加速器，属于II类射线装置；在综合医院门诊医技楼地下一层新增 1 台后装治疗机，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，活度为 3.7×10^{11}Bq，属于III类放射源，具体参数见表 1-2。

表 1-2　　项目放疗科拟配置设备相关参数一览表

设备名称	类别	具体参数			用途	工作场所
医用电子直线加速器	II类射线装置	型号	待定		放射治疗	综合医院门诊医技楼地下二层
		电子能量 MeV	22MeV			
		X 射线最大能量 MV	10MV	15MV		
		最大输出剂量率	2400cGy/min	600cGy/min		
		源轴距	100±0.2cm			
		正常治疗距离	100cm			
		射线泄漏率（机头）	≤0.1%			
		主射线最大出束角度	28°			
		机架旋转角度	±185°			
		治疗方式	固定束治疗、旋转治疗			
后装治疗机	III 类密封源	型号待定；含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，活度为 3.7×10^{11}Bq			放射治疗	综合医院门诊医技楼地下一层

② 核医学科

a. 射线装置

本项目综合医院门诊医技楼地下一层核医学科拟配备 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，属于III类射线装置。设备参数见表 1-3。

表 1-3　　设备参数

序号	设备名称	设备型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别
1	PET-CT	待定	1 台	140	800	III类
2	SPECT-CT	待定	1 台	140	800	III类

b. 非密封放射性物质

本项目核医学科拟使用放射性核素有 ^{18}F 和 ^{99m}Tc，均采取外购的方式向生产厂家购买。本项目核医学科非密封放射性物质用量情况见表 1-4。

表 1-4　　项目核医学科非密封放射性物质一览表

核素名称	状态	半衰期	患者每人次核素用量（Bq）	每天预计接待患者人数（人）	接诊天数	日最大操作量①（Bq）	年最大使用量（Bq）	用途
^{18}F	液体	109.8 min	3.70×10^{8}（10mCi）	10	240 天	4.70×10^{9}②	1.13×10^{12}	PET-CT 显像
^{99m}Tc	液体	6.02h	9.25×10^{8}（25mCi）	25	240 天	2.31×10^{10}③	5.54×10^{12}	SPECT-CT 显像

备注：① 表中日最大操作量为医院向厂家订购的最大量；

② 根据医院购药计划，计划分两个时段送药（上午 7:30 和下午 12:30），每个时段送 5 人药量。医院计划每个时段分 3 批注射，第一批注射 1 人，后两批为每批 2 人，每批注射间隔时间约 30min。由于 ^{18}F 半衰期较短，考虑到放射性核素的衰变，以及存在的其他不可控因素，日最大操作量仍需留有部分冗余，因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。估算出医院 ^{18}F 的实际订购量为：$2\times1\times10mCi\times1+2\times2\times10mCi\times(2^{(30/109.8)}+2^{(60/109.8)})=127mCi$；

③ ^{99m}Tc 一天只送药一次，医院向厂家订购的最大药量即为当日最大操作量（患者每人次核素用量×每天预计接待患者人数）

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 中“非密封源工作场所的分级要求”，使用以下公式计算日等效最大操作量，确定其工作场所等级。

$$日等效最大操作量=\frac{日实际操作量\times毒性组别修正因子}{操作方式修正因子}$$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，确定 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 的核素毒性权重因子、工作场所的操作方式因子及工作场所的分级要求，见表 1-5、表 1-6、表 1-7。

表 1-5　　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 1-6　　操作方式与放射源状态修正因子

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

表 1-7　　非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量（Bq）
甲	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}～4×10^{9}

丙	豁免活度值以上～2×10^7

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

a 有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

b 工艺流程连续完整；

c 有相对独立的辐射防护措施。

经对比，本项目各类放射性药品使用场所均位于核医学科同一个区域，因此本次工作场所等级以单个核素等效最大操作量之和进行计算，本项目核医学科工作场所等级为乙级，计算结果见表 1-8。

表 1-8　　核医学科工作场所分级计算结果

核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式①	方式与状态修正因子	单个核素日等效最大操作量（Bq）	场所日等效最大操作量（Bq）	工作场所级别
^{18}F	4.70×10^9	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	4.70×10^6	2.78×10^7	乙级
^{99m}Tc	2.31×10^{10}	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	2.31×10^7		

备注：① 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A：本项目医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 液态属于很简单操作。

③ 介入中心

本项目在综合医院门诊医技楼一层介入中心拟配备 2 台 DSA，属于II类射线装置。设备参数见表 1-9。

表 1-9　　设备参数

设备名称	设备型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别
DSA	待定	2 台	125	1000	II类

④ 手术中心（介入手术室）

本项目在综合医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-12）拟配备 1 台 DSA，属于II类射线装置。设备参数见表 1-10。

表 1-10　　设备参数

设备名称	设备型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别
DSA	待定	1 台	125	1000	II类

⑵ 传染病医院

本项目在传染病医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-4）拟配备 1 台 DSA，属于II类射线装置。设备参数见表 1-11。

表 1-11　　设备参数

设备名称	设备型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别
DSA	待定	1 台	125	1000	II类

⑶ 工作人员配置

根据建设单位提供的资料，此次西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）拟配备放射工作人员如下：

表 1-12　　拟配备辐射工作人员情况　　单位：人

科室 人员	综合医院				传染病医院
	放疗科	核医学科	介入中心（介入手术室1、2）	手术中心（介入手术室）	手术中心（介入手术室）
医师	5	5	5	5	2
护士	10	2	5	5	1
技师	2	2	2	1	1
物理师	2	/	/	/	/
合计	19	9	12	11	4

本项目各工作场所涉及的辐射工作人员共计 55 名。西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）将在上岗前按照《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》（公告 2019 年 第 57 号）的要求，组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后才允许上岗，同时将组织辐射工作人员参加岗前体检，建立职业健康档案。

⑷ 工作负荷

① 综合医院

拟在综合医院新建放疗科、核医学科、介入中心及手术中心（介入手术室），各工作场所工作负荷如下：

表 1-13　　项目综合医院各工作场所的工作负荷情况表

场所	**射线装置**	**能量（MV）**	**患者人次（人/天）**	**周工作日（天）**	**年工作日（天）**	**年照射时间（h）**	**平均每人每野次治疗剂量（Gy）**	
放疗科	医用电子直线加速器	10	40	5	250	41.5	1.5	
		15	40	5	250	41.5	1.5	
场所	**射线装置**	**放射源**	**患者人次（人/天）**	**周工作日（天）**	**年工作日（天）**	**操作方式**	**每人每次操作时间**	**年操作时间**
放疗科	后装治疗机	^{192}Ir	6	5	250	治疗	10min	250h
						摆位	1min	25h
场所	**射线装置**	**核素**	**患者人次（人/天）**	**周工作日（天）**	**年工作日（天）**	**操作方式**	**每人每次操作时间**	**年操作时间**
核医学科	PET-CT	^{18}F	10	5	240	手套箱内药物分装	1min	40h
						药物自手套箱转移至注射窗口	10s	6.7h

						注射	10s	6.7h
						对患者进行摆位	30s	20h
						控制室操作时间	20min	800h
	SPECT-CT	^{99m}Tc	25	5	240	药物自储源室转移至注射窗口	10s	16.7h
						注射	10s	16.7h
						对患者进行摆位	30s	50h
						控制室操作时间	20min	2000h

场所	射线装置	数量	工作模式	每次照射时间	年最大工作量/台	年开机时间
介入中心	DSA	2	透视	10min	200 台手术	33.3h
			采集	30s	200 台手术	1.67h
手术中心（介入手术室）	DSA	1	透视	10min	400 台手术	133.3h
			采集	30s	400 台手术	6.67h

② 传染病医院

拟在传染病医院门诊医技楼四层新建手术中心（介入手术室），各工作场所工作负荷如下：

表 1-13　项目传染病医院各工作场所的工作负荷情况表

场所	射线装置	数量	工作模式	每次照射时间	年最大工作量	年开机时间
手术中心（介入手术室）	DSA	1	透视	10min	150 台手术	25h
			采集	30s	150 台手术	1.25h

8、项目选址及布局合理性

⑴ 项目选址合理性

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），本项目选址合理性分析如下：

① 放疗科

a. 拟配置的 2 台医用电子直线加速器均位于综合医院门诊医技楼地下二层的东侧，加速器机房上部为封闭的无用空间，机房墙体贯穿地下二层及地下一层；

b. 拟配置的后装治疗机综合医院门诊医技楼地下一层的东侧，后装治疗机房下部为封闭的无用空间，机房墙体贯穿地下二层及地下一层；

c. 医用电子直线加速器机房周边为停车场；后装治疗机房周边为停车场及核医学科，楼上为影像中心的 CT 机房、数字胃肠及医护走廊，均避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

② 核医学科

a. 核医学科位于综合医院门诊医技楼地下一层的东南角，根据核医学科人流物流设计（见表 10 辐射安全与防护），设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

b. 核医学科周边为放疗科（后装治疗机房等）、CT 模拟机房及停车场，下部为停车场，上部为影像中心的MRI、医护走廊、患者走廊及介入中心的介入手术室1、洁净走廊、控制室、清洗间、污洗间、医疗废物暂存等，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，核医学科边界均为通顶混凝土墙体。

c. 核医学科排风系统包括四部分（详见表 10 辐射安全与防护），均经排风管道通往综合楼楼顶排出，排风口位置离周边高层建筑较远。

③ 本项目各工作场所位于西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）综合医院门诊医技楼及传染病医院门诊医技楼。西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）东侧为西韩大道（G210），隔西韩大道为空地；南侧为渭阳五路，隔渭阳五路为耕地，西侧为泾惠五路，隔泾惠五路为西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）指挥保障中心（3 号楼）；北侧为渭阳大道（G310），隔渭阳大道为耕地。西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）周围环境关系见图 1-2。

综上所述，项目建设地点与周边建筑相互独立，且综合医院门诊医技楼和传染病医院门诊医技楼均距离临近道路较远，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素，选址和平面布置基本合理，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的选址要求。

图 1-2　　西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）周围环境关系图

⑵ 项目平面布置情况

① 综合医院

a. 放疗科

医用电子直线加速器位于综合医院门诊医技楼地下二层的东侧，布置有医用电子直线加速器机房、控制室、水冷机房、质控室等。

后装治疗机位于综合医院门诊医技楼地下一层的东侧，布置有后装治疗机房、控制室、准备间、更衣室、清洗间、值班室等。

b. 核医学科

综合医院门诊医技楼地下一层核医学科布置有 PET-CT 和 SPECT-CT 显像检查区域，以患者走廊为界，核医学科患者走廊的南侧由西向东分别布置有预约登记、冲淋、一更、储源室、固废室、污洗间、二更、缓冲、分装质控室、设备间、SPECT-CT 机房、控制室、PET-CT 机房；核医学科患者走廊的北侧由西向东分别布置有洁具清洗存放、运动候诊兼抢救室、SPECT-CT 候诊（包含病卫）、PET-CT 候诊（包含病卫）、VIP 候诊（包含病卫）、留观室（包含病卫）。

c. 介入中心

拟在综合医院门诊医技楼一层南侧的介入中心配置 2 台 DSA，主要布置有介入

手术室、控制室、机房等。

d. 手术中心（介入手术室）

拟在综合医院门诊医技楼四层手术中心南侧的介入手术室配置 1 台 DSA，主要布置有介入手术室、控制室、缓冲区等。

② 传染病医院

a. 手术中心（介入手术室）

拟在传染病医院门诊医技楼四层手术中心中部的介入手术室配置 1 台 DSA，主要布置有介入手术室、控制室、机房等。

本项目各工作场所的平面布局均符合相应的标准要求，具体分析详见“表 10 辐射安全与防护”。本项目涉及的各楼层平面布局见图 1-3～图 1-11。

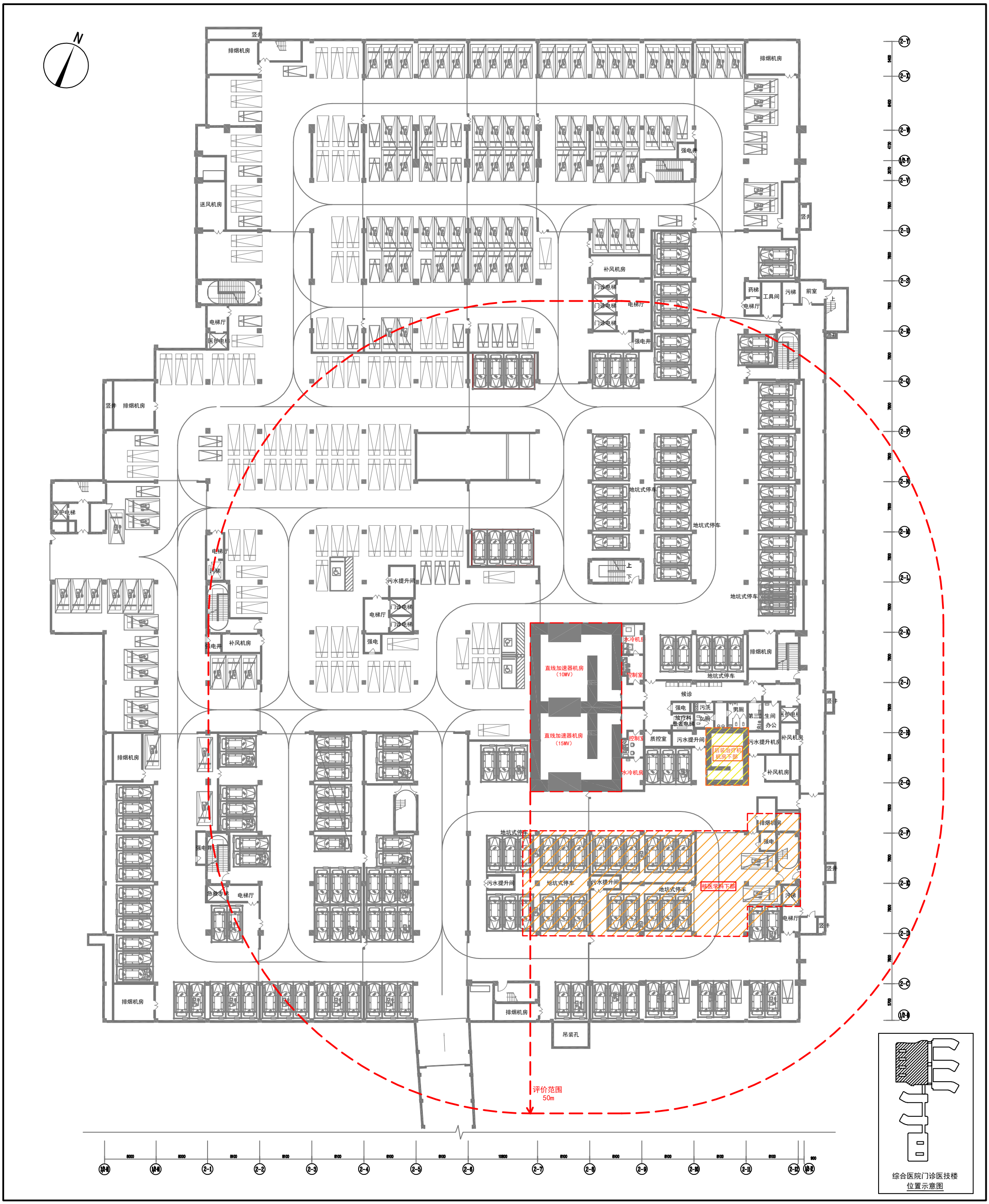


图1-3　综合医院门诊医技楼地下二层平面布置及评价范围图

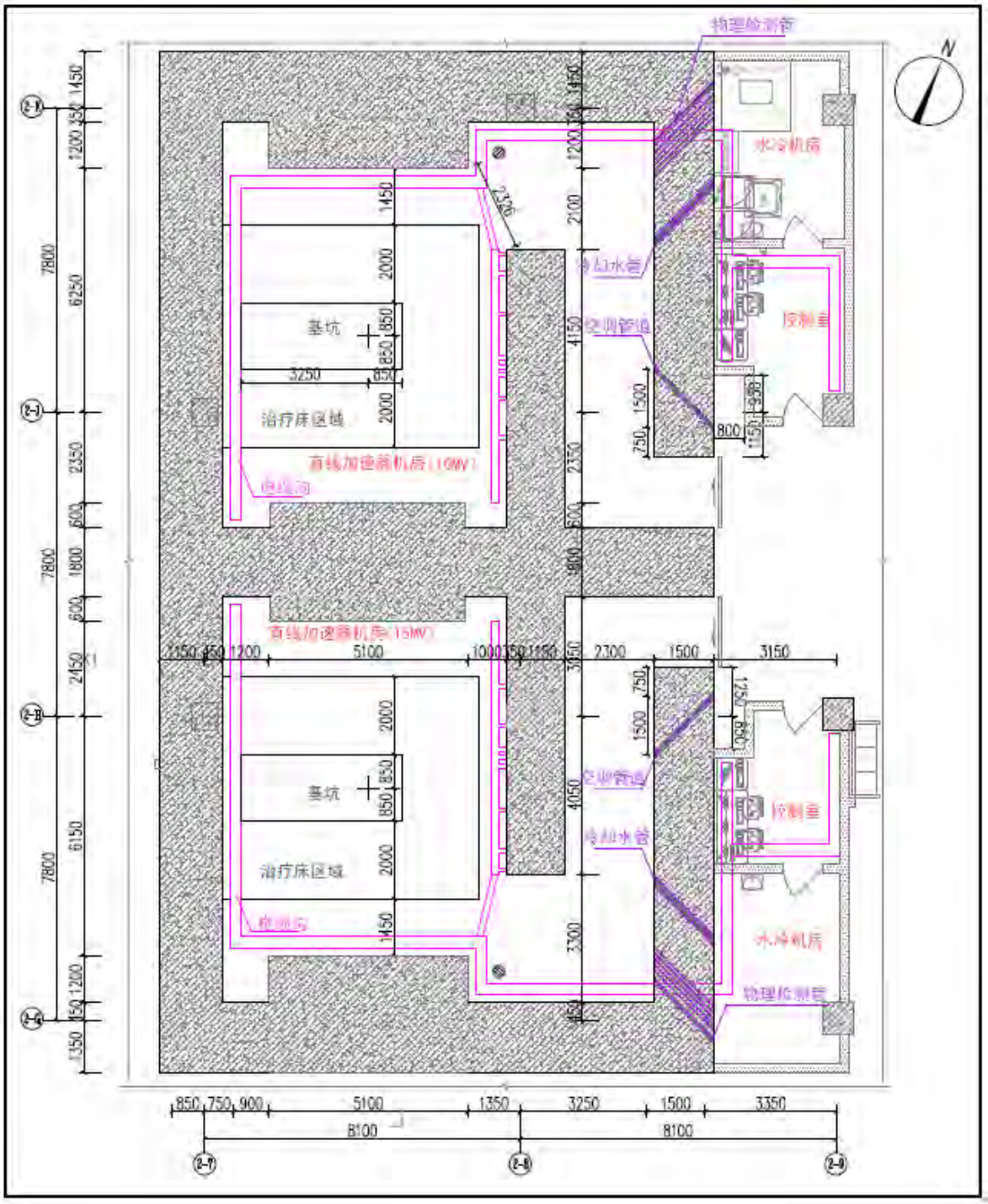


图 1-4　　综合医院门诊医技楼地下二层医用电子直线加速器平面布置图

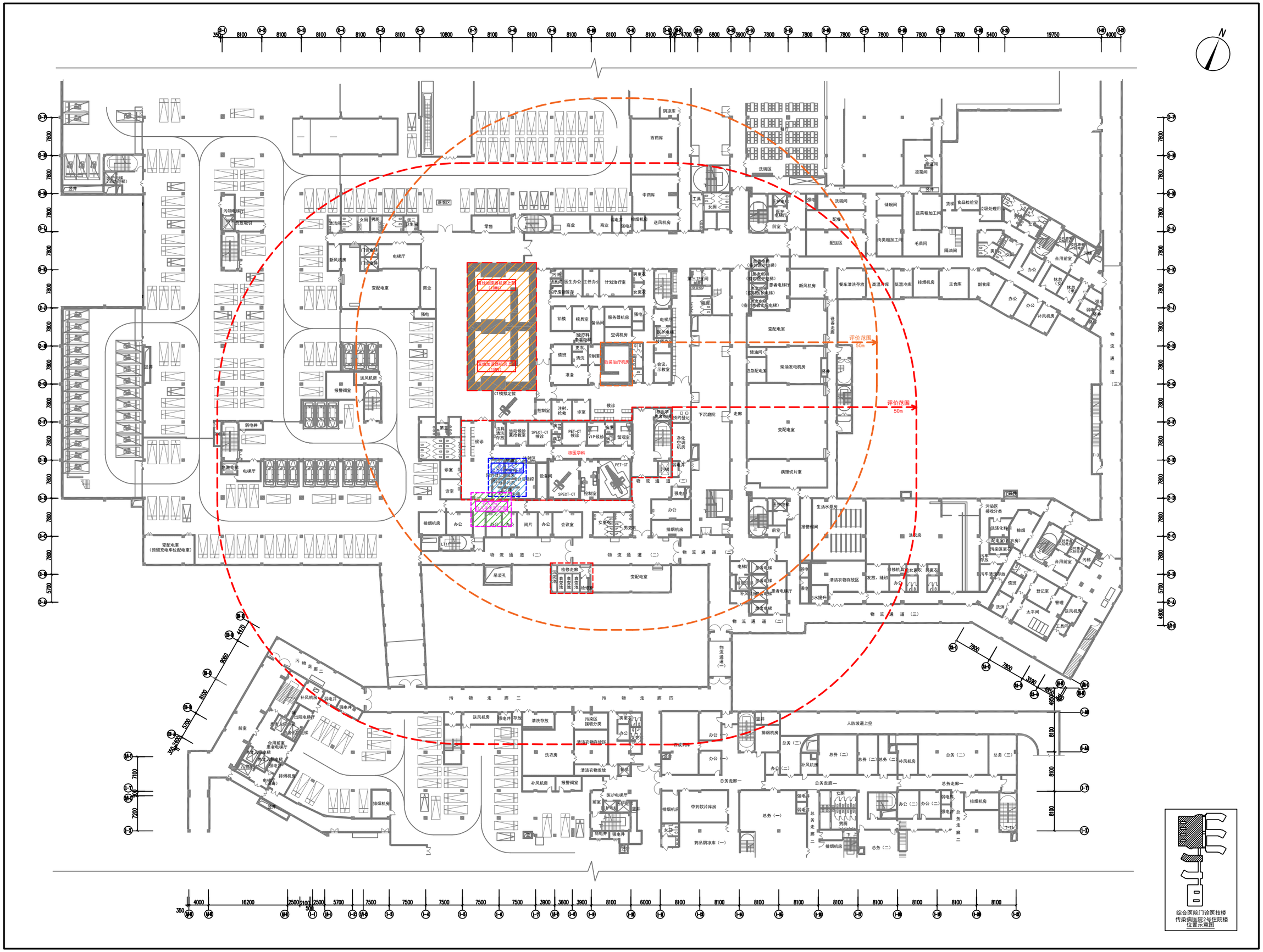


图1-5　综合医院门诊医技楼地下一层平面布置及评价范围图

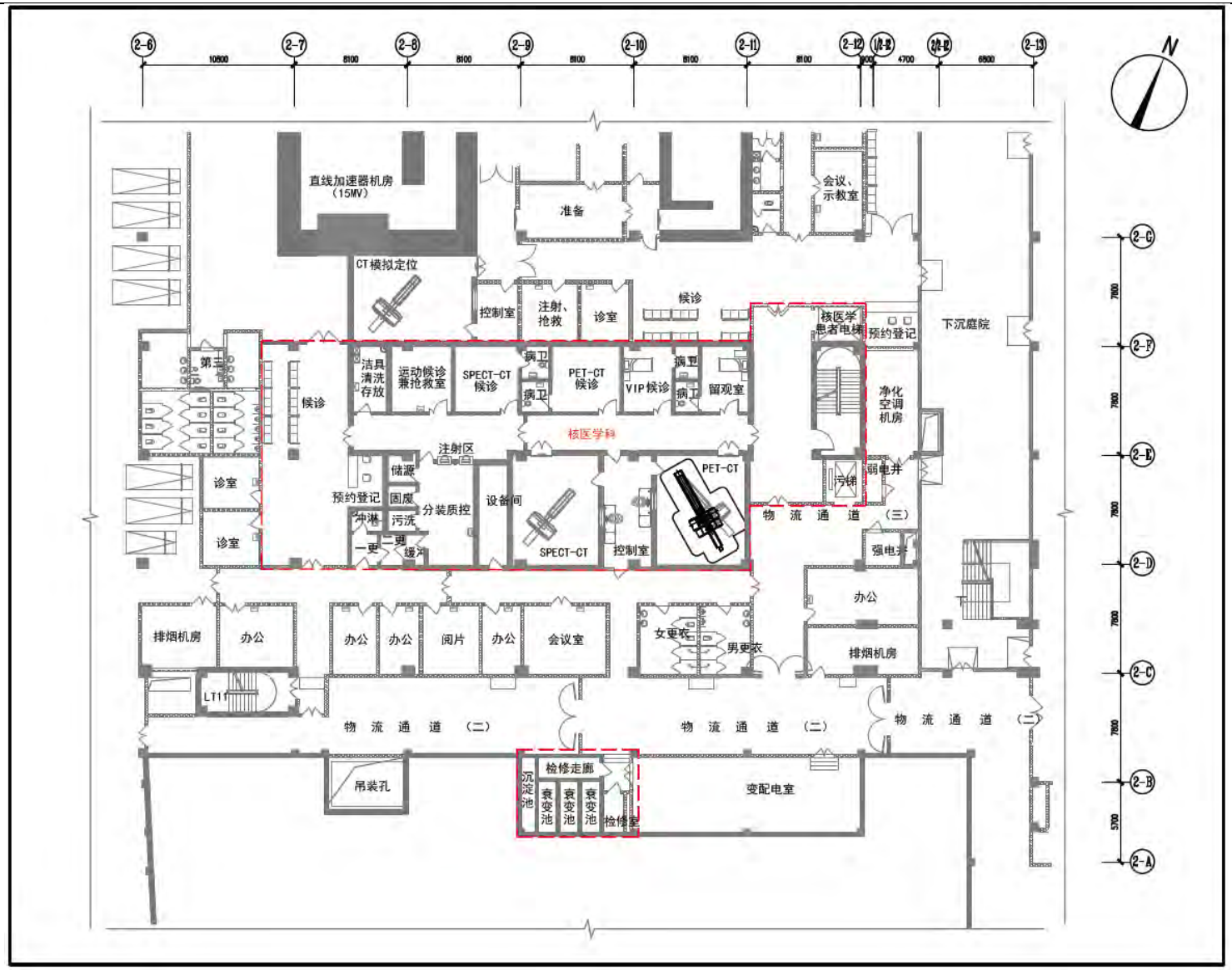


图 1-6　　综合医院门诊医技楼地下一层核医学科平面布置图

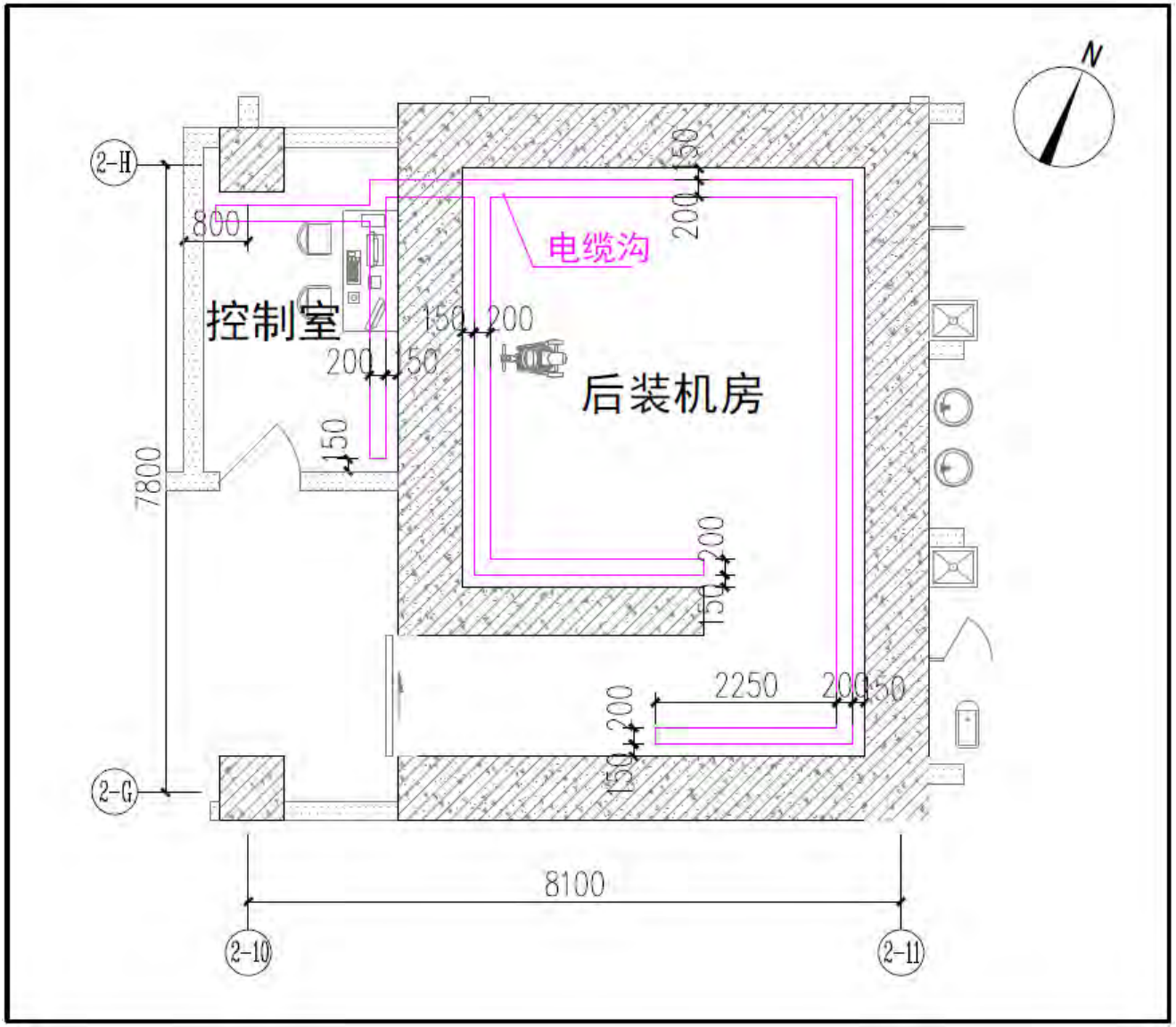


图 1-7　　综合医院门诊医技楼地下一层后装治疗机平面布置图

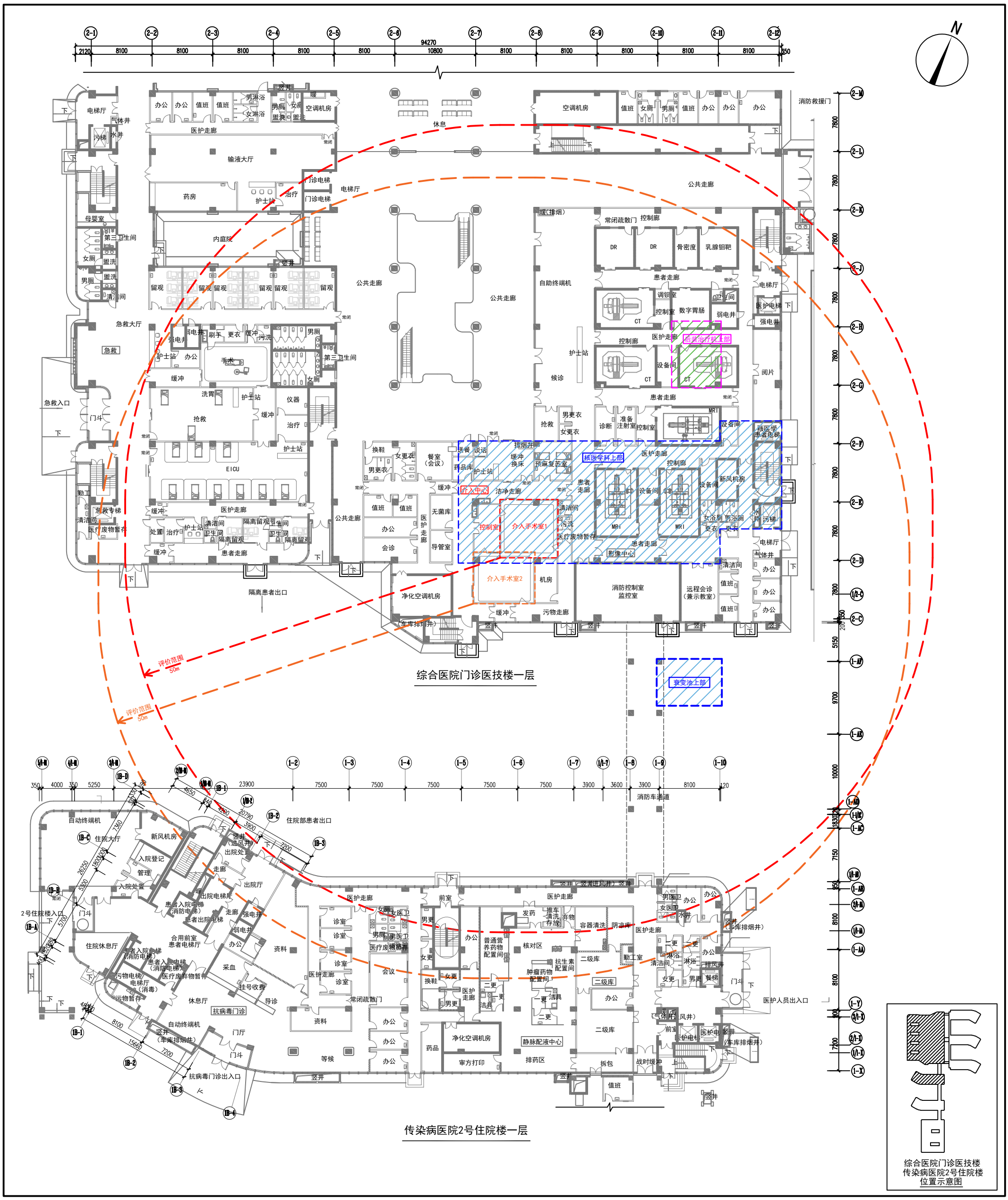


图1-8　综合医院门诊医技楼一层平面布置及评价范围图

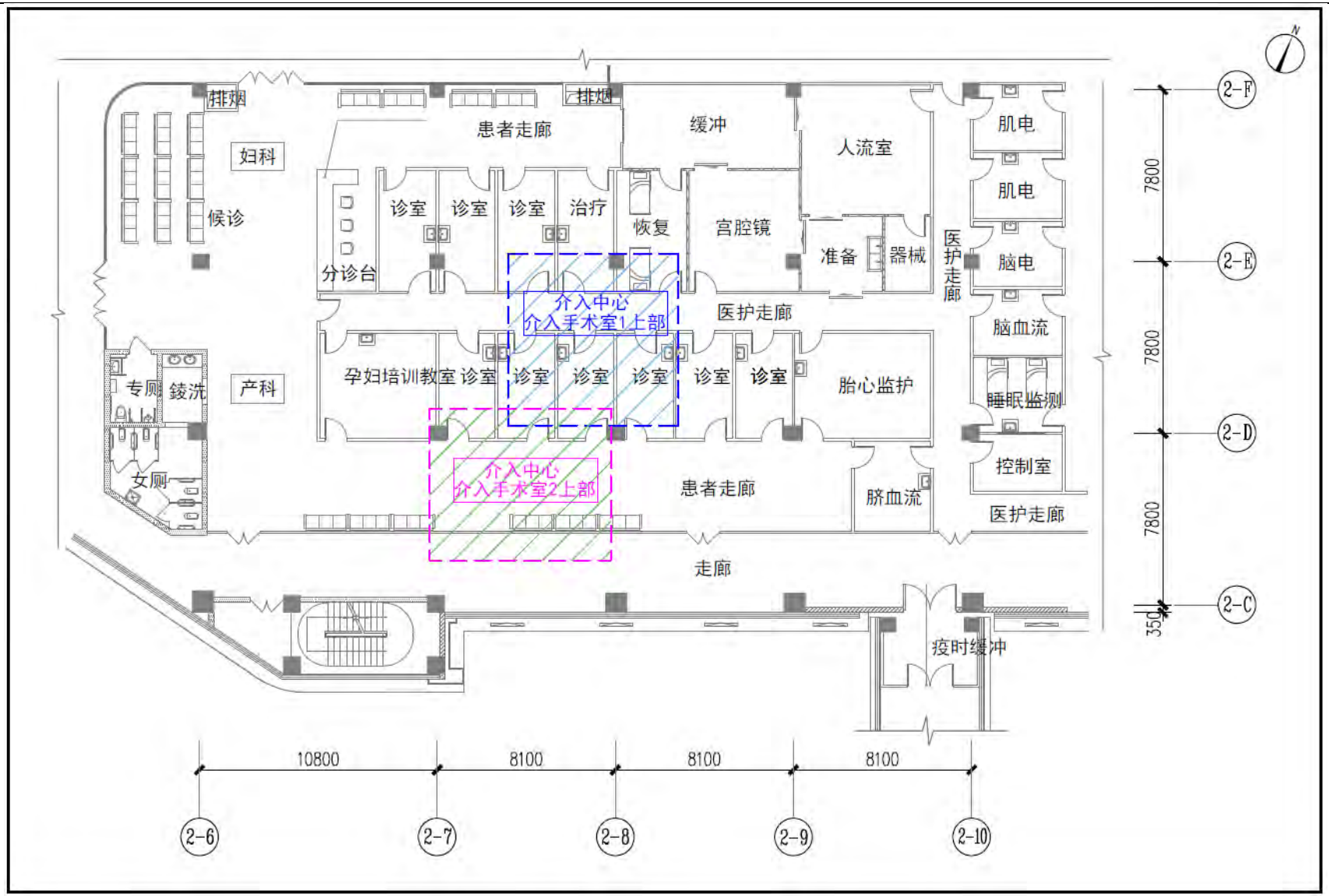


图 1-9　　综合医院门诊医技楼二层平面布置图（局部）

图1-10　综合医院门诊医技楼四层平面布置及评价范围图

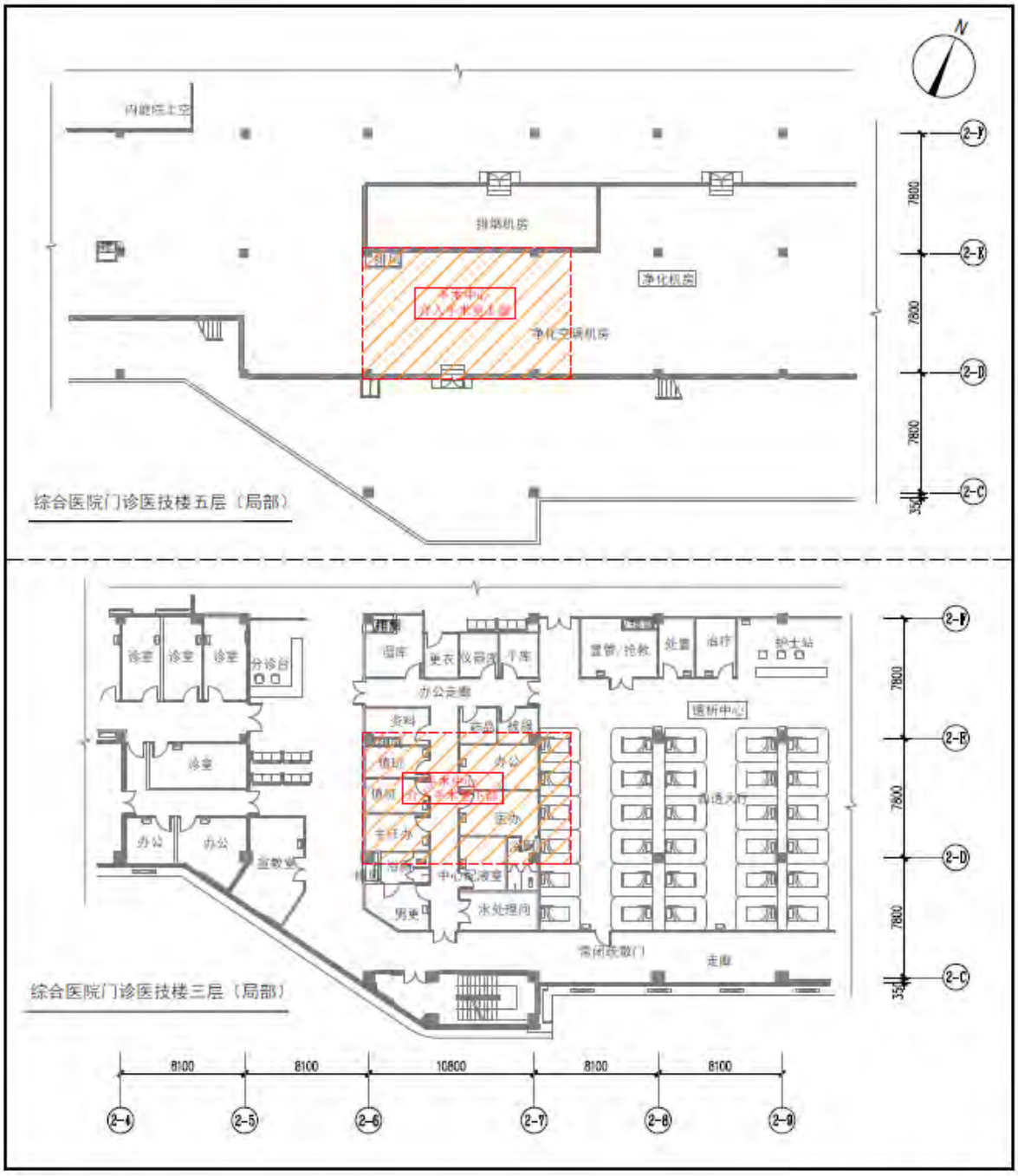


图 1-11　　综合医院门诊医技楼三层、五层平面布置图（局部）

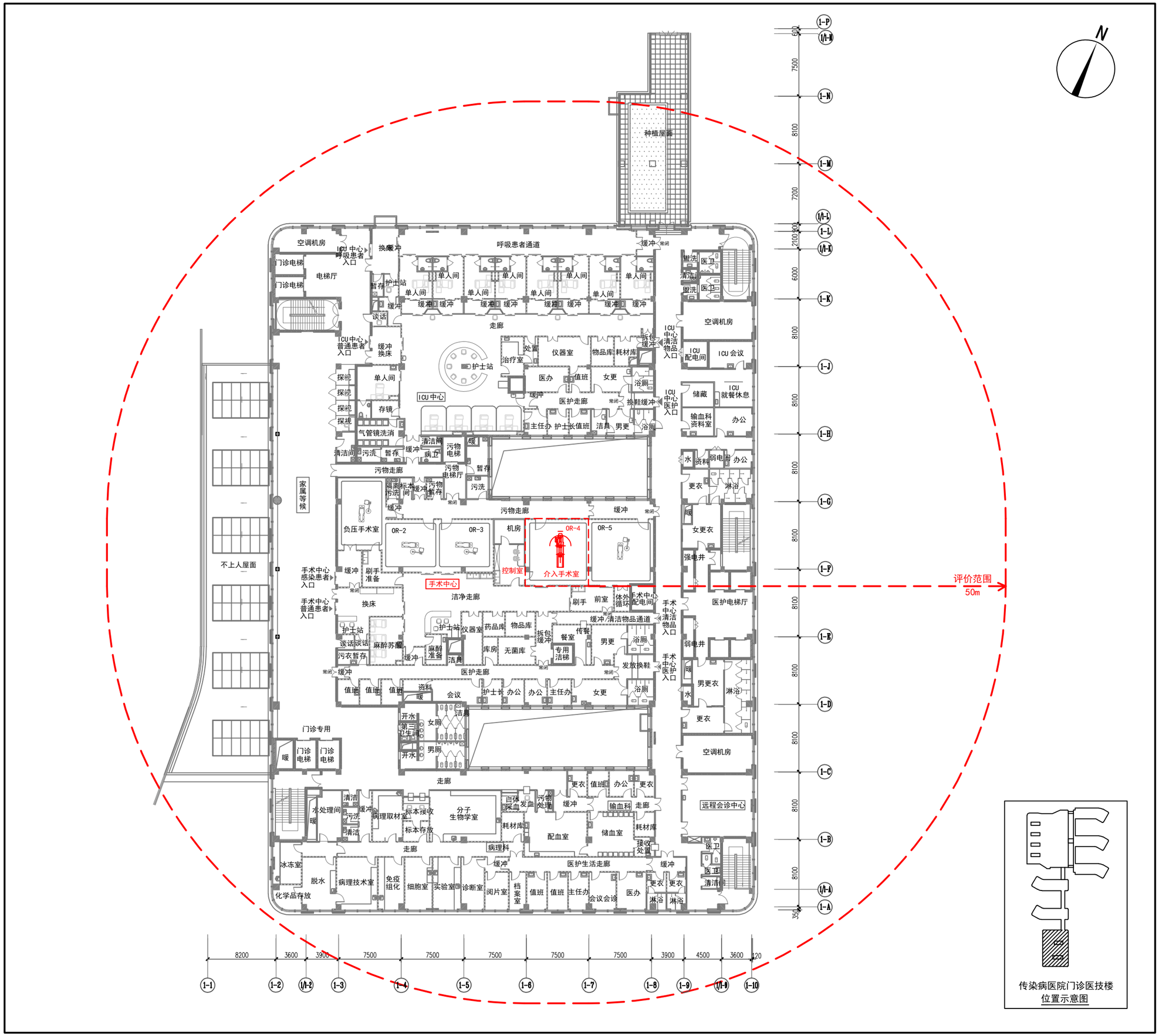


图1-12　传染病医院门诊医技楼四层平面布置及评价范围图

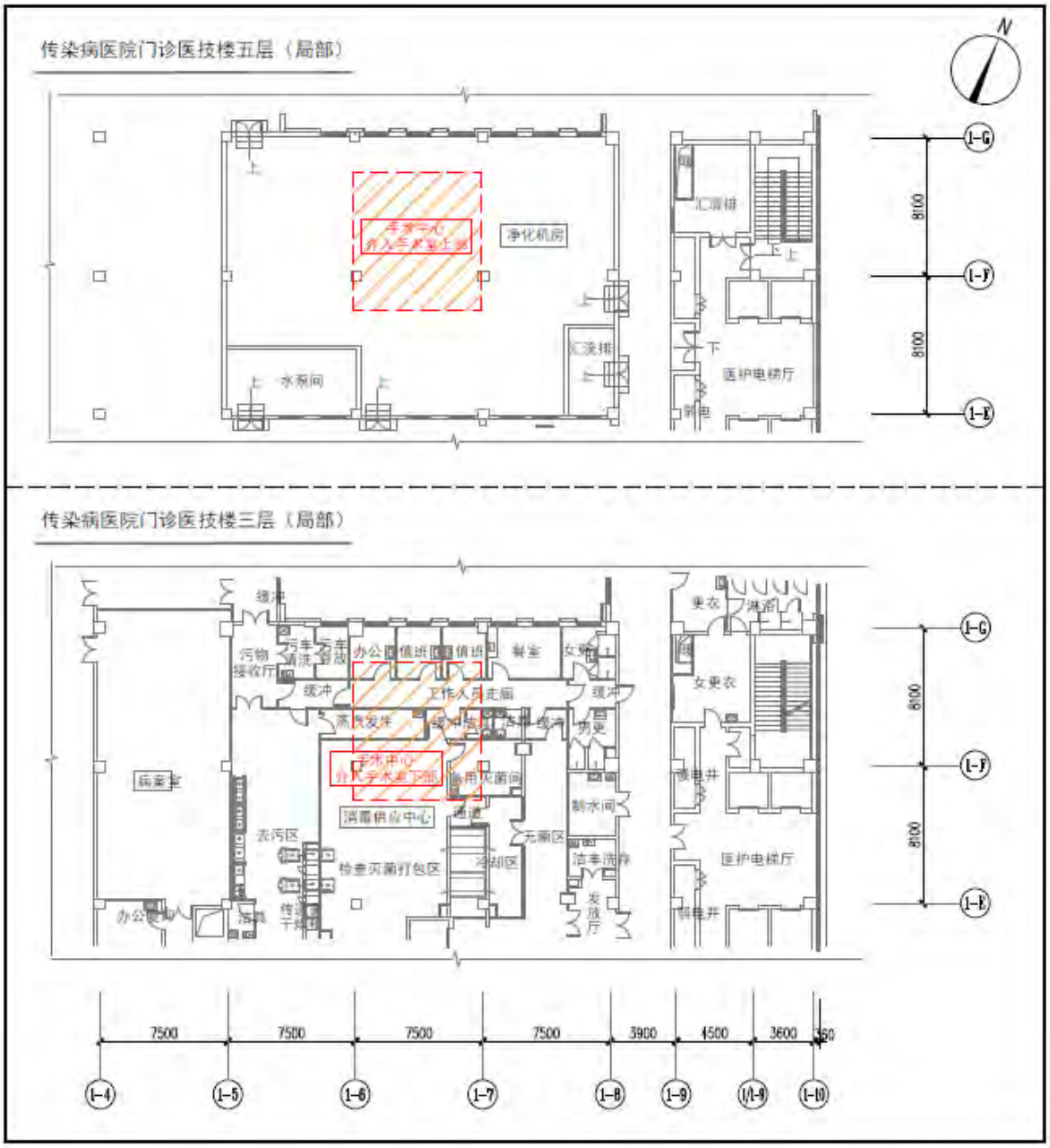
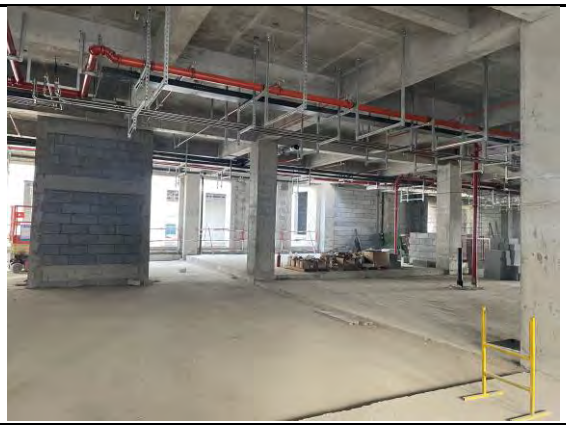


图 1-13　　传染病医院门诊医技楼三层、五层平面布置图（局部）

9、项目建设进度

本项目位于西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）综合医院门诊医技楼（在建）及传染病医院门诊医技楼（在建）内，主体结构正在施工。主体工程环评已于 2020 年 6 月 4 日取得西安市生态环境局高陵分局《关于西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目环境影响报告书的批复》（市环高批复〔2020〕34 号，见附件）。现状照片如下：

	
综合医院门诊医技楼	传染病医院门诊医技楼

10、原有核技术利用项目许可情况

⑴ 环保手续履行情况

西安市第八医院老院区现有核技术利用项目环保手续履行情况如下：

表 1-11　　西安市第八医院环保手续履行情况

项目名称	评价内容	环评手续		验收时间
		批复文号	批复时间	
西安市第八医院DSA医用射线装置核技术利用项目	主要建设DSA介入手术室一间，新增1台西门子ARTISZEE III FLOOR医用血管造影X射线机（DSA）	市环批复〔2021〕90号	2021年9月24日	2021年12月
其余III类射线装置均已进行登记表备案				

⑵ 辐射安全许可证办理情况

西安市第八医院于2022年2月25日更换了辐射安全许可证，许可证编号为陕环辐证[AD045]（见附件），有效期至2026年8月29日。许可种类和范围为：使用II类、III类射线装置。辐射安全许可证台账明细见表1-12所示。

表 1-12　　西安市第八医院辐射安全许可证台账明细

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所
1	GE64排螺旋CT	PtimaCT670	III	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	门诊一楼CT放射科
2	岛津移动DR	NUX-200D	III	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科
3	飞利浦移动DR	M250	III	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科
4	西门子DR	AXTON Aristovx Plus	III	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科
5	西门子数字胃肠机	IconosR200	III	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科
6	双能X线骨密度检测仪	DCS-600EXV	III	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科

7	飞利浦 16 排螺旋 CT	AccessCT	III	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	发热门诊一楼 CT 室
8	牙科 X 线拍片机	RAY68 (M)	III	口腔（牙科）X 射线装置	门诊二楼口腔科
9	联影车载 CT	uCT528	III	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	隔离区楼下：隔离病区楼下西北角
10	数字减影血管造影机	ARTISZEE III FLOOR	II	血管造影用 X 射线装置	门诊楼 4 楼：门诊 4 楼介入室

⑶ 辐射安全管理现状

医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等相关法律法规要求，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

⑷ 辐射防护管理机构设置情况

西安市第八医院已成立辐射安全管理委员会，领导小组下设办公室，办公室设在医务科，办公室主任由副院长张艳兼任，副主任由医务科科长黄小正、放射科主任薛永明兼任。具体职责见表 12 辐射安全管理部分。

⑸ 规章制度建设及落实情况

医院根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全防护条例》、《陕西省放射性污染防治条例》，已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，具体如下：

辐射安全管理制度：《西安市第八医院放射诊疗工作场所辐射防护安全管理制度》、《西安市第八医院放射安全防护人员培训制度》、《西安市第八医院从事放射人员岗位职责》、《辐射设备维护维修制度》、《放射防护档案管理制度》、和《受检者防护制度》；

工作场所及人员剂量监测制度：《西安市第八医院放射监测制度、个人剂量监测管理制度、职业健康监护管理制度》、《辐射工作场所监测制度》；

操作规范：《西安市第八医院放射操作规程》。

应急预案：《放射事故应急预案》。

医院现有辐射安全和防护制度的建立落实、档案管理等方面运行正常。

⑹ 工作人员培训情况辐射安全管理现状

医院严格按照国家相关规定，所有从事放射工作的人员需参加相关部门的培训，经考核合格取得放射工作人员岗位培训合格证后才可以从事放射工作。根据医院提供的资料，已有 19 名放射工作人员取得培训合格证书。

本项目工作场所均建设于新院区，拟配备工作人员均为新增。医院应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部 公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日），本项目辐射工作人员需经培训并取得培训合格证书方可上岗。

⑷ 职业健康检查情况

医院对从事放射性工作的职业人员进行了职业性健康体检，建立了职业健康体检档案并存档。检查结果与职业禁忌证相关性异常 1 例，医院已针对以上人员分别采取了调整工作岗位、复查、专科治疗、定期观察等措施，不适宜进行放射工作的人员已调整做其他非放射性工作；检查结果无法评价 1 例，其原因是本人自愿放弃拍摄胸片；其余工作人员均正常，适宜从事辐射工作。

⑸ 个人剂量检测情况

医院为从事放射工作人员均配备了个人剂量计，并委托陕西华大普泰检测技术有限公司进行了个人剂量检测，并建立了个人剂量档案并存档。根据 2022 年 4 月～2023 年 2 月 4 个季度的个人剂量检测报告，医院放射工作人员连续四个季度的剂量最大值为 2.75mSv，满足不大于 5mSv 的剂量约束。

⑹ 工作场所及辐射环境监测情况

医院制定了辐射环境监测方案，委托有资质的单位对现有设备的辐射工作场所每年进行 1 次定期监测。

根据陕西华大普泰检测技术有限公司出具的 2022 年度《医用 X 射线诊断设备工作场所检测》（HDPT-2022-JC0202），医院各设备工作场所的各监测点位均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求。

⑺ 应急管理情况

医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了《放射事故应急预案》，以保证本单位一旦发生核技术利用项目辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善

处置放射事故，保护工作人员、公众的健康与环境安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。

11、评价目的

⑴ 对医院在使用密封放射源、射线装置和非密封放射性物质时产生的辐射环境影响进行预测分析，确保该密封放射源、射线装置及非密封放射性物质使用过程中对周围环境、人员产生辐射影响满足国家标准相关要求；

⑵ 对密封放射源、射线装置和非密封放射性物质使用过程中对周围环境可能产生的不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

⑶ 为医院辐射环境保护管理提供科学依据。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
1	^{192}Ir	3.7×10^{11}Bq/ 3.7×10^{11}Bq×1 枚	III类	使用	放射治疗	综合医院门诊医技楼地下一层	后装治疗机内	新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
1	^{18}F	液态	使用	3.70×10^{9}	4.70×10^{9}	1.13×10^{12}	PET-CT 显像检查	很简单的操作	核医学科	分装质控室手套箱
2	^{99m}Tc	液态	使用	2.31×10^{11}	2.31×10^{8}	5.54×10^{13}	SPECT-CT 显像	很简单的操作	核医学科	储源室

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

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类	1 台	待定	电子	10MV	2400cGy/min	放射治疗	放疗科	新购
2	医用电子直线加速器	II类	1 台	待定	电子	15MV	600cGy/min	放射治疗	放疗科	新购

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

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	PET-CT	III类	1 台	待定	140	800	医用诊断和病症评估	综合医院核医学科 PET-CT 机房	/
2	SPECT-CT	III类	1 台	待定	140	800	医用诊断和病症评估	综合医院核医学科 SPECT-CT 机房	/
3	DSA	II类	2 台	待定	125	1000	医用诊断和病症评估	综合医院介入中心介入手术室	/
4	DSA	II类	1 台	待定	125	1000	医用诊断和病症评估	综合医院手术中心介入手术室（OR-12）	/
5	DSA	II类	1 台	待定	125	1000	医用诊断和病症评估	传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）	/

（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(mA)	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
废金属靶、废辅助过滤器等	固体	/	/	/	通常 1 个靶使用 7～10 年后更换	/	/	由有资质的加速器供应商更换并处置
后装机废旧放射源	固体	^{192}Ir	小于 2Ci	/	1 年更换放射源 3 次，由放射源供应单位更换	/	/	厂家回收处置
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液体	^{18}F、^{99m}Tc	/	11.84m^3	140.08m^3	远低于 10Bq/L	排入专用衰变池内暂存，按半衰期小于 24 小时（^{18}F、^{99m}Tc）的暂存时间超过 30 天	经衰变池处理后排放至医院污水处理站
放射性固体废物（废注射器、废手套、废活性炭滤芯等）	固体	^{18}F、^{99m}Tc	/	35kg	420kg	辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染 <0.8Bq/cm^2	分类收集暂存于固废室，^{18}F、^{99m}Tc 的放射性固体废物需暂存超过 30 天	按照医疗废物处理，废活性炭作为一般固体废物处理
放射性废气	气体	^{18}F、^{99m}Tc	/	微量	微量	/	/	经活性炭吸附后，通过专用管道排放
废气	气体	臭氧、氮氧化物等	/	少量	少量	/	/	通过排风管道排出
固体废物	固体	介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料	/	0.5t	6t	/	/	经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固态为 mg/kg，气态单位为 mg/kg；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L，或 Bq/kg，或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	⑴《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日； ⑵《中华人民共和国环境影响评价法》（修订），2018 年 12 月 29 日； ⑶《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日； ⑷《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日； ⑸《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； ⑹《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日； ⑺《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 修改），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日； ⑻《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日； ⑼《关于发布<放射源分类办法>的公告》，国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日； ⑽《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日； ⑾《放射性废物分类》（环保部公告 2017 年第 65 号），环境保护部、工业和信息化部、国家防科技工业局，2018 年 1 月 1 日； ⑿《放射性物品分类和名录》（试行），国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日； ⒀《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； ⒁《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 11 月 1 日施行； ⒂《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号）； ⒃《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日； ⒄《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年 7 月 31 日修正）；

	⒅《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29号）；
技术标准	⑴《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）； ⑵《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； ⑶《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； ⑷《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020） ⑸《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； ⑹《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； ⑺《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； ⑻《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； ⑼《操作非密封放射源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； ⑽《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； ⑾《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； ⑿《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； ⒀《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第一部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）； ⒁《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； ⒂《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第三部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）； ⒃《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》（HJ421-2008）； ⒄《职业性外照射个人检测规范》（GBZ128-2019）； ⒅《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）； ⒆《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）。

其他	⑴ 西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目环境影响评价委托书，2022年9月； ⑵ 西安市生态环境局高陵分局关于西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目环境影响报告书的批复（市环高批复〔2020〕34号）； ⑶《西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目辐射环境现状监测报告》（报告编号：XAZC-JC-2022-0756），西安志诚辐射环境检测有限公司，2022年12月13日； ⑷ 建设单位、设计单位提供的相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

一、评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中评价范围要求：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径500m的范围，乙、丙级取半径50m的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围”。

本项目属于乙级非密封放射性物质工作场所，同时使用III类放射源和II、III类射线装置，均位于西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）综合医院门诊医技楼和传染病医院门诊医技楼，评价范围为核医学科、加速器机房、后装机机房及DSA 机房外 50m 区域。该项目评价范围见图 1-3、图 1-5、图 1-8、图 1-10 及图 1-13。

二、保护目标

本项目环境保护目标主要为从事放疗科、核医学科、介入中心及手术中心（介入手术室）相关操作的工作人员、工作场所周围其他工作人员及公众。本项目主要环境保护目标见表 7-1。

表 7-1　　本项目主要环境保护目标一览表

<table>
<tr><th colspan="2">场所</th><th colspan="2">保护对象</th><th colspan="2">位置</th><th>距辐射源最近距离（m）</th><th>人数（人）</th><th>年有效剂量控制水平</th></tr>
<tr><td rowspan="8">综合医院放疗科</td><td rowspan="3">职业人员</td><td rowspan="2">医用电子直线加速器工作人员</td><td colspan="2">控制室（10MV）</td><td>9.1</td><td>1</td><td rowspan="3">≤5mSv</td></tr>
<tr><td colspan="2">控制室（15MV）</td><td>9.1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>后装治疗机工作人员及护士</td><td colspan="2">控制室</td><td>2.6</td><td>12</td></tr>
<tr><td rowspan="5">公众</td><td rowspan="4">医用电子直线加速器机房（10MV）及医用电子直线加速器机房（15MV）屏蔽体外周边其他医务人员（从事非放射性工作的）、患者、患者家属</td><td>东侧</td><td>候诊区、卫生间、放疗科患者电梯等</td><td>50m 范围内</td><td>流动人员</td><td rowspan="5">≤0.1mSv</td></tr>
<tr><td>西侧</td><td>停车场</td><td>50m 范围内</td><td>流动人员</td></tr>
<tr><td>北侧</td><td>停车场</td><td>50m 范围内</td><td>流动人员</td></tr>
<tr><td>南侧</td><td>停车场</td><td>50m 范围内</td><td>流动人员</td></tr>
<tr><td>后装治疗机房屏蔽体外周边其他医务人员、患者、患者家属</td><td>东侧</td><td>技师办公室、会议示教室、卫生间、下沉庭院、患者电梯、变配电室、柴油发电机房、新风机房、配餐间、洗</td><td>50m 范围内</td><td>流动人员</td></tr>
</table>

				碗间等			
			南侧	放疗科候诊区、核医学科、诊室、办公室、会议室、物流通道、变配电室等	50m 范围内	流动人员	
			西侧	值班室、停车场、变配电室、电梯厅等	50m 范围内	流动人员	
			北侧	备品间、空调机房、服务器机房、模具室、铅模、计划治疗室、主任办公室、医生办公室、污洗、洁具间、医疗废物暂存、更衣室、西药库、中药库等	50m 范围内	流动人员	
综合医院核医学科	职业人员	PET-CT 操作人员及摆位人员	PET-CT 机房		0.3	2	≤5mSv
			控制室		4.1	1	
		SPECT-CT 操作人员及摆位人员	SPECT-CT 机房		0.3	2	
			控制室		4.6	1	
		工作人员（药物制备、药物分装质控、注射人员）	缓冲区、一更、二更		2.8	1	
			分装质控室		0.3		
			储源室		0.3		
			固废室		0.3		
			注射区		0.3		
		其他护士	运动候诊兼抢救室		0.3	1	
		其他辐射工作人员	北侧	CT 模拟定位	紧邻	2	
				CT 控制室	紧邻		
				后装治疗机房	4.4	2	
				后装治疗机控制室	11.2	1	
			上部	介入手术室 1	/	2	
				控制室	/	1	
				介入手术室 2	/	2	
	公众	屏蔽体外周边其他医务人员、其他患者及其患者家属	东侧	核医学患者电梯	9.0	流动人员	≤0.1mSv
				办公室	3.8	4	
				病理切片室	15.0	流动人员	
				医护电梯	21.4	流动人员	
				患者电梯	21.0	流动人员	
			西侧	卫生间	8.7	流动人员	
				污洗间	4.6	1	
				诊室	8.7	流动人员	
				急救专梯	41.0	流动人员	
				停车库	4.4～50	流动人员	
			南侧	办公室	2.4	10	
				阅片室	2.4	流动人员	
				会议室	2.4	流动人员	
				女更衣室/男更衣室	2.4	流动人员	

					物流通道	7.5	流动人员	
				传染病医院 2 号住院楼	洗衣房	44	流动人员	
					停车库	44～50	流动人员	
				北侧	放疗科诊室	紧邻	流动人员	
					放疗科注射、抢救室	紧邻	流动人员	
					后装治疗候诊区	紧邻	流动人员	
					更衣、清洗、准备室	7.2	1	
					值班室	11.2	1	
					放疗科患者电梯	15.5	流动人员	
					医生办公室	25.2	2	
					主任办公室	25.2	1	
					计划治疗室	25.2	流动人员	
					女更衣室/男更衣室	22.5	流动人员	
					医护电梯	14.0	流动人员	
					技师办公室	10.7	2	
					会议示教室	5.0	流动人员	
					停车场	39.5～50	流动人员	
					卫生间	19.0	流动人员	
					患者电梯（疫时用）	25.7	流动人员	
					配餐	45.9	流动人员	
					配送区	41.2	流动人员	
		核医学科正下方其他医务人员、患者及其患者家属		停车场、污水提升间、污梯、排烟机房等		/	流动人员	
		核医学科正上方其他医务人员、患者及其患者家属		送餐、谈话、药品库、缓冲换床、预麻复苏室、洁净走廊、机房、清洗间、污洗、医疗废物暂存、患者走廊、医护走廊、MRI 控制廊、设备间、MRI 设备间、女浴厕、更衣室、核医学患者电梯等		/	流动人员	
综合医院介入中心	职业人员	介入手术室医护人员		介入手术室 1		0.3	1	≤5mSv
				介入手术室 2		0.3	1	
		控制室操作人员		控制室		4.2	4	
		其他辐射工作人员		下部	核医学科一更、二更、缓冲区、预约登记、医护走廊、	/	9	
	公众	介入手术室 1 及介入手术室 2	屏蔽体外周边其他医务人员、患者及其患者家属	东侧	清洗间	4.6	流动人员	≤0.1mSv
					污洗	4.2	流动人员	
					医疗废物暂存	4.2	流动人员	
					机房	4.6	流动人员	
				南侧	缓冲	3.6	流动人员	
					污物走廊	4.3	流动人员	
				北侧	洁净走廊	4.5	流动人员	

			介入手术室 1 周边其他医务人员、患者及其患者家属	综合医院门诊医技楼	影像中心、办公室、消防控制室、公共走廊、急救中心、休息区等	50m 范围内	流动人员	
				传染病医院 2 号住院楼	医护走廊、办公室、卫生间、阴凉库、容器清洗、发药、推车清洗存放、出院厅、诊室、会议室、二级库等			
			介入手术室 1 正下方其他医务人员、患者及其患者家属	预约登记、办公室等		/	流动人员	
			介入手术室 1 正上方其他医务人员、患者及其患者家属	孕妇培训教室、妇科诊室、治疗室、恢复、医护走廊、产科诊室（3 间）、患者走廊、走廊等		/	流动人员	
综合医院手术中心	职业人员	介入手术室医护人员		介入手术室（OR-12）		0.3	1	≤5mSv
				缓冲		6.4	1	
		控制室操作人员		控制室		4.5	2	
	公众	介入手术室（OR-12）屏蔽体外周边其他医务人员、患者及其患者家属		东侧	刷手缓冲	6.4	流动人员	≤0.1mSv
				西侧	清洁走廊	7.0	流动人员	
				南侧	体外循环	6.5	流动人员	
					设备间	4.5	流动人员	
				北侧	手术室（OR-11）	4.6	2	
		介入手术室（OR-12）周边其他医务人员、患者及其患者家属		手术室（OR.1～OR.10、OR.13～OR.16）、值班室、办公室、护士长办公室、护办、麻醉办、主任办、洁净走廊、会议室、麻醉/苏醒、男更、女更、ICU 中心等		50m 范围内	流动人员	
		介入手术室（OR-12）正下方其他医务人员、患者及其患者家属		资料室、值班室、主任办、浴厕、药品室、被服、办公室、医办、中心配液室、血透大厅等		/	流动人员	
		介入手术室（OR-12）正上方其他医务人员、患者及其患者家属		净化空调机房		/	流动人员	
传染病医院手术中	职业人员	DSA 手术室医护人员		介入手术室（OR-4）		0.3	1	≤5mSv
		控制室操作人员		控制室		4.3	2	
	公众	介入手术室（OR-4）屏蔽体外周边其他医务人员、患者及其患者家属		东侧	手术室（OR-5）	4.3	流动人员	≤0.1mSv
				西侧	机房	4.5	流动人员	
				南侧	洁净走廊	4.4	流动人员	
					刷手	4.8	流动人员	

心			北侧	污物走廊	4.3	流动人员	
		介入手术室（OR-4）周边其他医务人员、患者及其患者家属	负压手术室、手术室（OR.2、OR.3）、护士站、麻醉苏醒、值班室、办公室、护士长办公室、护办、麻醉办、主任办、医护走廊、会议室、病理科、远程会诊中心、ICU 中心、家属等候区等		50m 范围内	流动人员	
		介入手术室（OR-4）正下方其他医务人员、患者及其患者家属	办公室、值班室、工作人员走廊、洁具间、缓冲、蒸汽发生、备用灭菌间、通道、检查灭菌打包区等		/	流动人员	
		介入手术室（OR-4）正上方其他医务人员、患者及其患者家属	净化机房		/	流动人员	

三、评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何 工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a）由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b）任何一年中的有效剂量，50mSv；

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：

a）年有效剂量，1mSv；

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

6.2.3 表面放射性污染的控制

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应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

第 B2 款表面污染控制水平

第 B2.1 款，工作场所的表面污染控制水平如表 7.3-2 所示。

第 B2.2 款，工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-2 所列设备类的控制水平五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当做普通物品使用。

表 7-2　　工作场所的放射性表面污染控制水平　　单位：Bq/cm²

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

6.4 辐射工作场所的分区

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

6.4.3 非密封源工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3　　非密封源工作场所分级

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

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 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 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

① 每月排放的总活度不超过 10ALImin（ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；

② 每一次排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4 总则

4.1 一般要求

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

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

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

4.1.4 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

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

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

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

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

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药

后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

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

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

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

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

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

5 选址和布局

5.1 选址

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

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

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

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

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注

射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

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

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

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

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

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

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

7 放射性废物的管理

7.1 一般要求

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

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

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废

物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

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

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

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

7.2.2 固体放射性废物贮存

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

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

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

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录 C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a）**所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；**b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间

超过核素最长半衰期的10倍；c）含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于4Bq/cm^2、其他α发射体应小于0.4Bq/cm^2。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射，性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

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

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

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

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

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

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，

池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

3、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

5.1 选址与布局

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

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

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区

的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建的二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所设张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 a）和 b）所确定的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$:

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

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

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

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

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

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

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

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门一机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应

设置防夹伤功能；

c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

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

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

7 操作的辐射安全与防护要求

7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。

7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体，的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

7.5 质子/重离子加速器调试、检修期间，应对进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道、治疗室区域的人员加强管理。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区；对辐射水平热点区域（如回旋加速器、降能器、束流偏转及引出部位等）应考虑进行屏蔽；接入人身安全联锁系统的受照剂量监测设备宜采用直读式的仪器。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固态废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

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

8.4 气态废物管理要求

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

8.4.2 质子/重离子加速器停机后，加速器大厅应加强通风排气，采取措施使人员延时进入，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。

5 X 射线设备防护性能的技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 X射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。

5.1.2 X射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。

5.1.3 X 射线管组件上应标明固有滤过，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。

5.2 透视用X射线设备防护性能的专用要求

5.2.1 C形臂X射线设备的最小焦皮距应不小于20cm，其余透视用X射线设备的最小焦皮距应不小于30cm。

5.2.2 透视曝光开关应为常断式开关，并配有透视计时及限时报警装置。

5.2.3 用于介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）的X射线透视设备防护性能专用要求见5.8。

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

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

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

5.8.3 X射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

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

6 X射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X射线设备机房布局

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

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

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

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 x 射线设备和车载式诊断射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-4 的规定。

表 7-4　　X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 [d]m^2	机房内最小单边长度 [e]m
CT 机（不含头颅移动 CT）	**30**	**4.5**
双管头或多管头 X 射线机 [a]（含 C 形臂）	**30**	**4.5**
单管头 X 射线设备（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	**20**	**3.5**
……	……	……

[a] 双管头或多管头 X 射线机的所有管球安装在同一间机房内。
[b] 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。
[d] 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。
[e] 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2 X射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型X射线设备（不含床旁摄影设备和便携式x射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表7-5的规定

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

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
标称 125kV 以上的摄影机房	3	2
标称 125 kV 及以下的摄影机房	2	1
……	……	……
C 形臂 X 射线设备机房	**2**	**2**
……	……	……
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	**2.5**	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表7-3的要求。

6.2.4 距 X 射线设备表面 100 cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/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。

6.3 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv。

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射

防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-6 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 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
……	……	……	……	……
CT 体层扫描（隔室）	—	—	**铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子**	—
……	……	……	……	……
介入放射学操作	**铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套**	**铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风**	**铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子**	—
注：“—”表示不需要求。				

5、《放射治疗机房屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）

本部分适用于外照射源治疗装置的机房。

3 治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列 3.1.1 和 3.1.2 的参考控制水平。

3.1.1 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处和邻近治疗机房的居留因子较大（T＞1/4）的人员驻留区域见式（7.3-1）。

$\dot{H}_c \leq H_c/(t \cdot U \cdot T)$ （7.3-1）

式（7.3-1）中：

$\dot{H}_c$——周围剂量当量率参考控制水平，μSv/h；

H_c——周剂量控制水平（μSv/周），其值如下：

放射治疗机房外控制区的工作人员：≤100μSv/周

放射治疗机房外非控制区的人员：≤5μSv/周

U——治疗装置向关注位置的方向照射的使用因子；

T——人员在放射治疗机房外控制区和放射治疗机房外非控制区驻留的居留因子，见表 7.3-4。

t——治疗装置周最大累积照射的小时数，h/周。t 是与治疗装置周工作负荷 W 相关的参数，应由放射治疗单位给定的放射治疗工作量导出。

不同场所的居留因子见表 7-7。

表 7-7　　不同场所的居留因子

场所	居留因子（T）		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员的办公室、治疗计划室、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
部分居留	1/4	1/2～1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8～1/40	1/8：各治疗室房门； 1/20：公厕、自动售货区、储存室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊区、病人滞留区域、屋顶、门岗室； 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

3.1.2 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处：

$\dot{H}_c$≤2.5μSv/h（人员全居留场所，T＞1/2）

$\dot{H}_c$≤10μSv/h（人员部门或偶然居留场所，T≤1/2）

3.2 治疗机房顶屏蔽的辐射剂量率参考控制水平

3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至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 处和在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，辐射剂量率参考控制水平同 3.1。

3.2.2 除 3.2.1 的条件外，应考虑天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射，以及穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达顶外人员的照射，使用（式 7.3-1），并取 H_c=5μSv/周、T=1/40，将其确定的治疗机房外表面 30cm 处的周围剂量当量率$\dot{H}_c$作为治疗机房顶屏蔽的辐射剂量率参考控制水平。

3.3 确定周围剂量当量率参考控制水平的程序

3.3.1 治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平

⑴ 选定评估点并判明各评估点所在的分区（放射治疗机房外控制区或放射治疗机房外非控制区）；

⑵ 按照放射治疗单位给定的放射治疗工作量，确定使用放射治疗装置的周工作负荷（W），并参考附录 B 的方法估算治疗装置的周最大照射时间（t）；

⑶ 按式（7.3-1）估算$\dot{H}_c$，并与 3.1 的 3.1.2 的剂量率比较，取两者中较小的值作为周围剂量当量率参考控制水平。

3.3.2 邻近治疗机房的居留因子较大（T＞1/4）处的周围剂量当量率参考控制水平

⑴ 按式（7.3-1）估算该关注处的$\dot{H}_c$；

⑵ 按 3.3.1 估算相应的治疗机房外表面 30cm 处的剂量率，按距离平方反比规律推算出该关注处的$\dot{H}_c$，并与 3.3.2 的⑴的结果比较，取两者中较小的值作为该关注处的周围剂量当量率参考控制水平。

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

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的剂

量率参考控制水平$\dot{H}_c$：

a）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下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$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）：

1）放射治疗机房外控制区的工作人员：H_c≤100μSv/周；

2）放射治疗机房外非控制区的人员：H_c≤5μSv/周；

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

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

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

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

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b）两种情况控制：

a）在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐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 处和(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 Hc≤5μSv/周和最高剂量率$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h；按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平加以控制$\dot{H}_c$(μSv/h)加以控制。

b）除 4.2.2 中 a）的条件外，应考虑下列情况：

1）天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和，应按（2）4.2.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$(μSv/h)加以控制；

2）穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 250μSv 加以控制；

3）对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 1）和 2）之后，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌。

医用电子直线加速器机房外剂量率限值要求参考“机房外表面 0.3m 处小于

2.5μSv/h”的规定执行，治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

7、《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）

4.1 剂量控制要求

4.1.1 治疗机房墙外和入口门处关注点的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的周围剂量当量率（以下简称剂量率）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）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下周剂量参考控制水平 H_c（μSv/周）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）：

放射治疗机房外控制区的工作人员：H_c≤100μSv/周；

放射治疗机房外非控制区的人员：H_c≤5μSv/周；

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

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

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

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

4.1.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a）、b）两种情况控制：

a）在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁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 处和(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≤5μSv/周和最高剂量率 $H_{c,max}$≤2.5μSv/h；按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 H_c（μSv/h）加以控制。

b）除 4.1.2 中 a）的条件外，应考虑下列情况：

1）天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量率的总和，应按 4.1.2 中的 a)确定关注点的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$(μSv/h)加以控制；

2）穿透治疗机房屋顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量250μSv加以控制；

3）对无人员停留并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 1）和 2）之后，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100μSv 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求

除需要满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的要求外，γ射线源放射治疗机房屏蔽应考虑下列内容：

a）后装治疗按 4π 发射的点源考虑机房屏蔽，应在治疗机房的地面标识出相应机房外可能受照射剂量最高的使用位置，作为计算屏蔽时的辐射源参考位置。

e）后装治疗机房应设置迷路。

8、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

该标准适用于医疗机构污水排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 7-7 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7-7　　综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	总 β（Bq/L）	**10**	10

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1 污水取样与监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 总 α、总 β 在衰变池出口取样监测。

6.1.3 监测频率

6.1.3.4 理化指标监测频率：pH 每日监测不少于 2 次，COD 和 SS 每周监测 1 次，其他污染物每季度监测不少于 1 次。

9、《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）

4 总体要求

4.1 产生、收集、贮存、利用、处置危险废物的单位应建造危险废物贮存设施或设置贮存场所，并根据需要选择贮存设施类型。

4.2 贮存危险废物应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和环境风险等因素，确定贮存设施或场所类型和规模。

4.3 贮存危险废物应根据危险废物的类别、形态、物理化学性质和污染防治要求进行分类贮存，且应避免危险废物与不相容的物质或材料接触。

4.4 贮存危险废物应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取措施减少渗滤液及其衍生废物、渗漏的液态废物（简称渗漏液）、粉尘、VOCs、酸雾、有毒有害大气污染物和刺激性气味气体等污染物的产生，防止其污染环境。

4.5 危险废物贮存过程产生的液态废物和固态废物应分类收集，按其环境管理要求妥善处理。

4.6 贮存设施或场所、容器和包装物应按 HJ1276 要求设置危险废物贮存设施或场所标志、危险废物贮存分区标志和危险废物标签等危险废物识别标志。

4.7 HJ1259 规定的危险废物环境重点监管单位，应采用电子地磅、电子标签、电子管理台账等技术手段对危险废物贮存过程进行信息化管理，确保数据完整、真实、准确；采用视频监控的应确保监控画面清晰，视频记录保存时间至少为 3 个月。

4.10 危险废物贮存除应满足环境保护相关要求外，还应执行国家安全生产、职业健康、交通运输、消防等法律法规和标准的相关要求。

6 贮存设施污染控制要求

6.1 一般规定

6.1.1 贮存设施应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐以及其他环境污染防治措施，不应露天堆放危险废物。

6.1.2 贮存设施应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和污染防治等要求设置必要的贮存分区，避免不相容的危险废物接触、混合。

6.1.3 贮存设施或贮存分区内地面、墙面裙脚、堵截泄漏的围堰、接触危险废物的隔板和墙体等应采用坚固的材料建造，表面无裂缝。

6.1.4 贮存设施地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。贮存的危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层（渗透系数不大于 10^{-7}cm/s），或至少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料（渗透系数不大于 10^{-10}cm/s），或其他防渗性能等效的材料。

6.1.5 同一贮存设施宜采用相同的防渗、防腐工艺（包括防渗、防腐结构或材料），防渗、防腐材料应覆盖所有可能与废物及其渗滤液、渗漏液等接触的构筑物表面；采用不同防渗、防腐工艺应分别建设贮存分区。

6.1.6 贮存设施应采取技术和管理措施防止无关人员进入。

10、环评要求

⑴ 职业照射和公众照射的年受照剂量约束值

本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），针对职业照射和公众照射的年受照剂量约束值分别进行了设定，见下表：

表 7-8　本次环评职业照射和公众照射的年受照剂量约束值

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">工作场所</th><th colspan="2">年受照剂量约束值（mSv/a）</th><th rowspan="2">标准依据</th></tr>
<tr><th>职业照射</th><th>公众照射</th></tr>
<tr><td rowspan="2">放疗科（综合医院）</td><td>医用电子直线加速器</td><td>5</td><td>0.1</td><td rowspan="2">《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）</td></tr>
<tr><td>后装治疗机</td><td>5</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td colspan="2">核医学科（综合医院）</td><td>5</td><td>0.1</td><td>《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）</td></tr>
<tr><td colspan="2">介入中心（综合医院）</td><td>5</td><td>0.1</td><td rowspan="3">《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）</td></tr>
<tr><td colspan="2">手术中心（综合医院）介入手术室</td><td>5</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td colspan="2">手术中心（传染病医院）介入手术室</td><td>5</td><td>0.1</td></tr>
</table>

(2) “三废”处理要求

表 7-9　　本次“三废”处理要求

内容		要求	标准依据
废气	放射性废气	独立的通风系统，并配备有过滤装置； 合成和操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。	《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
	非放射性废气	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）
放射性废水		所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放	《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
		总 β 放射性＜10Bq/L	《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
固体废物	放射性固体废物	所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天	《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
		β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2	
	非放射性固体废物	按照医疗废物处理	/
		废金属靶、废辅助过滤器材等作为放射性废物由加速器供应商更换并处置	/
		废活性炭暂存至其放射性比活度低于相应清洁解控水平后，作为一般固体废物处理	/

表 8 环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

1、地理位置

西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设地位于陕西省西安市高陵区 310 国道与 210 国道交叉口西南角，地理位置见图 1-1。

2、场所位置

本项目在综合医院门诊医技楼内建设放疗科、核医学科、介入中心及手术中心（介入手术室），其中放疗科的医用电子直线加速器位于地下二层的东南侧，放疗科的后装治疗机及核医学科位于地下一层的东南侧，介入中心位于一层南侧，手术中心位于四层南侧；在传染病医院门诊医技楼内建设手术中心（介入手术室），位于四层的中部，在具体位置见图 1-3。

二、环境质量现状

本项目辐射环境质量现状数据由西安市第八医院（西安市肝病医院）委托西安志诚辐射环境检测有限公司对拟建场所辐射环境质量进行现状监测，监测时间为 2022 年 12 月 2 日，监测地点为西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区），监测单位按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《环境监测用 X、γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-1995）、《表面污染测定第 1 部分：β 发射体（$E_{\beta max}$>0.15MeV）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）等有关要求进行监测。

三、监测因子

X、γ 辐射剂量率、β 表面污染。

四、监测点位

X、γ 辐射剂量率：综合医院放疗科拟建医用电子直线加速器机房、后装治疗机房、核医学科、介入中心介入手术室、手术中心介入手术室及传染病医院手术中心拟建介入手术室。

β 表面污染：综合医院拟建核医学科。

五、监测概况

1、监测日期

2022 年 12 月 2 日。

2、监测仪器

监测仪器为便携式辐射检测仪和α、β表面污染测量仪，参数详见表8-1。

表8-1　　监测仪器参数

型号规格	HY1001	CoMo-170
仪器编号	XAZC-YQ-042	XAZC-YQ-036
测量范围	10nGy/h~400μGy/h	α：0.1cps~2500cps β：0.1cps~20000cps
检定单位	中国辐射防护研究院放射性计量站	上海市计量测试技术研究院
检定证书	检字第[2022]-LA018	2021H21-20-3741691001
检定有效期	2022.6.9～2023.6.8	2021.12.30～2022.12.29

3、质量保证

按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《环境监测用 X、γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-1995）、《表面污染测定第 1 部分：β 发射体（$E_{\beta max}$>0.15MeV）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）的要求，实施监测全过程质量控制。合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性。所用监测仪器全部经过计量部门检定，并在有效期内。监测数据严格实行三级审核制度。

六、监测结果

项目辐射环境质量现状监测结果见表8-2和8-3。

表8-2　　项目拟建场所各监测点位X、γ辐射剂量率监测结果

监测点位编号	监测点位描述		X、γ辐射剂量率（μGy/h）
1	综合医院放疗科	拟建10MV医用电子直线加速器机房	0.123
2		拟建10MV医用电子直线加速器机房控制室	0.123
3		拟建15MV医用电子直线加速器机房	0.123
4		拟建15MV医用电子直线加速器机房控制室	0.120
5		拟建后装治疗机房	0.120
6		拟建后装治疗机房控制室	0.122
7	综合医院拟建核医学科	预约登记处	0.120
8		储源室	0.120
9		固废室	0.120
10		污洗间	0.120
11		冲淋间	0.120
12		一更	0.120
13		二更	0.120
14		缓冲区	0.120
15		分装质控室	0.120
16		注射区	0.119
17		设备间	0.119
18		SPECT-CT机房	0.119

19		控制室	0.120
20		PET-CT 机房	0.120
21		患者走廊	0.120
22		留观室	0.119
23		VIP 候诊室	0.120
24		PET-CT 候诊室	0.119
25		SPECT-CT 候诊室	0.119
26		运动候诊兼抢救室	0.119
27		洁具清洗存放间	0.119
28		核医学科楼下	0.120
29		核医学科楼上	0.120
30		衰变池	0.121
31		衰变池上部	0.114
32	综合医院介入中心	拟建介入手术室 1	0.112
33		拟建介入手术室 1 控制室	0.112
34		拟建洁净走廊	0.112
35		拟建介入手术室 2	0.112
36		拟建机房	0.112
37		拟建清洁间	0.113
38		拟建污洗间	0.113
39		拟建医疗废物暂存	0.113
40		拟建污物走廊	0.112
41		拟建介入手术室 2 楼下	0.119
42		拟建介入手术室 1 楼上	0.111
43		拟建介入手术室 2 楼上	0.112
44	综合医院手术中心	拟建介入手术室（OR-12）	0.108
45		拟建控制室	0.107
46		拟建设备间	0.107
47		拟建缓冲间	0.108
48		拟建体外循环室	0.108
49		拟建清洁走廊	0.108
50		拟建 OR-11	0.108
51		拟建刷手缓冲区	0.108
52		拟建介入手术室（OR-12）楼上	0.106
53		拟建介入手术室（OR-12）楼下	0.106
54	传染病医院手术中心	拟建介入手术室（OR-4）	0.114
55		拟建控制室	0.115
56		拟建机房	0.115
57		拟建污物走廊	0.108
58		拟建介入手术室（OR-5）	0.115
59		拟建刷手处	0.115
60		拟建洁净走廊	0.115
61		拟建介入手术室（OR-4）楼上	0.107
62		拟建介入手术室（OR-4）楼下	0.113
备注：监测结果已校准，已扣除仪器对宇宙射线响应修正值 0.022μGy/h			

表 8-3　　项目拟建场所各监测点位 β 表面污染监测结果

监测点位编号	监测点位描述		β 表面污染（Bq/cm²）
1	综合医院拟建核医学科	预约登记处地面	ND
2		储源室地面	ND
3		固废室地面	ND
4		污洗间地面	ND
5		冲淋间地面	ND
6		一更地面	ND
7		二更地面	ND
8		缓冲间地面	ND
9		分装质控室地面	ND
10		注射区地面	ND
11		设备间地面	ND
12		SPECT-CT 机房地面	ND
13		控制室地面	ND
14		PET-CT 机房地面	ND
15		患者走廊地面	ND
16		留观室地面	ND
17		VIP 候诊室地面	ND
18		PET-CT 候诊室地面	ND
19		SPECT-CT 候诊室地面	ND
20		运动候诊兼抢救室地面	ND
21		洁具清洗存放间地面	ND
备注：1、β 表面污染监测结果已扣除仪器本底计数率，“ND”表示监测结果低于仪器 β 表面污染检出限 0.08Bq/cm²			

由表 8-2 和 8-3 监测结果表明，拟建场所室内各监测点位 X、γ 辐射剂量率测量值范围为（58～110）nGy/h；各监测点位 β 表面污染均未检出。

对照《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年版），“西安市室内 γ 辐射剂量率为（79.0～130.0）nGy/h”，本项目拟建场所辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底水平。

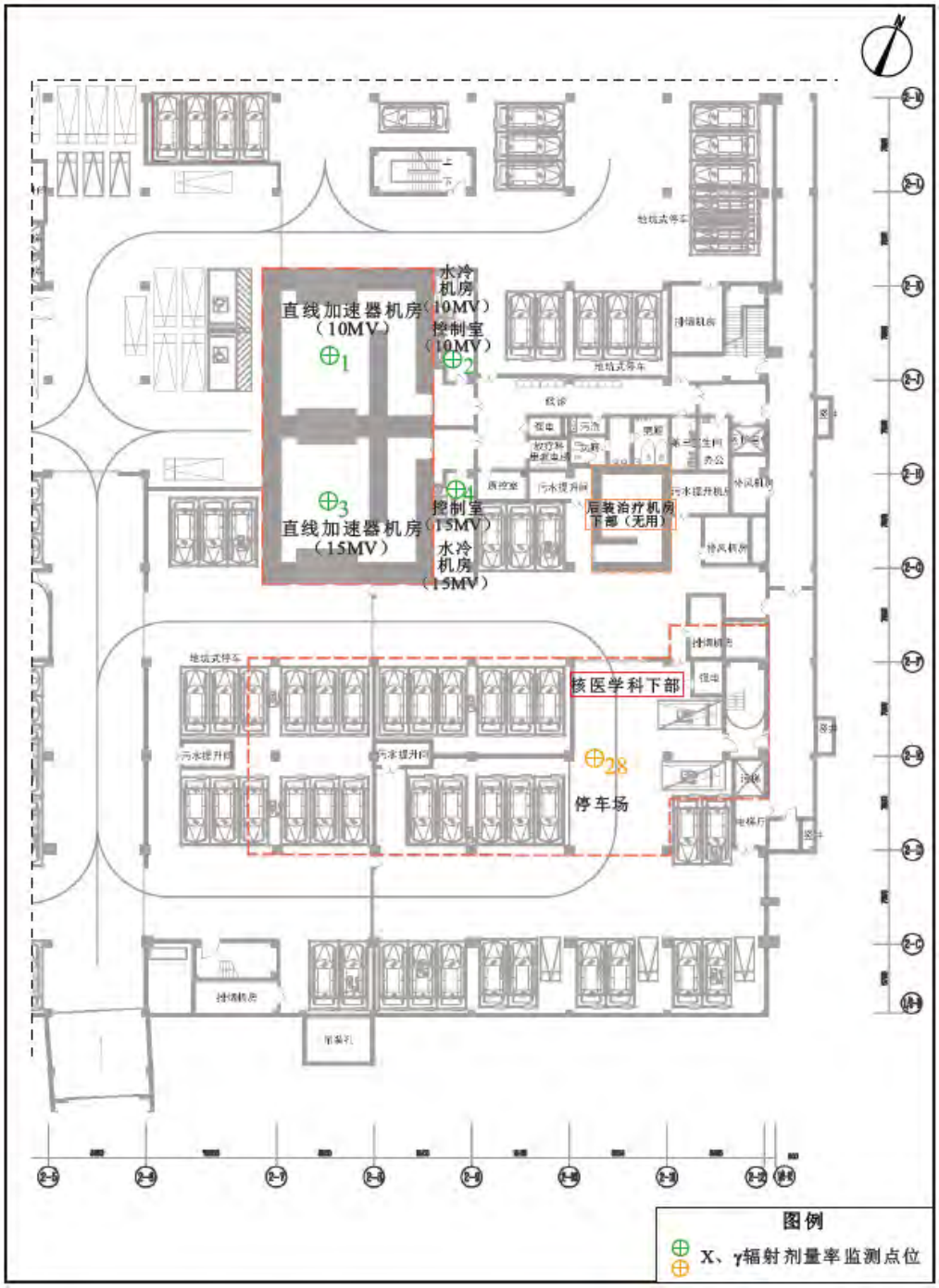


图 8-1　　综合医院门诊医技楼地下二层工作场所监测点位图

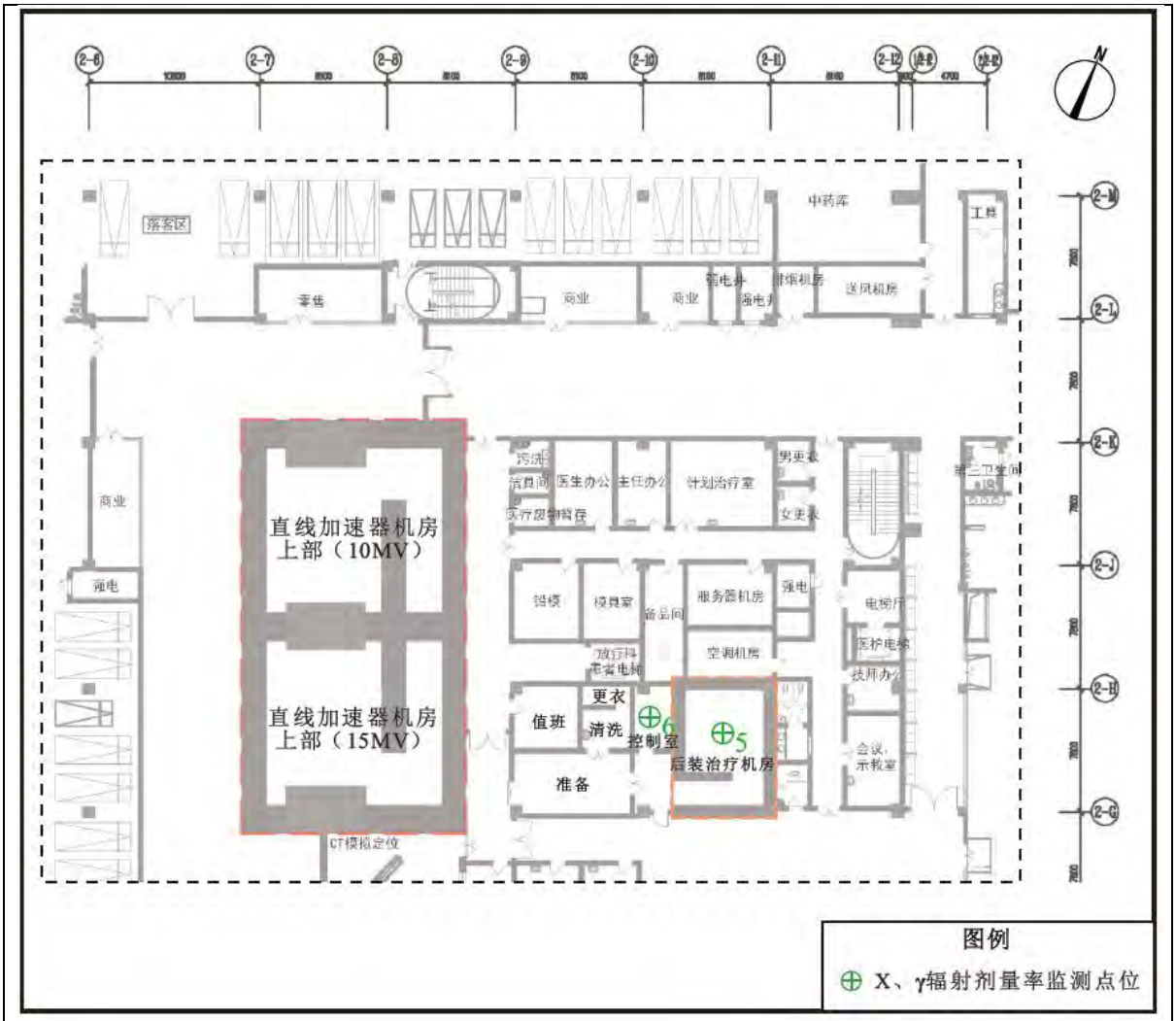


图 8-2　　综合医院门诊医技楼地下一层后装机工作场所监测点位图

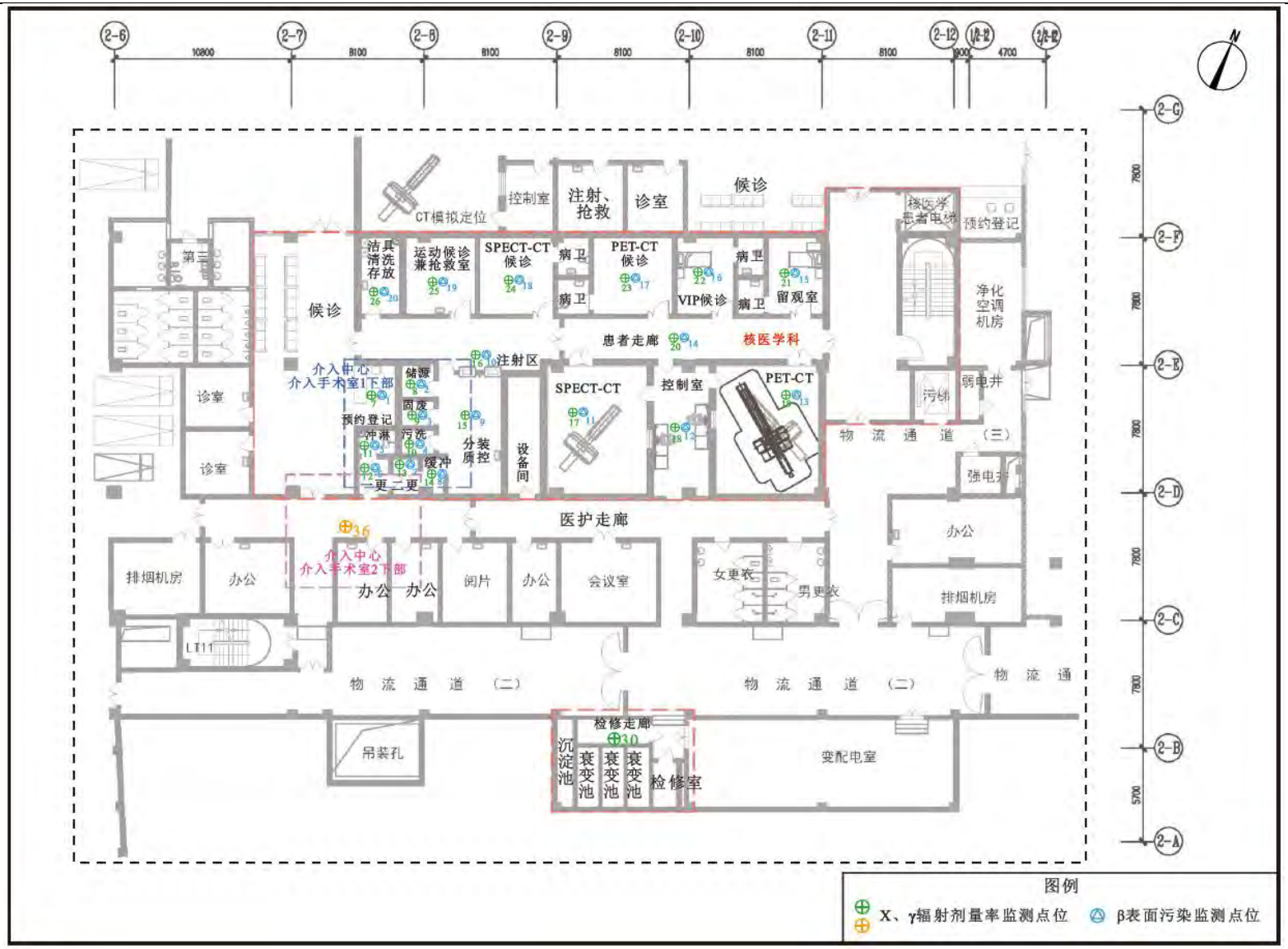


图 8-3　　综合医院门诊医技楼地下一层核医学科工作场所监测点位图

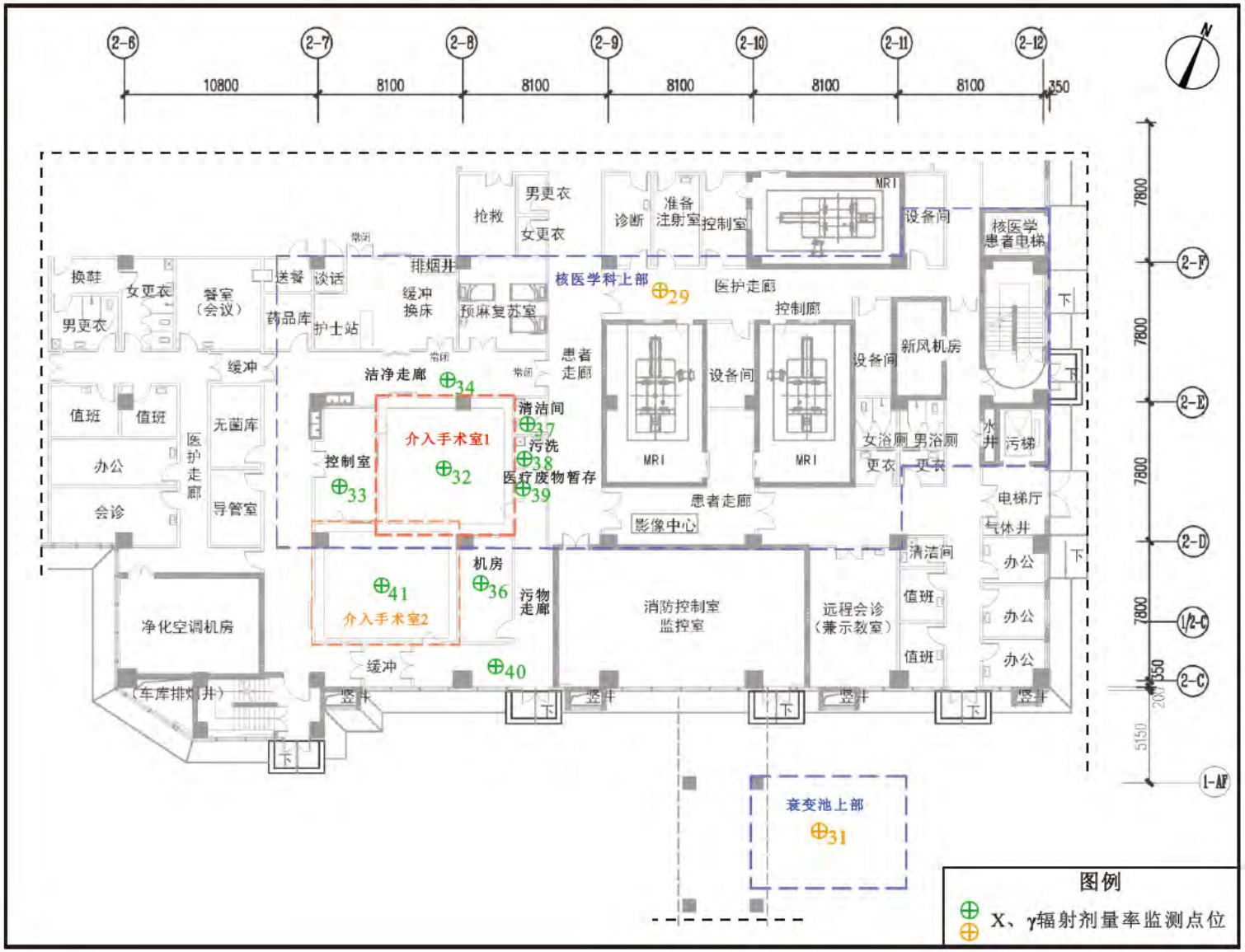


图 8-4　　综合医院门诊医技楼一层工作场所监测点位图

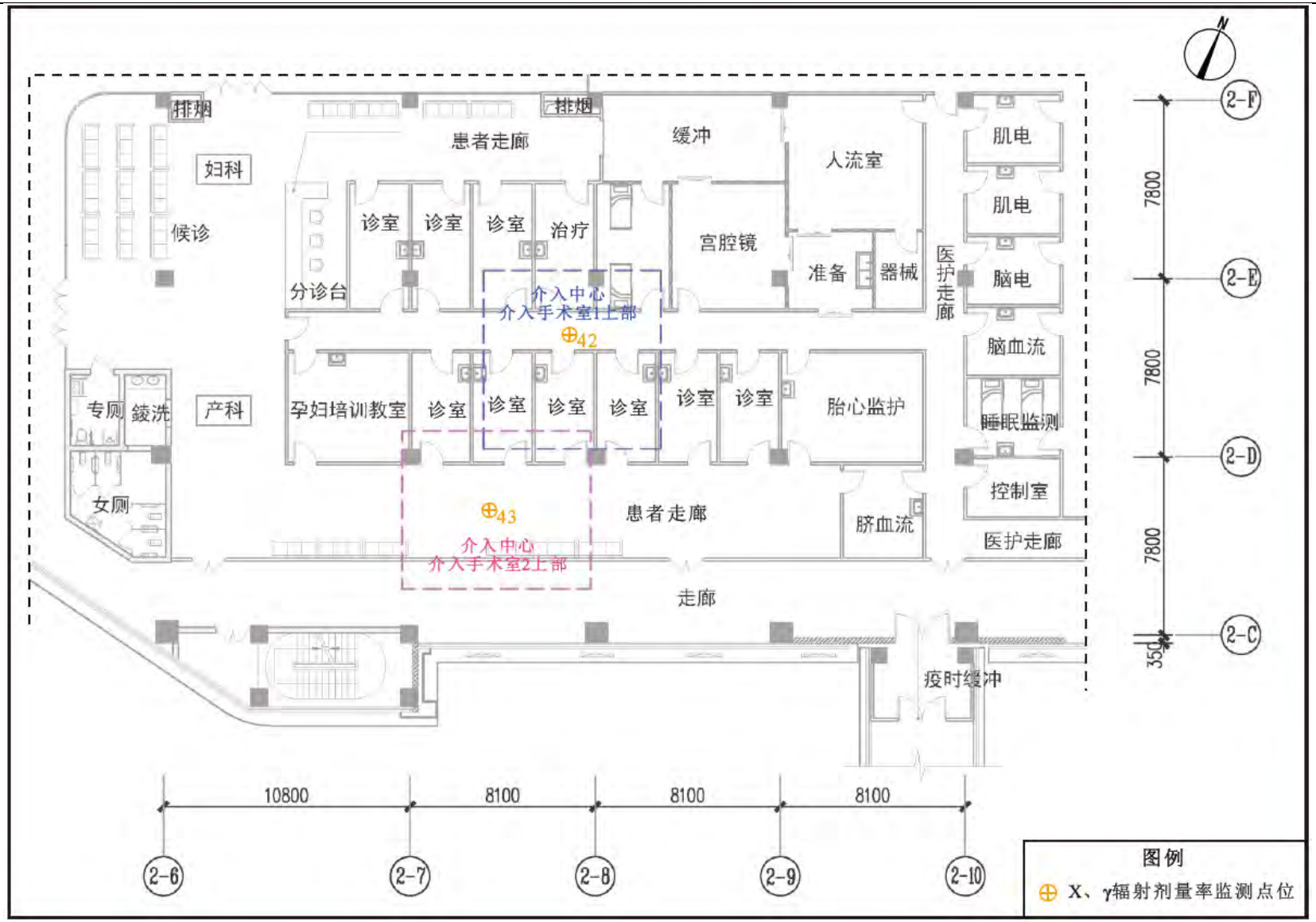


图 8-5　　综合医院门诊医技楼二层工作场所监测点位图

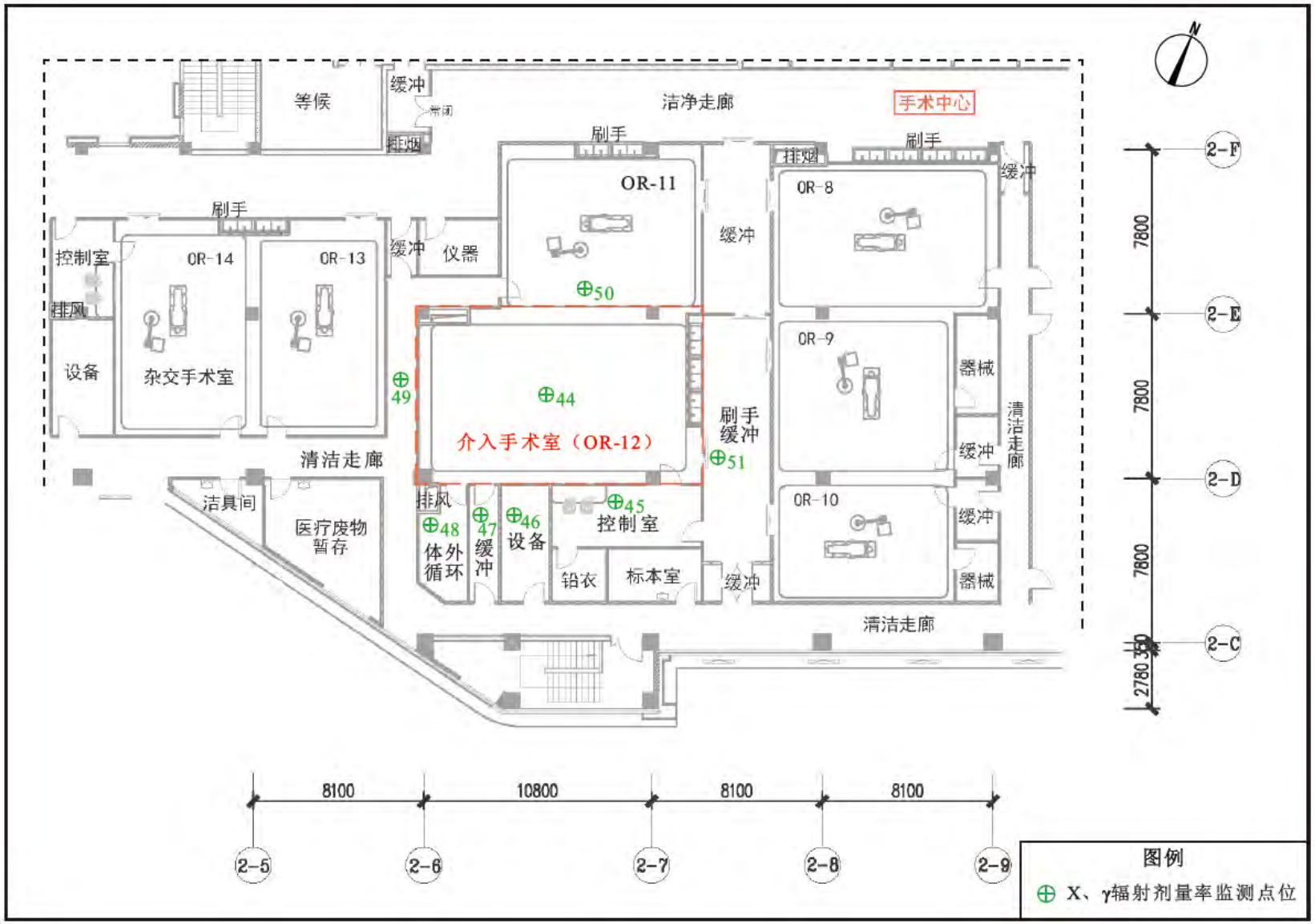


图 8-6　　综合医院门诊医技楼四层工作场所监测点位图

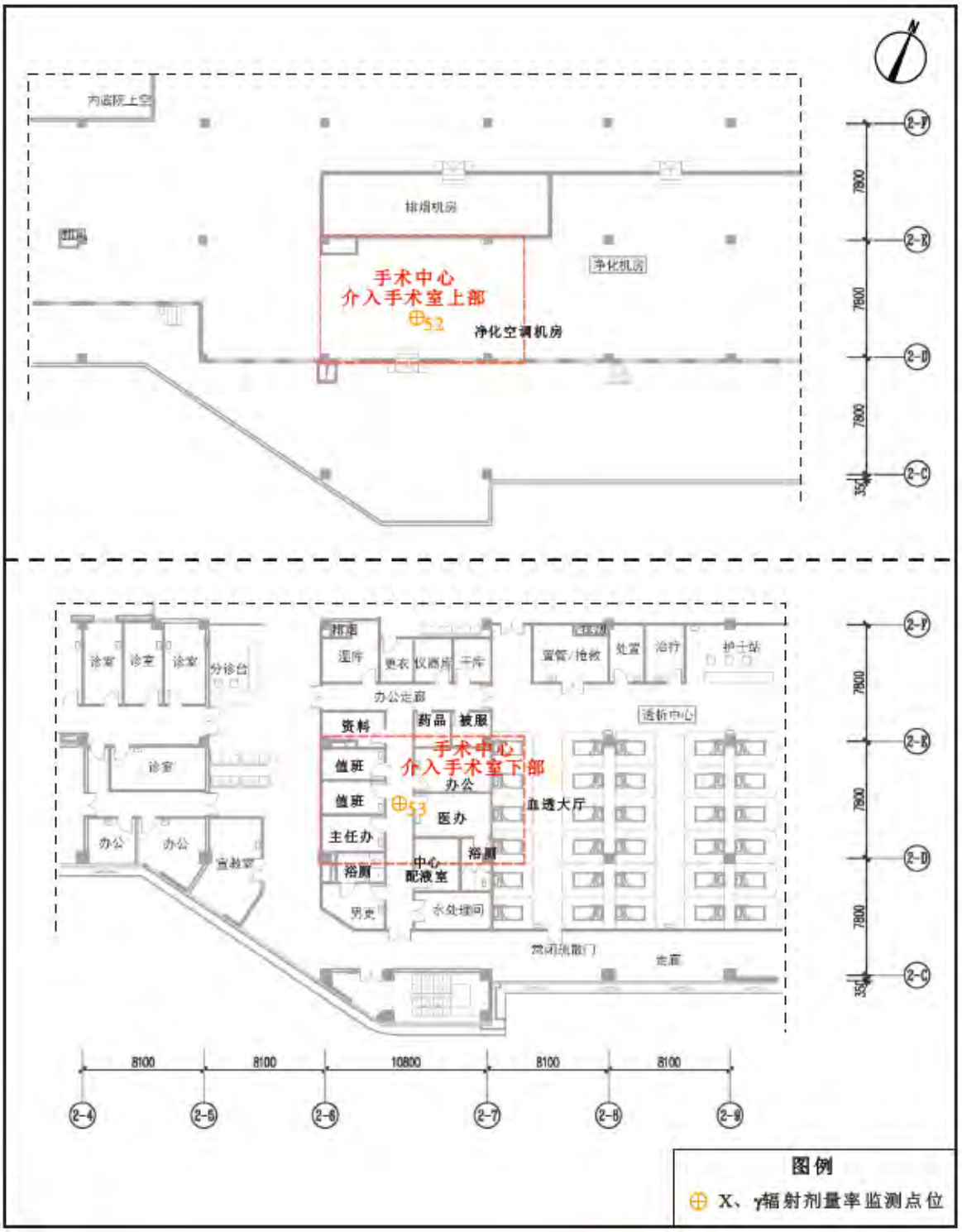


图 8-7　　综合医院门诊医技楼三层、五层工作场所监测点位图

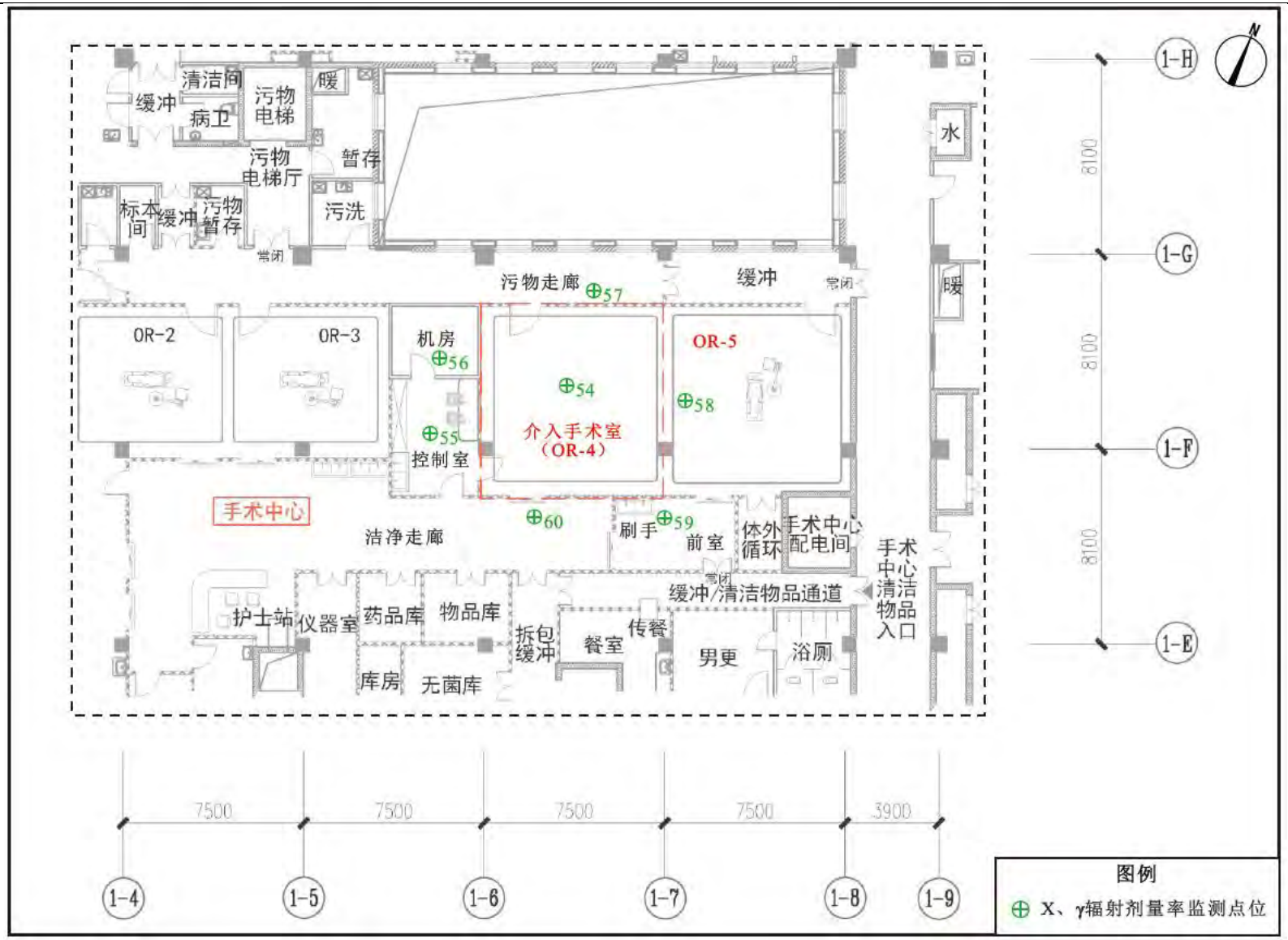


图 8-8　　传染病医院门诊医技楼四层工作场所监测点位图

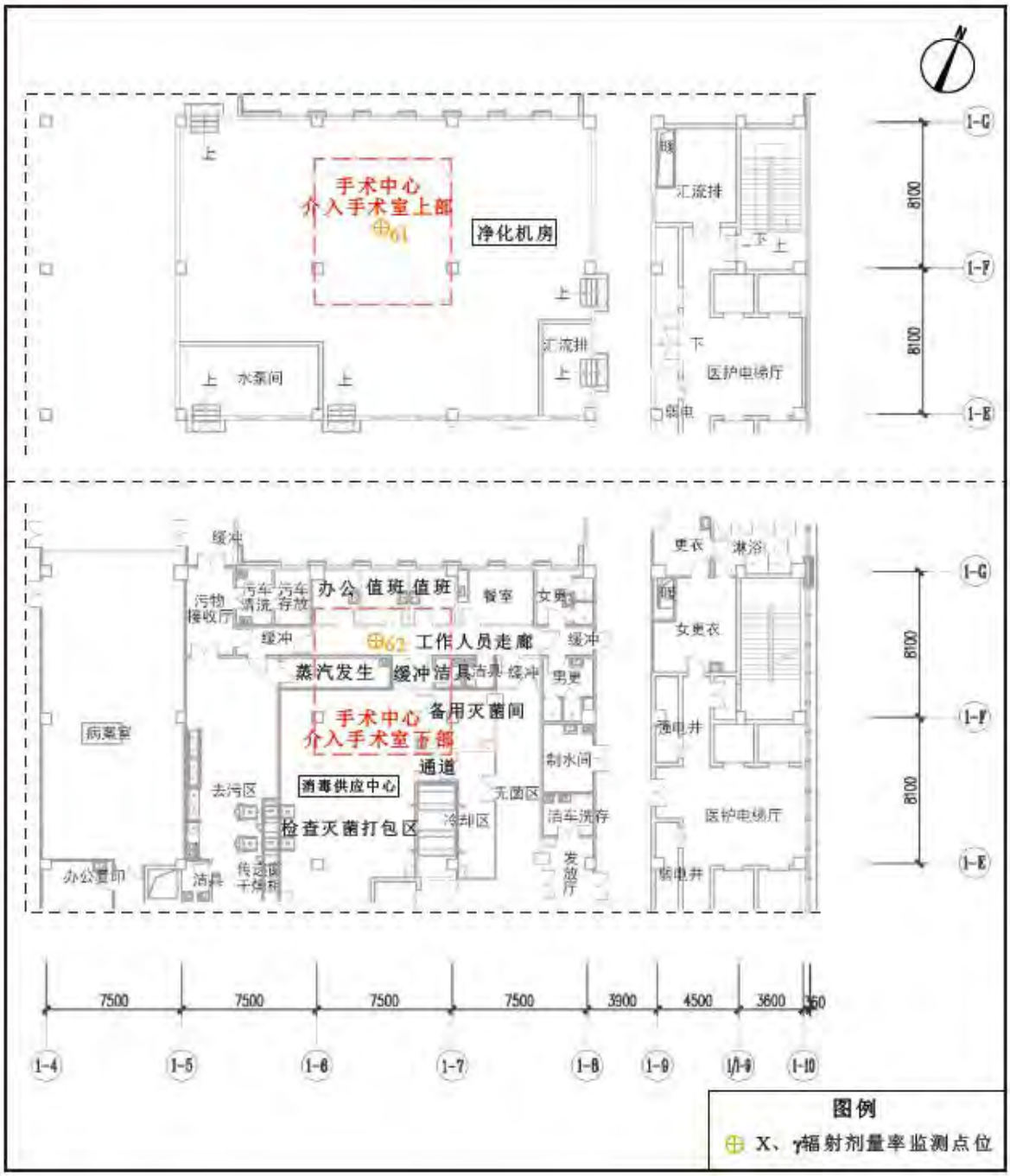


图 8-9　　传染病医院门诊医技楼三层、五层工作场所监测点位图

表 9 项目工程分析及源项

一、工程设备和工艺分析

1、医用电子直线加速器

⑴ 工作原理

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，属于 II 类射线装置，它的结构单元包括：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子经微波加速器导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出形成电子线，也可通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器，形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束到达患者病灶，实现治疗目的。

项目医用直线加速器靶材料为重金属钨，在开机状态下产生电子线和 X 射线，电子线最大能量可达 22MeV，X 射线的最大能量可达 15MV，这两种射线与生物组织作用的机理是不同的。电子线贯穿能力弱，射程短，因此只适合治疗浅表部位的肿瘤。电子线靠电离效应来破坏生物组织，并在此过程中损失其能量，能量在 35～45MeV 以下的电子线有一个明确的射程，而电子线的大部分能量都损失在射程的末端，射程随能量延长，只要我们调节电子线的能量，使电子线射程恰好超过肿瘤的范围，就能对肿瘤病灶有较大的破坏作用，而病灶后面的组织及表层组织则受到很少损害；X 射线主要依靠康普顿散射效应，破坏生物组织细胞，并在此过程损失能量，X 射线有较强的穿透能力，但没有明显的射程，适合治疗人体深部肿瘤。

典型医用电子直线加速器内部结构见图 9-1，典型医用电子直线加速器见图 9-2。

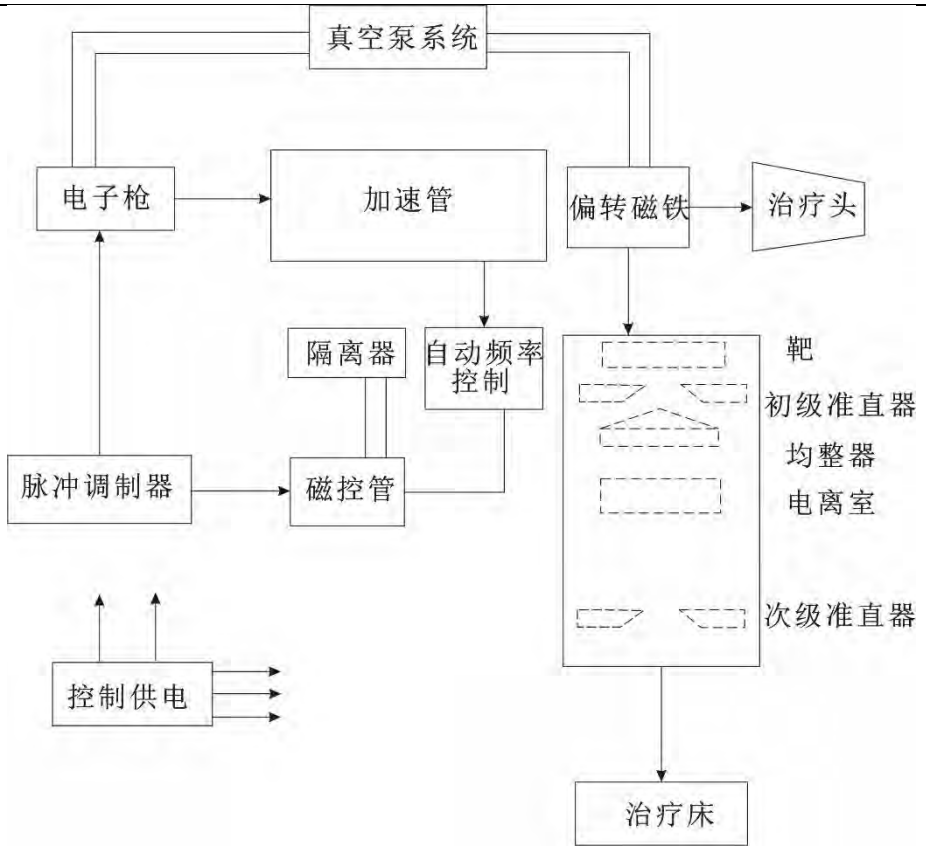


图 9-1　　典型医用电子直线加速器内部结构框图

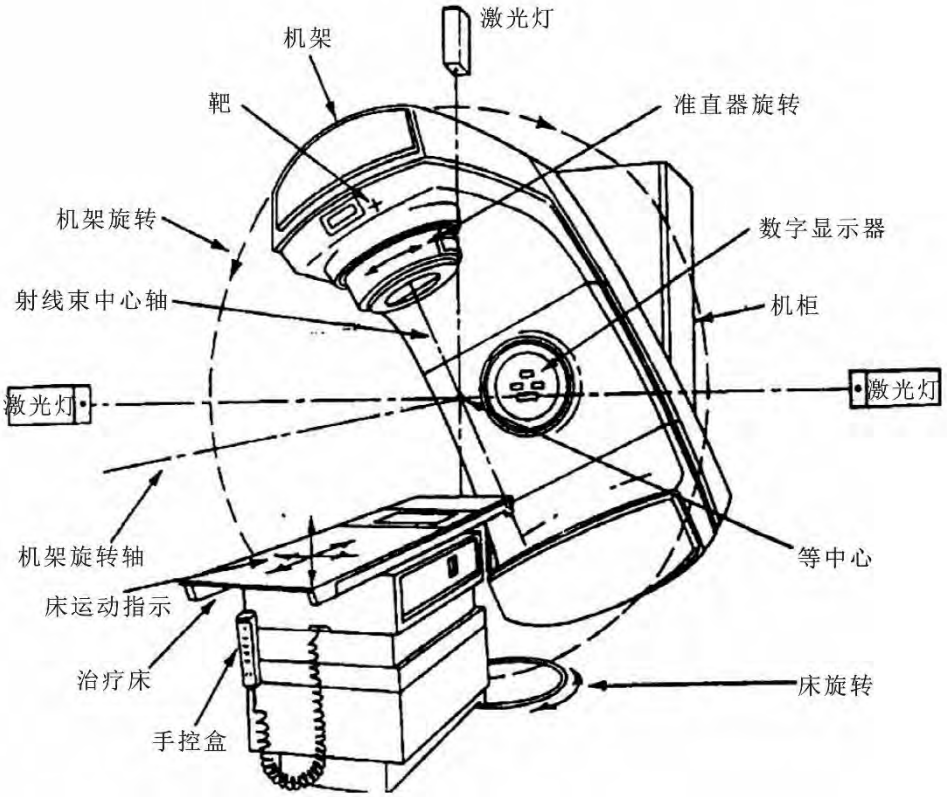


图 9-2　　典型医用电子直线加速器示意图

⑵ 操作流程及产污环节

医用电子直线加速器在进行放射治疗时，患者位于机房内，医务操作人员位于机房外，进行隔室操作。治疗时，加速器机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入机房。

医用电子直线加速器治疗流程如下：

① 模拟定位：患者借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，CT 模拟定位机主要操作流程为：依据检查单→核对摄影部位→确定投照条件→曝光。

② 治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选择好能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。加速器剂量率可调，根据治疗需要一般在 2～5Gy/min 之间变化。

③ 治疗计划的确认：根据上述设计好的治疗计划，以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位机上进行核对。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器、挡野铅块和组织补偿块等，确定治疗计划。

④ 治疗计划的执行：

a 设置治疗机的物理、几何参数。

b 护理人员将病人送入治疗室，放射工作人员进行摆位。

c 固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点。

d 除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。

e 加速器出束，进行治疗。

f 治疗完毕，加速器停止出束，方可打开迷路防护门，护理人员将病人送出治疗机房。

医用电子直线加速器治疗流程及产污环节见图 9-3。

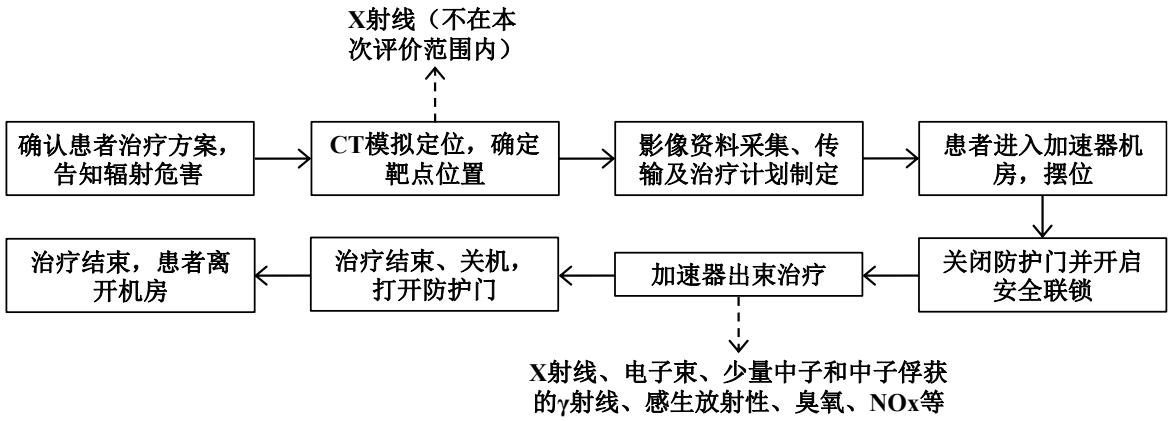


图 9-3　　医用电子直线加速器治疗流程及产污环节示意图

项目医用电子直线加速器治疗过程中污染因子主要为：电子束、X 射线、臭氧和氮氧化物等，15MV 的医用电子直线加速器还会产生少量的中子及中子俘获 γ 射线、感生放射性。

⑶ 设备参数

项目拟使用的医用电子直线加速器主要设备参数见表 9-1。

表 9-1　　医用电子直线加速器主要设备参数一览表

设备名称	型号	加速粒子	源轴距	最大照射野	具体参数
医用电子直线加速器（10MV）	待定	电子	100±0.2cm	40cm ×40cm	最大 X 射线能量 10MV；等中心最大剂量率 2400cGy/min；泄漏辐射率≤0.1%
医用电子直线加速器（15MV）	待定	电子	100±0.2cm	40cm ×40cm	最大 X 射线能量 15MV；等中心最大剂量率 600cGy/min；泄漏辐射率≤0.1%

2、后装治疗机

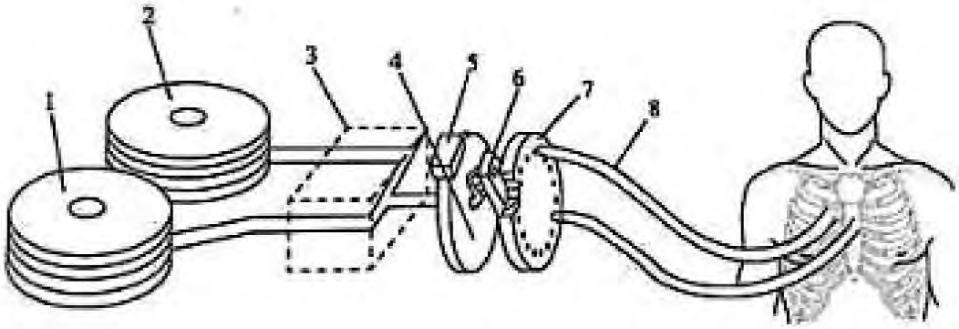
⑴ 设备组成及工作原理

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，然后通过遥控操作，将储源器内放射源 ^{192}Ir 输入施源器内，利用 ^{192}Ir 密封放射源（活度为 3.7×10^{11}Bq，III类源）发出的 γ 射线束（平均能量 0.37MeV）形成一高剂量率的靶区，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁，达到治疗恶性肿瘤的目的。

后装治疗机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统三部分组成，其中治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件等，治疗系统包括专用控制微机系统、步进电机、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道等。

典型后装治疗机见图 9-4，典型后装治疗机内部结构见图 9-5。

图 9-4　　典型后装治疗机



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

图 9-5　　典型后装治疗机内部结构

⑵ 工作流程及产污环节

后装治疗机治疗流程如下：

① 进行定位：患者先通过 CT 模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

② 制定治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小，确定照射剂量和照射时间。

③ 工作人员进入机房调整接管并检查设备状况，患者进入机房，固定体位。

④ 工作人员在病变部位插管，将输源管和施源器送达腔道的病灶，将预置管与后装治疗机输源管相连接。工作人员一般距后装治疗机 1m。

⑤ 确认除患者外无其他人员滞留，工作人员离开机房，并关闭防护门。

⑥ 在控制室控制台通过计算机系统，先用假源轮进行试运行，验证无误后，再用真源轮将放射源从后装机机体通过输源管送达病灶进行治疗。

⑦ 治疗结束，源回到屏蔽体内。打开防护门，拆除输源管等设备，患者离开治疗机房。

后装治疗机一般治疗流程及产污环节见图 9-6。

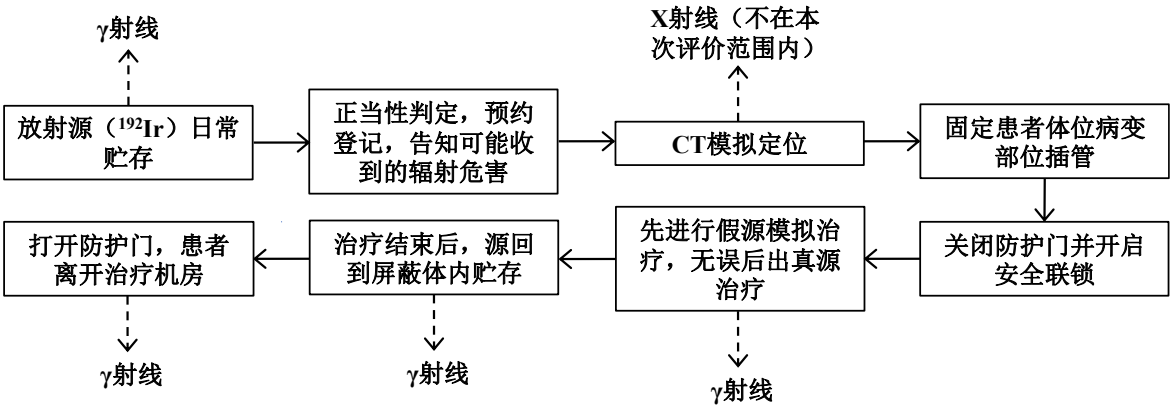


图 9-6　　后装治疗机近距离治疗路程及产污环节示意图

项目后装治疗机近距离治疗过程中污染因子主要为：X 射线、γ 射线。

⑶ 放射源基本特征

项目使用的后装治疗机采用 ^{192}Ir 放射源，初装源最大活度为 3.7×10^{11}Bq（10Ci），主要用于腔内、组织间等放射治疗。

根据医院计划，项目后装治疗机放射源的核素属性见表 9-2。

表 9-2　　后装治疗机放射源核素的主要属性

核素名称	形态	半衰期	衰变方式	γ 射线平均能量	主射束朝向
^{192}Ir（铱）	固体	74.0d	β^{-1}、轨道电子俘获	0.355MeV	可照射 4π 方向

3、PET-CT

⑴ 设备组成及工作原理

PET-CT 是正电子发射断层与计算机断层诊断技术（Positron Emission Tomography and Computer Tomography ）的缩写，是在 PET（Positron Emission Tomography）和 CT(Computer Tomography)的基础上发展起来的新设备，是将 PET 和 CT 设备有机地结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站。PET-CT 同时具有 PET 和 CT 的功能，PET 显示病灶病理生理特征，灵敏度高，更容易发现病灶；CT 可以精确定位病灶，显示病灶结构变化。PET-CT 除了具备 PET 和 CT 各自

的功能外，将 PET 图像与 CT 图像融合，可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构，提高诊断的准确性。

PET-CT 主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配 PET、CT 融合对位工作站，一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

本项目 PET-CT 见图 9-7。

图 9-7　　PET-CT 实物图

PET-CT 显像的物理原理是利用正电子放射性核素制备的显像剂（如 ^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F 等），注射人体后定位于靶器官，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，发生湮灭反应，产生出方向相反、能量相等（511keV）的两个光子。PET 显像是采用一系列成对的互成 180°排列并与符合线路相连的探测器测量湮灭反应产生的光子，从而获得机体正电子核素的断层分布图，显示病变的位置、形态、大小和代谢功能，对疾病进行诊断。

PET-CT 显像能够通过一次快速扫描成像，不仅能提供精确的全身解剖图像，而且可依据不同的正电子显像药物勾画出不同组织器官特定的生物代谢分布图。主要用于人体器官的功能代谢显像，对那些有代谢异常的疾病，如：肿瘤、冠心病、神经系统等病种有着独特的优势，能够更早期地发现和诊断疾病，为及早治疗和观察治疗赢得宝贵时间。

正电子发射及其湮灭示意如图 9-8 所示。

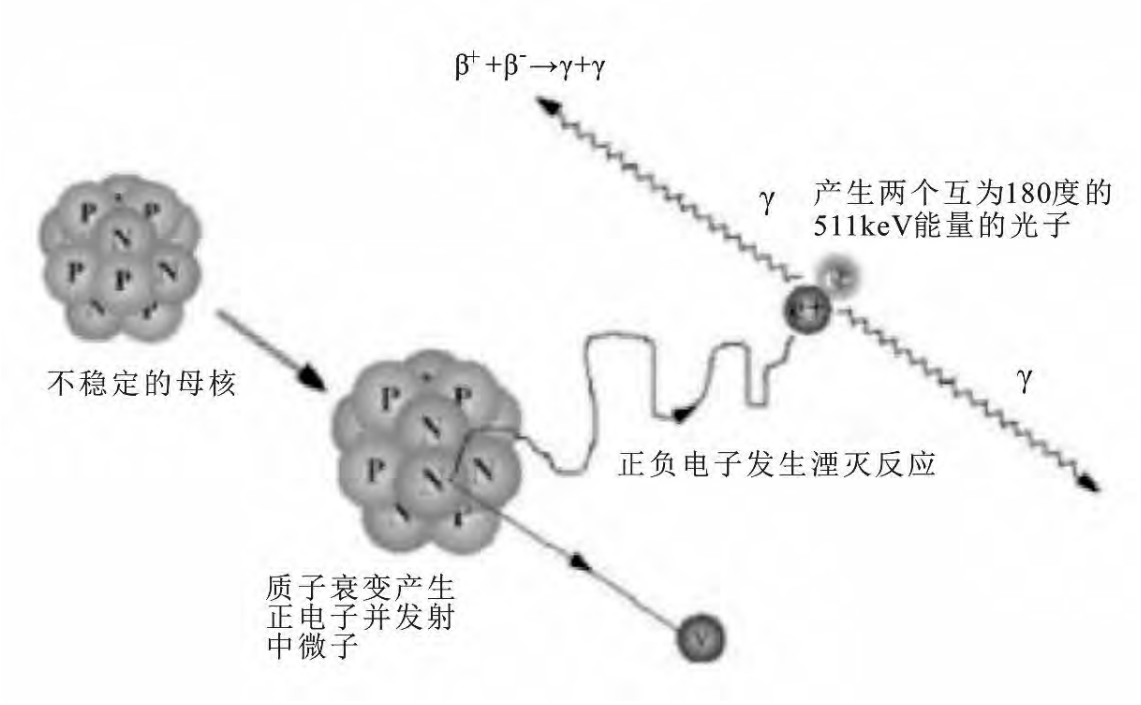


图 9-8　　正电子发射及其湮灭示意图

⑵ 工作流程及产污环节

① 根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物（^{18}F）。

② 供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂存于分装质控室内手套箱。

③ 项目外购的放射性药物是事先未分装的，医院拟设置手套箱于分装质控室内，人工分装过程在手套箱中进行。

④ 护士站的工作人员根据工作安排，呼叫轮到诊断的患者名字。在确认患者身份后，该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

放射工作人员隔着注射窗口对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用放射性废物桶。

⑤ 放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入注射候诊室候诊。

⑥ 通过语音提示，患者进入 PET-CT 机房接受显像扫描。患者进入机房后，放射工作人员自控制室进入机房对患者辅助摆位，指导患者正确躺在检查床上，随后

离开机房进入控制室，隔室操作 PET-CT，对患者实施显像扫描。

⑦ 扫描完成后，患者在留观室留观 30min 无不良反应后，由控制区出口离开。

综上，PET-CT 诊断治疗过程的污染因子主要是：γ射线、X 射线、β表面污染、放射性废水及放射性固废。

PET-CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-9。

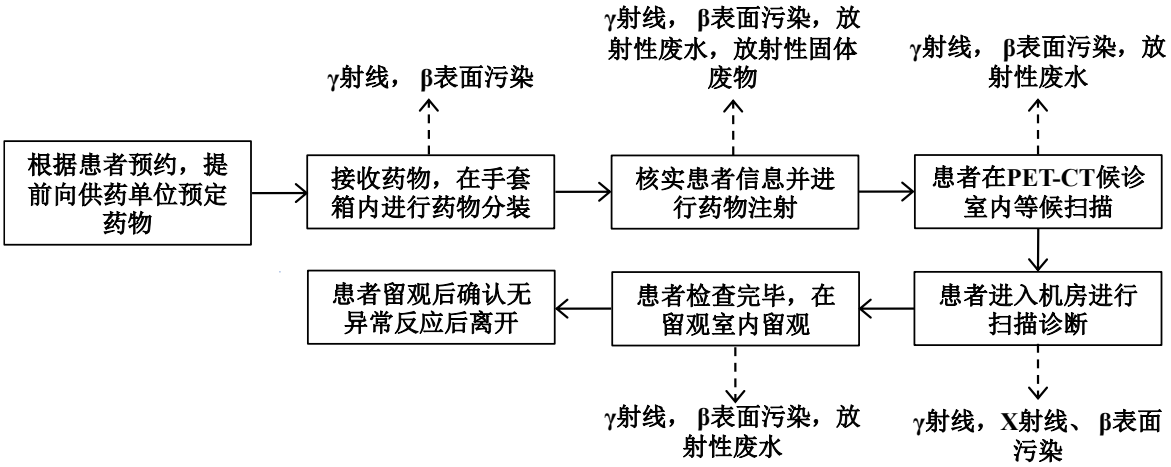


图 9-9　　PET-CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

⑶ ^{18}F 用药情况

项目 PET-CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，放射性核素 ^{18}F 外购。医院根据临床诊断所需药物的使用量，向供药单位订购药物，供药单位在约定时间内，根据提前预定告知的放射性药品种类、活度、剂量和数量生产放射性药物。放射性药物采用 40mm 厚铅罐贮存，经 β 表面污染和外表面辐射剂量率检测合格后，将铅罐置于专用运输包装内，由专用运输车辆进行配送。

项目 PET-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 9-3。

表 9-3　　项目 PET-CT 使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	状态	半衰期	衰变方式	患者每人次核素用量（Bq）	日最大操作活度（Bq/d）	用途
^{18}F	液体	109.8min	EC、β^+	3.7×10^8（10mCi）	3.70×10^9	PET-CT 显像

⑷ 设备参数

项目核医学科 PET-CT 设备参数见表 9-4。

表 9-4　　项目核医学科 PET-CT 主要设备参数一览表

设备名称	型号	数量	类别	具体参数
PET-CT	待定	1 台	III类	CT 部分：最大管电压 150kV、最大管电流 800mA

4、SPECT-CT

⑴ 工作原理

SPECT-CT 在 SPECT 基础上发展起来的双模式显像设备，即单光子发射型计算机断层显像仪和 CT 一体化组合的影像诊断设备，能将功能代谢与解剖结构结合显示成像。SPECT-CT 由 SPECT 部分、CT 部分、后处理部分及检查床四大部分组成。

SPECT 利用注入或吸入人体内的放射性核素发射出的 γ 射线构成图像，检查时，将人体待查部位作为一个横断面，从该切面的侧向用探测器按预定角度增量进行描记，从而收到足够数量的试图，获得大量横断面内放射性核素分布的数据，并将其贮存于寄存器内，利用计算机对信息进行运算处理，最后在显示设备中重建和显现出一幅三维空间的待查部位横断面图。SPECT 是将具有选择性聚集在特定脏器或病变的放射性核素或其标记化合物引入体内，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。因示踪的放射性核素或其标记化合物参与体内的某些代谢过程，所得影像主要反映人体全身及多器官放射性核素的功能、血流、代谢情况。SPECT 的工作原理见图 9-10。

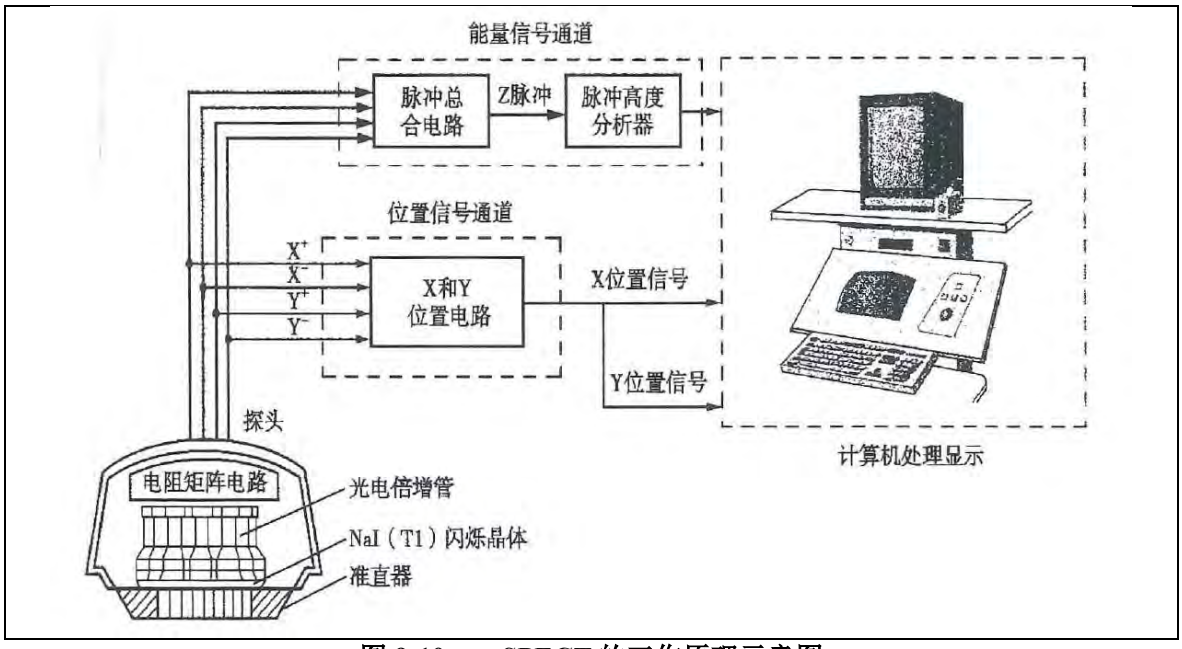


图 9-10　　SPECT 的工作原理示意图

SPECT-CT 在 SPECT 的基础上增配了 CT 部分，能够为 SPECT 图像提供精确的解剖定位以及对 SPECT 图像进行衰减校正，CT 图像与 SPECT 图像有机结合后对脏器进行提取、分离然后帮助进行放射性药物内照射吸收剂量计算作用。CT 图像提供的解剖结构信息对 SPECT 诊断也起着帮助作用，并能进行独立的螺旋 CT 临床诊断。实现一次扫描即可以得到反映功能改变的核医学图像又能同时获得精确定位信息的解剖图像。

⑵ 操作流程及产污环节

① 预约登记：根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记。

② 根据医生制定的治疗计划确定用药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物（^{99m}Tc）。

③ 供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂存于储源室。

④ 项目外购的放射性药物是事先分装好的，无需分装质控。护士站的工作人员根据工作安排，呼叫轮到诊断的患者名字。在确认患者身份后，该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

放射工作人员隔着注射窗口对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用放射性废物桶。

⑤ 放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入注射候诊室候诊。

⑥ SPECT-CT 检查

通过语音提示，患者进入 SPECT-CT 机房接受显像扫描。将病人安置到 SPECT-CT 机上，对准所需检查的病变部位，然后关闭机房防护门，最后启动 SPECT-CT 机进行扫描检查。

⑦ 检查后的患者，无不适或异常自行离开核医学科。

综上，SPECT-CT 诊断治疗过程的污染因子主要是：γ 射线、X 射线、β 表面污染、放射性废水及放射性固废。

SPECT-CT 诊断治疗流程以及产污环节见图 9-11。

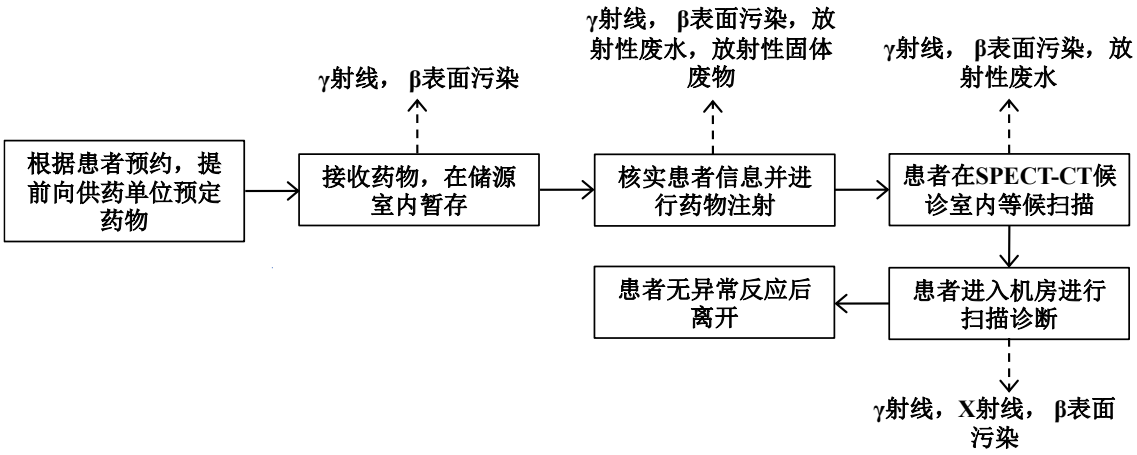


图 9-11　　SPECT-CT 操作流程及产污环节图

⑶ 用药量情况

项目 SPECT-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 9-5。

表 9-5　　项目 SPECT-CT 使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	状态	半衰期	衰变方式	患者每人次核素用量/Bq	日最大操作活度/Bq/d	用途
^{99m}Tc	液体	6.02h	同质异能跃迁（IT）	9.25×10^{8}（25mCi）	2.31×10^{10}	SPECT-CT 显像

⑷ 设备参数

项目核医学科 SPECT-CT 设备参数见表 9-6。

表 9-6　　项目核医学科 SPECT-CT 主要设备参数一览表

设备名称	型号	数量	类别	具体参数
SPECT-CT	待定	1 台	III类	CT 部分：最大管电压：140kV 最大管电流：2.5mA

5、DSA

⑴ 工作原理

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

入手术时更为安全。

DSA 基本设备包括 X 线发生器、影像增强器、高分辨力摄像管、模 / 数转换器、电子计算机和图像储存器等，典型设备组成结构见图 9-12。

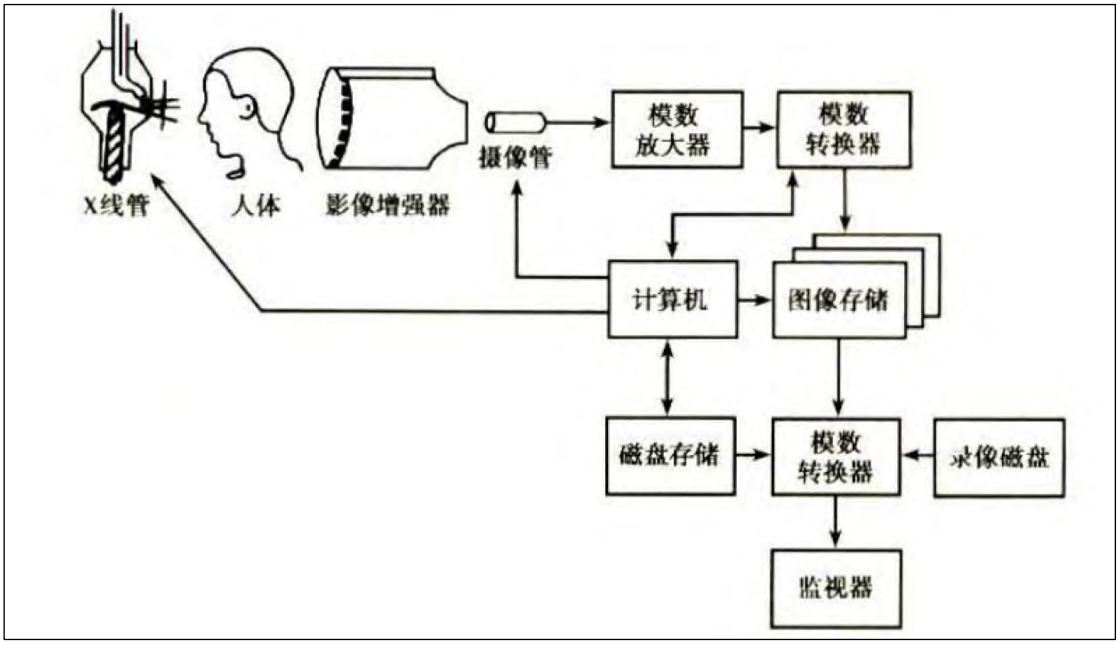


图 9-12　　DSA 典型设备组成结构

本项目拟在综合医院门诊医技楼一层介入中心配备 2 台 DSA，四层手术中心的介入手术室内配置 1 台 DSA；拟在传染病医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室内配置 1 台 DSA，共计 4 台。

本项目设备示意图见图 9-13。

图 9-13　　医用血管造影 X 射线系统（DSA）

⑵ 工作流程及产污环节

DSA 装置诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

① 操作方式

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，采集。第二种情况，透视。

医生需进行手术治疗时，操作医师位于铅吊屏后，身着铅服、铅颈套、戴铅帽、铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的信息采集及手术操作。

② 工作流程及产污环节

DSA 的 X 射线诊断机曝光时，项目污染因子为 DSA 工作时产生的 X 射线。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

a. 本项目 DSA 开机时发出 X 射线，产生的漏射线和散射线可能贯穿机房的屏蔽墙进入外环境，对控制室职业人员及机房周围公众人员产生外照射影响；

b. 在介入手术过程中，对机房内操作的医护人员造成较高剂量的外照射。

DSA 诊治流程及产污环节如图 9-14 所示：

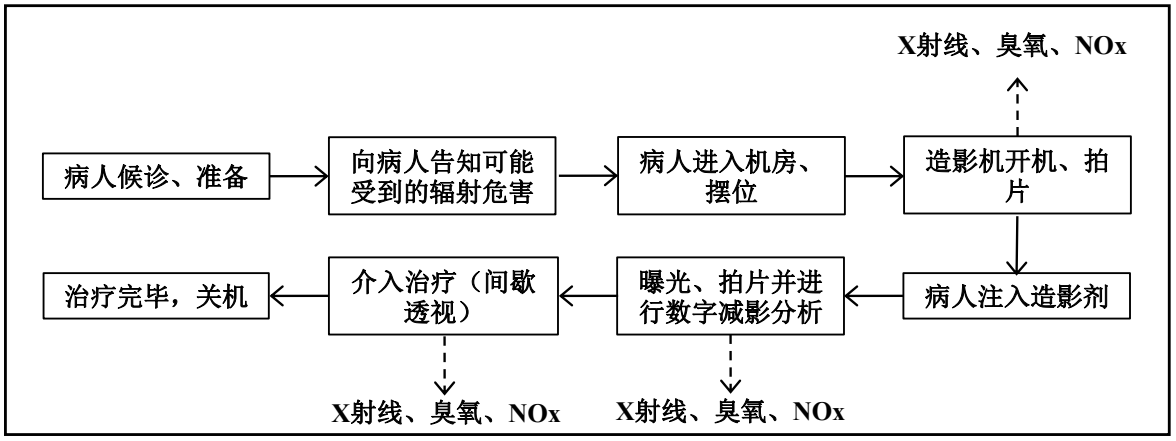


图 9-14　　DSA 治疗流程及产污环节示意图

⑶ 设备参数

项目 DSA 设备参数见表 9-7。

表 9-7　　项目 DSA 设备参数一览表

设备名称	设备型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）
DSA	待定	4 台	125	1000

二、污染源项描述

1、医用电子直线加速器

⑴ 正常工况

医用电子直线加速器产生的辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（指被加速的带电粒子）及其与金属靶或加速器的结构材料相互作用产生X射线和中子等次级辐射。初级辐射和次级辐射在加速器开机时产生，停机后消失。剩余辐射是指加速器产生的初级粒子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性，它们在加速器停止运行后继续存在一段时间。

加速器正常运行状态下可能产生的污染因子如下：

①电子束：加速器运行过程中产生的电子束，其贯穿能力相对X射线和中子而言弱得多，即使是高能电子束，空气中的射程也只有几十米。

② X射线：加速器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，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，X射线进入环境，会对工作人员和公众造成不必要的辐射影响。因此，加速器在开机状态下，X射线成为加速器污染环境的主要污染因子。

③ 感生放射性：绝大多数天然核素的（γ、n）反应阈能在10MeV以上，当加速器发射能量高于10MeV时，加速器的初级粒子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成感生放射性核素。例如，室内空气受照射主要产生^{13}N、^{15}O等感生放射性核素，其辐射类型为β射线和γ射线。感生放射性产生于加速器运转时，停机后继续存在一段时间，可能会对进入机房的人员等造成外照射危害，空气中产生的感生放射性还可造成人员的内照射。

④ 中子及其俘获γ射线：根据《MV级X和γ射线放疗设备的屏蔽设计和评价（2005年版）》P14页，中子俘获γ射线大部分发生在房间的屏蔽体中，来源于初级光子中能量高于中子结合能（对于大多数核素约8MeV）的光子所产生的光中子。事实上，正如NCRP79号报告（NCRP中图15）所指出的，来源于大多数电子直线加速器材料中的中子产额只有在入射能量高于10MeV的时候才会变得显著。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“4.7.2加速器治疗X射线大于10MV时，由于（γ，n）反应生成‘杂散’中子，应据治疗装置生

产厂家给出的且不高于国家标准指标，考虑机房的中子屏蔽；4.7.3对于大于10MV的X射线治疗机房，当采用单一的混凝土屏蔽时，墙、顶的屏蔽仅需考虑对X射线的屏蔽，忽略对‘杂散’中子的屏蔽；4.7.4对于大于10MV的X射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑X射线和‘杂散’中子的散射辐射及中子俘获γ射线”。

⑤ 废靶：项目产生的固体废物为加速器废金属靶（通常1个金属靶使用7～10年才更换）、废辅助过滤器等。

⑥ 放射性废气：当加速器室内空气受到或超过产生(γ，n)反应阈能量的γ射线照射时，将产生^{15}O（半衰期2.1min）、^{13}N（半衰期10min）、^{11}C（半衰期20.4min）、^{39}Ar（半衰期110min）等放射性气体。^{15}O、^{13}N、^{11}C、^{39}Ar等产生率相对低。

⑦ 非放射性气体：当加速器运行产生的X射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。臭氧是加速器产生的电离辐射与空气中的氧相互作用的结果，对人的呼吸系统、眼睛和粘膜有伤害。高浓度的臭氧还可以使电缆加速老化，臭氧的多少与加速器的照射量成正比。

⑵ 事故工况

① 安全联锁系统故障或失效，机房的防护门未关好即开机导致射线泄漏，造成机房防护门外活动人员受到意外照射；

② 安全联锁系统故障或失效，加速器运行中人员闯入受到意外照射；

③ 工作人员或无关人员在治疗过程中滞留机房，受到意外照射；

④ 加速器控制系统故障或操作人员疏忽，造成射线种类、照射剂量或方向设置错误，使患者受到误照射。

2、后装机

⑴ 正常工况

项目后装治疗机使用的放射源为^{192}Ir，为密封型，外有不锈钢包壳，β射线被完全屏蔽，放射性物质不会泄露。因此，在正常使用情况下，后装治疗机环境污染因子是放射源发射的γ射线。

后装治疗机正常运行状态下可能产生的污染途径如下：

①γ射线：

治疗室泄露辐射：后装治疗机正常运行时的环境污染因子为能量形式的 γ 射

线。在正常治疗条件下，后装治疗机 ^{192}Ir 放射源发出的平均能量为 370keV 的 γ 射线，可能有部分穿过治疗室屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚及迷路防护门）泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生 γ 外照射。

治疗前、后装卸输源导管：在治疗前、后装卸输源导管时，^{192}Ir 放射源发出的 γ 射线有小部分穿过工作容器，对装卸人员产生 γ 射线外照射。

② 废旧放射源：由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，^{192}Ir 放射源使用达到 1.5 个半衰期时需更换，即 111 天更换一次，每年更换 3 次。而旧的放射源依然具有一定的放射性强度，依然存在对环境保护和人类健康的不利影响的可能性，因此对于废旧放射源需要妥善处理。

放射源安装、更换、运输和装卸由厂家负责，因此对运输和装卸人员产生的影响本次评价不作分析。

③ 非放射性气体：后装治疗机在正常工作状态下，γ 射线会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响很小。

⑵ 事故工况

① 安全联锁系统故障或失效，治疗室的防护门未关好即开始治疗，导致射线泄漏，造成治疗室防护门外活动人员受到意外照射；

② 因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装、更换放射源时，发生放射源从设备或容器中滑落出来，造成安装或操作人员受到强的辐射照射。

③ 放射源丢失或被盗，屏蔽罐被打开，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到辐射照射。

3、核医学科

⑴ 正常工况

① γ 射线：^{18}F、^{99m}Tc 在衰变过程中释放 γ 射线，γ 射线穿透能力很强，放射性药物在分装质控室手套箱内储存分装、注射区注射过程中，对其周围环境和工作人员会产生一定辐射影响；经注射进入患者体内后，患者本身短时间内成为“辐射体”，在衰变过程产生的 γ 射线造成患者周围辐射水平升高；患者在候诊、显像诊断、留观过程中，短期内对近距离接触的人员造成影响，部分 γ 射线穿透候诊室等实体屏蔽对屏蔽体外活动人员产生一定辐射影响，污染途径为 γ 射线外照射。

②X 射线：PET-CT 和 SPECT-CT 在开机 CT 扫描过程中会产生 X 射线，该 X 射线随着 CT 设备的开关而产生和消失。

③β表面污染：由于放射性药物 ^{18}F、^{99m}Tc 为液体药物，在转移、存放、注射过程中撒漏，造成工作场所的β表面污染；患者注射放射性药物 ^{18}F、^{99m}Tc 后，其分泌汗液、排泄物等可能造成候诊、诊断工作场所的β表面污染。

④ β射线和韧致辐射

项目 ^{18}F、^{99m}Tc 核素在衰变过程中释放出β射线，β射线在空气及人体组织中射程均较短，较容易防护，基本不会对环境产生外照射影响。

虽然β射线穿透能力弱，在空气及人体组织中射程较短，但核素盛放容器受到β射线照射时会产生韧致辐射，韧致辐射对周围环境产生辐射影响。

⑤ 放射性废气：项目注射前，放射性药物 ^{18}F、^{99m}Tc 在针筒内，无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎可忽略不计，因此放射性气溶胶非常少，注射工作人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略，正常情况下基本不产生放射性废气。

⑥非放射性废气：PET-CT、SPECT-CT 在使用过程中，机房内 X、γ射线会使空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

⑦ 放射性废水：主要来源是诊断过程中患者注射 ^{18}F 或 ^{99m}Tc 后所产生的排泄物冲洗废水、工作人员清洗产生的废水等。

a. 项目 PET-CT 显像诊断每天接诊患者约 10 人（注射 ^{18}F），假定每个患者在核医学科工作场所内平均如厕 2 次，按标准冲水马桶每次冲水量 6L 计，则患者用水量为 $0.12m^3$；另外患者如厕后洗手用水按每人每次 1L 计，则患者洗手用水量约为 $0.02m^3$。

b. 项目 SPECT-CT 显像诊断每天接诊患者约 25 人（注射 ^{99m}Tc），假定每个患者在核医学科工作场所内平均如厕 2 次，按标准冲水马桶每次冲水量 6L 计，则患者用水量为 $0.3m^3$；另外患者如厕后洗手用水按每人每次 1L 计，则患者洗手用水量约为 $0.05m^3$。

c. 注射工作人员注射结束后洗手，每天按洗手 2 次计算，洗手用水按每次约 1L 计，项目平均每天注射工作人员洗手用水量约为 $0.002m^3$。

d. 洗涤医用器皿、清洗工作台面及受污染衣服等也会产生一定量的放射性废

水，特别是放射性物质发生滴漏、撒泼事故、服药患者呕吐后的去污过程会产生较多的废水。项目每天洗涤（工作人员清洁受污染衣服及工作场所等）预计用水量为 $0.1m^3$。

综上，项目运营期间每天用水量约为 $0.592m^3/d$，则产生含放射性废水量约为 $0.592m^3/d$。

⑥ 放射性固体废物：主要为剩余放射性药物、注射器、针头、手套、药棉、纱布、擦拭污染地面的物品等，废气处理产生的废活性炭。

根据医院提供的资料，项目核医学科日接诊人数最多 35 人，医疗废物按人均每天 0.05kg 计，则医疗废物每天产生量约为 1.75kg，全年产生量约为 420kg。

⑵ 非正常工况

① 由于误操作，导致放射性药物错误注射；

② 对放射性药物和校准源管理不善，造成放射性药物和校准源丢失或被盗；

③ 对注射放射性药物的患者管理不善，患者体内放射性药物或排泄物、呕吐物等发出射线产生外照射对周围人员会产生一定的辐射影响；

④ 给患者注射时操作不当，将药物滴洒在台面、地面或其他地方，将造成放射性表面污染：

⑤ 对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；

⑥ 核医学科防护门控制失灵或安全联锁装置故障，人员误入核医学科辐射工作场所或正在运行的机房内而造成辐射影响；

⑦ 管理不善，无关人员在射线装置开机时进入机房或开机时未离开机房，从而受到不必要的较大剂量辐射照射。

4、DSA

⑴ 正常工况

①X 射线：本项目 DSA 为II类射线装置，医用血管造影 X 射线系统（DSA），在开机状态下主要污染物为 X 射线，关机即消失。DSA 开机时发出 X 射线，X 射线贯穿机房的屏蔽墙进入外环境，对控制室职业人员及机房周围公众人员产生外照射影响；在介入手术过程中，对机房内操作的医护人员造成较高剂量的外照射。

② 废气：DSA 在曝光过程中会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

③ 固体废物：本项目介入手术时会产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，月排放量约为0.5t，年排放量约为6t；经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置。

⑵ 非正常工况

① 射线装置发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽将照射参数设置错误，使受检者或职业人员受到超剂量照射。

② 与诊疗无关的人员在未撤离手术室，射线装置开始运行，对其造成额外误照射。

③ 医生在手术室内为患者摆位或进行其它术前准备工作时，控制台处操作人员误开机出束，对手术室内医生造成误照射。

④ 设备维修期间，维修人员在检修设备时，误开机出束，造成误照射。

⑤ 介入治疗时，医生未穿戴防护用品进入手术室，或未配置合格的防护用品，使医生受到较高剂量的附加照射。

⑥ 安全警示装置发生故障，医护人员误入正在运行的手术室造成额外照射。

5、工作人员生活污水及生活垃圾

西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目已于 2020 年 6 月 4 日取得西安市生态环境局高陵分局《西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目环境影响报告书的批复》（市环高批复〔2020〕34 号，见附件），本项目的辐射工作人员由西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）工作人员中调配，产生的生活污水和生活垃圾的已在西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目环境影响报告书中核算，本次评价不再分析评价。

表 10 辐射安全与防护

一、项目安全设施

1、场所分区

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

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

监督区：未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

⑴ 综合医院放疗科

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），“5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所。5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区。”

本项目对综合医院放疗科（医用电子直线加速器及后装治疗机）工作场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-1　　工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
医用电子直线加速器	医用电子直线加速器机房（10MV）、医用电子直线加速器机房（15MV）	地下二层：停车场、水冷机房（10MV）、控制室（10MV）、水冷机房（15MV）、控制室（15MV）
后装治疗机	地下一层：后装治疗机房 一层：数字胃肠、CT 机房	地下一层：控制室、备品间、空调机房、卫生间、候诊走廊 一层：弱电井、医护走廊、设备间
备注：1、加速器机房上部空间位于地下一层，此空间无用，故本次对其上方空间未划监督区；加速器机房下部为土层，故本次对其下方空间未划监督区； 2、后装治疗机下部空间位于地下二层，此空间无用，故本次对其下方空间未划监督区。		

综合医院放疗科工作场所分区图见图 10-1、图 10-2。

⑵ 综合医院核医学科

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的分区原则：“4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。4.3.3 核医学工作场所的监督区主要

包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域”。

本项目对综合医院核医学科工作场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-2　　工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
综合医院核医学科	地下一层：储源室、固废室、污洗、分装质控室、注射区、SPECT-CT、PET-CT、运动候诊兼抢救室、SPECT-CT 候诊、SPECT-CT 候诊卫生间、PET-CT 候诊、PET-CT 候诊卫生间、VIP 候诊、VIP 候诊卫生间、留观室、留观室卫生间、CT 模拟定位 一层：	地下二层：停车场、污水提升间 地下一层：洁具清洗存放、控制室、注射抢救、诊室、患者走廊、物流通道（三）、医护走廊、控制室、设备间、缓冲、一更、二更、冲淋、预约登记 一层：清洗间、污洗、医疗废物暂存、洁净走廊、缓冲换床、预麻复苏室、患者走廊、医护走廊、控制廊、设备间（2 间）、新风机房、女浴厕、更衣、MRI（3 间）

综合医院核医学科工作场所分区图见图 10-1～图 10-3。

⑶ 综合医院介入中心

本项目对综合医院介入中心使用场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-3　　工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
介入中心 介入手术室 1	介入手术室 1	地下一层：预约登记、冲淋、一更、二更、缓冲 一层：洁净走廊、控制室、清洁间、污洗、医疗废物暂存 二层：诊室（4 间）、治疗室、恢复室、医护走廊
介入中心 介入手术室 2	介入手术室 2	地下一层：一更、二更、医护走廊、办公室 一层：控制室、洁净走廊、缓冲、污物走廊、机房 二层：孕妇培训教室、诊室（3 间）、患者走廊、走廊

介入中心工作场所分区图见图 10-3、图 10-4。

⑷ 综合医院手术中心（介入手术室）

本项目对综合医院手术中心（介入手术室）使用场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-4　　工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
综合医院手术中心 （介入手术室）	介入手术室（OR-12）	三层：资料室、值班室（2 间）、主任办公室、浴厕（2 间）、中心配液室、医生办公室、办公室、药品、被服、血透大厅 四层：清洁走廊、体外循环、缓冲、设备间、控制室、刷手缓冲、OR-11

		五层：净化空调机房

综合医院手术中心（介入手术室）工作场所分区图见图 10-5、图 10-6。

⑸ 传染病医院手术中心（介入手术室）

本项目对传染病医院手术中心（介入手术室）使用场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-5　工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
传染病医院手术中心 （介入手术室）	介入手术室（OR-4）	三层：办公室、值班室（2间）、工作人员走廊、洁具间、缓冲、蒸汽发生、备用灭菌间、通道、检查灭菌打包区 四层：污物走廊、机房、控制室、洁净走廊、刷手前室、OR-5 五层：净化机房

传染病医院手术中心（介入手术室）工作场所分区图见图 10-7、图 10-8。

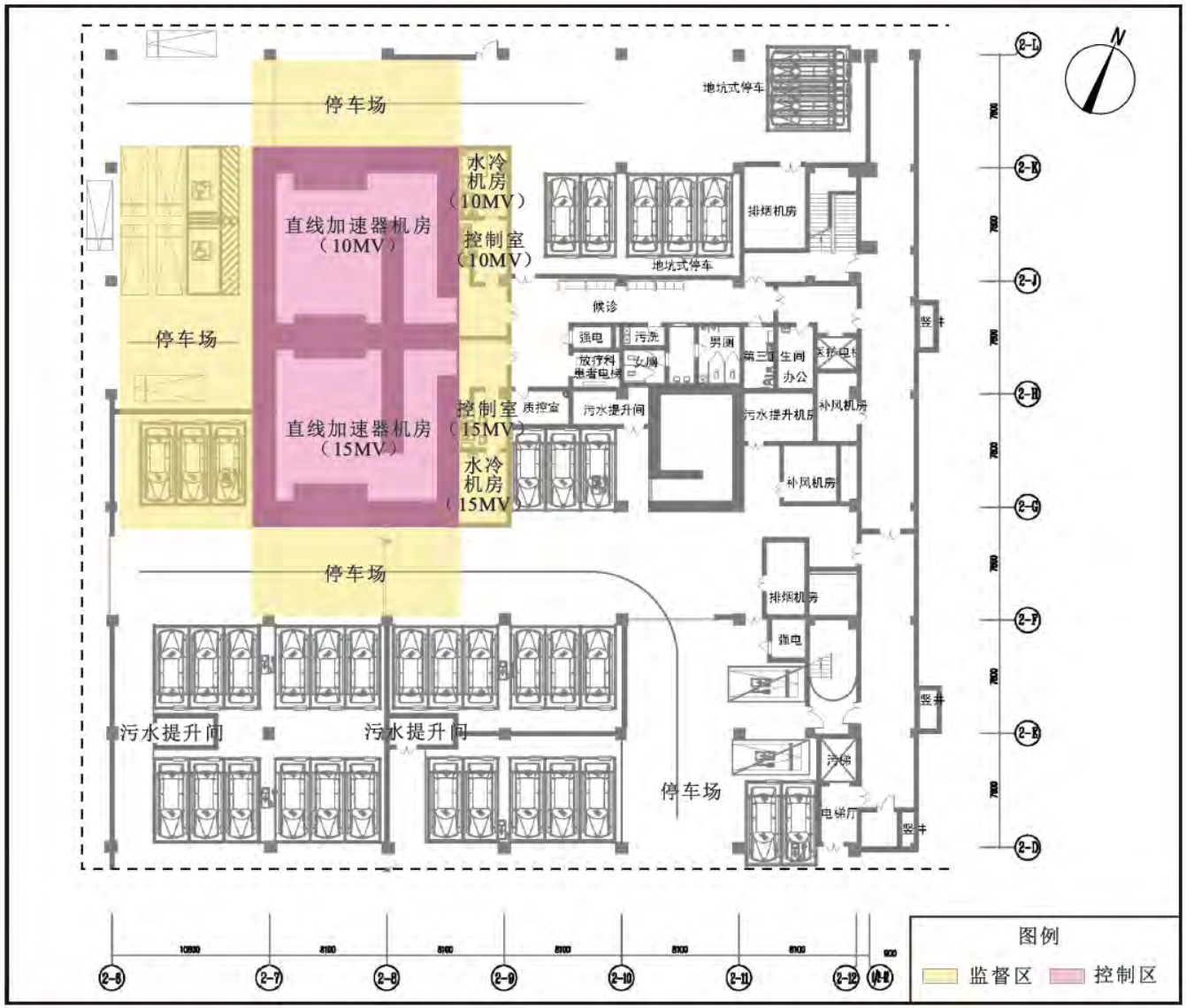


图 10-1　　综合医院门诊医技楼地下一层（放疗科医用电子直线加速器）工作场所分区图（平面图）

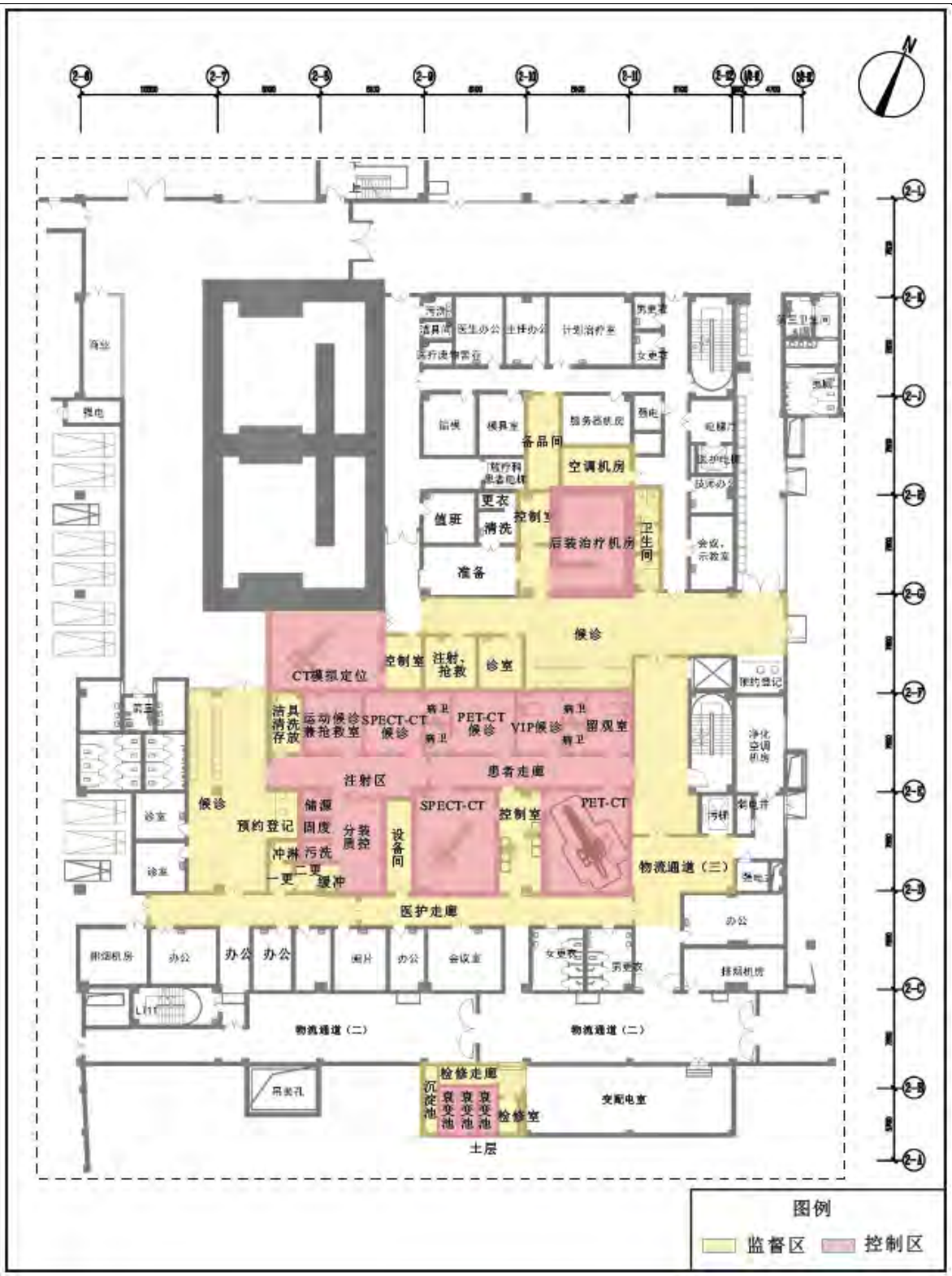


图 10-2　　综合医院门诊医技楼地下一层（放疗科后装治疗机、核医学科）工作场所分区图

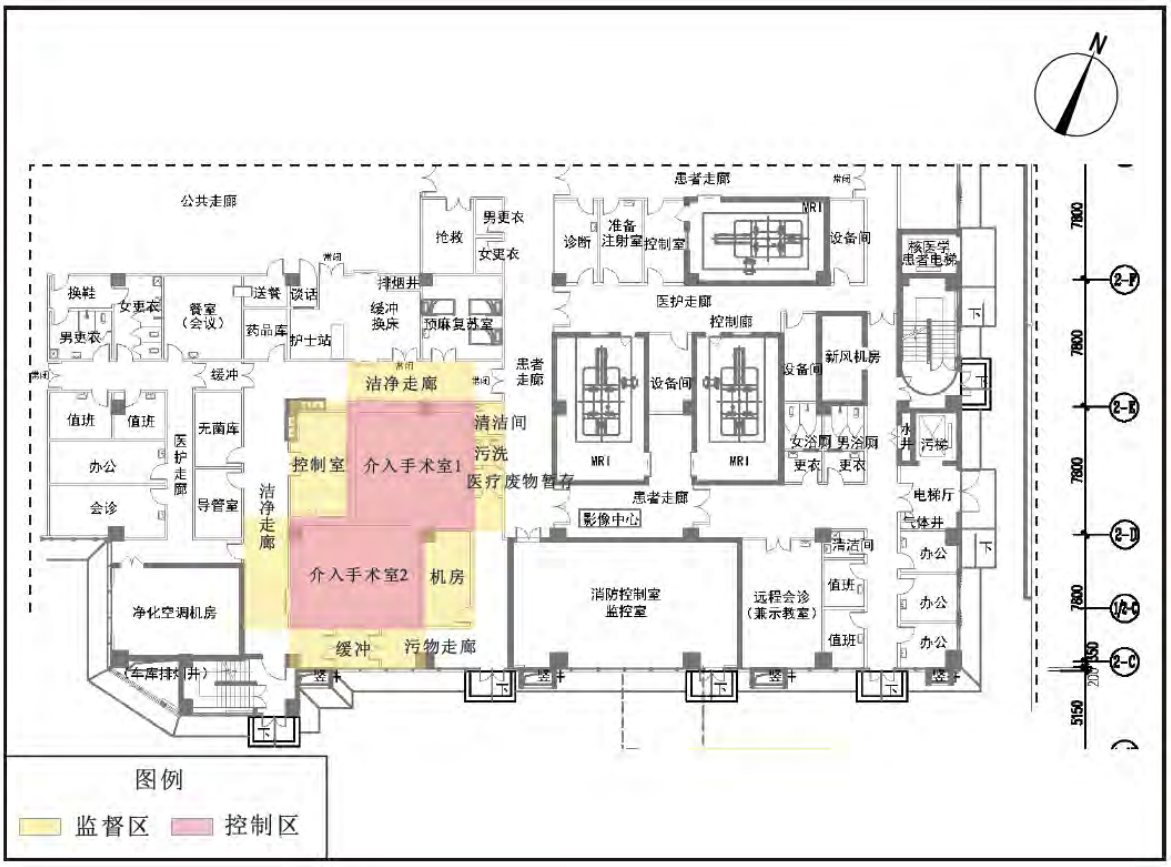


图 10-3　　综合医院门诊医技楼一层（介入中心）工作场所分区图

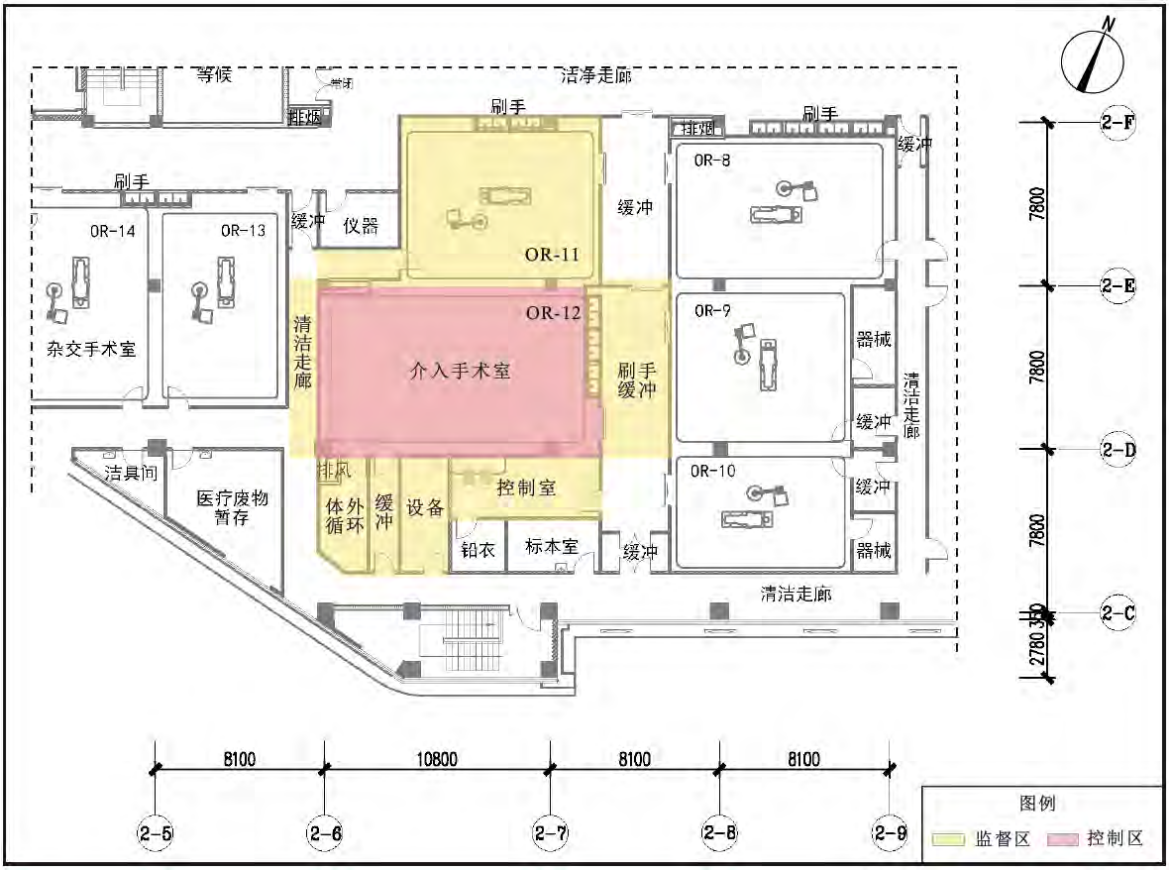


图 10-4　　综合医院门诊医技楼四层（手术中心）工作场所分区图

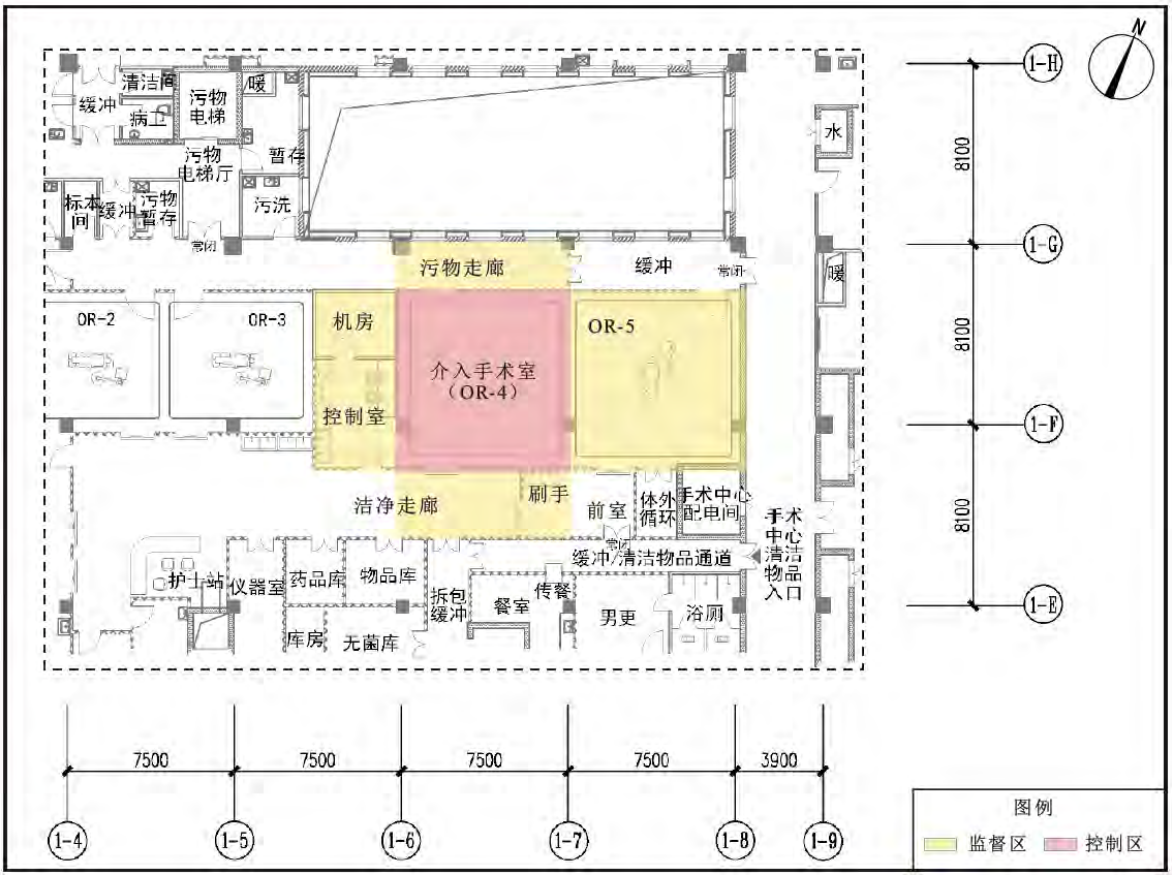


图 10-5　　传染病医院门诊医技楼四层（手术中心）工作场所分区图

2、辐射屏蔽及防护措施

⑴ 综合医院放疗科

本项目综合医院放疗科工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-6。

表 10-6　　综合医院放疗科屏蔽防护参数一览表

工作场所	位置		具体设计参数
医用电子直线加速器（10MV）	机房内部尺寸参数		长 10.4m×宽 11.2m×高 3.7m，体积 430.98m³（含迷路）
	北侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.1m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	西侧	屏蔽墙	厚 1600mm 普通混凝土
	南侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.1m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	屋顶	主屏蔽屋顶	厚 3000mm 普通混凝土
	迷路	迷路内墙	厚 1500mm 普通混凝土，长 7.1m
		迷路外墙	厚 1500mm 普通混凝土
	防护门		洞口尺寸 1800mm×2200mm，防护门尺寸 2200mm×2400mm，内置 12mm 铅板+140mm 中子防护层，电动平移防护门，配置有门机联锁和门灯（指示灯）联锁装置，设置曝光警示灯、防夹装备
医用电子	机房内部尺寸参数		长 10.4m×宽 11.2m×高 3.7m，体积 430.98m³（含迷路）

直线加速器（15MV）	北侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.1m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	西侧	屏蔽墙	厚 1600mm 普通混凝土
	南侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.1m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	屋顶	主屏蔽屋顶	厚 3000mm 普通混凝土
	迷路	迷路内墙	厚 1500mm 普通混凝土，长 7.1m
		迷路外墙	厚 1500mm 普通混凝土
	防护门		洞口尺寸 1800mm×2200mm，防护门尺寸 2200mm×2400mm，内置 18mm 铅板+140mm 中子防护层，电动平移防护门，配置有门机联锁和门灯（指示灯）联锁装置，设置曝光警示灯、防夹装备
后装机机房	机房内部尺寸参数		长 7.3m×宽 5.0m×高 4.6m，体积 167.9m^3
	东侧屏蔽墙		800mm 普通混凝土
	西侧屏蔽墙		800mm 普通混凝土
	北侧屏蔽墙		800mm 普通混凝土
	迷路	迷路内墙	600mm 厚普通混凝土，宽 3.0m
		迷路外墙	厚 800m 普通混凝土
	屋顶		厚 800m 普通混凝土
	防护门		洞口尺寸 1500mm×2000mm，悬挂式 10mmPb 当量自动感应推拉门，配延时关闭、夹装置、安全光幕

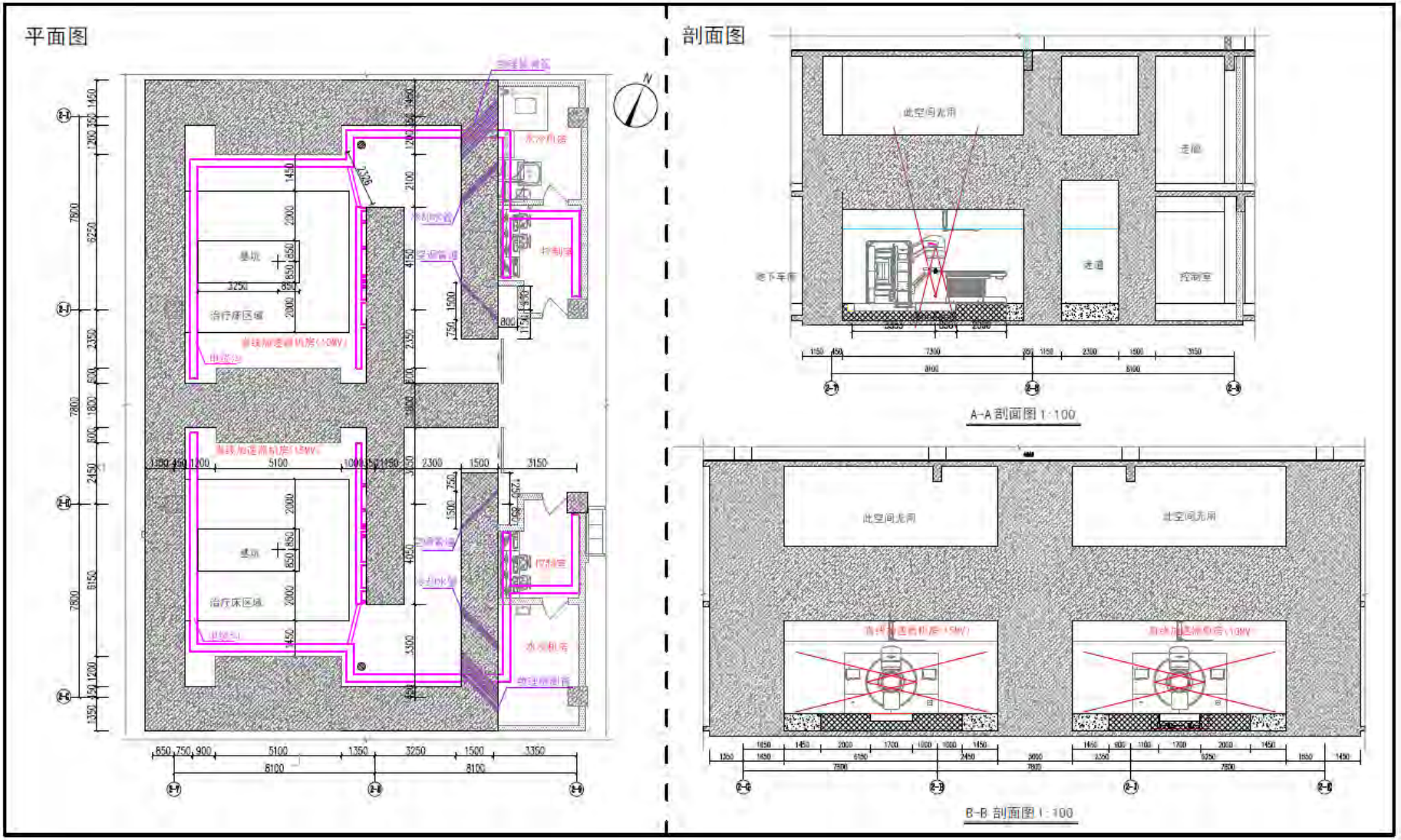


图 10-6　　本项目直线加速器机房平面及剖面布置图

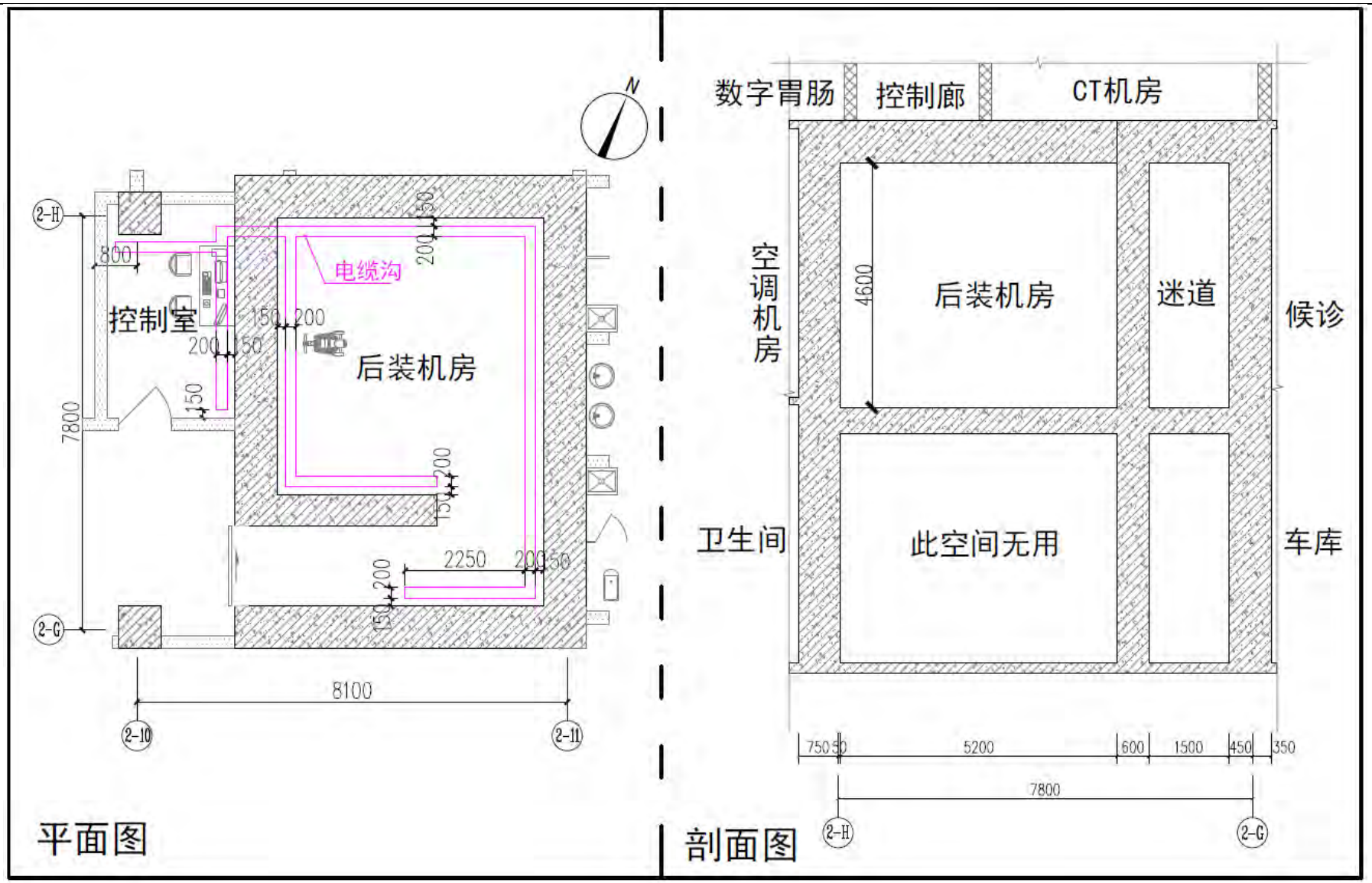


图 10-7　　本项目后装治疗机房平面及剖面布置图

⑵ 综合医院核医学科

本项目综合医院核医学科工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-7。

表 10-7　　综合医院核医学科工作场所辐射屏蔽设计具体参数

机房	项目		机房尺寸/防护材料及厚度
储源室	储源室		1.93m×1.99m，面积 3.84m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		西墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	东侧防护门		12mmPb 铅门
固废室	固废室		1.51m×1.99m，面积 3.00m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
		西墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料
	西侧防护门		12mmPb 铅门
污洗室	污洗室		1.51m×1.99m，面积 3.00m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		西墙	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	西侧防护门		12mmPb 铅门
缓冲室	缓冲室		2.22m×1.32m，面积 2.93m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		南墙	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	西侧防护门		12mmPb 铅门
一更	一更		2.22m×1.56m，面积 3.46m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	南侧防护门		12mmPb 铅门
	西侧防护门		5mmPb 铅门
二更	二更		2.22m×1.86m，面积 4.13m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料

		南墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	西侧防护门		5mmPb 铅门
冲淋	冲淋		1.51m×2.26m，面积 3.41m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	南侧防护门		5mmPb 铅门
注射区	地面		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	注射窗口		40mmPb 铅玻璃
	注射器运输防护盒		8mmPb
	^{99m}Tc 注射器防护套		5mmPb
	钨合金注射器防护套		15mmPb
分装质控室	分装质控室		7.71m×3.28m，面积 25.29m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
		南墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	北侧防护门		12mmPb 铅门
	药物转运防护罐		40mmPb
	手套箱（^{18}F）		40mmPb
SPECT-CT 机房	SPECT-CT 机房		7.86m×6.13m，面积 48.18m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
		南墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
		西墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料
	北侧患者防护门		5mmPb 铅门
	东侧观察窗		5mmPb 铅玻璃
	东侧工作人员防护门		5mmPb 铅门
控制室	控制室		7.86m×3.45m，面积 27.12m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
		南墙	370mm 实心砖
		西墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		260mm 混凝土
PET-CT 机房	PET-CT 机房		7.86m×6.03m，面积 47.40m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料

		南墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
		西墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	北侧患者防护门		12mmPb 铅门
	东侧观察窗		12mmPb 铅玻璃
	东侧工作人员防护门		12mmPb 铅门
留观室	留观室		4.69m×3.35m，面积 15.71m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖+35mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+50mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+50mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+35mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护材料
	南侧防护门		10mmPb 铅门
留观室卫生间	留观室卫生间		2.16m×1.64m，面积 3.54m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖
		南墙	240mm 实心砖
		西墙	240mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		260mm 混凝土
VIP 候诊	VIP 候诊		4.69m×3.47m，面积 16.27m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	南侧防护门		10mmPb 铅门
VIP 候诊卫生间	VIP 候诊卫生间		2.29m×1.64m，面积 3.76m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+50mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖
		西墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		260mm 混凝土
PET-CT 候诊	PET-CT 候诊		4.69m×4.86m，面积 22.79m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料
	南侧防护门		10mmPb 铅门
	铅屏风		10mmPb
PET-CT 候诊卫生间	PET-CT 候诊卫生间		2.61m×1.95m，面积 5.09m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料

		南墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		260mm 混凝土
SPECT-CT 候诊	SPECT-CT 候诊		4.69m×4.36m，面积 20.45m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
		西墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料
	南侧防护门		8mmPb 铅门
	铅屏风		10mmPb
SPECT-CT 候诊卫生间	SPECT-CT 候诊卫生间		2.29m×1.95m，面积 4.47m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖
		西墙	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		260mm 混凝土
运动候诊兼抢救室	运动候诊兼抢救室		4.69m×4.28m，面积 20.07m^2，高 4.0 m
	四周墙体	东墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		南墙	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护材料
		西墙	370mm 实心砖+15mm 硫酸钡防护材料
		北墙	370mm 实心砖+15mm 硫酸钡防护材料
	地面		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	屋顶		260mm 混凝土+10mm 硫酸钡防护材料
	南侧防护门		5mmPb 铅门
洁具清洗存放	洁具清洗存放		4.69m×2.38m，面积 11.16m^2，高 4.0m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	240mm 实心砖
		西墙	240mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		260mm 混凝土
	南侧防护门		2mmPb 铅门

⑶ 综合医院介入中心

本项目综合医院介入中心拟配备 2 台 DSA，工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-8。

表 10-8　　介入中心工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求
介入手术室 1	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	北侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	西侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	东侧防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb

	屋顶	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
	地面	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
介入手术室 2	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	西侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	北侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
	地面	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
备注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中 C.4 与 C.5，在管电压 125kV 条件下，180mm 混凝土防护能力相当于 2.3mm 铅当量。				

由上表可知，本项目综合医院介入中心介入手术室辐射屏蔽设计均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”的要求。

⑷ 综合医院手术中心（介入手术室）

本项目综合医院手术中心（介入手术室）拟配备 1 台 DSA，工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-9。

表 10-9　　介入中心工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求
介入手术室（OR-12）	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	西侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧防护门（缓冲）	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧防护门（体外循环）	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
	地面	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
备注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中 C.4 与 C.5，在管电压 125kV 条件下，120mm 混凝土防护能力相当于 1.4mm 铅当量。				

由上表可知，本项目综合医院手术中心（介入手术室）辐射屏蔽设计能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”的要求。

⑸ 传染病医院手术中心（介入手术室）

本项目传染病医院手术中心（介入手术室）拟配备 1 台 DSA，工作场所辐射屏

蔽设计具体参数见表 10-10。

表 10-10　　介入中心工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求
介入手术室（OR-4）	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	北侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	西侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	东侧防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
	地面	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
备注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中 C.4 与 C.5，在管电压 125kV 条件下，120mm 混凝土防护能力相当于 1.4mm 铅当量。				

由上表可知，本项目传染病医院手术中心（介入手术室）辐射屏蔽设计能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”的要求。

3、核医学科人流、物流设计合理性分析

⑴ PET-CT 显像检查医护人员及患者流向

① 医护人员流向

医护人员从南侧的电梯间进入，由医护走廊经冲淋、更衣室（一更及二更）和缓冲进入到分装质控室，在分装质控室进行药物的分装和质控，并在分装质控室北侧的注射窗口为患者进行注射，完成分装或注射等操作后需进行表面污染检测，若有沾污，则进行清洁去污；操作 PET-CT 的医护人员经医生走廊进入控制室，待患者进入 PET-CT 机房后，由控制室的东侧防护门进入到机房内为患者进行摆位，摆位完成后，原路返回控制室，进行显像扫描操作。

② 患者流向

预约检查的患者从北侧的核医学科入口处进入，在预约登记处办理相关手续后，等待叫号，被叫号后的患者从西侧患者通道入口（拟设置单向限行门禁）进入核医学科，行至注射区进行放射性药物的注射，注射后根据检查需要进入到运动候诊兼抢救室、PET-CT 候诊室或 VIP 候诊室进行候诊，候诊一定时间后，在医护指导下进入到 PET-CT 机房进行摆位和扫描，扫描结束后，患者进入到留观室留观片刻后，根据相关标识由患者走廊经东北角核医学科专用电梯或楼梯（均拟设置单向限行门禁）离开核医学科。

⑵ SPECT-CT 显像检查医护人员及患者流向

① 医护人员流向

医护人员从南侧的电梯间进入，由医护走廊经冲淋、更衣室（一更及二更）和缓冲进入到分装质控室，将药物运送至分装质控室北侧的注射区，在注射窗口为患者进行注射，完成药物运送或注射等操作后需进行表面污染检测，若有沾污，则进行清洁去污；操作 SPECT-CT 的医护人员经医生走廊进入控制室，待患者进入 SPECT-CT 机房后，由控制室的西侧防护门进入到机房内为患者进行摆位，摆位完成后，原路返回控制室，进行显像扫描操作。

② 患者流向

预约检查的患者从北侧的核医学科入口处进入，在预约登记处办理相关手续后，等待叫号，被叫号后的患者从西侧患者通道入口（拟设置单向限行门禁）进入核医学科，行至注射区进行放射性药物的注射，注射后根据检查需要进入到运动候诊兼抢救室、SPECT-CT 候诊室或 VIP 候诊室进行候诊，候诊一定时间后，在医护指导下进入到 SPECT-CT 机房进行摆位和扫描，扫描结束后，根据相关标识由患者走廊经东北角核医学科专用电梯或楼梯（均拟设置单向限行门禁）离开核医学科。

⑶ 药物流向

本项目核医学科使用的放射性药物拟向专业制药厂商采购，制药厂商采用专用运输铅罐配送放射性药物。拟在一天工作开始之前，在医护人员带领下，由南侧的楼梯进入核医学科，经更衣室（一更及二更）和缓冲进入到分装质控室，最后将放射性药物转存至分装质控室的手套箱内或储源室的药物转运防护罐内。工作人员路径与药物路径有一定的交叉，医院通过错时来实现分离，只存在空间上的交叉。

⑷ 放射性固体废物流向

针对核医学科各场所的放射性固体废物，先放置至各相关工作场所的铅防护废物桶内，一天工作结束或第二天开始工作前，将铅防护废物桶内的固体废弃物转送到固废室的铅防护废物桶内，对注射器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。所有放射性固体废物均经检测合格后，拟由工作人员在一天工作结束或第二天开始工作前，将固废室放射性固体废物从南侧楼梯间出口经物流通道（二）、物流通道（三）从核医学科东侧的污梯运送出核医学科，作为医疗废物进行处置。工作人员及患者路径与放射性固体废物路径有一定的交

叉，医院通过错时来实现分离，只存在空间上的交叉。

综合分析认为，核医学科工作人员、患者、放射性药物和放射性废物均设有相对独立的路径，医院通过错时安排及加强管理，基本满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 “5.2 布局”的相应要求。核医学科工作场所医护人员及患者路径见图 10-8、核医学科物流路径见图 10-9。

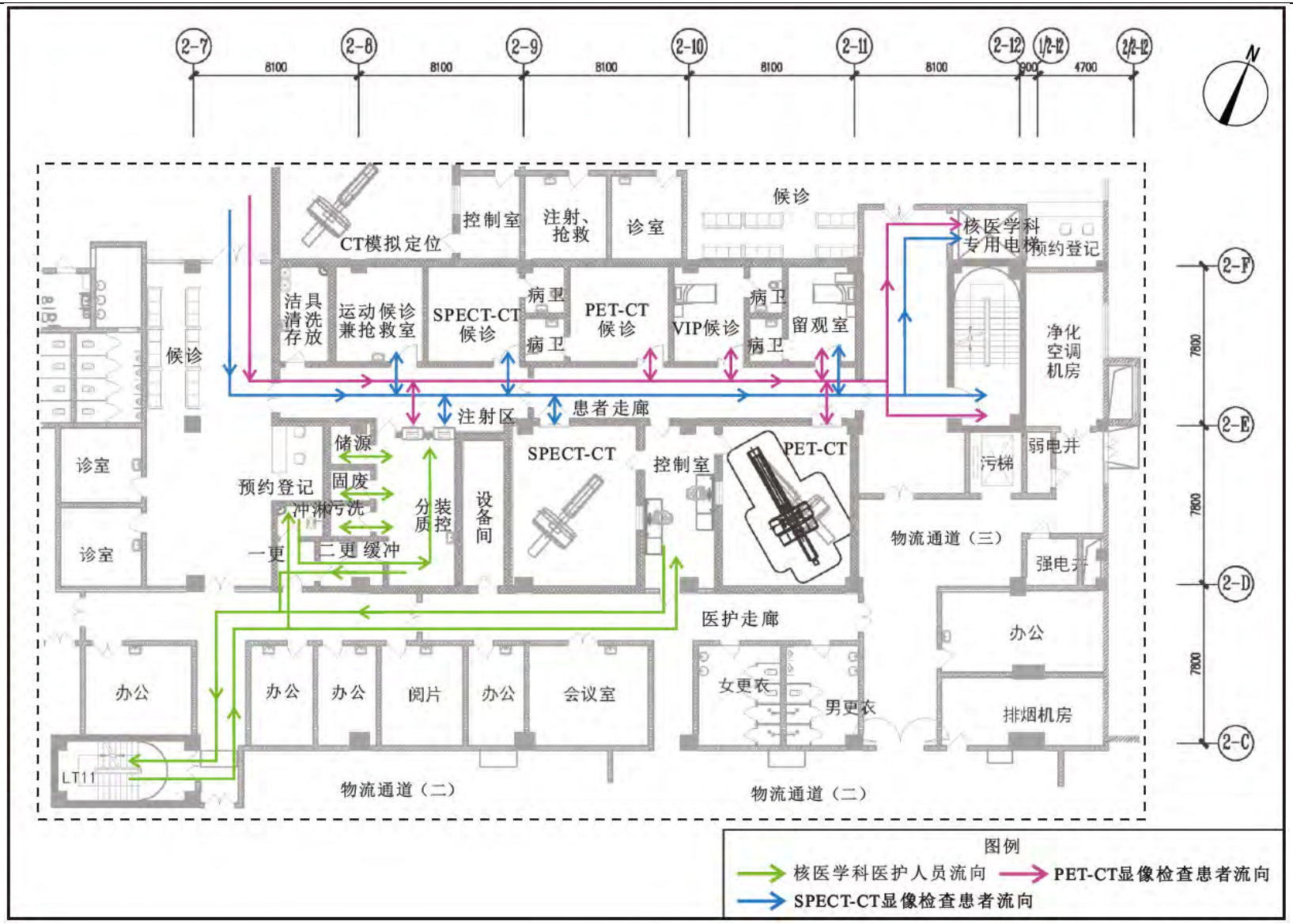


图 10-8　　核医学科工作场所医护人员及患者路径示意图

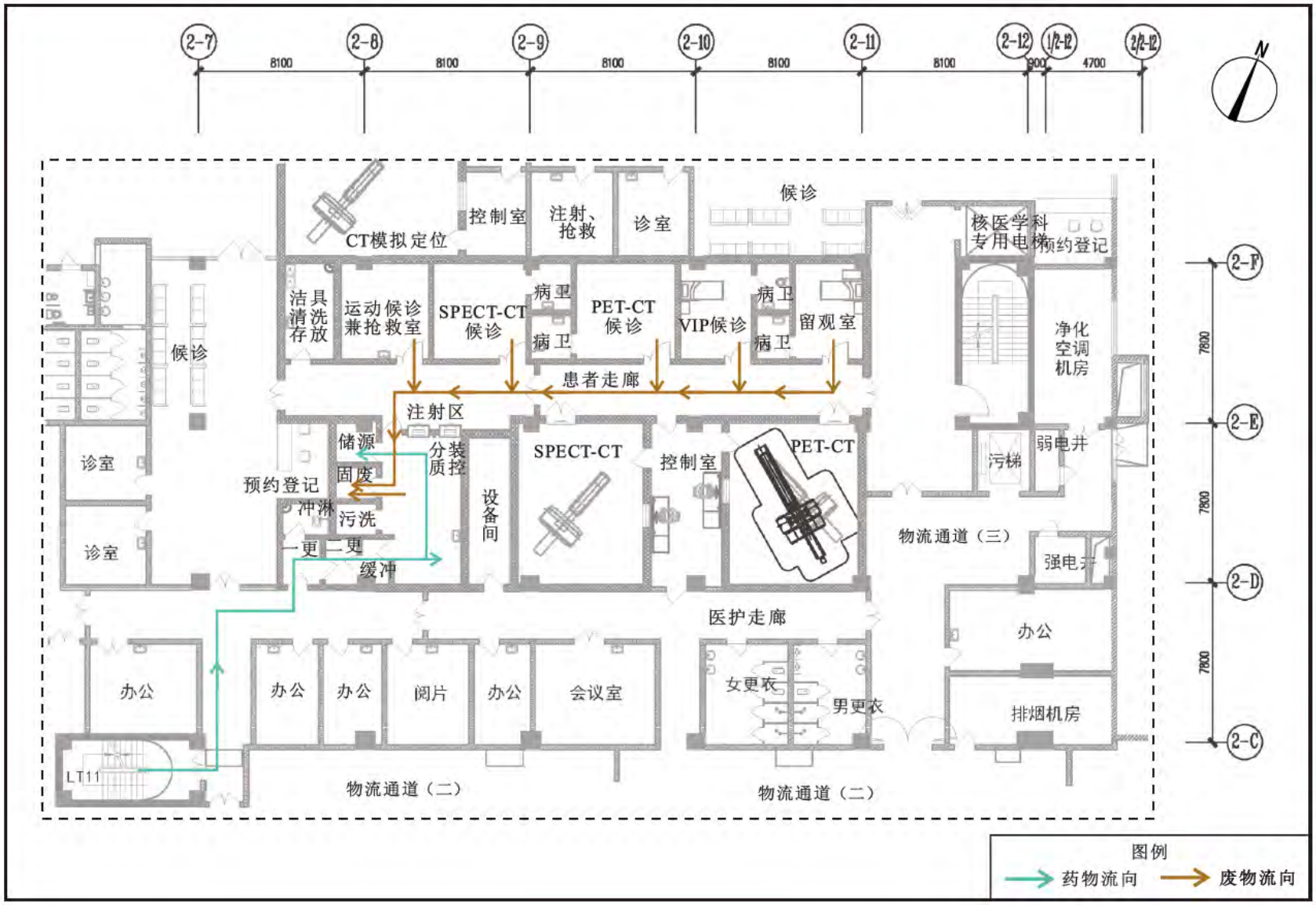


图 10-9　　核医学科工作场所物流路径示意图

4、辐射安全与防护措施

⑴ 医用电子直线加速器及后装治疗机

本项目医用电子直线加速器机房及后装治疗机房拟采取的防护安全设施情况如下：

表10-11　　医用电子直线加速器机房拟采取的防护安全设施情况

<table>
<tr><th rowspan="2">拟采取的安全措施</th><th colspan="2">拟设置情况</th><th rowspan="2">《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）</th><th rowspan="2">《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）</th><th rowspan="2">是否满足要求</th></tr>
<tr><th>医用电子直线加速器</th><th>后装治疗机</th></tr>
<tr><td>工作指示灯</td><td colspan="2">在机房入口处，门上方拟设置“当心电离辐射”警示牌和工作状态指示灯，以示该机房为控制区，并呈工作状态。工作状态指示灯以绿色信号指示非出束状态，黄色或橙色信号指示预备出束状态，红色信号指示出束治疗状态，具体位置见图10-10及图10-12</td><td rowspan="3">6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明：b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</td><td rowspan="2">6.4.3 标志
医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</td><td>满足</td></tr>
<tr><td>警示标志</td><td colspan="2">在机房门上拟设电离辐射警示标志，具体位置见图10-10及图10-12</td><td>满足</td></tr>
<tr><td>视频监视及双向对讲</td><td colspan="2">拟在加速器机房及后装治疗机房内设摄像监视系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。拟在治疗床附近、迷路附近、控制台安装对讲系统，方便控制室与机房内人员联系，若发生紧急情况，可通过对讲系统及时告知控制室工作人员，避免接受不必要的辐射，具体位置见图10-10及图10-12</td><td>6.4.6 视频监控、对讲交流系统
控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。</td><td>满足</td></tr>
<tr><td>固定式报警装置</td><td>拟在迷路内入口处的北墙上安装1个固定式剂量监测报警仪，仪器探头建议安装在迷路转角处，安装高度2.2m，仪表指示仪装在控制室内。对监测点进行实时剂量率/累计剂量监测和报警。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪</td><td>拟在机房内东墙上安装1个固定式剂量监测报警仪，仪器探头建议安装在迷路转角处，安装高度2.2m，仪表指示仪装在控制室内。具体位置见图10-12</td><td>治疗室内（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。</td><td>6.4.1 监测报警装置
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。</td><td>满足</td></tr>
</table>

	器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。具体位置见图10-10				
门机联锁、照射限束装置的联锁	拟设置门机联锁装置，机房门在开启状态下不能出束；在出束状态下，开启机房门，加速器立即停止出束；拟设置室内紧急开门装置，机房门设置有防夹伤功能，具体位置见图10-10； 当X射线限束装置被用作电子线限束系统的一部分时，应有联锁，当其实际位置和要求的位置相差超过10cm（在正常治疗距离处）时，阻止电子线	拟设置门机联锁装置，机房门在开启状态下不能出束；在出束状态下，开启机房门，后装机立即停止出束，设有断电自动回源措施及手动回源的应急处理措施；室内紧急开门装置，机房门设置有防夹伤功能，具体位置见图10-12	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a）放射治疗室应设置门一机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施 b）放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能	6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。 7.2 后装放射治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，应有手动回源的应急处理措施。	满足
急停按钮	加速器机房入口门内旁侧、机房南墙和北墙、控制台上各设1个急停按钮，安装高度1.4m，具体位置见图10-10	后装机房入口门内旁侧、迷道内墙、机房东墙、西墙和北墙、控制台上各设1个急停按钮，安装高度1.4m，具体位置见图10-12	c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；	6.4.4 急停开关 6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	满足
穿墙管线	本项目加速器机房及后装机房内穿墙管线包括通风管线、空调管线、电缆沟等，穿墙方案说明如下：直线加速器电缆沟穿墙钢管管壁厚度不小于5mm，其余部位电缆沟外套2mm厚钢板；全部电缆沟均采用活动盖板，盖板边沿不大于20mm；线缆暗线槽过墙须下挖，以满足射线防护要求；线缆暗线槽内建议进行防水、防潮、防老鼠处理，以免线缆受到损坏；预留的电缆沟仅供医疗设备电缆铺设使用，其余管线不得占用等。具体示意图见图10-11及图10-13所示		6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	/	满足

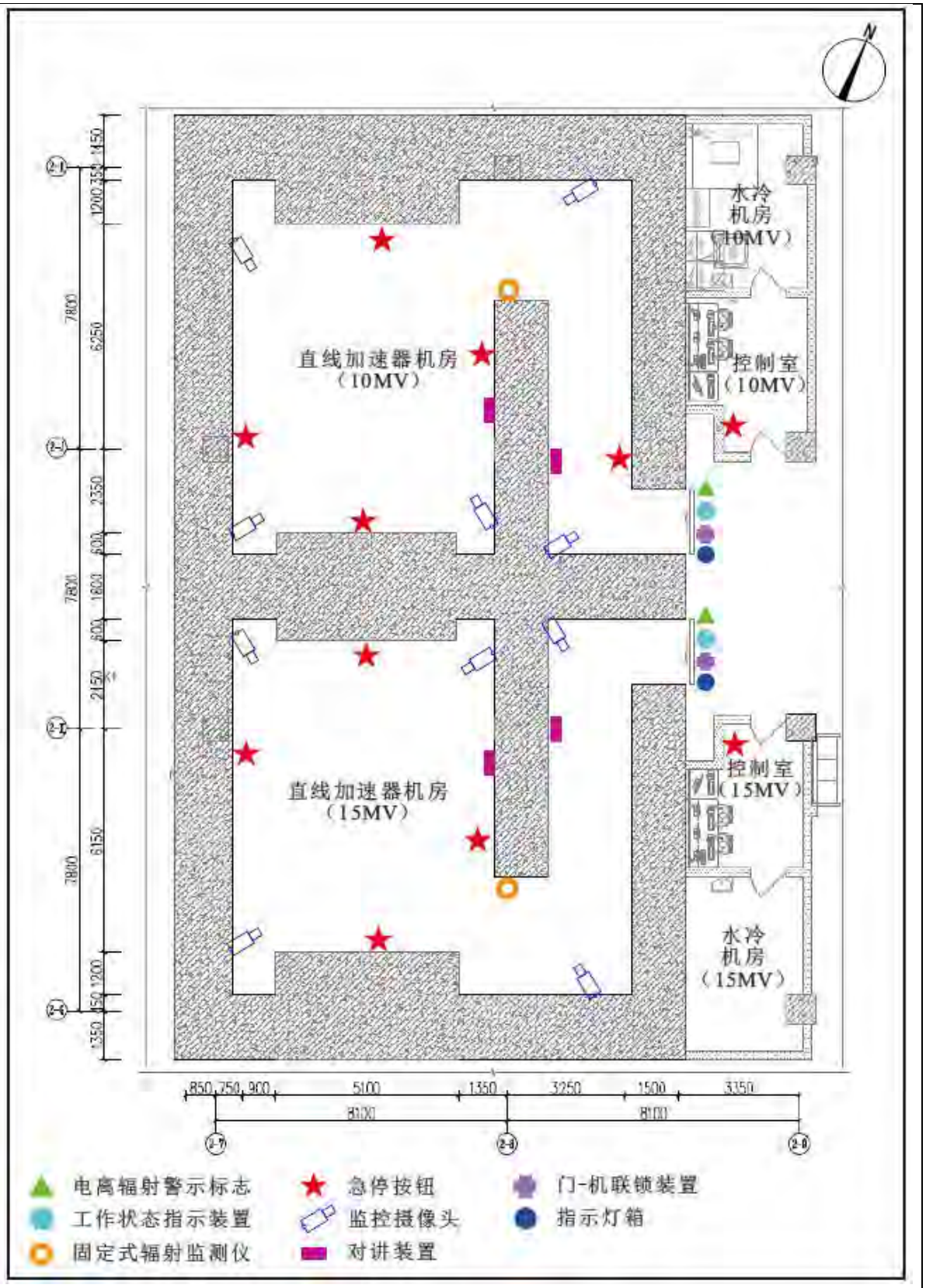


图 10-10　　加速器机房防护设施布置图

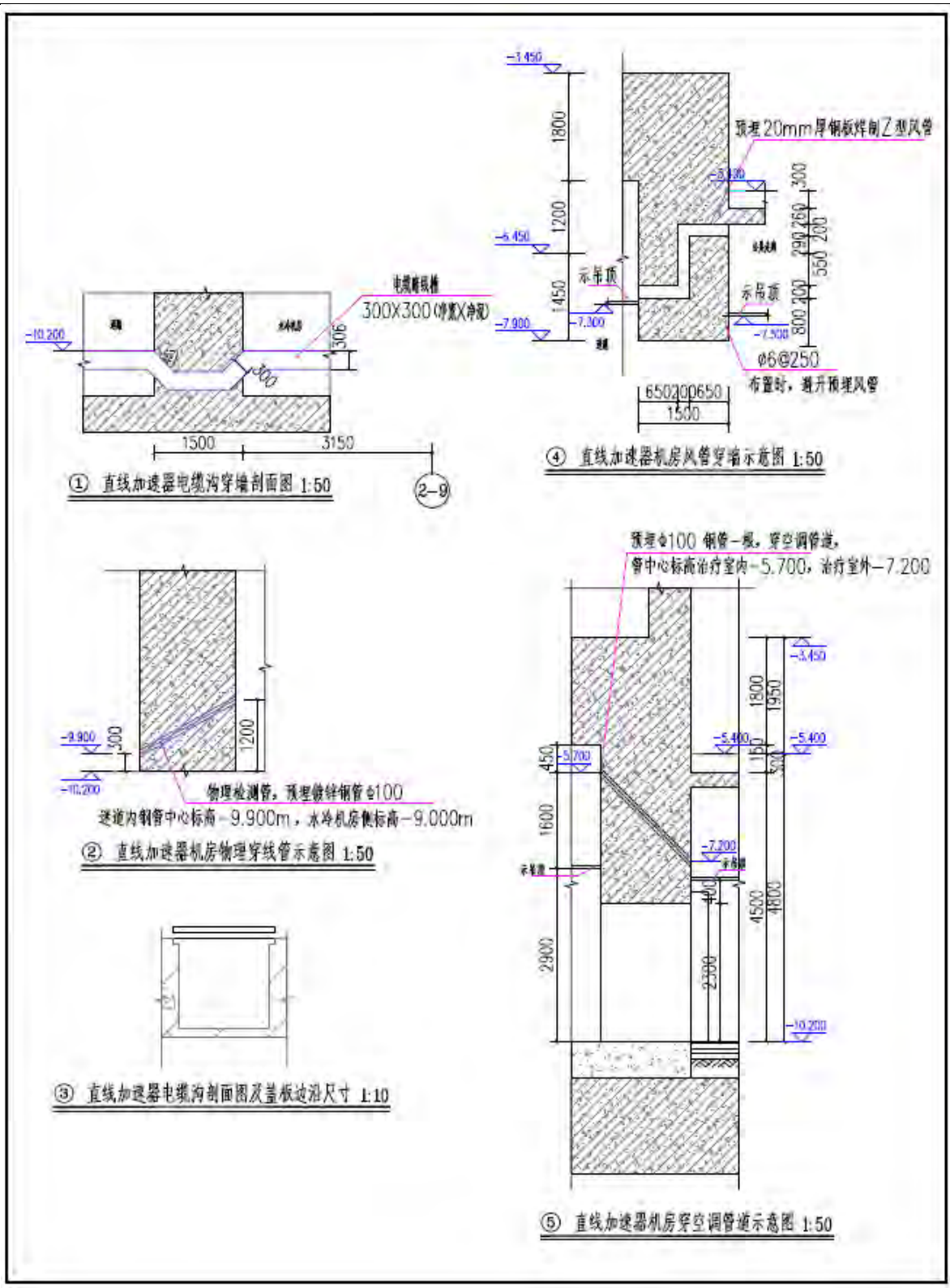


图 10-11　　加速器机房穿墙管线示意图

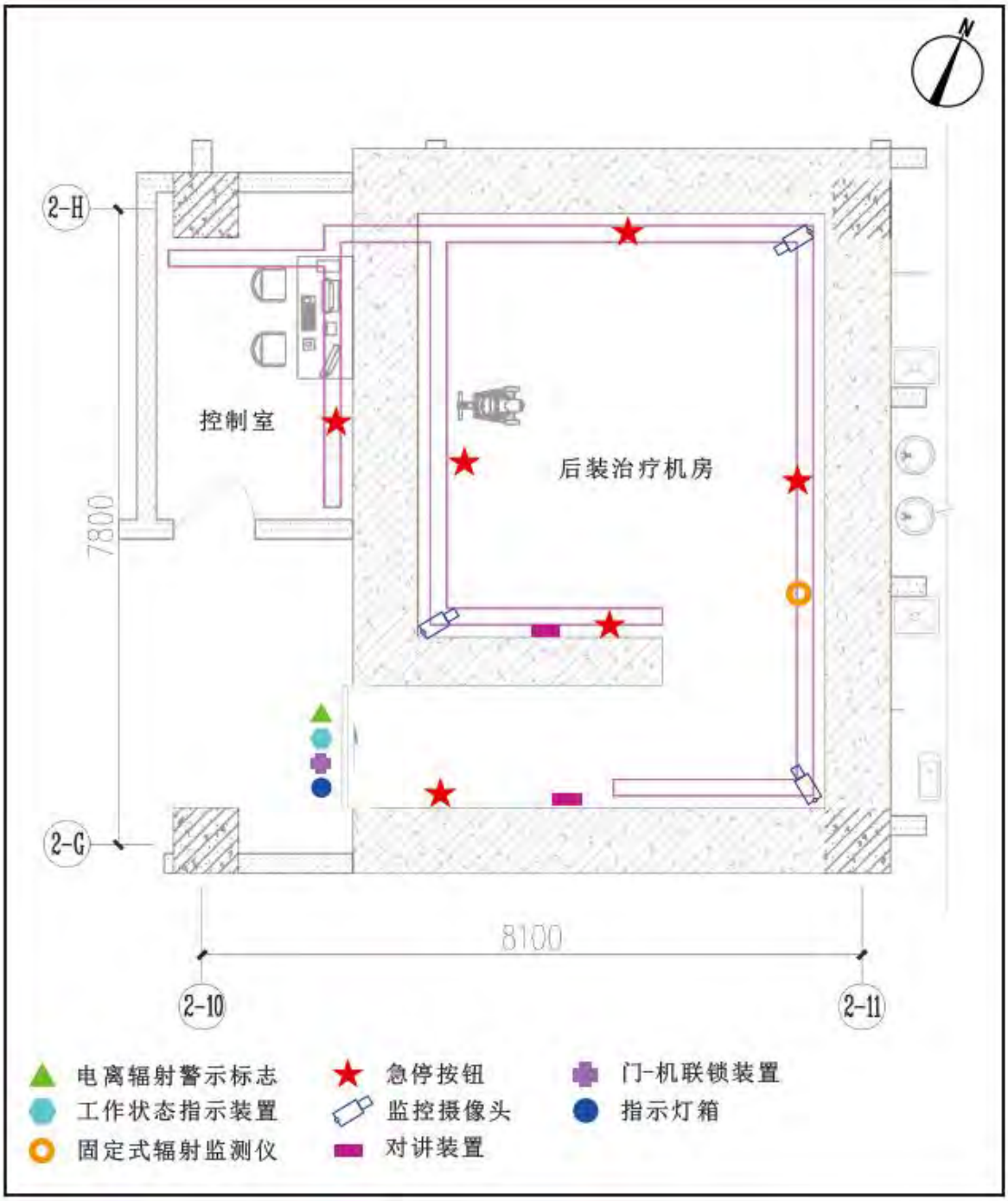


图 10-12　　后装治疗机房防护设施布置图

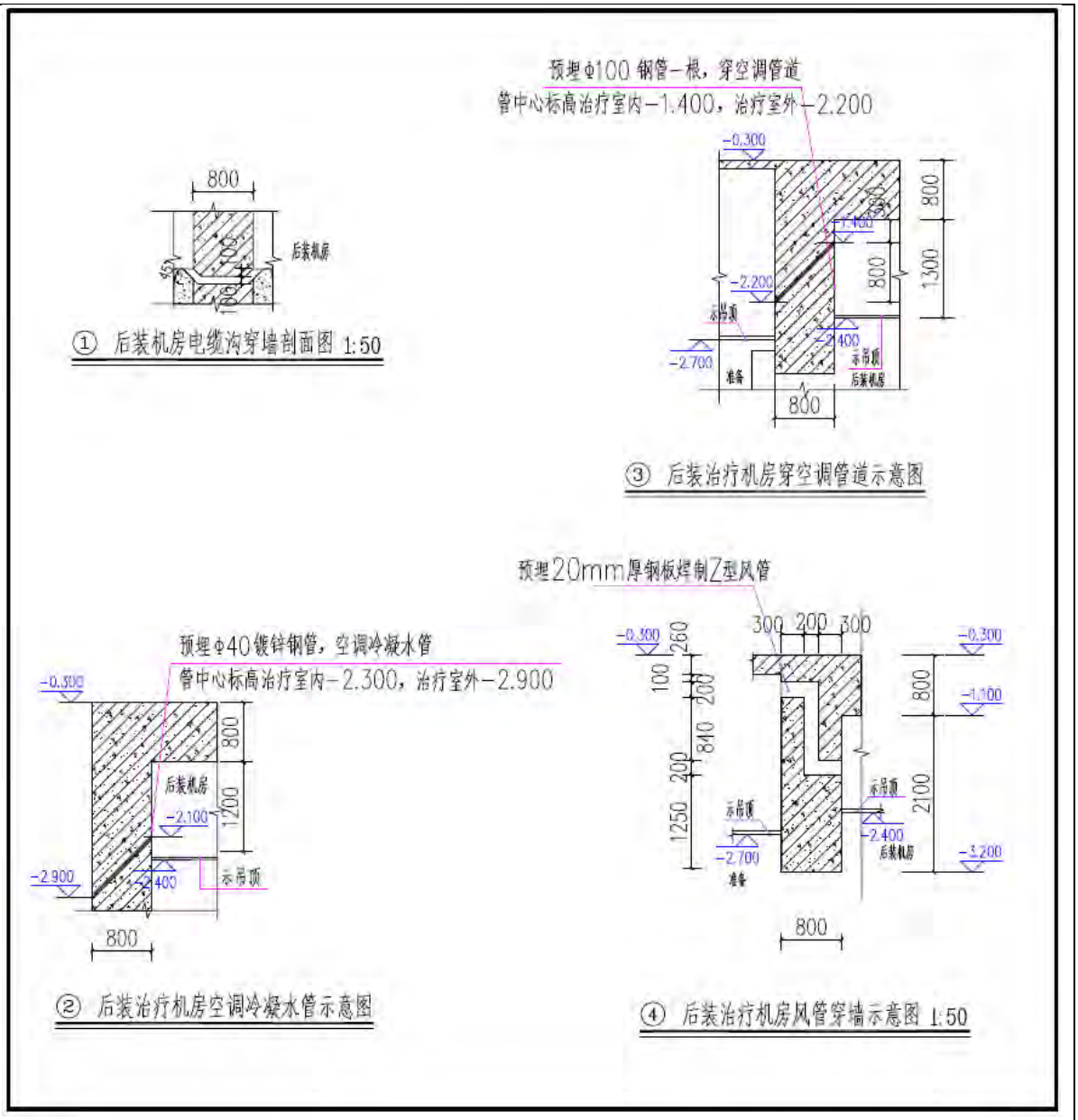


图 10-13　　后装治疗机房穿墙管线示意图

⑵ 核医学科

① 辐射安全措施

本项目核医学科辐射安全措施如下表。

表10-12　　核医学科拟采取的防护安全设施情况

<table>
<tr><th>拟采取的安全措施</th><th>拟设置情况</th><th>《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）</th><th>《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）</th><th>是否满足要求</th></tr>
<tr><td>场所布局</td><td>工作人员通道与患者通道互不交叉，控制区相对集中；分装质控室在核医学科控制区的西侧；放射性废物储存在固废室内</td><td rowspan="2">5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置：同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。</td><td>5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：
c）在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
d）在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。</td><td>满足</td></tr>
<tr><td>专门操作放射性药物的场所</td><td>设置有储源室、分装质控室、注射区对放射性药物进行贮存、分装和给药</td><td>5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：
a）对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房</td><td>满足</td></tr>
<tr><td>路径独立</td><td>核医学科工作场所设置有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径（见图10-8、图10-9），从时间空间上来控制放射性药物、放射性废物与工作人员的活动。</td><td>5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。</td><td>5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。</td><td>满足</td></tr>
</table>

专用卫生间	SPECT-CT候诊、PET-CT候诊、VIP候诊及留观室均设置患者专用卫生间	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入目应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下： b）对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室，和放置急救设施的区域等功能用房	满足
配备必要的防护设施	本项目核医学科工作场所为乙级，拟配备手套箱；为从事放射性药物操作的工作人员拟配备必要的防护用品；放射性药物拟配备药物转运防护罐及转运防护盒进行屏蔽；注射器配备有钨合金注射器防护套；SPECT-CT候诊、PET-CT候诊及留观室内拟设置铅屏风等屏蔽体	6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。 6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。 6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。 6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。 6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。 6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表2规定值，应采取相应去污措施	满足
	配备有便携式表面污染监测设备，用于工作人员在离开辐射工作场所前，进行皮肤、手部等体表部位污染测定	6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。		满足
	^{99m}Tc储存在储源室的药物转运防护罐内、^{18}F储存在分装质控室的手套箱内。定期进行辐射水平监测，建立台账	6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立合账，及时登记，确保账物相符		满足
警告标志	核医学科控制区出入口、控制区内各工作场所门、放射性药物和放射性废物储存容器外，均拟张贴电离辐射警告标志，并在相关场所如分装质控室、储源室、污洗、固废室等场所张贴相关文字说明	6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。 5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	满足

对放射性药物进行恰当屏蔽	使用专门的放射性药物的贮存容器，对装有放射性药物的注射器采取屏蔽措施		5.2.9 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。	满足
工作指示灯	SPECT-CT机房及PET-CT机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱设“射线有害、灯亮误入”警示语句；防护门拟设置自动闭门装置	6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	满足
监控装置和语音对讲系统	SPECT-CT候诊、PET-CT候诊、VIP候诊、留观室、SPECT-CT机房、PET-CT机房、控制室拟设置语音对讲装置。在储源室、分装质控室、SPECT-CT候诊、PET-CT候诊、VIP候诊、留观室、运动候诊兼抢救室、患者走廊拟安装监控装置	/	5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	满足
门禁系统	核医学部分场所的门设置门禁系统，便于更好的控制患者行走路线，如患者进出口门防护门设计单向门禁系统，只进不出；储源室门、分装质控室门、医护通道出入口门等设门禁，授权工作人员才可进出			

② 工作场所表面污染控制与防护措施

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中附录 G 对核医学工作场所的分类原则，可依据计划日操作量计算放射性核素加权活度，将核医学工作场所分为I、II、III类，具体分级情况见表 10-13。

表 10-13　　核医学工作场所分类一览表

分类	权重活度，MBq
I	＞50000
II	50～50000
III	＜50
备注：权重活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子	

本项目核医学科使用的放射性核素有 ^{99m}Tc 和 ^{18}F，工作场所分类见表 10-14。

表 10-14　　本项目核医学科工作场所具体分类

场所	核素名称	日最大操作活度（Bq）	核素的毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度（MBq）	类别
高活室①	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	1	1	23100	II类
分装质控室①	^{18}F	3.70×10^{9}	1	1	3700	II类
注射区	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	1	1	23100	II类
	^{18}F	3.70×10^{9}	1	1	3700	
运动候诊兼抢救室	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	1	10	2310	II类
	^{18}F	3.70×10^{9}	1	10	370	
SPECT-CT 候诊室	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	1	10	2310	II类
PET-CT 候诊室	^{18}F	3.70×10^{9}	1	10	370	II类
VIP 候诊室	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	1	10	2310	II类
	^{18}F	3.70×10^{9}	1	10	370	
留观室	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	1	10	2310	II类
	^{18}F	3.70×10^{9}	1	10	370	
SPECT-CT 机房	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	1	10	2310	II类
PET-CT 机房	^{18}F	3.70×10^{9}	1	10	370	II类
备注：① ^{99m}Tc 的储存在储源室的药物转运防护罐内、^{18}F 的储存和分装均在分装质控室的手套箱内，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中附录 G，操作性质修正因子保守取 1						

对照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），本项目各放射性场所为II类工作场所，II类工作场所室内表面和装备的要求见表 10-15。

表 10-15　　II类工作场所室内表面和装备的要求

分类	结构屏蔽	地面	表面	分装柜	通风	管道	盥洗与去污
II类	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	易清洗	良好通风	普通管道	洗手盆和去污设备

本项目地面平整度误差在 3mm 以内，在辐射工作区的地面采用易清洗、不易渗透的 PVC 胶。墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料。

③ 工作人员的防护措施

放射工作人员进入辐射工作场所前应穿戴放射性污染工作服或铅防护衣、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。离开辐射工作场所，需进行皮肤、手部等体表部位污染测定，确认未受放射污染，方可离开。如果发现污染，工作服需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可使用；皮肤、手部等体表部位污染，工作人员需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

④ 注射后病人防护措施

患者根据预约按时到候诊区，在语音提示下到注射区根据具体情况注射 ^{99m}Tc 或 ^{18}F，经语音提示到相应的候诊室进行候诊，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕，扫描完毕患者经患者通道出口防护门离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，拟在患者进出口门防护门设计单向门禁系统，实现“入口处患者只入不出、出口处患者只出不入”，保证控制区内患者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

⑤ 放射性药品以及放射源管理

医院核医学科应设置专职放射性药品管理人员，具体负责放射性药品交接手续的办理。当送药单位将放射性药品运至医院核医学科内，核医学科放射性药品管理人员核对预定的放射性药品数量、活度，进行入库登记。

医院应建立放射性药品台账管理制度，明确购置、到货、暂存、使用等环节放射性药物量。定期进行盘点，做到账物相符；日常由值班人员巡视检查；出入口安装摄像头、红外报警装置，并入科室监控系统。

⑥ 防护用品配备

项目拟配置的个人防护用品和工作场所防护用品见表 10-16。

表 10-16　　核医学科工作场所防护用品

序号	种类	用途	拟设置场所	性能要求	数量
1	便携式表面污染监测设备	用于表面污染水平的检测	核医学科工作场所	/	2 个
2	个人剂量报警仪	工作时佩戴	/	/	2 个
3	便携式 X、γ 射线辐射监测仪	剂量监测	/	/	1 个
4	手套箱	药物分装	分装质控室	屏蔽厚度≥30mmPb，风速≥0.5m/s	2 套
5	铅眼镜、铅衣、铅帽、铅围脖四件为一套	工作人员防护	分装质控室	0.5mmPb	2 套

6	钨合金翻转防护盒	药物转运	分装质控室	屏蔽厚度为 50mmPb	2 个
7	药物转运防护罐	药物转运	储源室	屏蔽厚度为 40mmPb	2 个
8	钨合金注射器屏蔽套	注射器防护	分装质控室	屏蔽厚度为 15mmPb；规格：3ml（2 个）、5ml（2 个）	4 个
9	^{99m}Tc 注射器防护套	注射器防护	分装质控室	屏蔽厚度为 5mmPb；规格：3ml（2 个）、5ml（2 个）	4 个
10	注射器运输防护盒	注射器运输	分装质控室	屏蔽厚度为 8mmPb	2 个
11	正电子药物使用废物桶	储存放射性固体废物	分装质控室、PET-CT 候诊室、VIP 候诊室、留观室、PET 检查区	屏蔽厚度为 20mmPb	5 个
12	^{99m}Tc 药物使用废物桶	储存放射性固体废物	SPECT-CT 候诊室、SPECT 检查区	屏蔽厚度为 5mmPb	5 个
13	移动铅屏风	用于患者之间的防护	SPECT-CT 候诊室、PET-CT 候诊室	屏蔽厚度为 10mmPb	2 个

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求，结合项目实际情况，本次评价要求核医学科的固废室内应配置若干放射性废物桶，用于收集各个场所内产生的放射性废物。

⑶ DSA

本项目 DSA 工作场所主要包括综合医院介入中心（2 台）、综合医院手术中心（1 台）及传染病医院手术中心（1 台），各工作场所拟采取的辐射安全与防护措施见表 10-17～表 10-18。

表 10-17　　DSA 机房尺寸符合性分析

项目		机房有效使用面积	GBZ 130-2020 标准要求	是否满足要求	机房涉及最小单边长度	GBZ 130-2020 标准要求	是否满足要求
综合医院介入中心	介入手术室 1	42.57m^2	≥20m^2	满足	6.45m	≥3.5m	满足
	介入手术室 2	41.56m^2	≥20m^2	满足	5.98m	≥3.5m	满足
综合医院手术中心	介入手术室（OR-12）	84.09m^2	≥20m^2	满足	6.95m	≥3.5m	满足
传染病医院手术中心	介入手术室（OR-4）	46.78m^2	≥20m^2	满足	6.80m	≥3.5m	满足

表 10-18　　DSA 机房辐射安全与防护措施符合性分析表

<table>
<tr><td rowspan="3">项目</td><td colspan="4">建设情况</td><td colspan="2">辐射防护要求</td><td rowspan="3">是否满足要求</td></tr>
<tr><td colspan="2">综合医院介入中心</td><td>综合医院手术中心</td><td>传染病医院手术中心</td><td rowspan="2">GBZ 130-2020 标准要求</td><td rowspan="2">铅当量</td></tr>
<tr><td>介入手术室 1</td><td>介入手术室 2</td><td>介入手术室（OR-12）</td><td>介入手术室（OR-4）</td></tr>
<tr><td>观察窗口</td><td>机房西侧建设有观察窗口，铅当量为 4mmPb</td><td>机房北侧建设有观察窗口，铅当量为 4mmPb</td><td>机房南侧建设有观察窗口，铅当量为 4mmPb</td><td>机房西侧建设有观察窗口，铅当量为 4mmPb</td><td>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患者和受检者状态及防护门开闭情况。</td><td>2mmPb</td><td>满足</td></tr>
<tr><td rowspan="2">布局及通风</td><td colspan="4">机房内不堆放与该设备诊断工作无关的杂物</td><td>机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物；</td><td>/</td><td>满足</td></tr>
<tr><td colspan="4">均拟设置排风管道</td><td>机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风</td><td>/</td><td>满足</td></tr>
<tr><td rowspan="6">防护要求</td><td colspan="4">均配备电离辐射警告标志</td><td>机房门外应有电离辐射警告标志；</td><td>/</td><td>满足</td></tr>
<tr><td colspan="4">配备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</td><td>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；</td><td>/</td><td>满足</td></tr>
<tr><td colspan="4">候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏</td><td>候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；</td><td>/</td><td>满足</td></tr>
<tr><td colspan="4">控制室进机房门采用平开式机房门，设置自动闭门装置，防护门铅当量为 4mmPb</td><td rowspan="2">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；</td><td>2mmPb</td><td>满足</td></tr>
<tr><td colspan="4">患者防护门拟设计电动推拉，设置防夹装置，防护门铅当量为 4mmPb</td><td>2mmPb</td><td>满足</td></tr>
<tr><td colspan="4">工作状态指示灯能与机房门有效关联</td><td>工作状态指示灯能与机房门</td><td>/</td><td>满足</td></tr>
</table>

				有效关联		
辅助防护设施（工作人员）	铅防护吊帘 2 套，铅当量为 0.5mmPb	铅防护吊帘 1 套，铅当量为 0.5mmPb	铅防护吊帘 1 套，铅当量为 0.5mmPb	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	床侧防护帘 2 套，铅当量为 0.5mmPb	床侧防护帘 1 套，铅当量为 0.5mmPb	床侧防护帘 1 套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	移动铅防护屏 2 套，铅当量为 2mmPb	移动铅防护屏 1 套，铅当量为 2mmPb	移动铅防护屏 1 套，铅当量为 2mmPb		2mmPb	满足
个人防护用品（工作人员）	铅橡胶颈套 10 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶颈套 5 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶颈套 5 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	铅橡胶帽子 10 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶帽子 5 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶帽子 5 套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	铅橡胶围裙 10 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶围裙 5 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶围裙 5 套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	铅防护眼镜 10 套，铅当量为 0.5mmPb	铅防护眼镜 5 套，铅当量为 0.5mmPb	铅防护眼镜 5 套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	铅防护手套 10 套，铅当量为 0.025mmPb	铅防护手套 5 套，铅当量为 0.025mmPb	铅防护手套 5 套，铅当量为 0.025mmPb	介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb	0.025mmPb	满足
个人防护用品（患者及受检者）	铅橡胶颈套 2 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶颈套 1 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶颈套 1 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	铅橡胶性腺防护围裙 2 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶性腺防护围裙 1 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶性腺防护围裙 1 套，铅当量为 0.5mmPb			满足

	铅橡胶帽子 2 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶帽子 1 套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶帽子 1 套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	儿童铅橡胶颈套 2 套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶颈套 1 套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶颈套 1 套，铅当量为 0.5mmPb		应为不同年龄儿童的不同检查，配备由防护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb	满足
	儿童铅橡胶性腺防护围裙 2 套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶性腺防护围裙 1 套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶性腺防护围裙 1 套，铅当量为 0.5mmPb			
	儿童铅橡胶帽子 2 套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶帽子 1 套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶帽子 1 套，铅当量为 0.5mmPb			

根据上表可知，本项目 DSA 各工作场所辐射防护设施拟建设情况以及个人防护用品拟配备情况均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

5、布局合理性分析

⑴ 综合医院

① 放疗科

根据医用电子直线加速器机房及后装治疗机房的平面布置情况，均避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的布局要求。

② 核医学科

根据核医学科的平面布置情况，本项目核医学科布局合理性分析如下：

a. 各工作场所设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道相对短捷；

b. 控制区相对集中，分装质控室集中在核医学科的南侧，防止交叉污染；

c. 放射性药物存放在分装质控室或储源室内，范围较小；放射性废物存放至固废室内；给药后患者经患者走廊至 SPECT-CT 候诊室、PET-CT 候诊室、VIP 候诊室、留观室等，行动路线较短，活动空间较小；

d. 核医学科在患者进出口门防护门设计单向门禁系统，只进不出；储源室门、分装质控室门、医护通道出入口门等设门禁，授权工作人员才可进出；各个场所及地面均设置有相应标识等。采取以上措施后，控制了无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免了工作人员和公众受到不必要的照射；

e. 在分装质控室出入口设置有缓冲区，为工作人员提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；

f. 给药后患者使用的 SPECT-CT 候诊、PET-CT 候诊、VIP 候诊及留观室均设置有患者专用卫生间。

综上，核医学科布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求。

③ 介入中心

拟在综合医院门诊医技楼一层南侧的介入中心配置 2 台 DSA，主要布置有介入手术室、控制室、机房等。

④ 手术中心（介入手术室）

拟在综合医院门诊医技楼四层手术中心南侧的介入手术室配置 1 台 DSA，主要布置有介入手术室、控制室、缓冲区等。

⑵ 传染病医院

① 手术中心（介入手术室）

拟在传染病医院门诊医技楼四层手术中心中部的介入手术室配置 1 台 DSA，主要布置有介入手术室、控制室、机房等。

本项目使用 DSA 的各个手术室布局合理性分析如下：

I 介入手术室 1 内的 DSA 设备位于中部，患者防护门位于北侧，工作人员防护门、观察窗均位于西侧，管线口位于机房的东侧；介入手术室 2 内的 DSA 设备位于中部，患者防护门位于西侧，工作人员防护门、观察窗均位于北侧，管线口位于机房的南侧；综合医院手术中心介入手术室内的 DSA 设备位于中部，患者防护门位于东侧，工作人员防护门、观察窗均位于南侧，管线口位于机房的西侧；传染病医院手术中心介入手术室内的 DSA 设备位于中部，患者防护门位于北侧，工作人员防护门、观察窗均位于西侧，管线口位于机房的东侧和北侧，均避免了有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

II 本项目各 DSA 机房尺寸见表 10-17。

综上，本项目使用 DSA 的各个手术室布局合理，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“6.1 X 射线设备机房布局”要求。

二、三废的治理

1、医用电子直线加速器

⑴ 放射性固体废物处置措施

该项目医用电子直线加速器产生的放射性固体废物主要为加速器废金属靶、废辅助过滤器等，只有在需要更换金属靶、辅助过滤器等部件时才产生（通常 1 个金属靶使用 7～10 年才更换），这些部件作为放射性固废，由有资质的加速器供应商更换并带走处置，不在医院贮存。

⑵ 废气处置措施

医用电子直线加速器在运行过程中，X 射线与空气发生电离作用会产生微量的臭氧和氮氧化物等有害气体，本项目地下二层加速器机房拟采用机械通风，通风系统由多台排风机和相应通风管道组成。

本项目拟在加速器（10MV）机房南侧主屏蔽墙两侧位置和加速器（15MV）机房北侧主屏蔽墙两侧位置设置排风装置，排风口风管底部（吸风口）离地约 30cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，在顶棚上方经防护迷道，由防护门上方通往室外。送、排风管道在机房防护门洞口上方呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，通过折叠设计，增加管道中射线的散射次数。臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至放疗科西南侧的排风井，高空排放，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”排风管道布局见图 10-14。

每个机房拟设计的总排风量约为 2000m^3/h，每个加速器机房尺寸为 10.4m×11.2m×3.7m（净高），经计算每小时的换气次数为：N=Q/V=2000/(10.4×11.2×3.7)=4.6 次/h，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

⑶ 废水处置措施

加速器运行时，设备中内循环冷却水可能被活化而产生感生放射性，放射性核素主要为 ^{15}O、^{16}N，其半衰期都很短，只需放置较短的时间其活度就可以衰减至可忽略水平，因此正常运行时被活化的水对人体的危害较小。另外，项目加速器冷却水封闭循环，不外排，不会对周围环境产生影响。

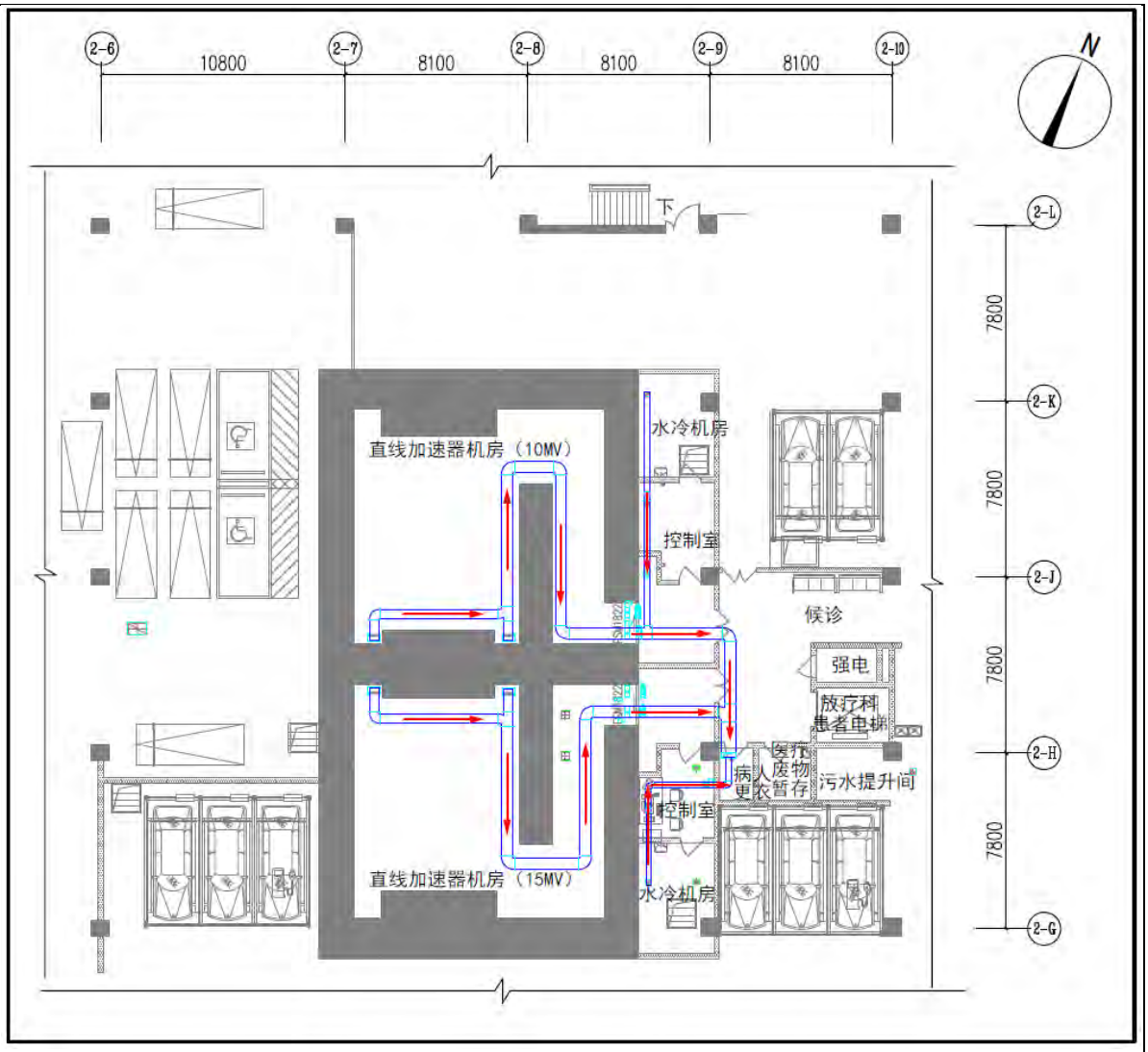


图 10-14　　加速器机房排风管道布局图

2、后装治疗机

⑴ 放射性固体废物处置措施

项目后装治疗机使用的 ^{192}Ir 属于 III 类放射源，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十八条，转让 I 类、II 类、III 类放射源的，转让双方应当签订废旧放射源返回协议。因此，在确定采购放射源后，医院应与供源单位签订废旧放射源返回协议，废旧放射源由放射源供应单位负责回收处置。

⑵ 废气处置措施

后装治疗机在运行过程中，空气在 γ 射线照射下发生电离作用产生少量臭氧及 NOx，本项目地下一层后装治疗机房拟采用机械通风，通风系统由多台排风机和相应通风管道组成。

本项目拟在后装治疗机房西北角设置排风装置，风管底部（吸风口）离地约

30cm，再沿墙西北角墙体内壁向上接近顶板处，在装饰天花板上方经防护迷道，由防护门上方通往室外。送、排风管道在机房防护门洞口上方呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，通过折叠设计，增加管道中射线的散射次数。臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至放疗科西南侧的排风井，高空排放。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”排风管道布局见图 10-15。

后装治疗机房拟设计的排风量约为 1000m^3/h，每个后装治疗机机房尺寸为 7.3m×5.0m×4.6m（净高），经计算每小时的换气次数为：N=Q/V=1000/(7.3×5.0×4.6)=6.0 次/h，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

⑶ 废水处置措施

后装治疗机运行过程中无放射性废水产生。

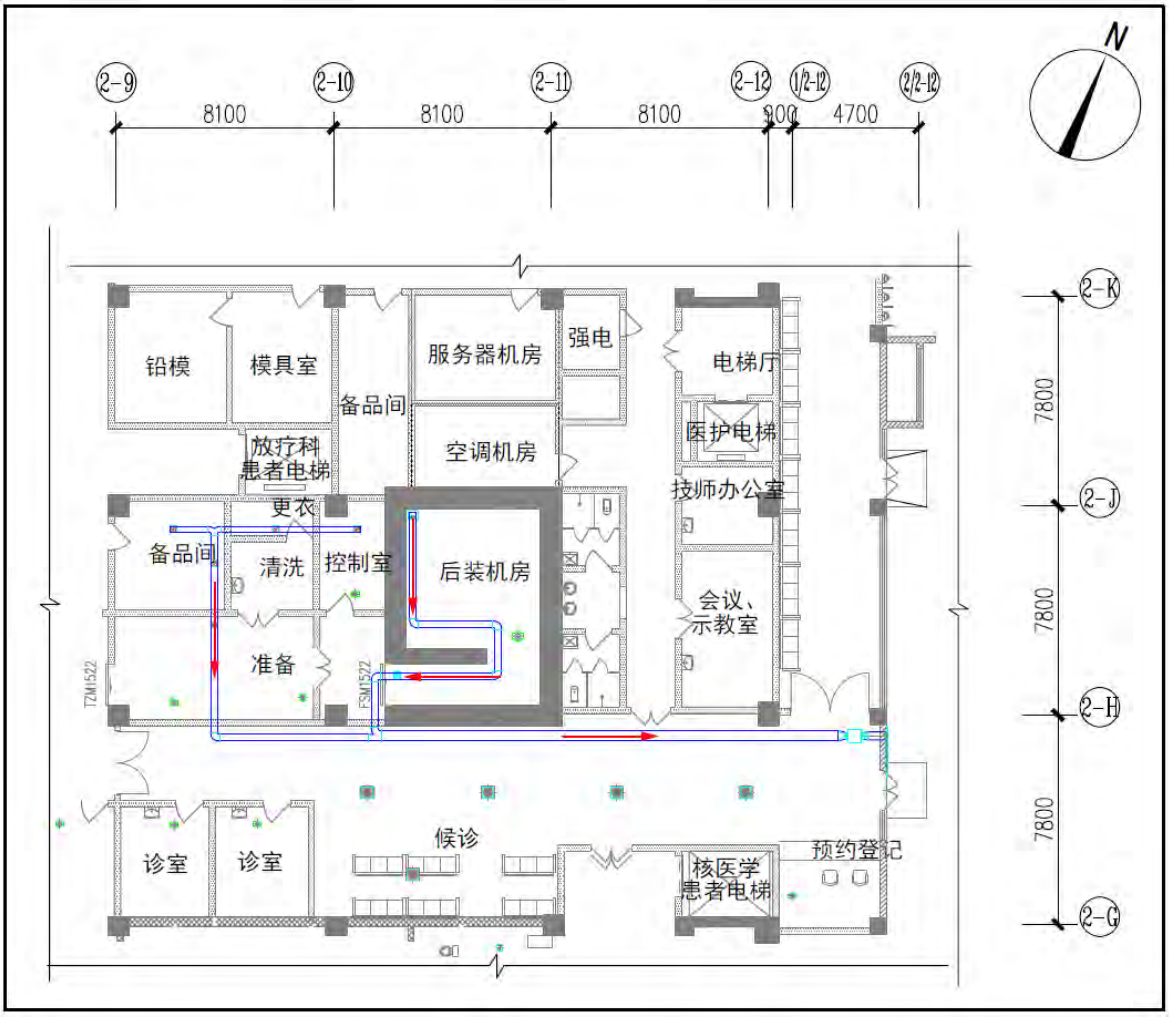


图 10-15　　后装治疗机房排风管道布局图

3、核医学科

⑴ 放射性固体废物处置措施

本项目核医学科放射性固体废物主要来源于核医学放射性药物操作过程中污染的注射器、手套、药棉、纱布、吸水纸等；废气处理产生的废活性炭。

① 放射性固体废物

针对核医学科各场所的放射性固体废物，先放置至各相关工作场所的铅防护废物桶内，铅防护废物桶贴上电离辐射警告标志，放置专用塑料袋收纳废物，装满后密封每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天收集时间。一天工作结束或第二天开始工作前，将铅防护废物桶内的固体废弃物转送到固废室的铅防护废物桶内，对注射器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

涉及 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的放射性固体废物需分开存放，根据《核医学辐射防护与安全

要求》（HJ 1188-2021）“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天”，^{99m}Tc 的半衰期为 6.02h，^{18}F 的半衰期为 109.8min，故涉及 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的放射性固体废物需暂存超过 30 天，其活度低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的要求，即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2，所有放射性固体废物均经检测合格后，拟由工作人员在一天工作结束或第二天开始工作前，将固废室放射性固体废物经南侧物流通道从东侧污梯运送出核医学科，作为医疗废物进行处置。

② 废活性炭

本次环评要求活性炭过滤装置应加强维护，建议采用蜂窝状活性炭，活性炭过滤装置的活性炭预计每年更换一次，每次填装量约为100kg，则废活性炭产生量约为100kg/a。将更换下来的废活性炭（含放射性核素）采用专用废物袋密封，并在显著位置标注废物种类、核素种类、活度水平和存放日期等说明。塑料袋密封后转移至固废室，经暂存超过 30 天后，废物管理人员经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求，即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为一般固体废物处理。

本项目拟在核医学工作场所控制区各个房间至少配备 1 个放射性废物桶。按《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的规定，每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg，^{99m}Tc 和 ^{18}F 废物进行分类收集和分别处理。

⑵ 废气治理措施

本项目核医学科废气主要为放射性药物 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 产生的气溶胶以及机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物。

本项目地下一层核医学科操作放射性药物场所级别达到乙级，合成和操作放射性药物拟采用手套箱，通风系统拟采用机械通风，由多台排风机和相应通风管道组成（排风管道平面图详见图 10-16）。

① 储源室、固废室、污洗间、冲淋、一更、二更、缓冲区共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从位于南侧的排风口通往楼顶；

② 分装质控室内的手套箱单独设置一套排风系统，在立管上安装电动风阀与手套箱联动，管道经医生通道，至办公室外南侧的排风口最终通往综合楼楼顶，手套

箱及排气口设活性炭过滤器；手套箱排风管道，拟设风机风量为 600m^3/h，通风管道尺寸为 400mm×200mm，排风管道的风速估算为：$V=\frac{600}{0.4\times0.2}\div3600=2.1m/s$；

③ SPECT-CT 机房、PET-CT 机房设一套排风系统，分别于机房南墙西侧和南墙东侧距地 0.3m 处各设计一个排风口，管道经医生通道，由更衣室外南侧的排风口通往楼顶；

④ 北侧的洁具清洗存放、运动候诊兼抢救室、SPECT-CT 候诊室、卫生间、PET-CT 候诊室、VIP 候诊室、留观室共设一套排风系统，排风口设于各房间顶部，管道经放疗科候诊区至东侧的排风口最终通往综合楼楼顶。

综上，核医学科的通风设置满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

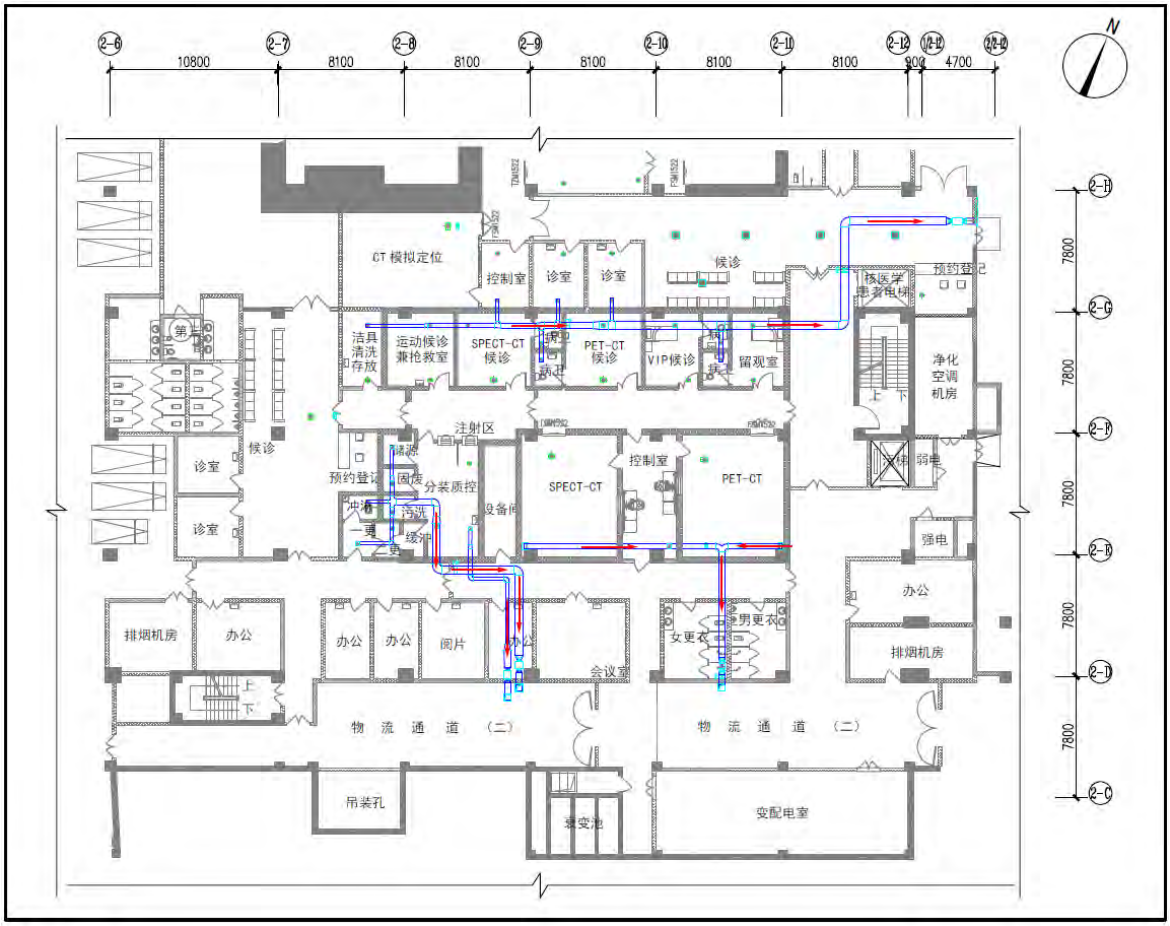


图 10-16　　核医学科排风管道布局图

⑶ 废水治理措施

① 衰变池及排水管道设计

本项目核医学科拟设置 1 座槽式衰变池，位于综合医院地下一层，根据建设单位提供的图纸，衰变池采用 250mm 厚钢筋混凝土浇筑，槽体四面墙体、底板进行防

渗漏和耐酸碱处理。衰变池包括 1 个 15.86m^3 沉淀池和 3 个各 14.74m^3 的衰变池池体。每个衰变池内均安装液位计及取样阀，设置溢水口，以防止废液溢出。核医学科水龙头拟设置为感应式或脚踏式，对排放含有放射性污水的管道拟采用机制铸铁（含铅）管道，水平横管应敷设在垫层内或专用防辐射吊顶内，立管安装在壁厚不小于 150mm 的混凝土管道井内。放射性废水处理设施平面图及剖面图见 10-17。

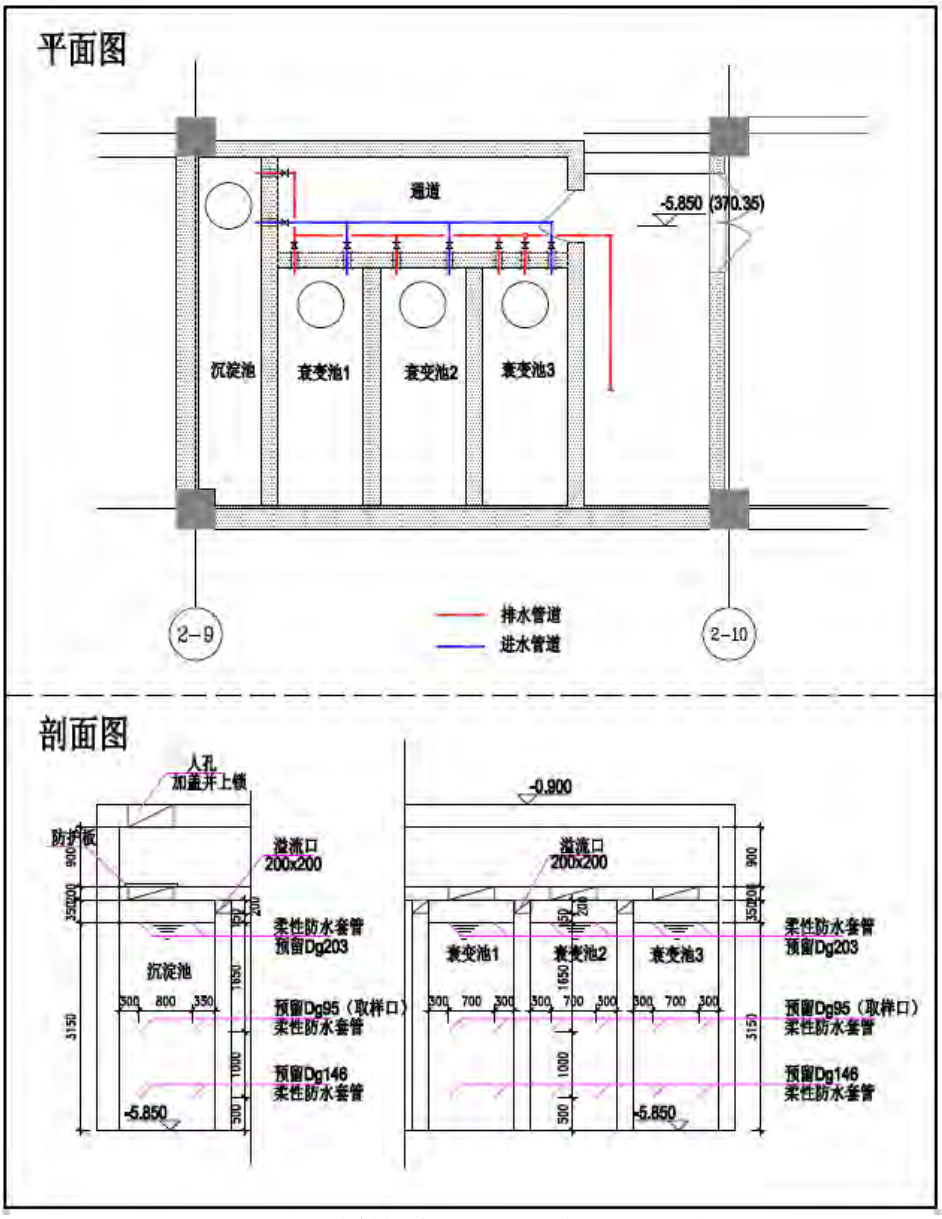


图 10-17　　放射性废水处理设施平面图及剖面图

衰变池运行过程：①放射性废水通过专用管道进入沉淀池，待固体污物沉降，到达高液位时，开启 1#衰变池中的电动进水阀，废水通过自流方式进入 1#衰变池，液面降低时自流停止，直至 1#衰变池槽体注满后，1#衰变池中的传感器发出信号，该池中的电动进水阀自动关闭，1#衰变池槽体停止进水。②同时开启 2#衰变池的电

动进水阀，当沉淀池水位再次到达高水位时，2#衰变池进水，当 2#衰变池注满后，池中的传感器发出信号，电动进水阀自动关闭，2#衰变池槽体停止进水。③同时开启 3#衰变池的电动进水阀，3#衰变池进水，当 3#衰变池注满后，1#衰变池取样监测结果满足相应标准要求后，电脑指令自动打开 1#衰变池的排水阀并同时打开排污泵启动排水。

② 衰变池容积可行性估算

项目每天产生的放射性废水总量为 0.592m^3/d，在 3#衰变池注满时，1#衰变池最后一天排入的污水已暂存 48 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求。此时通过取样阀对废水进行取样检测，监测结果满足《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）中规定的总 β 放射性＜10Bq/L 以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的放射性废液总排放口总 β 不大于 10Bq/L 的要求后，由排水管道排放至医院污水处理站。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关规定，评价要求：

a. 沉淀池内安装铰刀泵，避免池内污泥沉积；

b. 排水管采用大功率无堵塞排污泵，一备一用；

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

4、DSA

⑴ 固体废物处置措施

介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医疗废物，经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置。

⑵ 废气治理措施

本项目 DSA 在曝光过程中会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。通风设施拟布置情况如下：

① 综合医院介入中心

介入手术室 1 和介入手术室 2 均单独使用一套净化空调机组，通过排风管道集中从介入中心的南侧排风口通往楼顶。

综合医院介入中心的排风管道布置图详见图 10-18。

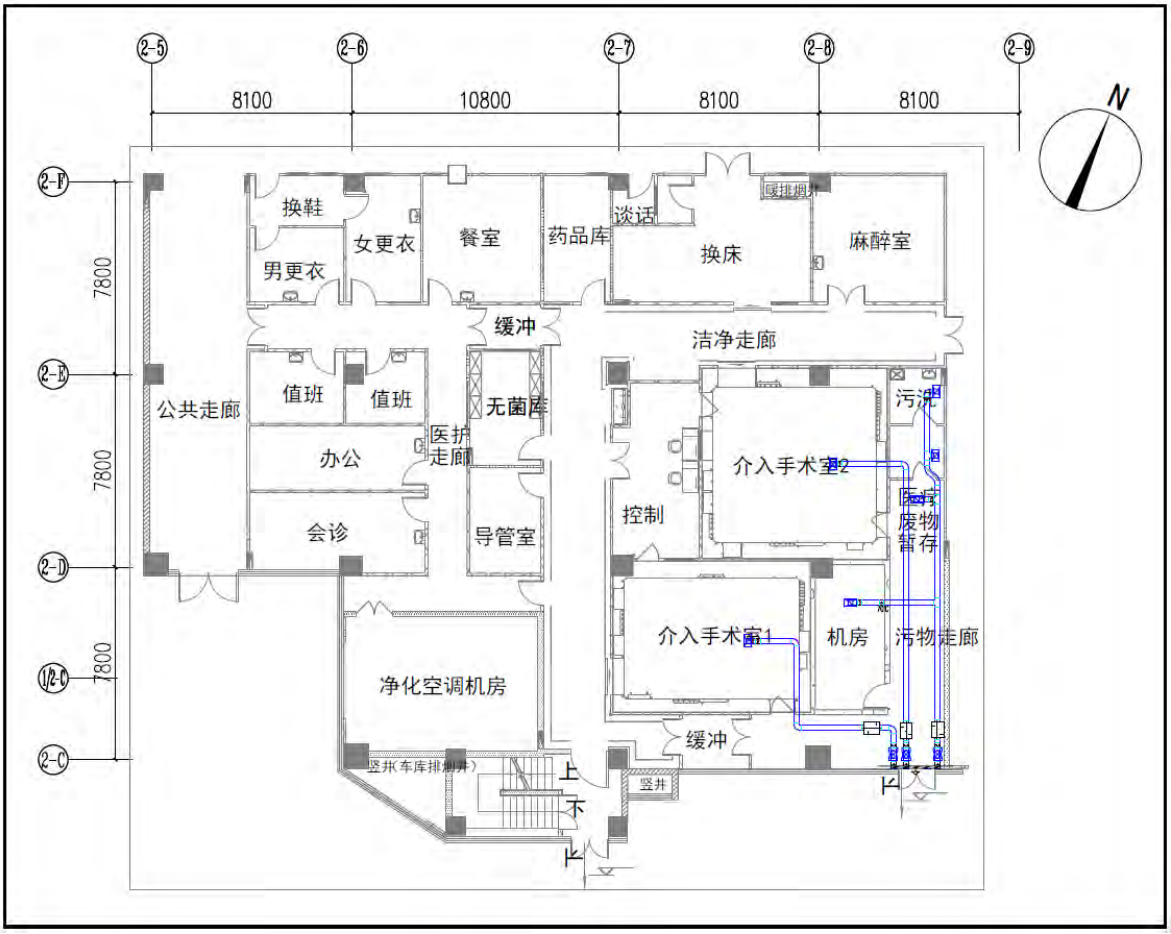


图 10-18　　综合医院介入中心的排风管道布置图

② 综合医院手术中心

介入手术室（OR-12）单独使用一套净化空调机组，通过排风管道集中从机房的东侧排风口通往楼顶。

综合医院手术中心的介入手术室（OR-12）的排风管道布置图详见图 10-19。

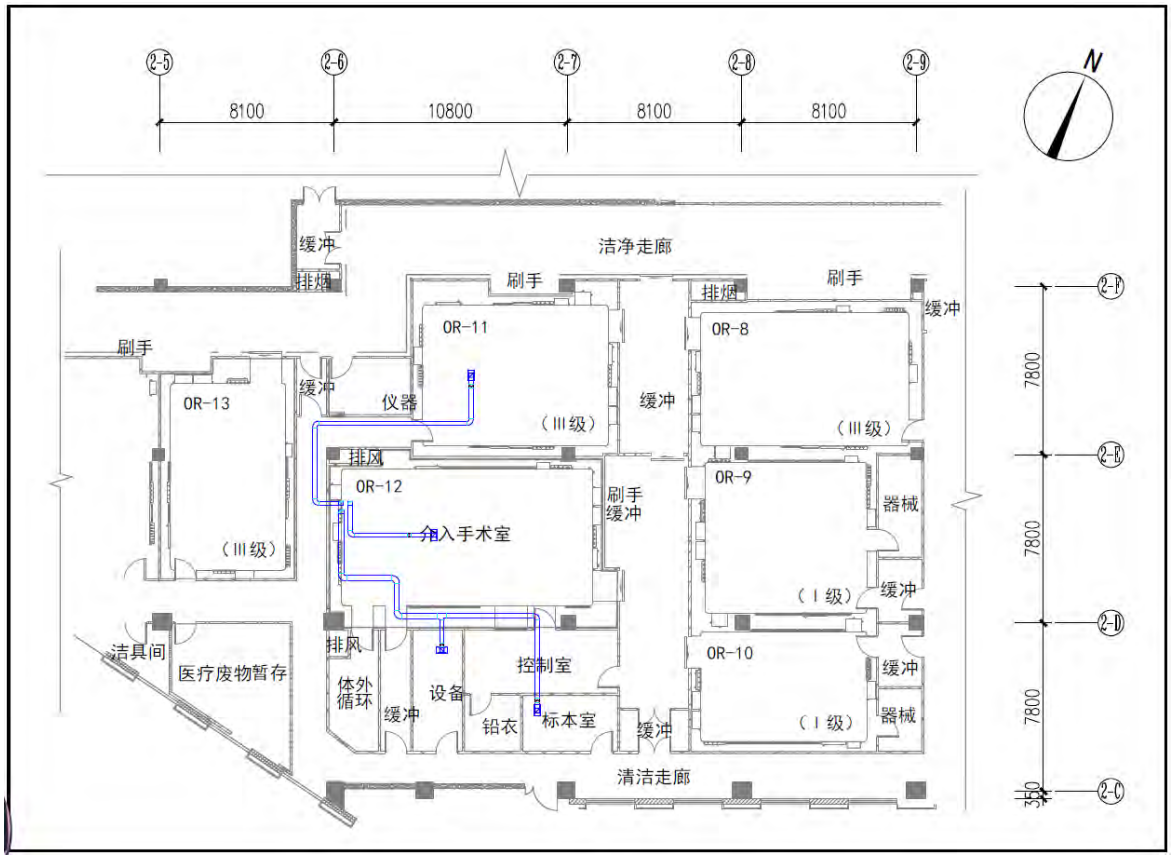


图 10-19　　综合医院手术中心介入手术室（OR-12）的排风管道布置图

③ 传染病医院手术中心

介入手术室（OR-4）单独使用一套净化空调机组，通过排风管道集中从机房的北侧排风口通往楼顶。

综合医院手术中心的介入手术室（OR-4）的排风管道布置图详见图 10-20。

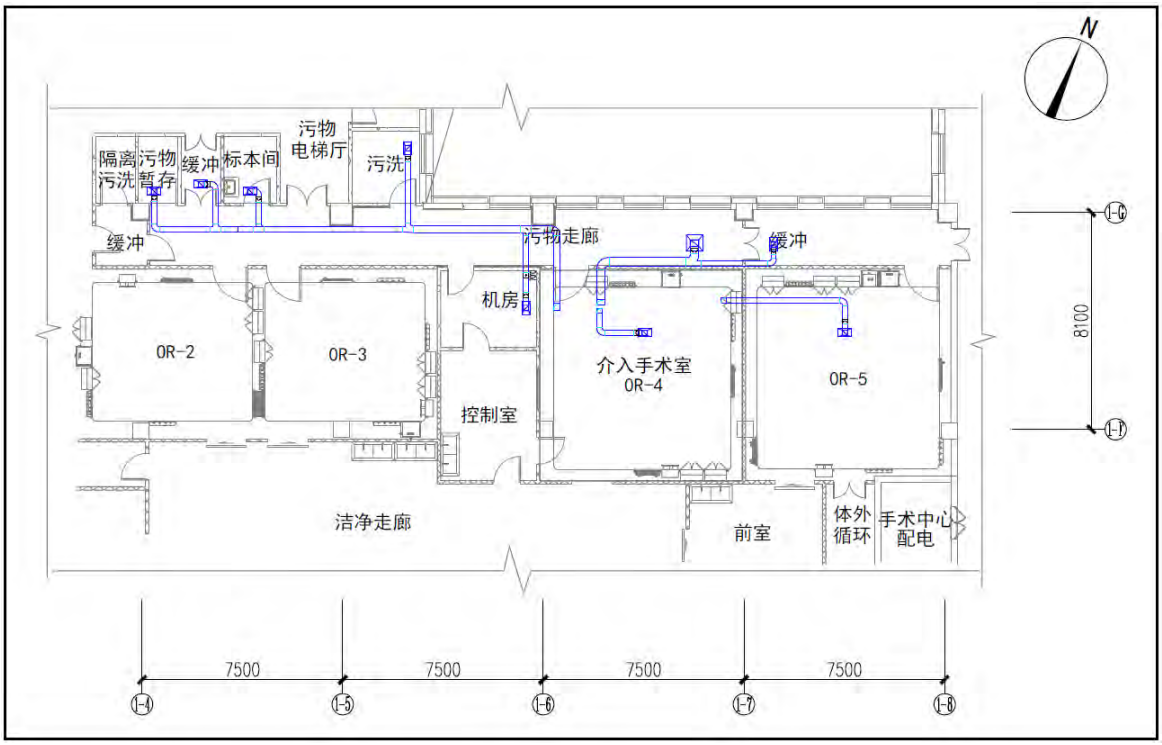


图 10-20　　综合医院手术中心介入手术室（OR-12）的排风管道布置图

表 11 环境影响分析

一、建设阶段对环境的影响

本项目包括综合医院放疗科、核医学科、介入中心、手术中心（介入手术室）及传染病医院手术中心（介入手术室），综合医院大楼和传染病医院大楼均未完工，目前正在进行土建施工。

1、土建施工阶段

土建施工阶段纳入主体工程环评中，已于2020年6月4日取得西安市生态环境局高陵分局《关于西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目环境影响报告书的批复》（市环高批复〔2020〕34号，见附件），本次评价不再分析项目土建施工阶段的环境影响，仅简要分析项目各科室工作场所后期装修阶段可能引起的环境影响。

项目装修阶段的污染因子主要为装修涂料产生的有机废气、物料扬尘、废水、施工噪声、建筑垃圾等。

⑴ 施工期装修使用环保型涂料，料堆采取防尘措施，清扫过程做到先洒水再清扫，固体废物及时清运，运输物料车采取覆盖等防止散落的措施。

⑵ 施工现场的固定噪声和移动噪声诸如电钻、切割机等应相对集中，尽量缩小噪声干扰范围，合理安排作业时间，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。

⑶ 施工期间的生活污水依托医院的施工营地的生活污水处理设施。

⑷ 施工期间的建筑垃圾应在指定的地点堆放，并及时清运；废包装材料和生活垃圾产生量少，分类收集于垃圾桶，由环卫部门统一清运。

⑸ 施工期间的生活垃圾依托医院的施工营地的垃圾桶，分类收集，由环卫部门统一清运。

项目施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场管理等手段，施工期对周围环境影响较小，且施工期影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

二、运行阶段对环境的影响

1、医用电子直线加速器

本项目拟配置的 2 台医用电子直线加速器均是可以开展 X 射线和电子线两种束流的放射治疗装置。考虑到电子线治疗次数有限，且电子线治疗过程中，电子线与机头、治疗床、人体组织等作用，产生韧致辐射的能量和强度低于电子束撞击钨靶产生的 X 射线强度。如果机房及其防护门能够满足 X 射线的屏蔽防护，那么定能满足电子线治疗中产生的韧致辐射的防护要求，因此本次评价不再分析电子线的环境影响。

加速器在患者治疗前需借助CT模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，该设备属于III类射线装置，已进行环境影响评价登记表的备案，本次不再评价。

⑴ 主屏蔽墙宽度核算

① 核算公式

主屏蔽墙宽度核算公式引用《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）如下：

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

式中：

Y_p—机房有用射线束主屏蔽墙的宽度，m；

SAD—源轴距，m，项目取 1m；

θ—治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。项目拟配置的加速器治疗最大照射野为 40cm×40cm，结合《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 6.3.2 表 2，当治疗野对角线垂直于治疗机架旋转平面（即准直器角为 45°）时，治疗束可达到最大张角（28°）。项目 θ 值取 14°。

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

② 核算结果

按照公式 11-1，项目加速器机房等中心点至“墙”的距离、相关屏蔽墙的设计宽度情况见图 1-4，主屏蔽墙的宽度核算结果见表 11-1。

表 11-1　　加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果一览表　　单位：m

主屏蔽墙位置		主屏蔽墙类型	等中心点至“墙”的距离	核算宽度	设计宽度	评价及建议
医用电子直线加速器（10MV）	机房北侧主屏蔽墙	内凸	7.3①	4.7	5.1	符合
	机房南侧主屏蔽墙	内凸	7.3	4.7	5.1	符合
医用电子直线加速器（15MV）	机房南侧主屏蔽墙	内凸	7.3	4.7	5.1	符合
	机房北侧主屏蔽墙	内凸	7.3	4.7	5.1	符合

注：① 等中心点与主屏蔽顶内表面的距离。

根据表 11-1 可知，本项目医用电子直线加速器机房主屏蔽墙内凸部分的设计宽度均能满足有用射线束屏蔽宽度要求。

⑵ X 射线辐射影响分析

① 关注点的选取

关注点的选取主要考虑可能对放射工作人员或公众产生影响的区域，项目医用电子直线加速器机房设在综合医院地下二层放疗科，机房正下方为土层、正上方为封闭的无用空间，人员均无法到达，故上述位置不设关注点。

② 关注点的导出剂量率参考控制水平

a. 估算公式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 A.2，单一有用线束在关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-2 计算。

$$H_{c,d}=H_c/（t\cdot U\cdot T）\qquad（11\text{-}2）$$

式中：

H_c—周参考剂量控制水平，μSv/周；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；

U—有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子，居留因子取值参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）附录 A 表 A.1。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 A.2，单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-3 计算。

$$H_{c,d}=H_c/（t·N·T）\quad（11-3）$$

式中：

T 和 H_c 同公式 11-2；

N—调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 N=5；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；

本次评价根据医院提供资料，参照《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）附录 A.1，平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，分 3 天照完，项目投入使用后预计每天每台加速器最多治疗患者为 40 人，每周工作时间为 5 天，每台加速器周工作负荷 W=40×5×1.5=300Gy/周，项目加速器等中心处常用的最高剂量率 D_o 为 6Gy/min，依照《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）附录 A 中式 A.1，则每台加速器周治疗照射时间 $t=W/D_o$=300/6=50min=0.83h。

b. 估算结果

根据公式 11-2 和公式 11-3，关注点剂量率参考控制水平详见表 11-2。

表 1-2　关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点点位	射线类型	使用因子 U	调强因子 N	居留因子	周参考剂量控制水平 H（μSV/周）	导出剂量率参考控制水平（μSV/h）	关注点最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$（μSV/h）	剂量率参考控制水平（μSV/h）
医用电子直线加速器（10MV）								
南侧屏蔽墙外 30cm 处 a	有用线束	1	/	1/2	100	80	2.5	2.5
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	有用线束	1	/	1/40	5	80	10	10
西侧屏蔽墙外 30cm 处 e	泄漏	1	5	1/40	5	16	10	10
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	泄漏	1	5	1	100	8	2.5	2.5
与机房北侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm d_1/d_2	泄漏	1	5	1/40	5	16	10	10
	散射	1	1	1/40	5	80	10	10
迷路外墙 k	有用线束	1/4	/	1/8	5	64	10	10

防护门外30cm 处 g	泄漏	1	5	1/5	5	2	10	2
医用电子直线加速器（15MV）								
北侧屏蔽墙外30cm 处 a	有用线束	1	/	1/2	100	80	2.5	2.5
南侧屏蔽墙外30cm 处 b	有用线束	1	/	1/40	5	80	10	10
西侧屏蔽墙外30cm 处 e	泄漏	1	5	1/40	5	16	10	10
东侧屏蔽墙外30cm 处 f	泄漏	1	5	1	100	8	2.5	2.5
与机房南侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm d_1/d_2	泄漏	1	5	1/40	5	16	10	10
	散射	1	1	1/40	5	80	10	10
迷路外墙 k	有用线束	1/4	/	1/8	5	64	10	10
防护门外30cm 处 g	泄漏	1	5	1/5	5	2	10	2

注：①导出剂量率参考控制水平按照公式 11-2 和 11-3 计算得出；
②关注点最高剂量率参考控制水平取值参照 GBZ/T201.2-2011 中“治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率”；
③项目各关注点的剂量率参考控制水平按 GBZ/T201.2-2011 和 GBZ126-2011 从严取值。

c. 机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算

项目医用电子直线加速器机房屏蔽墙体关注点见图 11-1、图 11-2。

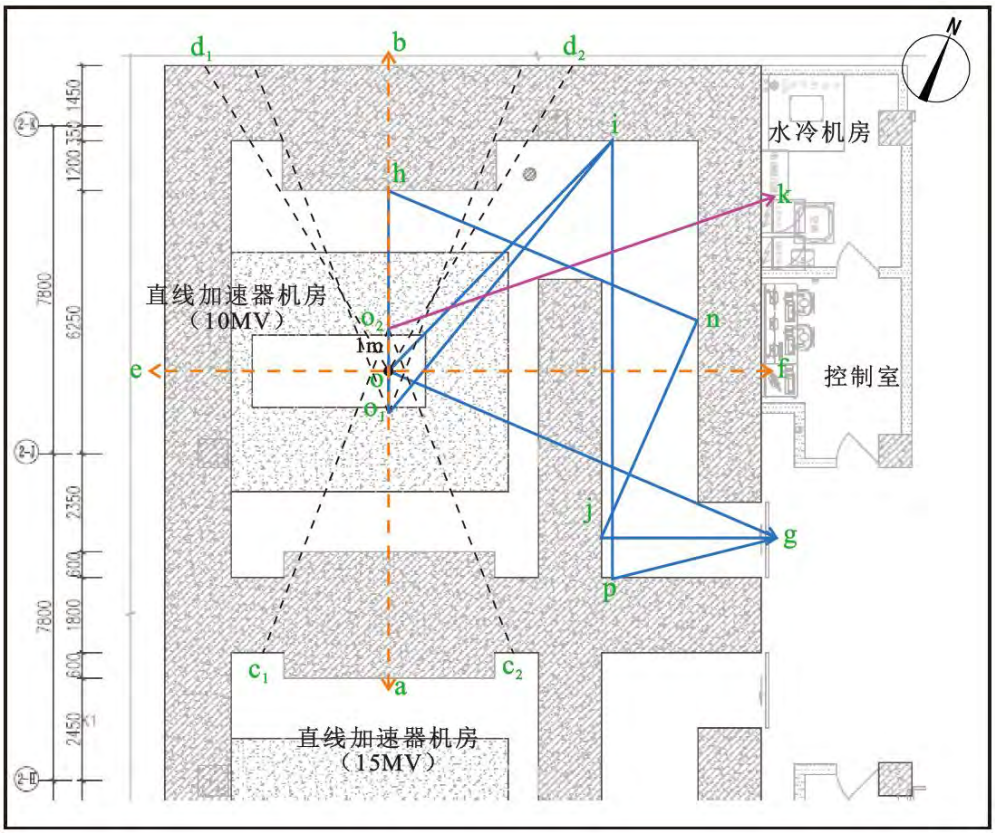


图 11-1　　医用电子直线加速器（10MV）机房关注点设定示意图

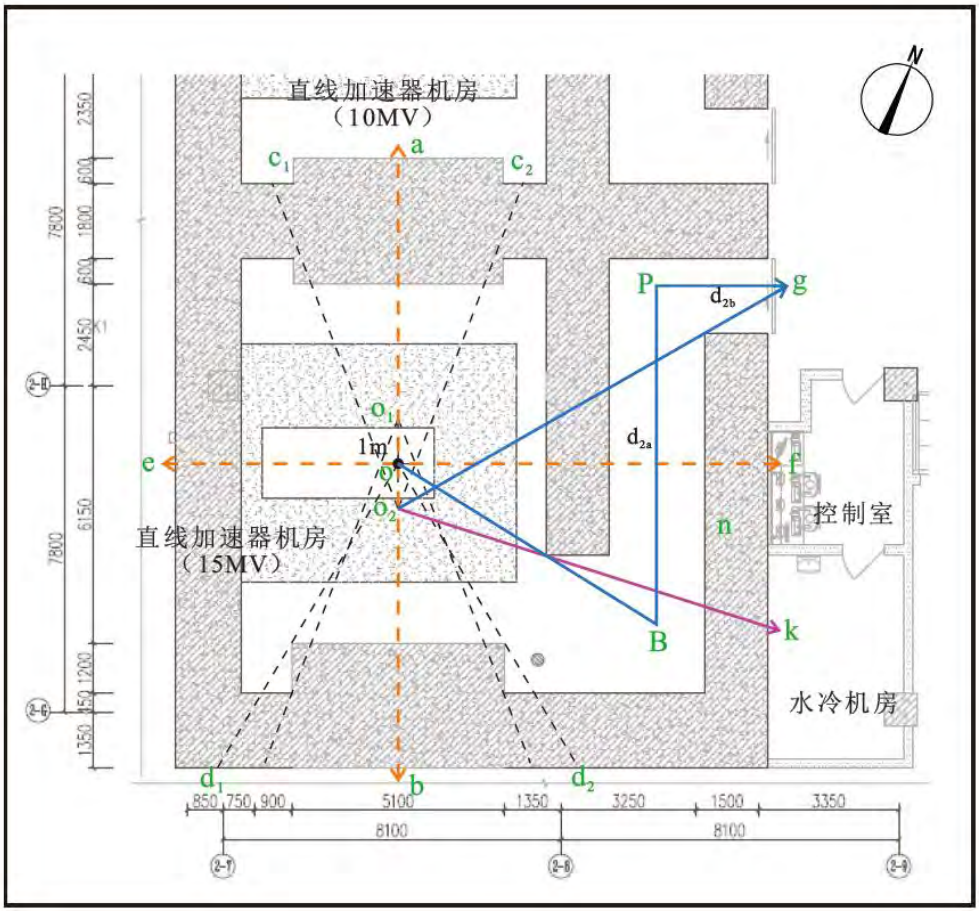


图 11-2　　医用电子直线加速器（15MV）机房关注点设定示意图

I 估算方式

根据医用电子直线加速器设备参数可知，最大 X 射线能量 15MV，等中心最大输出剂量率 600cGy/min；最大 X 射线能量 10MV，等中心最大输出剂量率 2400cGy/min，因此本次分别按照不同工作情况进行分析、核算。

1) 有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X（cm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 Xe（cm）见公式 11-4。引自《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）。

$$Xe=X\cdot\sec\theta \qquad (11\text{-}4)$$

式中：

θ—入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

2) 屏蔽透射因子

对于给定的屏蔽物质的厚度 X（cm），按式 11.2.1-4 计算有效屏蔽厚度 Xe，相应的辐射屏蔽透射因子 B 见公式 11.2.1-5。引自《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）。

$$B=10^{-(Xe+TVL-TVL1)/TVL} \quad (11\text{-}5)$$

式中：

TVL1—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—平衡什值层。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）表 B.1 和 B.4，辐射在混凝土中的什值层见表 11-3。

表 11-3　　辐射在混凝土中的什值层

X 射线能量/MV	有用束		90°泄漏辐射		30°散射辐射	
	TVL1/cm	TVL/cm	TVL1/cm	TVL/cm	TVL1/cm	TVL/cm
10	41	37	34	31	28	28
15	44	41	36	33	31	31

3) 有用线束和泄漏辐射的剂量估算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按式 11.2.1-4 计算有效厚度 Xe（cm），按式 11.2.1-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按公式 11.2.1-6 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率$\dot{H}$（μSv/h）。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2}\cdot B \quad (11\text{-}6)$$

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 1m 的最高剂量率，项目 10MV 时取 $24\times6\times10^7=1.44\times10^9$μSv·m²/h；15MV 时取 $6\times6\times10^7=3.60\times10^8$μSv·m²/h；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

f—对有用束为 1，对 90°泄漏辐射为 1.0×10^{-3}。

4) 患者一次散射辐射的剂量估算

在给定屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按式 11-4 计算有效厚度 Xe（cm），再按式 11-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按公式 11-7（引自《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）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率$\dot{H}$（μSv/h）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_S^2} \cdot B \qquad (11\text{-}7)$$

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 1m 处的最高剂量率，项目 10MV 时取 $24\times6\times10^7=1.44\times10^9$μSv·m^2/h；15MV 时取 $6\times6\times10^7=3.60\times10^8$μSv·m^2/h；

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

α_{ph}—与 X 射线的 MV 值及散射角有关，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，15kV 时保守取 10kV 下散射角 30°时，$\alpha_{ph}=3.18\times10^{-3}$。

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2。项目治疗最大照射野为 40cm×40cm，则 F 取值 1600cm^2。

II 估算结果

项目加速器最大 X 射线能量 10MV，等中心最大输出剂量率 2400cGy/min，机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果详见表 11-4；加速器最大 X 射线能量 15MV，等中心最大输出剂量率 600cGy/min，机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果详见表 11-5。

表 11-4　　项目加速器 10MV 机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果一览表

位置	路径		屏蔽厚度（mm）	辐射源点/等中心点至关注点的距离（m）	什值层	θ	f	α_{ph}	有效屏蔽厚度（mm）	屏蔽透射因子 B	关注点辐射剂量率（μSv/h）	关注点参考控制水平（μSv/h）	达标判定
南侧屏蔽墙外 30cm 处 a	O-a		3000	7.6	TVL1=41cm TVL=37cm	0°	1	/	3000	1.0×10^{-8}	0.25	2.5	达标
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	O-b		3000	7.6	TVL1=41cm TVL=37cm	0°	1	/	3000	1.0×10^{-8}	0.25	10	达标
西侧屏蔽墙外 30cm 处 e	O-e		1600	5.65	TVL1=34cm TVL=31cm	0°	1.0×10^{-3}	/	1600	8.62×10^{-6}	0.39	10	达标
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	O-f		3000	9.1	TVL1=34cm TVL=31cm	0°	1.0×10^{-3}	/	3000	2.63×10^{-10}	4.57×10^{-6}	2.5	达标
与机房北侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm 处 d_1/d_2	泄漏	O-d_1/d_2	1800	8.8	TVL1=34cm TVL=31cm	30°	1.0×10^{-3}	/	2078	2.47×10^{-7}	4.59×10^{-3}	10	达标
	散射	O_1-O-d_1/d_2		8.8	TVL1=28cm TVL=28cm	30°	/	3.18×10^{-3}	2078	3.78×10^{-8}	8.93×10^{-3}	10	达标
迷路外墙 k	O_2-k		1500	10.7	TVL1=34cm TVL=31cm	32°	1.0×10^{-3}	/	1769	2.46×10^{-6}	3.10×10^{-2}	2	达标

备注：①医用电子直线加速器机房正下方为土层、正上方为封闭的无用空间，人员均无法到达，本次不进行估算；
②关注点参考控制水平按照 GBZ126-2011、GBZT201.2-2011、GBZT201.1-2007 从严执行；
③根据 GBZT201.2-2011 中 D.1.2.5，估算次屏蔽厚度时，使用 θ=30°是核算的实际散射角的保守值。

根据表 11-4 可知，在正常或调强放射治疗情况下，医用电子直线加速器 10MV 时，机房各关注点的周围剂量当量率均在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。

表 11-5　　项目加速器 15MV 机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果一览表

位置	路径	屏蔽厚度（mm）	辐射源点/等中心点至关注点的距离（m）	什值层	θ	f	α_{ph}	有效屏蔽厚度（mm）	屏蔽透射因子 B	关注点辐射剂量率（μSv/h）	关注点参考控制水平（μSv/h）	达标判定
北侧屏蔽墙外 30cm 处 a	O-a	3000	7.6	TVL1=44cm TVL=41cm	0°	1	/	3000	5.70×10^{-8}	0.36	2.5	达标
南侧屏蔽墙	O-b	3000	7.6	TVL1=44cm TVL=41cm	0°	1	/	3000	5.70×10^{-8}	0.36	10	达标

外 30cm 处 b												
西侧屏蔽墙外 30cm 处 e	O-e		1600	5.65	TVL1=36cm TVL=33cm	0°	1.0×10^{-3}	/	1600	1.75×10^{-5}	0.20	10	达标
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	O-f		3000	9.1	TVL1=36cm TVL=33cm	0°	1.0×10^{-3}	/	3000	1.0×10^{-9}	4.35×10^{-6}	2.5	达标
与机房南侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm 处 d_1/d_2	泄漏	O-d_1/d_2	1800	8.8	TVL1=36cm TVL=33cm	30°	1.0×10^{-3}	/	2078	6.20×10^{-7}	2.88×10^{-3}	10	达标
	散射	O_1-O-d_1/d_2		8.8	TVL1=31cm TVL=31cm	30°	/	3.18×10^{-3}	2078	1.97×10^{-7}	1.17×10^{-2}	10	达标
迷路外墙 k	O_2-k		1500	10.7	TVL1=36cm TVL=33cm	32°	1.0×10^{-3}	/	1769	5.38×10^{-6}	1.69×10^{-2}	2	达标

备注：①医用电子直线加速器机房正下方为土层、正上方为封闭的无用空间，人员均无法到达，本次不进行估算；
②关注点参考控制水平按照 GBZ126-2011、GBZT201.2-2011、GBZT201.1-2007 从严执行；
③根据 GBZT201.2-2011 中 D.1.2.5，估算次屏蔽厚度时，使用 θ=30°是核算的实际散射角的保守值。

根据表 11-5 可知，在正常或调强放射治疗情况下，医用电子直线加速器 15MV 时，机房各关注点的周围剂量当量率均在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。

d. 机房迷路入口估算

本次机房迷路入口剂量估算分别根据项目加速器最大 X 射线能量 15MV，等中心最大输出剂量率 600cGy/min；加速器最大 X 射线能量 10MV，等中心最大输出剂量率 2400cGy/min 情况核算，路径见图 11-1 及图 11-2。

I X 射线最大能量为 10MV 的加速器，等中心最大输出剂量率 2400cGy/min

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）第 4.3.2.5.1，有用线束不向迷路内墙照射时，迷路入口处的辐射剂量考虑如下：

1) 人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并再次受墙的散射至 g 处的辐射，散射路径为“o_1-o-i-p-g”，按式 11-8 计算；

2) 至 i 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射，散射路径为“o_1-i-p-g”，按式 11-9 计算；

3) 有用线束穿出人体达到位置 h，受主屏蔽墙的散射至 n 处迷路外墙再次散射，到达 g 处的辐射。散射路径为“o_1-h-n-j-g”。

在估算 g 处的累积剂量时，以加速器向 b 方向水平照射并取使用因子 U=1 时的 1)项为以上三项之和的近似估计。散射路径为“o_1-o-i-p-g”。

在估算 g 处的辐射剂量率时，以加速器向 b 方向水平照射时 1)项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计，通常可忽略 2)、3)二项。散射路径为“o_1-o-i-p-g”。

患者散射至 i 点再受墙散射至 g 处（o_1-o-i-p-g）

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \qquad (11\text{-}8)$$

式中：

$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者 400cm^2 面积上的散射因子，本项目取 1.35×10^{-3}；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2。项目治疗最大照射野为 40cm×40cm，则 F 取值 1600cm^2。

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.3）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°，α_2 值见附录 B 表 B.6.通常使用其 0.5MeV 栏内的值；，本项目取 22.0×10^{-3}；

A—散射面积，m^2，本项目为 16.91m^2（长度 3.80m，机房高度 4.45m）；

R_1—“O-i”之间的距离，本项目为 7.60m；

R_2—“i-p”之间的距离，本项目为 10.40m；

R_3—“p-g”之间的距离，本项目为 4.01m；

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，项目 10MV 时取 $24\times6\times10^7=1.44\times10^9$μSv·$m^2$/h。

经计算，患者散射至 g 处的辐射剂量率为$\dot{H}_g$=**10.7μSv/h**。

4) g 处也需核算泄漏辐射（以位置 o_2 为中心）在 g 处的剂量。路径“O_2-g”，按式 11-6 计算。辐射源点至 g 点的距离为 10.3m，经计算，泄漏经迷路内墙屏蔽后对 g 点的贡献值为$\dot{H}_{og}$=**5.61×10^{-2}μSv/h**。

g 点处的散射辐射能量约为 0.2MeV，防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式 11-9 计算：

$$B=\frac{\dot{H}_c-\dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \qquad (11\text{-}9)$$

式中的$\dot{H}_{og}$为 o_2 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率，使用式（11-9）估算的 B 值，按式 11-10 估算防护门的铅屏蔽厚度。

$$X_e = TVL \cdot logB^{-1} + (TVL_1 - TVL) \qquad (11\text{-}10)$$

估算中，TVL1=TVL，取值为 0.5cm，防护门需要的屏蔽透射因子 B=0.181，铅的有效屏蔽厚度 Xe=0.371cm=3.71mm，机房防护铅门实际设计值为 12mm 铅当量，故满足屏蔽要求。

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）按式 11-11 计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \qquad (11\text{-}11)$$

经计算，防护门外的辐射剂量率为 **9.88×10^{-2}μSv/h**，在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。

II X 射线最大能量为 15MV 的加速器，等中心最大输出剂量率 600cGy/min

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）第 4.3.2.6，对于大于 10MV 加速器的机房，迷路入口需考虑以下辐射：

1) 三项中子（加速器机头外的杂散种子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相

互作用中生成的热中子）在迷路内侧的杂散中子和中子俘获 γ 射线在 g 处的辐射剂量。如图 11-2 中 o-B-P-g。

2) 除上述 I 外，还应核算加速器的泄漏辐射（以偏离 o 的位置 o_2 为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 处的辐射剂量，其中有用线束不向迷路内墙照射时的迷路入口 g 处的辐射剂量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，此部分剂量往往可以忽略，因此本次主要考虑 g 点处的泄漏剂量，路径为 o_2-g。

i. 有用线束不向迷路内墙照射时迷路入口 g 处的泄漏辐射剂量

加速器有用线束不向迷路内墙照射时的泄漏辐射按公式 11-12 计算。

$$\dot{H}_{og} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad (11\text{-}12)$$

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 1m 的最高剂量率，加速器能量为 15MV 时取 $6\times6\times10^7=3.60\times10^8$μSv·m²/h；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

f—泄漏辐射为 1.0×10^{-3}。

经计算，项目加速器最大 X 射线能量 15MV，等中心最大输出剂量率 600cGy/min，有用线束不向迷路内墙照射时迷路入口 g 处的泄漏辐射剂量为 $\dot{H}_{og}$=**1.40×10^{-2}μSv/h**。

ii. 三项中子在迷路内侧的杂散中子和中子俘获 γ 射线在 g 处的辐射剂量

a）总中子注量 Φ_B

迷路的中子散射路行为“O-B-P-g”。B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路段轴中心线之间的交点。在 B 点的总中子注量 Φ_B 按式（11-13）计算：

$$\Phi_B=\frac{Q_n}{4\pi d_1^2}+\frac{5.4Q_n}{2\pi S}+\frac{1.26Q_n}{2\pi S} \qquad (11\text{-}13)$$

式中的三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中：

Φ_B—等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m²）/Gy；

Q_n—在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy。应向产品供应商获取 Q_n 指标；根据 NCRP No 151 的表 B.9，本次取 0.21×10^{12}（中子数/Gy）；

d_1—等中心点 o 至 B 点的距离，m，本项目为 7.40m；

S—治疗机房的总内表面积（m^2）。包括四壁、顶面和底面，不包括迷路内各面积，总内表面积为 266.5m^2。

经计算，总中子注量 Φ_B 为 **1.97×10^9**（中子数/m^2）/Gy。

b）机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率$\dot{H}_\gamma$

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(g)处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率$\dot{H}_\gamma$（μSv/h）按式 11-14 计算。

$$\dot{H}_\gamma=6.9\times10^{-16}\cdot\Phi_B\cdot10^{-d_2/TVD}\cdot\dot{H}_0 \qquad (11\text{-}14)$$

式中：

6.9×10^{-16}—该方法中的经验因子，Sv/（中子数/m^2）；

Φ_B—等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m^2）/Gy；

d_2—B 点至机房入口（g）的距离，m，；

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），对于 15MV 加速器为 3.9m；

$\dot{H}_0$—等中心点处治疗 X 射线剂量率（μGy/h），本项目为 3.6×10^8μGy/h。

本项目属于二阶迷路，对于二阶迷路在式（11-14）中，以二阶迷路 d_{2a} 和 d_{2b} 之和代替 d_2，并且$\dot{H}_\gamma$为式（11-14）的 1/3。经计算，d_2 为 10.24m，中子俘获 γ 射线的剂量率$\dot{H}_\gamma$射线的剂量率为 **0.39μSv/h**。

c）机房入口的中子剂量率$\dot{H}_n$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率$\dot{H}_n$（μSv/h）按式 11-15 计算。

$$\dot{H}_n=2.4\times10^{-15}\cdot\Phi_B\cdot\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\cdot[1.64\times10^{-(d_2/1.9)}+10^{-(d_2/T_n)}]\cdot\dot{H}_0 \qquad (11\text{-}15)$$

式中：

2.4×10^{-15}—该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m^2）；

S_0—迷路内口的面积，m^2，项目为 14.685m^2；

S_1—迷路横截面积，m^2，项目为 10.235m^2；

d_2—B 点到迷路入口（g）的距离，m，二阶迷路 d_{2a} 和 d_{2b} 之和代替 d_2，本项目为 10.24m；

T_n—是一个经验值，与迷路截面积有关，按式 $T_n=2.06\sqrt{S_1}$ 计算。

经计算，无防护门时中子的剂量率$\dot{H}_n$为 **5.70μSv/h**。

e）入口门屏蔽

入口门屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获 γ 射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$(μSv/h)按式 11-16 计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og} B_{og} \qquad (11\text{-}16)$$

式中：

B_{og}—防护门对$\dot{H}_{og}$的屏蔽透射因子，在$\dot{H}_{og}$相对 g 处的总剂量率较小时，可以忽略$\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$项，通过计算$\dot{H}_{og}$的总剂量率较小，本次忽略$\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$项；

TVL_γ—为中子俘获 γ 射线在铅中的什值层，cm，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 C.2.2，本项目取 3.1cm；

TVL_n—为中子在聚乙烯材料中的什值层，cm，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 C.2.1，本项目取 4.5cm；

X_γ—铅的厚度，cm，本项目为 1.8cm；

X_n—聚乙烯的厚度，cm，本项目为 14cm。

通过上述计算，当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$为 **0.15μSv/h**。

综上，通过上述计算，项目机房迷路入口剂量当量率估算情况见表 11-6。

表 11-6　　项目机房迷路入口剂量当量率

有用线束不向迷路内墙照射时迷路入口 g 处的泄漏辐射剂量	给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率	合计
1.40×10^{-2}μSv/h	0.15μSv/h	0.16μSv/h

根据上述计算可知，医用电子直线加速器（15MV）机房迷路入口剂量在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。

⑶ 年附加有效剂量估算

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测本项目投入运

行后对职业人员和公众的辐射影响。γ射线或X射线外照射所致人员年有效剂量计算公式如下：

$$H_{\gamma}=D_{\gamma}\times t\times 10^{-3}\times T\times U \quad (11\text{-}17)$$

式中：H_{γ}—γ射线或X射线外照射所致人员年有效剂量当量，mSv；

D_{γ}—人员停留位置处剂量率，μSv/h；

t—年工作时间，h；

T—居留因子；

U—使用因子。

① 公众人员剂量估算

本项目加速器年治疗照射时间为 41.7h，本次评价按照最不利情况估算周边环境公众所受的年附加剂量，估算结果见表 11-7。

表 11-7　项目加速器周边环境公众年附加剂量估算结果

关注点点位	最大周围剂量当量率（μSv/h）	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 U①	年受照射剂量（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）
医用电子直线加速器（10MV）						
南侧屏蔽墙外 30cm 处 a	0.25	41.7	1/2	1	5.21×10^{-3}	0.1
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	0.25	41.7	1/40	1	2.61×10^{-4}	0.1
西侧屏蔽墙外 30cm 处 e	0.39	41.7	1/40	1	4.07×10^{-3}	0.1
迷路外墙 k	3.10×10^{-2}	41.7	1/8	1	1.62×10^{-4}	0.1
防护门外 30cm 处 g	9.88×10^{-2}	41.7	1/5	1	8.24×10^{-3}	0.1
医用电子直线加速器（15MV）						
北侧屏蔽墙外 30cm 处 a	0.36	41.7	1/2	1	7.51×10^{-3}	0.1
南侧屏蔽墙外 30cm 处 b	0.36	41.7	1/40	1	3.75×10^{-4}	0.1
西侧屏蔽墙外 30cm 处 e	0.20	41.7	1/40	1	2.09×10^{-4}	0.1
迷路外墙 k	1.69×10^{-2}	41.7	1/8	1	8.81×10^{-5}	0.1
防护门外 30cm 处 g	0.16	41.7	1/5	1	1.33×10^{-3}	0.1
备注：① 本次使用因子均保守取 1						

根据表 11-7 可知，项目正常运行期间，医用电子直线加速器各机房周围活动的公众受到的年累计附加剂量为 8.81×10^{-5}～8.24×10^{-3}mSv/a，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）公众照射的剂量约束值（0.1mSv/a）。

② 职业人员剂量估算

本项目加速器年治疗照射时间为 41.7h，本次评价按照最不利情况估算放射工作人员所受的年附加剂量，估算结果见表 11-8。

表 11-8　项目加速器放射工作人员年附加剂量估算结果

关注点点位	最大周围剂量当量率（μSV/h）	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 U①	年受照射剂量（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）
医用电子直线加速器（10MV）						
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	4.57×10^{-6}	41.7	1	1	1.91×10^{-7}	5
医用电子直线加速器（15MV）						
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	4.35×10^{-6}	41.7	1	1	1.81×10^{-7}	5
备注：① 本次使用因子均保守取 1						

根据表 11-8 可知，项目正常运行期间，电子直线加速器各机房放射工作人员年累计附加剂量最大为 1.81×10^{-7}～1.91×10^{-7}mSv/a，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）职业人员照射的剂量约束值（5mSv/a）。

⑷ 感生放射性影响分析

根据《医用直线加速器感生放射性冷却时间的检测》（屠波等，中国医疗设备 2011 年第 26 卷 12 期），“X 射线能量在 10MV 以下时，不会产生感生放射性；X 射线能量在 15MV 时，会产生微量的感生放射性，停束 18min 后的剂量率（0.285μSv/h）高于项目本底值（0.120～0.123μSv/h）”。项目医用电子直线加速器 X 射线最大能量为 15MV，本评价建议医院在使用 15MV 的 X 射线治疗后，停束 18～20min 后再进入机房。

根据《高能医用直线加速器感生放射性辐射场特点和防护研究》（王志斌等，职业与健康 2014 年 7 月第 30 卷第 13 期），“低于 10MeV 的电子束不产生感生放射性，12/16/20MeV 的电子束出束后能检测到微量感生放射性，1min 后消失”。项目医用电子直线加速器的电子束最大能量为 22MeV，本评价建议医院使用高能电子束后，在停束 2～3min 后再进入机房。

⑸ 放射性废气影响分析

当加速器室内空气受到或超过产生(γ，n)反应阈能量的 γ 射线照射时，空气被中子活化产生活化气体，其中半衰期小于 1min 的放射性核素很快衰减。一些半衰期较长的核素，如 ^{15}O、^{13}N、^{11}C 和 ^{39}Ar 的产率很低。

由于加速器产生的中子在屏蔽体内慢化为热中子被吸收，在入射到屏蔽体前与空气发生作用，其中主要的产物是 ^{13}N 和 ^{39}Ar，加速器机房体积有限，活化截面低，使得 ^{13}N 和 ^{39}Ar 生成率较低，对环境影响较小。

⑹ 非放射性废气影响分析

① 臭氧

根据《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）及《辐射防护手册》中的公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

a. 有用线束的臭氧产额

有用射线束所致的臭氧产额计算公式如下：

$$P_1=2.43D_0（1-\cos\theta）RG \qquad （11\text{-}18）$$

式中：

P_1—有用线束的臭氧产额，mg/h；

D_0—辐射有用线束在距 1m 处的输出量，Gy/min，项目取 6Gy/min；

R—射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，m，项目电子直线加速器机房取值 4.3m；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，根据《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），估算时取值为 10；

θ—有用束的半张角，项目取+14°或-14°。

b. 泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑加速器机房墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%，O_3 的产额 P_2(mg/h)计算公式如下：

$$P_2=3.32\times10^{-3}D_0GV^{1/3} \qquad （11\text{-}19）$$

式中：

P_2—泄漏辐射的臭氧的产额，mg/h；

D_0—辐射有用线束在距 1m 处的输出量，Gy/min，项目取 6Gy/min；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，根据《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），估算时取值为 10；

V—加速器治疗机房容积（含迷道），项目取值 430.98m^3；

经计算，医用电子直线加速器机房有用线束的臭氧产额 P_1=18.62mg/h，泄漏辐射的臭氧产额 P_2=1.50mg/h，则臭氧产额合计为 20.12mg/h。保守估计加速器年出束时间 125h，则臭氧的年产生量为 2.52g/a。

c. 臭氧浓度

项目机房内产生的臭氧一部分由动力排风装置排到室外，另一部分自然分解。如果照射时间很长（t>>T），则机房内臭氧的平均浓度估算公式如下：

$$Q=Q_0T/V \qquad (11\text{-}20)$$

式中：

Q—加速器治疗室内 O_3 平衡浓度，mg/m^3；

Q_0—O_3 的化学产额，mg/h；

经上文计算，医用电子直线加速器臭氧产额为 20.12mg/h。

T—有效清除时间，h；

V—治疗室体积，m^3；

有效清除时间 T 由下式计算：

$$T=T_vT_d/(T_v+T_d) \qquad (11\text{-}21)$$

式中：

T_d—臭氧的有效分解时间，取 0.83h；

T_v—换气一次所需时间，项目医用电子直线加速器机房容积（含迷道）430.98m^3，风机额定通风量为 2000m^3/h，则 T_v 为 0.22h/次。

经计算，有效清除时间 T 为 0.17h。

当 t>>T 时，臭氧达饱和浓度，医用电子直线加速器机房在正常排风时的臭氧浓度为 0.008mg/m^3，低于《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）标准限值（0.3mg/m^3）。

② 氮氧化物

在多种氮氧化物（NOx）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半，工作场所中 NO_2 的限值（5mg/m^3）大于 O^3 的限值。因而，工作场所中 O_3 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）要求时，NOx 的浓度也会满足要求。

为减小臭氧和氮氧化物的危害，项目在加速器机房南侧主屏蔽墙两侧位置和加速器（15MV）机房北侧主屏蔽墙两侧位置设置排风装置，排风口风管底部（吸风口）离地约 30cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，在顶棚上方经防护迷道，由防护门上方通往室外。送、排风管道在机房防护门洞口上方呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，通过折叠设计，增加管道中射线的散射次数。臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至放疗科西南侧的排风井，高空排放。

项目医用电子直线加速器机房体积 430.98m^3（含迷路），有效通风量为 2000m^3/h，机房有效通风换气次数为 4.6 次，项目送排风设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风要求”。

综上所述，项目产生的臭氧和氮氧化物对周围大气环境的影响小。

2、后装治疗机

⑴ 辐射环境影响分析

项目拟在后装治疗机房内配置 1 台 ^{192}Ir 后装治疗机，含 ^{192}Ir 放射源 1 枚，最大装源活度为 3.7×10^{11}Bq，源距地面高度约 0.55m，活动范围在机房中心的 2m×2 m 之内。后装治疗机在患者治疗前需借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，该设备属于III类射线装置，已进行环境影响评价登记表的备案，本次不再评价。

① 关注点的选取

关注点的选取主要考虑可能对放射工作人员或公众产生影响的区域，项目后装治疗机房设在综合医院门诊医技楼的地下一层，机房正下方为封闭的无用空间，人员无法到达，故上述位置不设关注点。

项目后装治疗机房辐射影响分析关注点布设详见图 11-3、图 11-4。

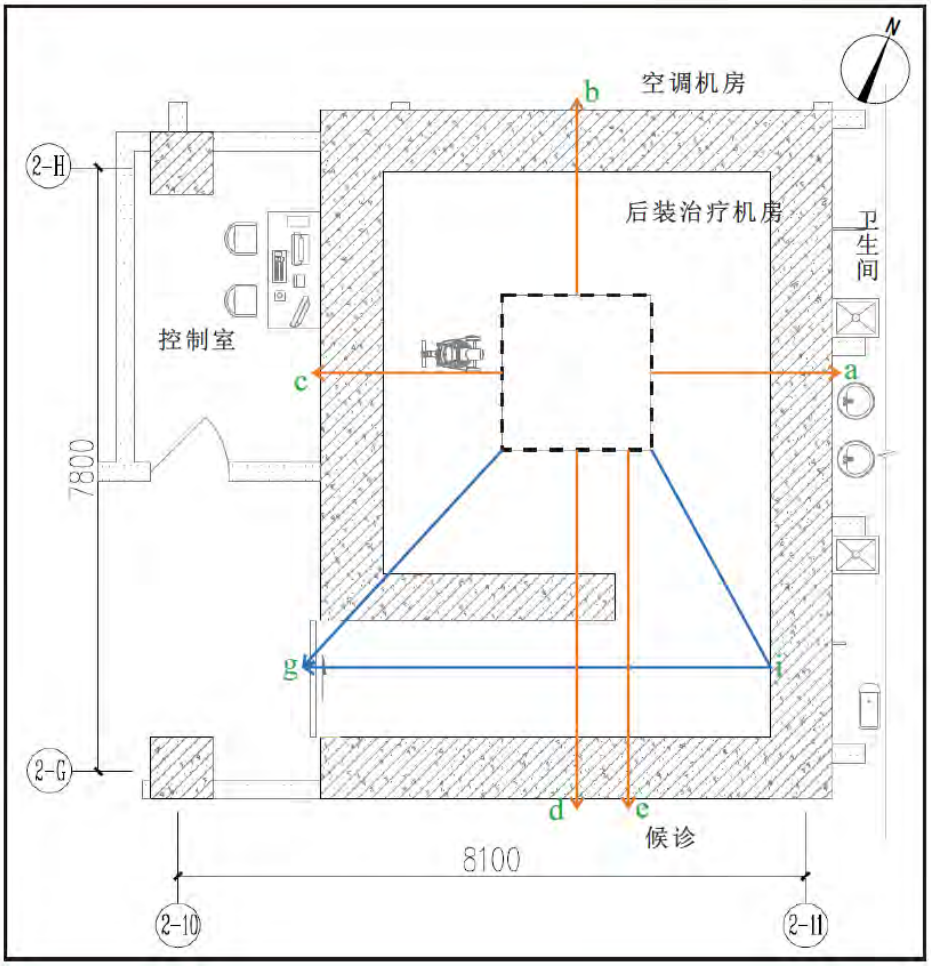


图 11-3　　后装治疗机房关注点设定示意图（平面图）

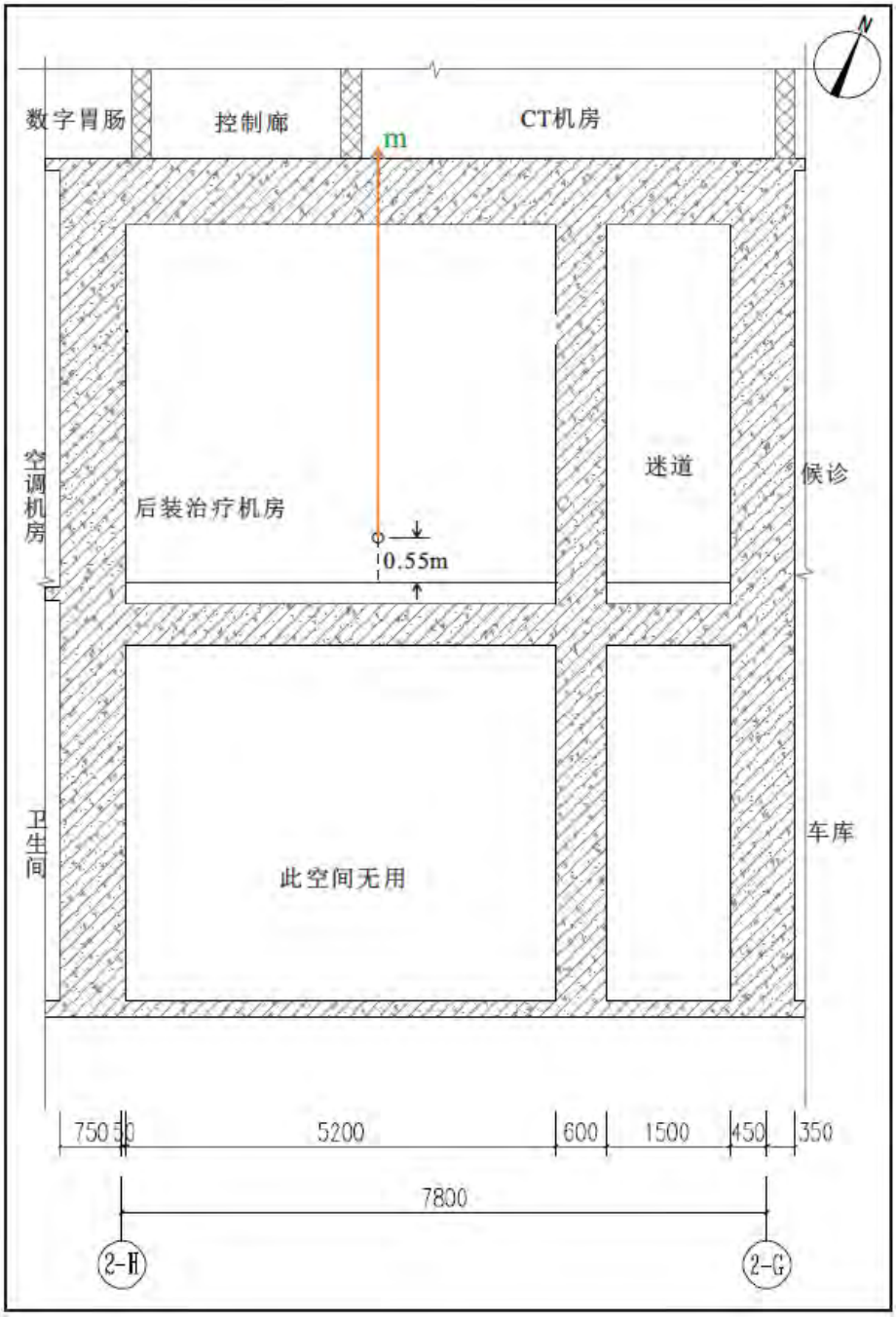


图 11-4　　后装治疗机房关注点设定示意图（立面图）

② 关注点剂量率参考控制水平

a 估算公式

根据《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/T201.3-2014），关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-21 计算。

$$H_{c,d}=H_c/（t\cdot U\cdot T）\qquad（11\text{-}22）$$

式中：

H_c—周参考剂量控制水平，μSv/周，取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.4；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；每天接待放射治疗患者最多为 6 人，每周工作 5d，每位患者的治疗时间约为 10min；

U—关注位置方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子，居留因子取值参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）附录 A 表 A.1。

b 估算结果

关注点剂量率参考控制水平详见表 11-9。

表 11-9　　关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点点位	射线类型	使用因子 U	居留因子	周参考剂量控制水平 H（μSv/周）	导出剂量率参考控制水平（μSv/h）	关注点最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$（μSv/h）	剂量率参考控制水平（μSv/h）
东侧屏蔽墙外 30cm 处 a	有用线束	1	1/20	5	20	10	10
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	有用线束	1	1/40	5	40	10	10
西侧屏蔽墙外 30cm 处 c	有用线束	1	1	100	20	2.5	2.5
南侧屏蔽墙外 30cm 处 d	有用线束	1	1/20	5	20	10	10
机房顶蔽墙外 30cm 处 m	有用线束	1	1/2	5	2	2.5	2
迷路外墙 30cm 处 e	有用线束	1	1/20	5	20	10	10
防护门外 g	散射	1	1/5	5	5	10	5

③ 机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算

项目治疗时假设放射源全部被传送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算，本评价主要考虑放射源产生的 γ 射线（即初级辐射）对墙和治疗机房顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射，采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中推荐的公式进行辐射屏蔽估算。

a. 估算公式

I. 初级辐射的屏蔽计算

在给定屏蔽物质厚度 X（mm）时，按（式 11-22）计算有效厚度 X_e（mm），

按（式 11-23）计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按（式 11-24）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e=X\bullet\sec\theta \quad (11\text{-}23)$$

式中：

Xe—有效屏蔽厚度，cm；

X—屏蔽厚度；

θ—入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

$$B=10^{-(X_e+TVL-TVL1)/TVL} \quad (11\text{-}24)$$

式中：

B—辐射屏蔽投射因子；

Xe—有效屏蔽厚度，cm；

TVL1—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—平衡什值层。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2}\cdot B \quad (11\text{-}25)$$

式中：

$\dot{H}$—关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；$\dot{H}_0$=A·K_γ，K_γ放射源的空气比释动能率常数，根据《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/T201.3-2014）的附录 C 中的表 C.1，^{192}Ir 为 0.111μSv/（h·MBq），源活度 3.7×10^{11}Bq；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

f—对有用束为 1。

II. 散射辐射的屏蔽计算

防护门处经屏蔽后的散射辐射剂量率计算公式见 11-26。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\times S_w\times a_w}{R_1^2\times R_2^2} \quad (11\text{-}26)$$

式中：

$\dot{H}$—关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；$\dot{H}_0$=A·K_γ，K_γ放射源的空气比释动能率常数，根据《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/T201.3-2014）的附录 C 中的表 C.1，^{192}Ir 为 0.111μSv/（h·MBq），源活度 3.7×10^{11}Bq；

R_1—辐射源点至散射体中心的距离，即辐射源 O_1-i 之间的距离，3.1m；

R_2—散射体中心至关注点的距离，即散射面中心 i-g 之间的距离，5.9m；

S_w—迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，m^2，本项目为 2.1×4.6=9.66m^2；

α_W—散射体的散射因子，m^2，保守取 0.25MeV 时 45° 入射 0° 散射因子 3.39×10^{-2}。

III. 漏射线贯穿迷道内墙所致 g 点的辐射

漏射线贯穿迷道内墙所致的辐射剂量率按式 11-25 计算。

当泄漏辐射路径为 O_2-g，漏射线到关注点 g 的距离保守取值 3.7m，则泄漏射线的屏蔽透射因子 B 为 4.01×10^{-6}，经迷路内墙屏蔽后对关注点 g 的贡献值为 $\dot{H}_{og}$=**1.20×10^{-2}μSv/h**。

g 点处的散射辐射能量约为 0.2MeV，防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式 11-9 计算，按式 11-10 估算防护门的铅屏蔽厚度。估算中，TVL1=TVL，取值为 0.5cm，防护门需要的屏蔽透射因子 B=4.94×10^{-2}，铅的有效屏蔽厚度 Xe=0.653cm=6.5mm，机房防护铅门实际设计值为 10mm 铅当量，故满足屏蔽要求。

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）按式 11-11 计算。

b. 估算结果

根据后装治疗机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离 R。治疗机房外各关注点的初级辐射剂量率水平计算参数和结果见表 11-10；防护门外散射辐射剂量率水平计算参数和结果见表 11-11。

表 11-10　　后装治疗机房关注点初级辐射剂量率

关注点点位	辐射类型	混凝土厚度（m）	θ（°）	R（m）	f	TVL1（cm）	TVL（cm）	辐射剂量率（μSv/h）	剂量率参考控制水平 H_c（μSv/h）	是否满足
东侧屏蔽墙外 30cm 处 a	初级	0.8	0	2.6	1	15.2	15.2	3.31×10^{-2}	10	是

北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	初级	0.8	0	2.7	1	15.2	15.2	3.07×10^{-2}	10	是
西侧屏蔽墙外 30cm 处 c	初级	0.8	0	2.6	1	15.2	15.2	3.31×10^{-2}	2.5	是
南侧屏蔽墙外 30cm 处 d	初级	1.4	0	5.1	1	15.2	15.2	9.72×10^{-7}	10	是
机房顶蔽墙外 30cm 处 m	初级	0.8	0	4.8	1	15.2	15.2	9.72×10^{-3}	2	是
迷路外墙 30cm 处 e	初级	0.8	0	5.1	1	15.2	15.2	8.61×10^{-3}	10	是
备注：①后装治疗机房迷路内墙最薄处厚 60cm 混凝土，迷路外墙最薄处厚 80cm 混凝土，估算南侧屏蔽墙外 30cm 处剂量率时，屏蔽体厚度取最小值（140cm 混凝土），取值是偏保守和安全的； ②由于后装治疗机房地下封闭式无用区域，人员不可到达，不进行估算。										

表 11-11　　后装治疗机房防护门处散射辐射剂量率

关注点点位	辐射类型	R_1（m）	R_2（m）	S_w（m^2）	a_w	辐射剂量率 $\dot{H}_g$（μSv/h）	关注点的剂量率$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率参考控制水平 H_c（μSv/h）	是否满足
防护门外 30cm 处 g	散射	3.1	5.9	9.66	3.39×10^{-2}	40.2	0.41	5	是
	初级	混凝土厚度（m）	θ	R（m）	f	辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$（μSv/h）			
		0.6	43°	3.7	1	1.20×10^{-2}			

根据表 11-10 和表 11-11 可知，项目后装治疗机房实体屏蔽外各关注点 30cm 处的周围剂量当量率均小于上述各关注点的剂量率参考控制水平，符合《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）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。

⑵ 年附加有效剂量估算

① 公众人员剂量估算

根据医院提供资料，后装机治疗时每人治疗时间约为 10min，则操作人员工作时间按 250h，本次评价按照最不利情况估算周边环境公众所受的年附加剂量，估算结果见表 11-12。

表 11-12　　项目后装机周边环境公众年附加剂量估算结果

关注点点位	最大周围剂量当量率（μSV/h）	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 U	年受照射剂量（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）
东侧屏蔽墙外 30cm 处 a	3.31×10^{-2}	250	1/20	1	4.14×10^{-4}	0.1
迷路外墙 30cm 处 e	8.61×10^{-3}	250	1/20	1	1.08×10^{-4}	0.1
机房顶蔽墙外 30cm 处 m	9.72×10^{-3}	250	1/2	1	1.22×10^{-3}	0.1
防护门外 g	0.41	250	1/5	1	2.05×10^{-2}	0.1

根据表 11-10 可知，项目正常运行期间，后装机房周围活动的公众受到的年累计附加剂量为 1.08×10^{-4}～2.05×10^{-2}mSv/a，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）公众照射的剂量约束值（0.1mSv/a）。

② 职业人员剂量估算

a. 摆位工作人员

由于放射治疗前，摆位工作人员需要进入后装治疗机房内协助患者进行摆位，在摆位过程会受到放射源贮存时的照射。

摆位工作人员进入后装治疗机房之前，必须确保放射源处于后装治疗机的贮源器中，并穿戴防护用品、佩戴个人剂量报警仪和个人剂量计进入机房。摆位工作人员协助患者摆位时在机房内停留时间按 1min 计，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。根据《后装 γ 源近距离治疗卫生防护要求》（GBZ121-2017）中“4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μGy/h”要求，本次评价以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员工作位的最大辐射剂量率进行计算，则摆位工作人员全年摆位过程所受的个人剂量见表 11-13。

③ 放射工作人员

根据医院提供资料，后装机治疗时每人治疗时间约为 10min，则操作人员工作时间按 250h，相关工作人员受到的年辐射剂量按式 11-17 进行计算。考虑到摆位和控制室工作人员可能为同人，因此放射工作人员所受照射年附加有效剂量需进行叠加，估算结果见表 11-13。

表 11-13　　项目后装机职业人员年附加剂量估算结果

关注点点位	最大周围剂量当量率（μSv/h）	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 U	年受照射总剂量（mSv/a）		每组工作人员年受照射剂量②（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）
西侧屏蔽墙外 30cm 处 c（控制室）	3.31×10^{-2}	250	1	1	8.28×10^{-3}	0.13	0.065	5
摆位工作人员	5①	25	1	1	0.125			
备注：① 单位换算系数为 1，即 Sv/Gy=1； ② 本项目拟为后装治疗机配备 2 名医生、4 名护士、2 名技师及 2 名物理师，可分为两组工作人员。								

由上表可知，项目后装机职业人员年附加剂量满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）职业人员照射的剂量约束值（5mSv/a）。

根据前文计算，后装机正常运行过程机房顶蔽墙外 m 处（CT 机房、医护走廊）

年附加有效剂量为 1.22×10^{-3}mSv/a，由此可知，项目运行过程中对楼上机房内职业人员影响小。

⑶ 非放射性废气环境影响

项目后装治疗机房西北角设置排风装置，风管底部（吸风口）离地约 30cm，再沿墙西北角墙体内壁向上接近顶板处，在装饰天花板上方经防护迷道，由防护门上方通往室外。送、排风管道在机房防护门洞口上方呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，通过折叠设计，增加管道中射线的散射次数。臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至放疗科西南侧的排风井，高空排放。项目后装治疗机房体积约 156.95m^3（含迷路），有效通风量为 1000m^3/h，机房有效通风换气次数为 6.0 次，项目送排风设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

⑷ 更换放射源过程中的环境影响

项目后装治疗机使用 1 枚放射源 ^{192}Ir，其半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，项目放射源使用达到 1.5 个半衰期时需更换，即 111 天更换一次，每年更换 3 次。更换放射源之前医院先到当地生态环境部门进行备案，待备案完成后再联系厂家进行放射源的更换，由厂家安排换源及换源后的整机调试，退役的放射源连同原贮源容器一起交由有资质的设备厂家进行回收处置。更换放射源全程由厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成，医院工作人员不直接参与放射源的更换操作，仅监督设备厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作，因此，更换放射源时对控制室内人员及机房周围的辐射环境影响较小。

⑸ 废旧放射源环境影响

项目更换的废 ^{192}Ir 放射源由放射源供应单位负责回收，不在项目工作场所内存放，不存在废放射源对周边环境的影响。

3、核医学科

根据工程分析可知，项目运行阶段环境影响主要为 SPECT-CT 和 PET-CT 中 CT 部分在出束时产生的 X 射线、放射性核素（^{99m}Tc、^{18}F）在使用过程中产生的 γ 射线的外照射影响，β 表面污染、放射性“三废”等。

⑴ 计算参数

为了论证核医学科各场所墙体、防护门屏蔽能力，从保守角度，不考虑核素随

时间衰变影响，采用如下公式进行计算：

$$\dot{H}=\frac{A\times\Gamma}{R^2}\times10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} \quad (11\text{-}27)$$

式中：$\dot{H}$—关注点剂量当量率控制水平，μSv/h；

A—非密封放射性物质活度，MBq；

R—非密封放射性物质距关注点距离，m；

Γ—周围剂量当量率常数，μSv·m²/MBq·h。根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H中：“^{99m}Tc的周围剂量当量率常数（裸源）为0.0303μSv·m²/MBq·h，^{18}F的周围剂量当量率常数（裸源）为0.143μSv·m²/MBq·h”；附录L中：“^{99m}Tc在患者或受检者体内单位活度所致体外1m处的周围剂量当量率为0.0207μSv·m²/MBq·h，^{18}F在患者或受检者体内单位活度所致体外1m处的周围剂量当量率为0.092μSv·m²/MBq·h”；

X—屏蔽体厚度，mm；

TVL—γ射线什值层厚度，mm。

本项目使用核素 ^{99m}Tc、^{18}F，放射性核素在衰变过程中会产生不同能量的射线。核医学科工作场所拟采用砖墙、混凝土墙、铅玻璃、铅防护门为主要屏蔽材料进行防护。

本项目核医学科使用的核素用量、核素半衰期、核素对应不同屏蔽材料什值层厚度相关计算参数见表 11-16。

表 11-16　　放射性核素屏蔽计算参数取值

核素	核素用量 MBq	半衰期	γ射线能量 keV	周围剂量当量率常数μSv·m²/(h·MBq)	什值层 TVL		
					混凝土 mm	铅mm	砖mm
^{99m}Tc	925	6.02h	141	0.0303	110	1	160
^{18}F	370	109.8min	511	0.143	176	16.6	263

备注：根据建设单位提供的资料，本项目使用的硫酸钡砂浆密度为 2.7g/cm³，对于 γ 射线，由于硫酸钡砂浆的质量衰减系数不小于混凝土，混凝土密度为 2.35g/cm³，为保守起见，将硫酸钡砂浆按混凝土考虑。

⑵ 辐射环境影响分析

① 储源室

储源室主要包括 ^{99m}Tc 的储存，厂家将放射性核素 ^{99m}Tc 暂存至储源室的药物转运防护罐内，主要影响为放射性核素 ^{99m}Tc 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。

根据公式（11-27），项目在储源室内储存时，各关注点位置见图 11-5，各关注点的周围剂量当量率计算结果见表 11-17。

表 11-17　　储源室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点		A（MBq）	屏蔽措施	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
储源室（^{99m}Tc）	四周墙体	东墙外 30cm 处	23125	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 药物转运防护罐	2.1	1.43×10^{-40}	2.5	是
		南墙外 30cm 处	23125	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 药物转运防护罐	1.5	2.81×10^{-40}	2.5	是
		西墙外 30cm 处	23125	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 药物转运防护罐	1.1	1.10×10^{-40}	2.5	是
		北墙外 30cm 处	23125	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 药物转运防护罐	1.8	4.11×10^{-41}	2.5	是
	东侧防护门外 30cm 处		23125	12mmPb 铅门+40mmPb 药物转运防护罐	2.1	1.59×10^{-50}	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		23125	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 药物转运防护罐	3.0	1.46×10^{-41}	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		23125	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 药物转运防护罐	4.3	7.10×10^{-42}	2.5	是

由上表可知，放射性药物 ^{99m}Tc 储存时，经屏蔽墙体衰减后，储源室各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

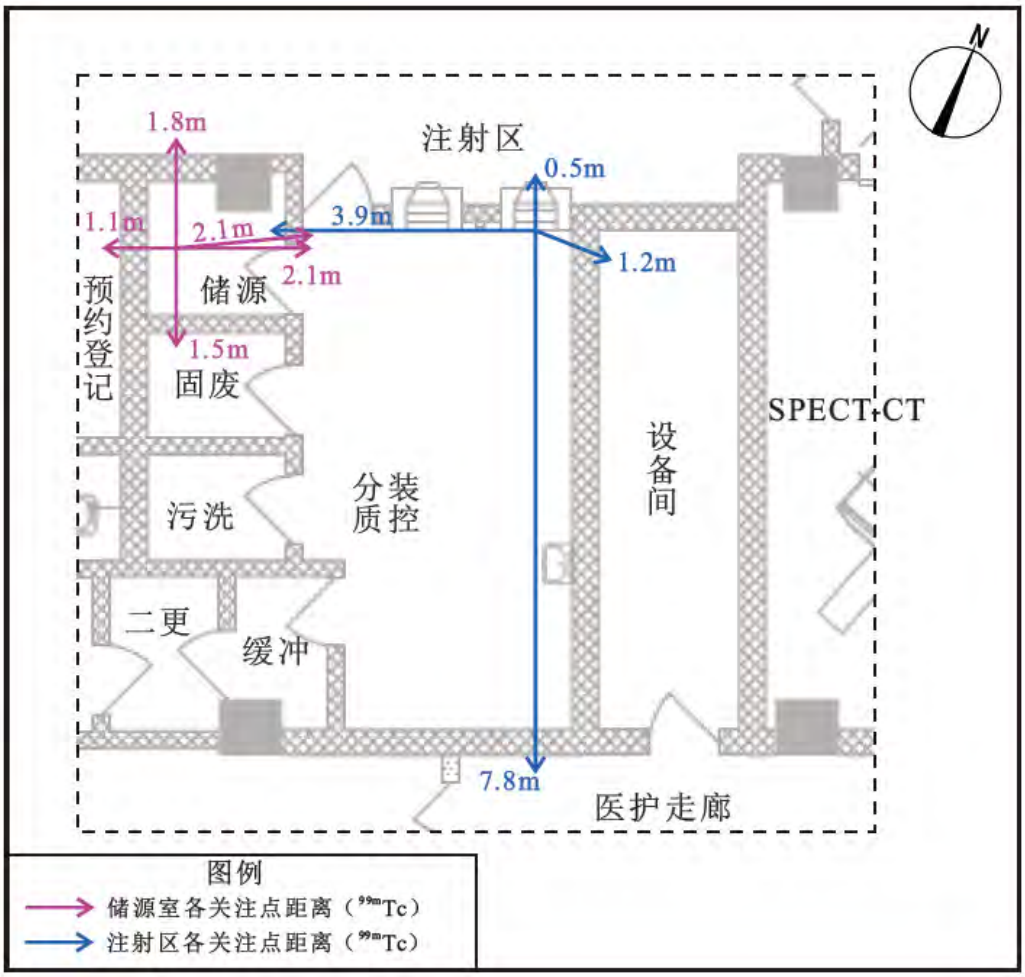


图11-5　　核医学科（储源室、注射区，^{99m}Tc）关注点位置

② 分装质控室

分装质控室主要包括 ^{18}F 的储存及分装，^{99m}Tc 一天送一次药，可不进行分装。主要影响为放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。

a. 手套箱屏蔽能力估算

本项目拟使用的放射性核素^{18}F放在药物转运防护罐（40mmPb）中由厂家转运至手套箱中暂存，其中^{18}F为每半天送一次药，根据前文估算，^{18}F全天实际订购量为127mCi，故在手套箱内^{18}F的最大使用量为63.5mCi（2.35×10^{9}Bq），手套箱的屏蔽厚度50mmPb。可根据公式11-27计算出手套箱表面30cm处、工作人员分装操作位处剂量率，计算结果如下：

表 11-18　　^{18}F 药物分装操作位以及手套箱表面剂量率估算结果

序号	关注点	A（MBq）	距源 1m 处的周围剂量当量率常数（μSv·m²/（h·MBq））	R（m）	X（mmPb）	剂量率（μSv/h）	剂量率控制水平（μSv/h）
1	手套箱（^{18}F）非正对人员操作位外表面 30cm 处	2350	0.143	0.5	50+40	5.09×10^{-3}	25

2	手套箱（^{18}F）正对人员操作位外表面 30cm 处						2.5

由表 11-18 可知，放射性核素 ^{18}F 在储存及分装过程中，手套箱外表面 30cm 处周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准要求。理论估算结果表明，配备的手套箱具备较好的辐射屏蔽能力。

b. 各关注点剂量率估算

项目药物分装时的辐射影响包括分装量和剩余量。^{18}F 为每半天送一次药，厂家将药物暂存在手套箱内，^{18}F 每人次核素用量为 3.70×10^{8}Bq，则剩余量为 1.98×10^{9}Bq。将分装好的药物采用 8mmPb 运输防护盒运送至注射区，剩余药物则在原先的 40mmPb 药物转运防护罐内，并暂存在手套箱中。

根据公式（11-27），项目在分装质控室内储存及分装时，各关注点位置见图 11-6，各关注点的周围剂量当量率计算结果见表 11-19。

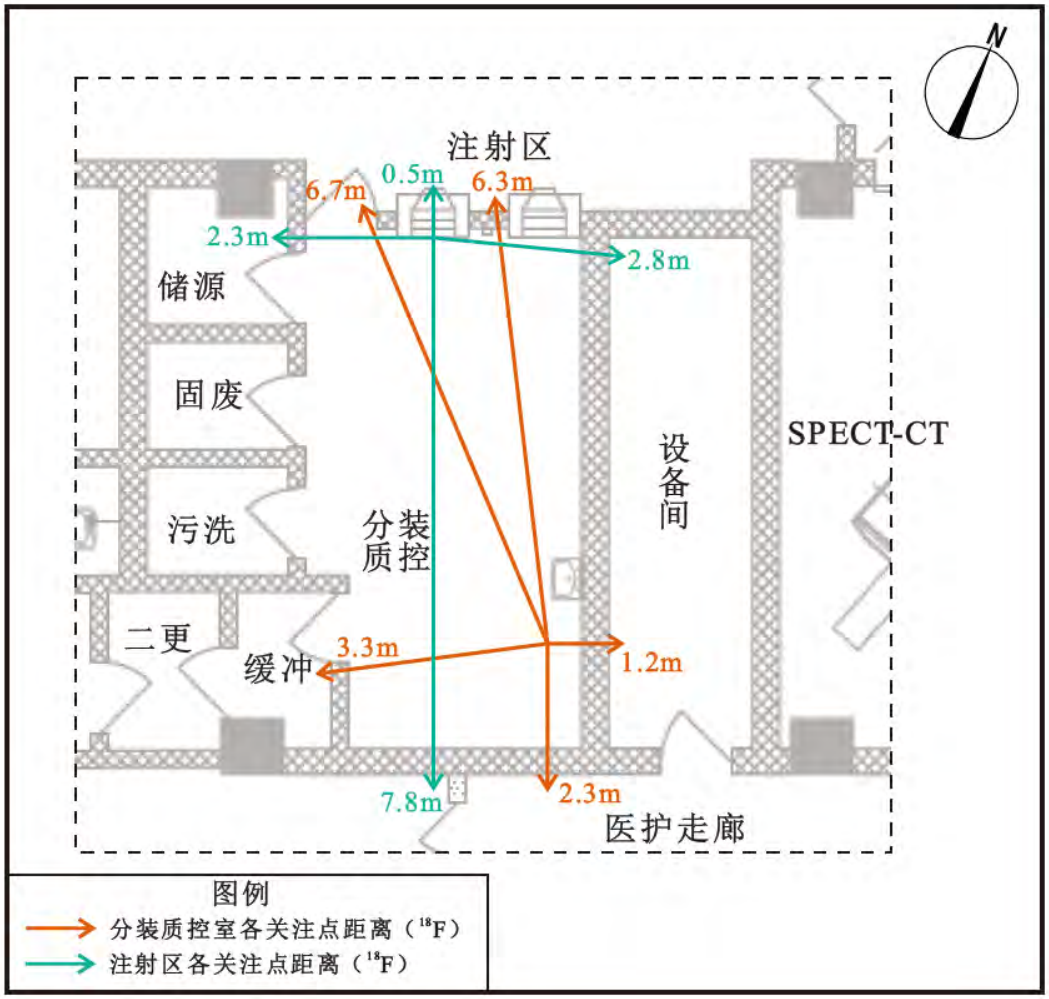


图11-6　　核医学科（分装质控室、注射区，^{18}F）关注点位置

表 11-19　　分装质控室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点		A（MBq）	屏蔽措施	R（m）	Ḣ（μSv/h）		剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
分装质控室（^{18}F分装）	四周墙体	东墙外30cm处	370	370mm实心砖+45mm硫酸钡防护材料+8mmPb运输防护盒	1.2	0.26	0.26	10	是
			1980	370mm实心砖+45mm硫酸钡防护材料+40mmPb手套箱+40mmPb药物转运防护罐		6.48×10^{-5}			
		南墙外30cm处	370	370mm实心砖+45mm硫酸钡防护材料+8mmPb运输防护盒	1.4	0.19	0.19	2.5	是
			1980	370mm实心砖+45mm硫酸钡防护材料+40mmPb手套箱+40mmPb药物转运防护罐		4.76×10^{-5}			
		西墙外30cm处	370	240mm实心砖+60mm硫酸钡防护材料+8mmPb运输防护盒	3.3	8.94×10^{-2}	8.94×10^{-2}	2.5	是
			1980	240mm实心砖+60mm硫酸钡防护材料+40mmPb手套箱+40mmPb药物转运防护罐		2.20×10^{-5}			
		北墙外30cm处	370	240mm实心砖+60mm硫酸钡防护材料+8mmPb运输防护盒	7.1	1.93×10^{-2}	1.93×10^{-2}	2.5	是
			1980	240mm实心砖+60mm硫酸钡防护材料+40mmPb手套箱+40mmPb药物转运防护罐		4.75×10^{-6}			
	北侧防护门外30cm处		370	12mmPb铅门+8mmPb运输防护盒	7.5	5.87×10^{-2}	5.87×10^{-2}	2.5	是
			1980	12mmPb铅门+40mmPb手套箱+40mmPb药物转运防护罐		1.44×10^{-5}			
	楼下距地面1.7m处		370	260mm混凝土+40mm硫酸钡防护材料+8mmPb运输	3.0	3.83×10^{-2}	3.83×10^{-2}	2.5	是

			防护盒					
		1980	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 手套箱+40mmPb 药物转运防护罐		9.42×10^{-6}			
	楼上距地面 1m 处	370	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料+8mmPb 运输防护盒	4.3	1.86×10^{-2}	1.86×10^{-2}	2.5	是
		1980	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料+40mmPb 手套箱+40mmPb 药物转运防护罐		4.58×10^{-6}			

由上表可知，放射性药物 ^{18}F 分装质控时，经屏蔽墙体衰减后，分装质控室各关注点的周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

③ 注射区

注射区主要为放射性药物 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的注射工作，环境影响主要为放射性核 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-5、图 11-6，药物注射过程中关注点周围剂量当量率如表 11-20 所示。

表 11-20　　注射区关注点的周围剂量当量率估算结果

注射核素	关注点		A（MBq）	屏蔽措施	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
注射区（^{99m}Tc）	四周墙体	东墙外 30cm 处	925	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	3.9	3.50×10^{-3}	10	是
		南墙外 30cm 处	925	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	7.8	8.75×10^{-4}	2.5	是
		西墙外 30cm 处	925	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	1.2	0.18	2.5	是
	北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处		925	40mmPb 注射窗口	0.5	1.12×10^{-38}	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		925	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	3.0	5.84×10^{-3}	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		925	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	4.3	2.84×10^{-3}	2.5	是
注射区（^{18}F）	四周墙体	东墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	2.3	0.15	10	是
		南墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	7.8	1.89×10^{-2}	2.5	是
		西墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	2.8	0.56	2.5	是

	北侧注射窗口（注射台）外30cm处	370	40mmPb注射窗口	0.5	0.82	2.5	是
	楼下距地面1.7m处	370	260mm混凝土+40mm硫酸钡防护材料	3.0	0.12	2.5	是
	楼上距地面1m处	370	260mm混凝土+40mm硫酸钡防护材料	4.3	5.65×10^{-2}	2.5	是

由上表可知，放射性药物 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 注射过程中，注射区各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

考虑当 ^{18}F 分装、^{18}F 注射同时进行时，此区域剂量叠加影响，计算结果见表 11-21。

表 11-21　　分装、注射、质控区关注点剂量率估算结果　　单位：μSv/h

关注点		$H_{分装18F}$	$H_{注射18F}$	$H_{总}$	限值
四周墙体	东墙外30cm处	0.26	0.15	0.41	10
	南墙外30cm处	0.19	1.89×10^{-2}	0.21	2.5
	西墙外30cm处	8.94×10^{-2}	0.56	0.65	2.5
	北墙外30cm处	1.93×10^{-2}	/	1.93×10^{-2}	2.5
北侧防护门外30cm处		5.87×10^{-2}	/	5.87×10^{-2}	2.5
楼下距地面1.7m处		3.83×10^{-2}	0.12	0.16	2.5
楼上距地面1m处		1.86×10^{-2}	5.65×10^{-2}	7.51×10^{-2}	2.5

经计算，^{18}F 分装、^{18}F 注射同时进行时，墙面、防护门外表面 30cm 剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关限值要求。

④ 运动候诊兼抢救室

运动候诊兼抢救室主要为患者注射放射性药物 ^{99m}Tc 后进行运动负荷试验，运动负荷室最多仅 1 人使用，主要环境影响为放射性核素 ^{99m}Tc 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-7，项目注射后候诊室的周围剂量当量率估算结果见表 11-22。

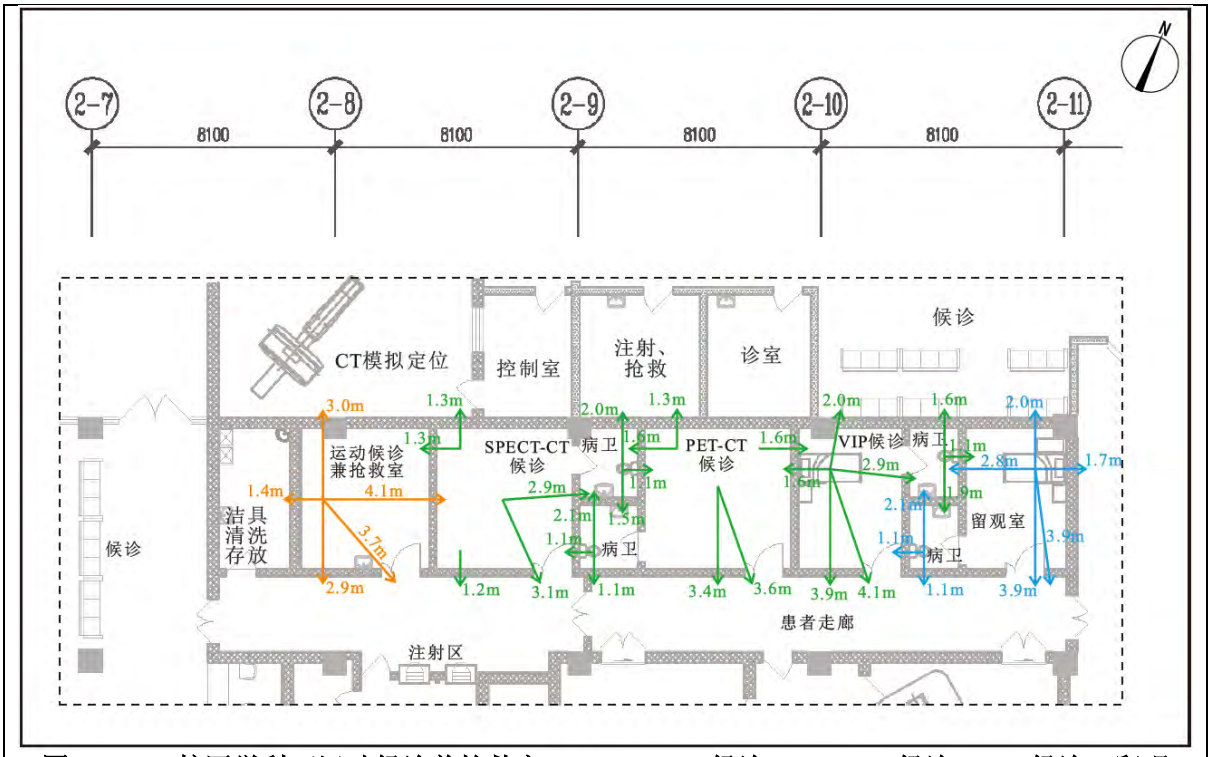


图11-7　　核医学科（运动候诊兼抢救室、SPECT-CT候诊、PET-CT候诊、VIP候诊、留观室）关注点位置

表 11-22　　运动候诊兼抢救室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点		A（MBq）	屏蔽措施	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
运动候诊兼抢救室（^{99m}Tc）	四周墙体	东墙外30cm处	925	240mm实心砖+30mm硫酸钡防护材料	4.1	1.92×10^{-2}	2.5	是
		南墙外30cm处	925	240mm实心砖+30mm硫酸钡防护材料	2.9	3.84×10^{-2}	2.5	是
		西墙外30cm处	925	370mm实心砖+15mm硫酸钡防护材料	1.4	3.48×10^{-2}	2.5	是
		北墙外30cm处	925	370mm实心砖+15mm硫酸钡防护材料	3.0	7.57×10^{-3}	2.5	是
	南侧防护门外30cm处		925	5mmPb铅门	3.7	1.40×10^{-5}	2.5	是
	楼下距地面1.7m处		925	260mm混凝土+10mm硫酸钡防护材料	3.0	7.47×10^{-3}	2.5	是
	楼上距地面1m处		925	260mm混凝土+10mm硫酸钡防护材料	4.3	3.64×10^{-3}	2.5	是

由上表可知，患者在运动候诊过程中，运动候诊兼抢救室各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

⑤ SPECT-CT 候诊、PET-CT 候诊及 VIP 候诊

SPECT-CT 候诊、PET-CT 候诊及 VIP 候诊主要为患者注射放射性药物 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 后进行候诊的区域。根据一天的就诊人数分批次进行注射，SPECT-CT 候诊同一

时间内最多有 5 人同时使用，内设有独立专卫；^{18}F 为每半天送一次药，则 PET-CT 候诊同一时间内最多有 2 人同时使用，内设有独立专卫；VIP 候诊同一时间内仅 1 人使用，内设有独立专卫，主要环境影响为放射性核 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-7，项目注射后候诊室的周围剂量当量率估算结果见表 11-23。

表 11-23　　SPECT-CT 候诊、PET-CT 候诊及 VIP 候诊关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点		A（MBq）	屏蔽措施	R（m）	Ḣ（μSv/h）	剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
SPECT-CT 候诊	四周墙体	东墙外 30cm 处	4625	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料	2.9	0.16	2.5	是
		南墙外 30cm 处	4625	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料	1.2	0.91	2.5	是
		西墙外 30cm 处	4625	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料	1.0	0.78	2.5	是
		北墙外 30cm 处	4625	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料	1.3	0.16	2.5	是
	南侧防护门外 30cm 处		4625	8mmPb 铅门	3.1	9.96×10^{-8}	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		4625	260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料	3.0	3.03×10^{-2}	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		4625	260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料	4.3	1.47×10^{-2}	2.5	是
SPECT-CT 候诊卫生间	四周墙体	东墙外 30cm 处	925	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	1.1	0.14	2.5	是
		南墙外 30cm 处	925	240mm 实心砖	1.5	0.27	2.5	是
		北墙外 30cm 处	925	370mm 实心砖	2.0	2.33×10^{-2}	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		925	260mm 混凝土	3.0	9.21×10^{-3}	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		925	260mm 混凝土	4.3	4.48×10^{-3}	2.5	是
PET-CT 候诊	四周墙体	东墙外 30cm 处	740	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	1.6	1.48	2.5	是
		南墙外 30cm 处	740	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	3.4	0.33	2.5	是
		西墙外 30cm 处	740	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	1.6	1.48	2.5	是
		北墙外 30cm 处	740	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	1.3	0.88	2.5	是
	南侧防护门外 30cm 处		740	10mmPb 铅门	3.6	1.31	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		740	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	3.0	0.15	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		740	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	4.3	7.27×10^{-2}	2.5	是

PET-CT 候诊卫生间	四周墙体	南墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	1.1	1.57	2.5	是
		西墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护材料	1.1	2.04	2.5	是
		北墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	2.1	0.30	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		370	260mm 混凝土	4.3	6.13×10^{-2}	2.5	是
VIP 候诊（^{18}F）	四周墙体	东墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	2.9	0.23	2.5	是
		南墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	3.9	0.13	2.5	是
		西墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护材料	1.6	0.74	2.5	是
		北墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	2.0	0.19	2.5	是
	南侧防护门外 30cm 处		370	10mmPb 铅门	4.1	0.51	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		370	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	3.0	7.47×10^{-2}	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		370	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	4.3	3.64×10^{-2}	2.5	是
VIP 候诊卫生间（^{18}F）	四周墙体	东墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖+50mm 硫酸钡防护材料	1.0	1.79	2.5	是
		南墙外 30cm 处	370	240mm 实心砖	1.9	1.15	2.5	是
		北墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	1.6	0.52	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		370	260mm 混凝土	4.3	6.13×10^{-2}	2.5	是

由上表可知，SPECT-CT 候诊、PET-CT 候诊及 VIP 候诊各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

⑥ SPECT-CT 机房及 PET-CT 机房

SPECT-CT 机房主要为患者注射放射性药物 ^{99m}Tc 后进行扫描显像检查的区域；PET-CT 机房主要为患者注射放射性药物 ^{18}F 后进行扫描显像检查的区域，主要环境影响为放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线、CT 部分运行期间产生的 X 射线。

a. 机房防护屏蔽的防护分析

为了论证核医学科各工作场所墙体、防护门或观察窗屏蔽能力，从保守角度，不考虑核素随时间衰变影响，采用如下公式进行计算：

$$X=TVL\times\lg(\frac{A\times\Gamma}{\dot{H}_P\times R^2}) \quad (11\text{-}28)$$

式中：

X—屏蔽厚度，mm；

$\dot{H}_P$—屏蔽体外关注点剂量率控制值，μSv/h；

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，μSv·m^2（h.MBq）；

R—参考点与放射源之间的距离，m；

TVL—γ 射线的十分之一值层厚度，mm。

射线装置机房基本尺寸及防护情况详见表 11-24。

表 11-24　　SPECT-CT 及 PET-CT 机房使用面积及单边长度

射线机房	项目	实际值	GBZ130-2020 要求值	评价
SPECT-CT	面积	48.18m^2	30m^2	满足
	最小单边长	6.13m	4.5m	满足
PET-CT	面积	47.40m^2	30m^2	满足
	最小单边长	6.03m	4.5m	满足

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），项目 SPECT-CT 机房 X 射线防护屏蔽措施符合性分析见表 11-25。

表 11-25　　SPECT-CT 及 PET-CT 机房辐射屏蔽设计符合性分析

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求	是否符合
SPECT-CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料	6.0mmPb	2.5mmPb	符合
	地面	260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料	5.2mmPb	2.5mmPb	符合
	屋顶	260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料	5.2mmPb	2.5mmPb	符合
	患者防护门	5mmPb 铅门	5mmPb	2.5mmPb	符合
	工作人员防护门	5mmPb 铅门	5mmPb	2.5mmPb	符合
	观察窗	5mmPb 铅玻璃	5mmPb	2.5mmPb	符合
PET-CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	7.5mmPb	2.5mmPb	符合
	地面	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	6.5mmPb	2.5mmPb	符合
	屋顶	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	6.5mmPb	2.5mmPb	符合
	患者防护门	12mmPb 铅门	12mmPb	2.5mmPb	符合
	工作人员防护门	12mmPb 铅门	12mmPb	2.5mmPb	符合
	观察窗	12mmPb 铅玻璃	12mmPb	2.5mmPb	符合

备注：① 参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C，估算在管电压 140kV 条件下，249mm 混凝土防护能力相当于 3.0mm 铅当量，采用外推法得 260mm 混凝土防护能力相当于 3.2mm 铅当量；370mm 实心砖防护能力相当于 3.7mm 铅当量；

② 根据《X 射线和 γ 射线防护手册》P74，25mm 含钡砂浆保守取 150kV 时铅当量厚度为 2.3mm，18mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 1.9mm，采用内插法算得 20mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 2.0mm；38mm 含钡砂浆保守取 150kV 时铅当量厚度为 3.1mm，50mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 4.3mm，采用内插法算得 40mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 3.3mm，45mm 含钡砂浆 150kV 时铅当量厚度为 3.8mm；

故本次 25mm 硫酸钡防护材料 150kV 时铅当量厚度取 2.3mm，20mm 硫酸钡防护材料 150kV 时铅当量厚度取 2.0mm，40mm 硫酸钡防护材料 150kV 时铅当量厚度取 3.3mm，45mm 硫酸钡防护材料 150kV 时铅当量厚度取 3.8mm；

由上表可知，本项目 SPECT-CT 机房和 PET-CT 机房 X 射线的防护屏蔽措施均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求。

b. SPECT-CT 和 PET-CT 机房（CT 部分）辐射剂量率估算

本次拟依托的 SPECT 设备中的 CT 部分最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA；PET 设备中的 CT 部分最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 E.2，75%位数下，焦点处的剂量率最大为 60mGy（扫描时间 2s），本次评价保守按照 CT 扫描时，焦点处的最大剂量率为 1800mGy/min 考虑。关注点位置见图 11-8。

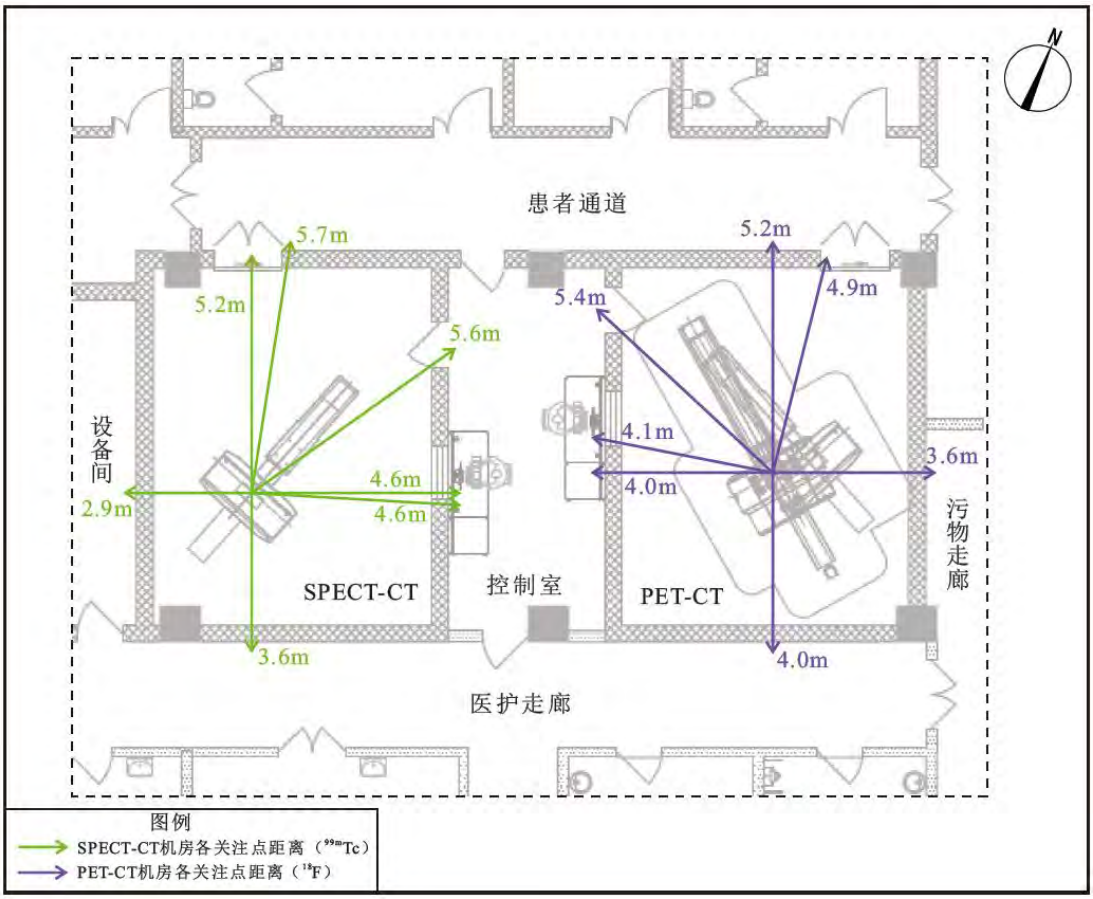


图11-8　　核医学科（SPECT-CT及PET-CT）关注点位置

I 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护导论》P115 公式 3.61。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算，具体公式见公示（11-29）、公示（11-30）。

$$H_L=\frac{H_0\times B}{R^2} \quad (11\text{-}29)$$

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11\text{-}30)$$

式中：H_L—关注点漏射剂量率，μGy/h；

H_0—泄漏辐射距焦点 1m 处的平均空气比释动能率；

R—计算点距源点的距离，m；

B—透射因子；

X—铅厚度，mm；

公式中 H_0 按照泄漏率为 0.1%进行估算，故本次取 1.08×10^5μGy/h。

α、β、γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-26。

表 11-26　　X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.990	0.3420
注：α、β、γ 取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C				

SPECT-CT 及 PET-CT 机房各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果如下：

表 11-27　　SPECT-CT 及 PET-CT 机房各关注点泄漏辐射剂量率估算结果

工作场所	关注点位置描述		H_0	R	X	α	β	γ	透射因子 B	泄漏辐射剂量率
	单位		μGy/h	m	mm	/	/	/	/	μGy/h
SPECT-CT 机房	东侧	东墙（控制室）	1.08×10^5	4.6	6	2.009	3.990	0.3420	2.45×10^{-7}	1.25×10^{-3}
		观察窗	1.08×10^5	4.6	5	2.009	3.990	0.3420	1.89×10^{-6}	9.63×10^{-3}
		东侧工作人员防护门	1.08×10^5	5.6	5	2.009	3.990	0.3420	1.89×10^{-6}	6.50×10^{-3}
	南侧	医生走廊	1.08×10^5	3.6	6	2.009	3.990	0.3420	2.45×10^{-7}	2.04×10^{-3}
	西侧	设备间	1.08×10^5	2.9	6	2.009	3.990	0.3420	2.45×10^{-7}	3.15×10^{-3}
	北侧	北侧患者防护门	1.08×10^5	5.2	5	2.009	3.990	0.3420	1.89×10^{-6}	7.54×10^{-3}
		患者走廊	1.08×10^5	5.7	6	2.009	3.990	0.3420	2.45×10^{-7}	8.15×10^{-4}
	楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.08×10^5	3.0	5.2	2.009	3.990	0.3420	1.25×10^{-6}	1.50×10^{-2}
	楼上	楼上距地面 1m 处（MRI 机房、患者走廊）	1.08×10^5	4.3	5.2	2.009	3.990	0.3420	1.25×10^{-6}	7.32×10^{-3}
PET-CT 机房	东侧	污物走廊	1.08×10^5	3.6	7.5	2.009	3.990	0.3420	1.18×10^{-8}	9.84×10^{-5}
	南侧	医生走廊	1.08×10^5	4.0	7.5	2.009	3.990	0.3420	1.18×10^{-8}	7.97×10^{-5}

	西侧	东墙（控制室）	1.08×10^{5}	4.0	7.5	2.009	3.990	0.3420	1.18×10^{-8}	7.97×10^{-5}
		观察窗	1.08×10^{5}	4.1	12	2.009	3.990	0.3420	1.38×10^{-12}	8.89×10^{-9}
		西侧工作人员防护门	1.08×10^{5}	5.4	12	2.009	3.990	0.3420	1.38×10^{-12}	5.13×10^{-9}
	北侧	北侧患者防护门	1.08×10^{5}	4.9	12	2.009	3.990	0.3420	1.38×10^{-12}	6.22×10^{-9}
		患者走廊	1.08×10^{5}	5.2	7.5	2.009	3.990	0.3420	1.18×10^{-8}	4.71×10^{-5}
	楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.08×10^{5}	3.0	6.5	2.009	3.990	0.3420	8.90×10^{-8}	1.07×10^{-3}
	楼上	楼上距地面 1m 处（MRI 机房、患者走廊）	1.08×10^{5}	4.3	6.5	2.009	3.990	0.3420	8.90×10^{-8}	5.20×10^{-4}

II 散射辐射剂量估算

关注点散射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册——辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）P437。

$$H_S=\frac{H_0\times\alpha\times B\times(S/400)}{(d_0\times d_s)^2} \qquad (11\text{-}31)$$

式中：H_S—关注点处的患者散射剂量率，μGy/h；

H_0/d_0^2—焦点处的最大剂量率，μGy/h；

α—患者对 X 射线的散射比，取 0.0015（90°散射，相对于 400cm^2 散射面积），取自《辐射防护手册第一分册》P437 表 10.1；

S—散射面积，取典型值 400cm^2；

d_S—患者与关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子，按式 11-30 计算。

SPECT-CT 机房各关注点的散射辐射剂量率估算结果如下：

表 11-28　　各关注点散射辐射剂量率估算结果

工作场所	关注点位置描述		H_0	α	透射因子 B	S	d_S	散射辐射剂量率
	单位		μGy/h	/	/	cm^2	m	μGy/h
SPECT-CT 机房	东侧	东墙（控制室）	1.08×10^{8}	0.0015	2.45×10^{-7}	400	4.6	1.88×10^{-3}
		观察窗	1.08×10^{8}	0.0015	1.89×10^{-6}	400	4.6	1.44×10^{-2}
		东侧工作人员防护门	1.08×10^{8}	0.0015	1.89×10^{-6}	400	5.6	9.75×10^{-3}
	南侧	医生走廊	1.08×10^{8}	0.0015	2.45×10^{-7}	400	3.6	3.07×10^{-3}
	西侧	设备间	1.08×10^{8}	0.0015	2.45×10^{-7}	400	2.9	4.72×10^{-3}
	北侧	北侧患者防护门	1.08×10^{8}	0.0015	1.89×10^{-6}	400	5.2	1.13×10^{-2}
		患者走廊	1.08×10^{8}	0.0015	2.45×10^{-7}	400	5.7	1.22×10^{-3}
	楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.08×10^{8}	0.0015	1.25×10^{-6}	400	3.0	2.25×10^{-2}
	楼上	楼上距地面 1m 处（MRI 机房、患者走廊）	1.08×10^{8}	0.0015	1.25×10^{-6}	400	4.3	1.10×10^{-2}
PET-CT 机房	东侧	污物走廊	1.08×10^{8}	0.0015	1.18×10^{-8}	400	3.6	1.48×10^{-4}
	南侧	医生走廊	1.08×10^{8}	0.0015	1.18×10^{-8}	400	4.0	1.20×10^{-4}

	西侧	东墙（控制室）	1.08×10^{8}	0.0015	1.18×10^{-8}	400	4.0	1.20×10^{-4}
		观察窗	1.08×10^{8}	0.0015	1.38×10^{-12}	400	4.1	1.33×10^{-8}
		西侧工作人员防护门	1.08×10^{8}	0.0015	1.38×10^{-12}	400	5.4	7.69×10^{-9}
	北侧	北侧患者防护门	1.08×10^{8}	0.0015	1.38×10^{-12}	400	4.9	9.34×10^{-9}
		患者走廊	1.08×10^{8}	0.0015	1.18×10^{-8}	400	5.2	7.07×10^{-5}
	楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.08×10^{8}	0.0015	8.90×10^{-8}	400	3.0	1.60×10^{-3}
	楼上	楼上距地面 1m 处（MRI 机房、患者走廊）	1.08×10^{8}	0.0015	8.90×10^{-8}	400	4.3	7.80×10^{-4}

III 泄漏+散射剂量率估算

表 11-29　　SPECT-CT 和 PET-CT（CT 部分）各关注点泄漏+散射辐射剂量率计算结果

工作场所	关注点位置描述		泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R
	单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h
SPECT-CT 机房	东侧	东墙（控制室）	1.25×10^{-3}	1.88×10^{-3}	3.13×10^{-3}
		观察窗	9.63×10^{-3}	1.44×10^{-2}	2.41×10^{-2}
		东侧工作人员防护门	6.50×10^{-3}	9.75×10^{-3}	1.62×10^{-3}
	南侧	医生走廊	2.04×10^{-3}	3.07×10^{-3}	5.11×10^{-3}
	西侧	设备间	3.15×10^{-3}	4.72×10^{-3}	7.87×10^{-3}
	北侧	北侧患者防护门	7.54×10^{-3}	1.13×10^{-2}	1.88×10^{-2}
		患者走廊	8.15×10^{-4}	1.22×10^{-3}	2.04×10^{-3}
	楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.50×10^{-2}	2.25×10^{-2}	3.76×10^{-2}
	楼上	楼上距地面 1m 处（MRI 机房、患者走廊）	7.32×10^{-3}	1.10×10^{-2}	1.83×10^{-2}
PET-CT 机房	东侧	污物走廊	9.84×10^{-5}	1.48×10^{-4}	2.46×10^{-4}
	南侧	医生走廊	7.97×10^{-5}	1.20×10^{-4}	1.99×10^{-4}
	西侧	东墙（控制室）	7.97×10^{-5}	1.20×10^{-4}	1.99×10^{-4}
		观察窗	8.89×10^{-9}	1.33×10^{-8}	2.22×10^{-8}
		西侧工作人员防护门	5.13×10^{-9}	7.69×10^{-9}	1.28×10^{-8}
	北侧	北侧患者防护门	6.22×10^{-9}	9.34×10^{-9}	1.56×10^{-8}
		患者走廊	4.71×10^{-5}	7.07×10^{-5}	1.18×10^{-4}
	楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.07×10^{-3}	1.60×10^{-3}	2.67×10^{-3}
	楼上	楼上距地面 1m 处（MRI 机房、患者走廊）	5.20×10^{-4}	7.80×10^{-4}	1.30×10^{-3}

由上表可知，本项目 SPECT-CT 和 PET-CT 中 CT 部分运行时各关注点的剂量率均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

c. SPECT-CT 机房（^{99m}Tc）和 PET-CT 机房（^{18}F）辐射剂量率估算

各关注点位置见图 11-8，项目扫描诊断过程机房周围剂量当量率估算结果见表 11-30。

表 11-30　　SPECT-CT 和 PET-CT 机房关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点		A（MBq）	屏蔽措施	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
SPECT-CT 机房	四周墙体	东墙外 30cm 处	925	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料	4.6	2.61×10^{-3}	2.5	是
		南墙外 30cm 处	925	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料	3.6	4.26×10^{-3}	2.5	是
		西墙外 30cm 处	925	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料	2.9	6.57×10^{-3}	10	是
		北墙外 30cm 处	925	370mm 实心砖+25mm 硫酸钡防护材料	5.7	1.70×10^{-3}	2.5	是
	北侧患者防护门外 30cm 处		925	5mmPb 铅门	5.2	7.08×10^{-6}	2.5	是
	东侧工作人员防护门外 30cm 处		925	5mmPb 铅门	5.6	6.11×10^{-6}	2.5	是
	观察窗外 30cm 处		925	5mmPb 铅玻璃	4.6	9.05×10^{-6}	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		925	260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料	3.0	6.06×10^{-3}	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		925	260mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护材料	4.3	2.95×10^{-3}	2.5	是
PET-CT 机房	四周墙体	东墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	3.6	5.71×10^{-2}	2.5	是
		南墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	4.0	4.63×10^{-2}	2.5	是
		西墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	4.0	4.63×10^{-2}	2.5	是
		北墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖+45mm 硫酸钡防护材料	5.2	2.74×10^{-2}	2.5	是
	北侧患者防护门外 30cm 处		370	12mmPb 铅门	4.9	0.27	2.5	是
	西侧工作人员防护门外 30cm 处		370	12mmPb 铅门	5.4	0.22	2.5	是
	观察窗外 30cm 处		370	12mmPb 铅玻璃	4.1	0.38	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处		370	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	3.0	7.47×10^{-2}	2.5	是
	楼上距地面 1m 处		370	260mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护材料	4.3	3.64×10^{-2}	2.5	是

表 11-31　　注射放射性药物后在 SPECT-CT 和 PET-CT 机房扫描时辐射剂量当量率

工作场所	关注点		$\dot{H}$（μGy/h）	X 射线辐射剂量率（μGy/h）	总的辐射剂量当量率（μGy/h）	剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
SPECT-CT 机房	四周墙体	东墙外30cm处	2.61×10^{-3}	3.13×10^{-3}	5.74×10^{-3}	2.5	是
		南墙外30cm处	4.26×10^{-3}	5.11×10^{-3}	9.37×10^{-3}	2.5	是
		西墙外30cm处	6.57×10^{-3}	7.87×10^{-3}	1.44×10^{-2}	10	是
		北墙外30cm处	1.70×10^{-3}	2.04×10^{-3}	3.74×10^{-3}	2.5	是

	北侧患者防护门外30cm处	7.08×10^{-6}	1.88×10^{-2}	1.89×10^{-2}	2.5	是
	东侧工作人员防护门外30cm处	6.11×10^{-6}	1.62×10^{-2}	1.63×10^{-2}	2.5	是
	观察窗外30cm处	9.05×10^{-6}	2.41×10^{-2}	2.41×10^{-2}	2.5	是
	楼下距地面1.7m处	6.06×10^{-3}	3.76×10^{-2}	4.36×10^{-2}	2.5	是
	楼上距地面1m处	2.95×10^{-3}	1.83×10^{-2}	2.12×10^{-2}	2.5	是
PET-CT机房	四周墙体 东墙外30cm处	5.71×10^{-2}	2.46×10^{-4}	5.74×10^{-2}	2.5	是
	四周墙体 南墙外30cm处	4.63×10^{-2}	1.99×10^{-4}	4.65×10^{-2}	2.5	是
	四周墙体 西墙外30cm处	4.63×10^{-2}	1.99×10^{-4}	4.65×10^{-2}	2.5	是
	四周墙体 北墙外30cm处	2.74×10^{-2}	1.18×10^{-4}	2.75×10^{-2}	2.5	是
	北侧患者防护门外30cm处	0.27	1.56×10^{-8}	0.27	2.5	是
	西侧工作人员防护门外30cm处	0.22	1.28×10^{-8}	0.22	2.5	是
	观察窗外30cm处	0.38	2.22×10^{-8}	0.38	2.5	是
	楼下距地面1.7m处	7.47×10^{-2}	2.67×10^{-3}	7.73×10^{-2}	2.5	是
	楼上距地面1m处	3.64×10^{-2}	1.30×10^{-3}	3.76×10^{-2}	2.5	是
备注：① 检查时，SPECT、PET开机。② X射线辐射剂量率采用表11-28中估算的数值。						

由上表可知，患者在扫描显像检查过程中，SPECT-CT 及 PET-CT 机房各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

⑦ 留观室

留观室主要用于观察注射了放射性药物 ^{18}F 且扫描完毕后的患者是否有其它异常反应，若每位患者扫描时间最长为 30min，每位患者留观时间最长为 1h，因此留观室内同时最多有 3 名患者，主要环境影响为放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-7，留观室各关注点的周围辐射剂量率估算结果见表 11-32。

表 11-32　　留观室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	A（MBq）	屏蔽措施	R（m）	$\dot{H}$（μSv/h）	剂量率控制值（μSv/h）	是否符合
留观室（^{18}F）	四周墙体 东墙外30cm处	1110	370mm 实心砖+35mm 硫酸钡防护材料	1.7	0.88	2.5	是
	四周墙体 南墙外30cm处	1110	240mm 实心砖+50mm 硫酸钡防护材料	3.9	0.43	2.5	是
	四周墙体 西墙外30cm处	1110	240mm 实心砖+50mm 硫酸钡防护材料	2.8	0.83	2.5	是
	四周墙体 北墙外30cm处	1110	370mm 实心砖+35mm 硫酸钡防护材料	2.0	0.63	2.5	是
	南侧防护门外 30cm 处	1110	10mmPb 铅门	3.9	1.68	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处	1110	260mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护材料	3.0	0.26	2.5	是

	楼上距地面1m处	1110	260mm混凝土+30mm硫酸钡防护材料	4.3	0.12	2.5	是

由上表可知，留观室内同时最多有3名患者时，注射放射性药物 ^{18}F 的患者进入留观室时，各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

⑶ 年附加有效剂量估算

① 周围剂量当量率估算

本项目职业人员涉及药物分装、药物注射及 SPECT-CT、PET-CT 操作人员，该周围剂量当量率估算结果如表11-33。

表 11-33　　职业人员周围剂量当量率估算结果

受影响人群分类		关注点	核素活度（MBq）	屏蔽措施	R（m）	估算结果（μSv/h）
职业人员	药物 ^{18}F 的分装	分装质控室内手套箱（^{18}F）正对人员操作位外表面	3700	40mmPb 手套箱+40mmPb 药物转运防护罐	0.5	3.21×10^{-2}
	药物 ^{99m}Tc 注射	药物 ^{99m}Tc 由分装质控室内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）	925	5mmPb ^{99m}Tc 注射器防护套	0.3	3.11×10^{-3}
		北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处	925	40mmPb 铅玻璃	0.5	1.12×10^{-38}
	药物 ^{18}F 注射	药物 ^{18}F 由分装质控室内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）	370	15mmPb 钨合金注射器防护套	0.3	7.34
		北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处	370	40mmPb 铅玻璃	0.5	0.82
	SPECT-CT 操作人员	操作人员摆位	925	0.5mmPb 铅衣	0.5	24.20
		观察窗外 30cm 处	925	5mmPb 铅玻璃	4.6	9.05×10^{-6}
	PET-CT 操作人员	操作人员摆位	370	0.5mmPb 铅衣	0.5	127
		观察窗外 30cm 处	370	12mmPb 铅玻璃	4.1	0.38

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测本项目核医学科投入运行后对职业人员和公众的辐射影响。根据建设单位提供资料，利用公示（11-17），估算各关注点的年附加有效剂量，估算结果见表11-34。

表 11-34　本项目核医学科放射工作人员及公众年有效剂量估算结果

受影响人群分类		关注点		受照射剂量率（μGy/h）	居留因子	年工作时间（h）	年有效剂量（mSv）		年剂量管理限值（mSv）
职业人员	药物 ^{18}F 的分装	分装质控室内手套箱（^{18}F）正对人员操作位外表面		3.21×10^{-2}	1	每人每次分装、质控用时约 1min，每天约 10 人，全年共 40h	1.28×10^{-3}		5
	药物 ^{99m}Tc 注射	药物 ^{99m}Tc 由分装质控室内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）		3.11×10^{-3}	1	每人每次用时约 10s，每天约 25 人，全年共 16.7h	5.20×10^{-5}	0.50	5
		北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处		1.12×10^{-38}	1	每人每次用时约 10s，每天约 25 人，全年共 16.7h	1.87×10^{-40}		
	药物 ^{18}F 注射	药物 ^{18}F 由分装质控室内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）		7.34	1	每人每次用时约 10s，每天约 10 人，全年共 6.7h	0.49		
		北侧注射窗口（注射台）外 30cm 处		0.82	1	每人每次用时约 10s，每天约 10 人，全年共 6.7h	5.52×10^{-3}		
	SPECT-CT 操作人员	操作人员摆位		24.20	1	每人每次摆位时间约 30s，每天约 25 人，全年共 50h	1.21	1.21	5
		观察窗外 30cm 处		9.05×10^{-6}	1	每人每次约 20min，每天约 25 人，全年共 2000h	1.81×10^{-5}		
	PET-CT 操作人员	操作人员摆位		127	1	每人每次摆位时间约 30s，每天约 10 人，全年共 20h	2.54	2.85	5
		观察窗外 30cm 处		0.38	1	每人每次约 20min，每天约 10 人，全年共 800h	0.31		
公众	流动人群	核医学科楼下	分装质控室楼下距地面 1.7m 处（^{18}F）	3.83×10^{-2}	1/40	每人每次分装、质控用时约 1min，每天约 10 人，全年共 40h	3.83×10^{-5}		0.1
			注射区楼下距地面 1.7m 处（^{99m}Tc）	5.84×10^{-3}	1/40	每人每次用时约 10s，每天约 25 人，全年共 16.7h	2.44×10^{-6}		0.1
			注射区楼下距地面 1.7m 处（^{18}F）	0.12	1/40	每人每次用时约 10s，每天约 10 人，全年共 6.7h	1.94×10^{-5}		0.1
			运动候诊兼抢救室楼下距地面 1.7m 处（^{99m}Tc）	7.47×10^{-3}	1/40	进入运动负荷室内进行心肌运动负荷试验用时最长约 1.5h，每天最多	7.0×10^{-5}		0.1

						约 1 人，全年共 375h		
			SPECT-CT 候诊楼下距地面 1.7m 处	3.03×10^{-2}	1/40	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 25 人，全年共 2100h	1.59×10^{-3}	0.1
			SPECT-CT 候诊卫生间楼下距地面 1.7m 处	9.21×10^{-3}	1/40	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 25 人，全年共 1000h	2.30×10^{-4}	0.1
			PET-CT 候诊楼下距地面 1.7m 处	0.22	1/40	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 10 人，全年共 840h	4.70×10^{-3}	0.1
			PET-CT 候诊卫生间楼下距地面 1.7m 处	0.13	1/40	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 10 人，全年共 400h	1.26×10^{-3}	0.1
			VIP 候诊楼下距地面 1.7m 处（^{18}F）	7.47×10^{-2}	1/40	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 10 人，全年共 840h	1.57×10^{-3}	0.1
			VIP 候诊楼下卫生间距地面 1.7m 处（^{18}F）	0.13	1/40	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 10 人，全年共 400h	1.26×10^{-3}	0.1
			SPECT-CT 机房楼下距地面 1.7m 处	2.87×10^{-2}	1/40	进入 SPECT-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 25 人，全年共 2100h	1.51×10^{-3}	0.1
			PET-CT 机房楼下距地面 1.7m 处	7.63×10^{-2}	1/40	进入 PET-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 10 人，全年共 840h	1.60×10^{-3}	0.1
			留观室楼下距地面 1.7m 处（^{18}F）	0.26	1/40	进入留观室内留观用时最长约 1h，每天最多约 10 人，全年共 2400h	1.53×10^{-2}	0.1
		核医学科楼上	分装质控室楼上距地面 1m 处（^{99m}Tc）	2.84×10^{-11}	1/2	每人每次分装、质控用时约 1min，每天约 25 人，全年共 100h	1.42×10^{-12}	0.1
			分装质控室楼上距地面 1m 处（^{18}F）	1.86×10^{-2}	1/2	每人每次分装、质控用时约 1min，每天约 10 人，全年共 40h	3.73×10^{-4}	0.1
			注射区楼上距地面 1m 处（^{99m}Tc）	2.84×10^{-3}	1/2	每人每次用时约 10s，每天约 25 人，全年共 16.7h	2.37×10^{-5}	0.1
			注射区楼上距地面 1m 处（^{18}F）	5.65×10^{-2}	1/2	每人每次用时约 10s，每天约 10 人，全年共 6.7h	1.89×10^{-4}	0.1
			运动候诊兼抢救室楼上距地面 1m 处（^{99m}Tc）	3.64×10^{-3}	1/8	进入运动负荷室内进行心肌运动负荷试验用时最长约 1.5h，每天最多约 1 人，全年共 375h	1.70×10^{-4}	0.1

			运动候诊兼抢救室楼上距地面 1m 处（^{18}F）	5.38×10^{-2}	1/8	进入运动负荷室内进行心肌运动负荷试验用时最长约 1.5h，每天最多约 1 人，全年共 375h	2.52×10^{-3}	0.1
			SPECT-CT 候诊楼上距地面 1m 处	1.47×10^{-2}	1/5	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 25 人，全年共 2100h	6.19×10^{-3}	0.1
			SPECT-CT 候诊卫生间楼上距地面 1m 处	4.48×10^{-3}	1/5	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 25 人，全年共 1000h	8.97×10^{-4}	0.1
			PET-CT 候诊楼上距地面 1m 处	0.11	1/5	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 10 人，全年共 840h	1.83×10^{-2}	0.1
			PET-CT 候诊卫生间楼上距地面 1m 处	6.13×10^{-2}	1/5	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 10 人，全年共 400h	4.91×10^{-3}	0.1
			VIP 候诊楼上距地面 1m 处（^{18}F）	3.64×10^{-2}	1/5	进入候诊用时最长约 21min，每天最多约 10 人，全年共 840h	6.11×10^{-3}	0.1
			VIP 候诊楼上卫生间距地面 1m 处（^{18}F）	6.13×10^{-2}	1/5	进入卫生间用时最长约 10min，每天最多约 10 人，全年共 400h	4.91×10^{-3}	0.1
			SPECT-CT 机房楼上距地面 1m 处	1.40×10^{-2}	1/2	进入 SPECT-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 25 人，全年共 2100h	1.47×10^{-2}	0.1
			PET-CT 机房楼上距地面 1m 处	3.71×10^{-2}	1/2	进入 PET-CT 机房内用时最长约 21min，每天最多约 10 人，全年共 840h	1.56×10^{-2}	0.1
			留观室楼上距地面 1m 处（^{18}F）	0.12	1/5	进入留观室内留观用时最长约 1h，每天最多约 10 人，全年共 2400h	5.97×10^{-2}	0.1

根据表 11-34 可知，本项目正常运行期间，对工作人员所致年有效剂量最大为 2.85mSv，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。由于放射性药物半衰期较短，药物活度不断降低，其产生辐射剂量率也不断降低，工作人员也可轮换作业，实际工作人员年有效剂量低于估算结果。

公众年附加有效剂量为 1.46×10^{-13}mSv/a～7.95×10^{-2}mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

⑷ 核医学科 β 表面污染影响分析

核医学科拟配备便携式表面污染监测设备，用于工作人员在离开辐射工作场所前，进行皮肤、手部等体表部位污染测定，确认未受放射污染，方可离开；操作台铺衬吸水纸，避免液态药物造成的污染。另外，加强对注射药物患者的管理，告知其可能产生的危害，从而避免对候诊等场所的污染。在采取以上措施后，工作场所表面污染水平可以控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表面污染控制水平之内。

⑸ 核医学科废气影响分析

本项目核医学科放射性废气主要为放射性药物 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 产生的气溶胶以及空气被电离产生少量的臭氧和氮氧化物。

本项目核医学科拟采用机械通风，通风系统由多台排风机和相应通风管道组成（排风管道平面图详见图 10-16）。

① 储源室、固废室、污洗间、冲淋、一更、二更、缓冲区共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从位于南侧的排风口通往楼顶；

② 分装质控室内的手套箱设置一套排风系统，在立管上安装电动风阀与手套箱联动，管道经医生通道，至办公室外南侧的排风口最终通往综合楼楼顶，手套箱及排气口设活性炭过滤器；

③ SPECT-CT 机房、PET-CT 机房设一套排风系统，分别于机房南墙西侧和南墙东侧距地 0.3m 处各设计一个排风口，管道经医生通道，由更衣室外南侧的排风口通往楼顶；

④ 北侧的洁具清洗存放、运动候诊兼抢救室、SPECT-CT 候诊室、卫生间、PET-CT 候诊室、VIP 候诊室、留观室共设一套排风系统，排风口设于各房间顶部，

管道经放疗科候诊区至东侧的排风口最终通往综合楼楼顶。

综上，本项目核医学科各工作场所放射性废气处理均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求，对周围人群和环境影响较小。

⑹ 核医学科放射性废水影响分析

本项目核医学科放射性废水主要来源于诊断过程中患者注射 ^{99m}Tc 或 ^{18}F 后所产生的排泄物冲洗废水、工作人员清洗、工作场所清洗等产生的废水。

本项目核医学科拟设置有放射性污水衰变池，位于综合医院地下一层，拟设置1座槽式衰变池，包括 1 个 15.86m^3 沉淀池和 3 个各 14.74m^3 的衰变池池体。

根据前文分析，本项目放射性废水产生量约 0.592m^3/d，在 3#衰变池注满时，1#衰变池最后一天排入的污水已暂存 48 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求及处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的预处理标准（即总 β 放射性＜10Bq/L）后再排放至医院污水处理站，不对周边环境造成影响。

根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）相关规定，本评价要求：

a. 衰变池排放口应设置排放口标志，并预留采样口，委托有资质的单位每季度对衰变池排放口总 β 进行取样检测；

b. 衰变池排放口设置自动采样监测设备，在衰变池槽体排水前应核实是否满足排放要求；

c. 沉淀池内安装铰刀泵，当含有固态物质的放射性污水进入衰变池后，经铰刀泵处理，可有效将固态物质打碎，避免出现沉积物，无需进行人工清掏；

d. 排水管采用大功率无堵塞排污泵，一备一用；

e. 设备、池体检修前需要开启排风设施。

⑺ 核医学科放射性固体废物影响分析

本项目核医学科放射性固体废物主要来源于核医学放射性药物操作过程中污染的注射器、手套、药棉、纱布、吸水纸等；废气处理产生的废活性炭。

① 放射性固体废物

涉及 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的放射性固体废物需分开存放，根据《核医学辐射防护与安全

要求》（HJ 1188-2021）“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天”，^{99m}Tc 的半衰期为 6.02h，^{18}F 的半衰期为 109.8min，故涉及 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的放射性固体废物需暂存超过 30 天，其活度低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的要求，即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2，所有放射性固体废物均经检测合格后，作为医疗废物进行处置。

② 废活性炭

本项目活性炭过滤装置更换下来的废活性炭（含放射性核素）采用专用废物袋密封后转移至固废室，经相应的暂存天数后，废物管理人员经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求，即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为一般固体废物处理。

综上所述，项目产生的放射性固体废物均能得到妥善处置，不会对环境造成放射性污染。

4、DSA

⑴ 工作量

本项目射线装置包括透视和采集两种工作模式，根据医院提供的信息，本项目共拟配备 4 台 DSA，分别在综合医院门诊医技楼一层配置 2 台 DSA；在综合医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-12）配置 1 台 DSA；在传染病医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-4）配置 1 台 DSA。

正常运行后，每次手术开机照射时间包括：透视 10min、采集 30s，则本项目射线装置的预计年开机工作时间如下。

表 11-35　　不同工作模式下的预计开机时间

场所		射线装置	数量/台	工作模式	每次照射时间	年最大工作量/台	年开机时间
综合医院	介入中心	DSA	2	透视	10min	200 台手术	33.3h
				采集	30s	200 台手术	1.67h
	手术中心	DSA	1	透视	10min	400 台手术	133.3h
				采集	30s	400 台手术	6.67h
传染病医院	手术中心	DSA	1	透视	10min	150 台手术	25h
				采集	30s	150 台手术	1.25h

⑵ 屏蔽设计尺寸

介入中心工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 11-36。

表 11-36　　各 DSA 工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求
综合医院介入中心介入手术室 1	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	北侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	西侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	东侧防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
	地面	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
综合医院介入中心介入手术室 2	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	西侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	北侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
	地面	180mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	5.3mmPb	2.0mmPb
综合医院手术中心介入手术室（OR-12）	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	东侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧防护门（缓冲）	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	南侧防护门（体外循环）	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
	地面	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）	四周墙体	轻质墙体+3mm 铅板	3.0mmPb	2.0mmPb
	北侧患者防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	西侧工作人员防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	东侧防护门	4mmPb 铅门	4.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
	地面	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.4mmPb	2.0mmPb
备注：1、根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中 C.4 与 C.5，在管电压 125kV 条件下，180mm 混凝土防护能力相当于 2.3mm 铅当量，120mm 混凝土防护能力相当于 1.4mm 铅当量。				

由上表可知，本项目各 DSA 手术室辐射屏蔽设计均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”的要求。

⑶ 各关注点剂量率估算

本项目 DSA 主束照向患者，各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响。手术时，医生在待诊病人旁进行导管操作，操作过程中受到泄漏辐射及病人体表散射辐射照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周边环境的辐射影响。

本项目 4 台 DSA 最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1000mA。

由于未能获取设备设计资料，根据《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》（YYT0740-2022）的规定，透视工况时，管电压和管电流的任意组合下，入射皮肤表面的比释动能率不超过 88mGy/min。根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的规定，介入放射学用 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置，由此可知，最小焦皮距 SID 为 20cm。据此估算，DSA 在透视工况下，距离靶点 1m 的最大剂量率为 2.10×10^{5}μGy/h；根据医院提供的资料，一般情况下，在 125kV 的最大管电压下，透视状态下的电流最大约 25mA，采集状态下的电流最大约 520mA，则采集状态的管电流约为透视工况的 21 倍，则距离靶点 1m 处的最大剂量率为 4.41×10^{6}μGy/h。

在估算泄漏周围剂量率水平时，泄漏率按 0.1%进行估算，故本次透视取 2.10×10^{2}μGy/h，采集时 4.41×10^{3}μGy/h。

本项目各关注点分布示意简图如下：

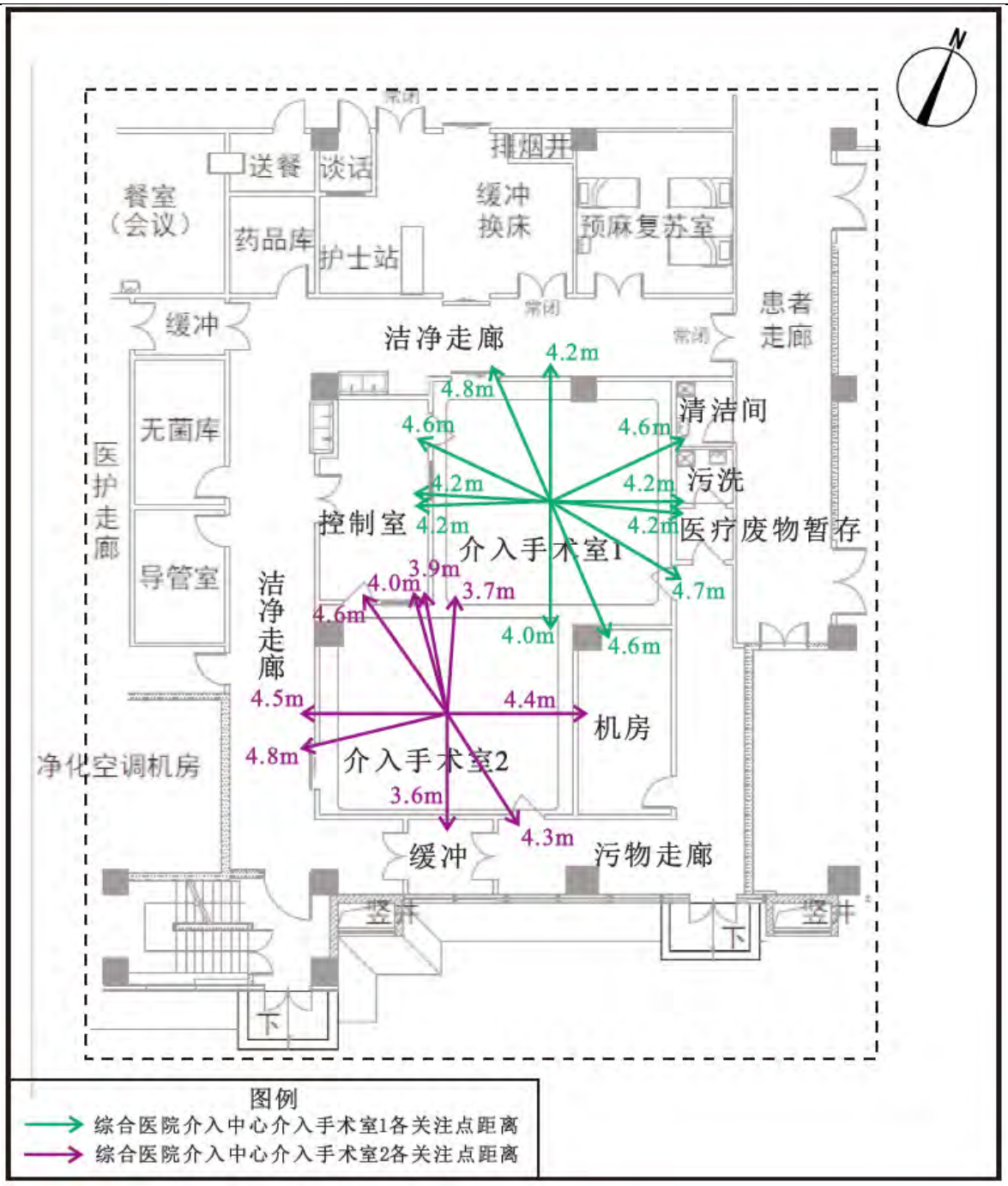


图11-9　　综合医院介入中心介入手术室关注点位置

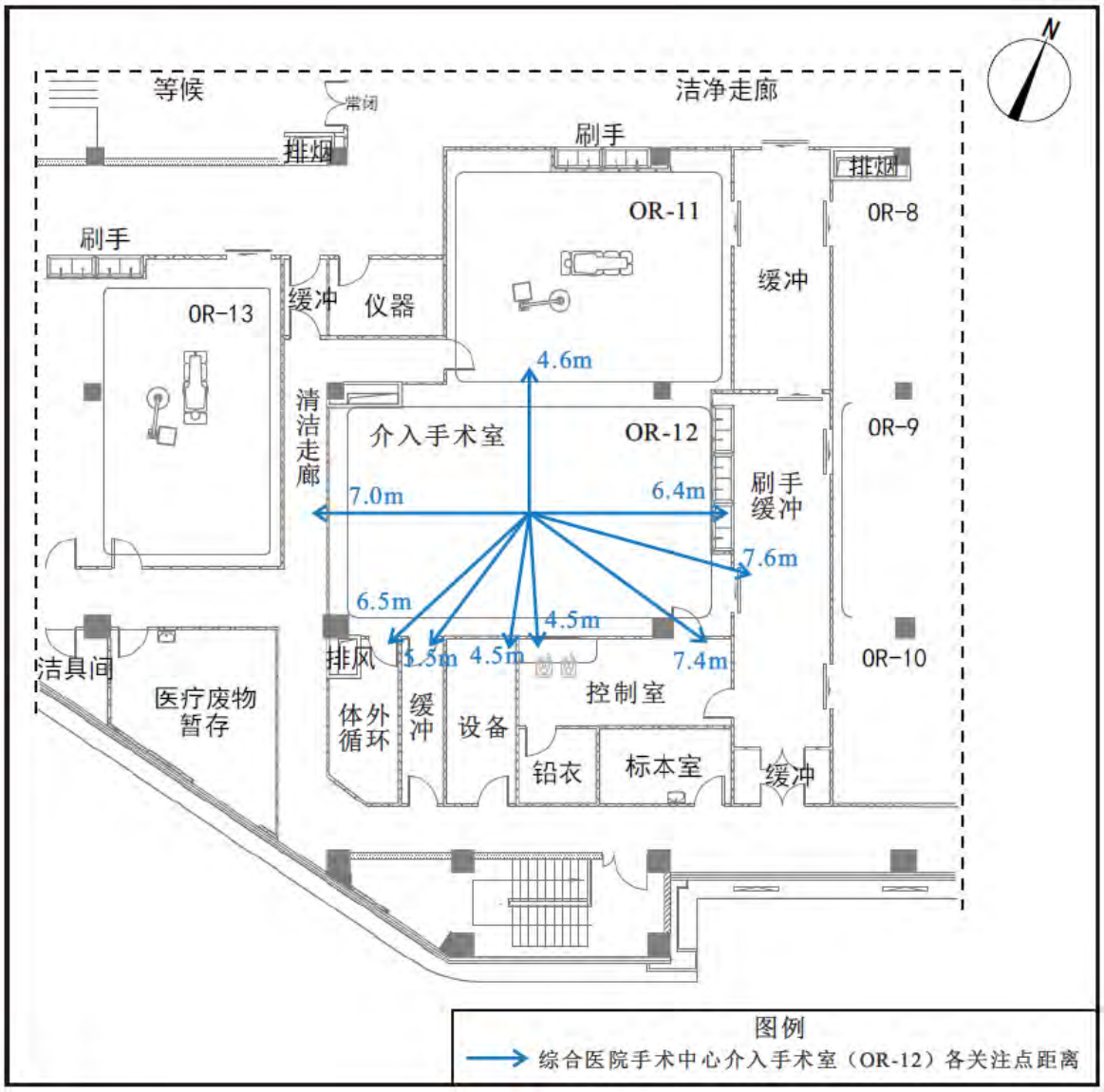


图11-10　　综合医院手术中心介入手术室（OR-12）关注点位置

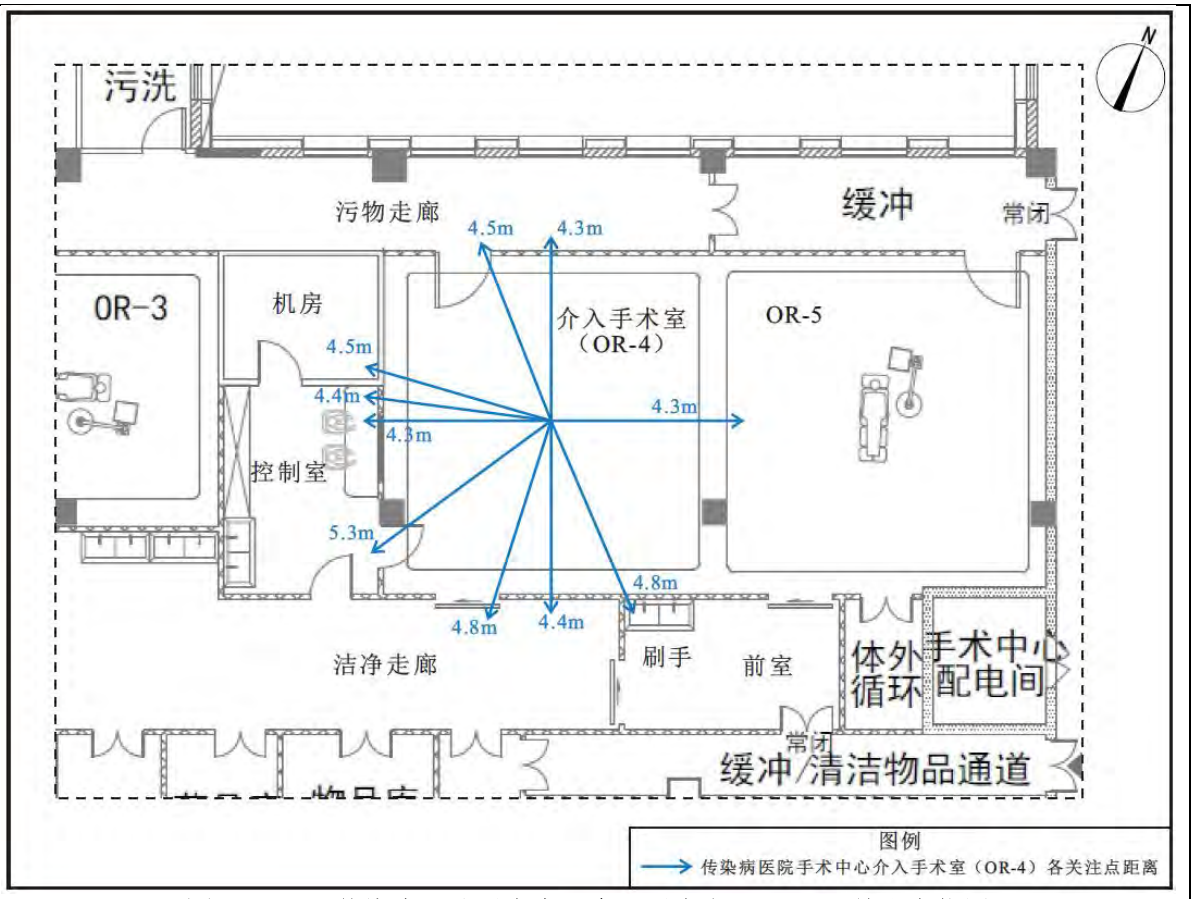


图11-11　　传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）关注点位置

① 泄漏辐射剂量率估算

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护导论》P115 公式 3.61。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算，具体公式见公式（11-29）、公式（11-30）。

α、β、γ为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-37。

表 11-37　　X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
125kV（散射）		2.233	7.888	0.7295
注：α、β、γ取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C				

② 散射辐射剂量率估算

关注点散射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册——辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）P437，公式见（11-31）。

③ 附加年有效剂量估算

人员受到的附加年有效剂量可由式（11-17）计算得到。

⑶ 各关注点剂量率估算结果

① 泄漏辐射估算结果

本项目各 DSA 手术室防护门、观察窗、四周墙壁、房顶、地板等各关注点的泄漏辐射剂量率估算见表 11-38 和表 11-39。

表 11-38　　各关注点泄露辐射剂量率估算结果—采集状态

工作场所	关注点位置描述		H_0	d	X	α	β	γ	透射因子 B	采集状态剂量率
	单位		μGy/h	m	mm	/	/	/	/	μGy/h
综合医院介入中心介入手术室 1	东侧	清洁间	4.41×10^{3}	4.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.66×10^{-2}
		污洗间	4.41×10^{3}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.99×10^{-2}
		医疗废物暂存	4.41×10^{3}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.99×10^{-2}
		东侧防护门	4.41×10^{3}	4.7	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.68×10^{-3}
	南侧	介入手术室 2	4.41×10^{3}	4.0	6	2.219	7.923	0.5386	9.84×10^{-8}	2.71×10^{-5}
		机房	4.41×10^{3}	4.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.66×10^{-2}
	西侧	西墙（控制室）	4.41×10^{3}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.99×10^{-2}
		观察窗	4.41×10^{3}	4.2	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	2.10×10^{-3}
		西侧工作人员防护门	4.41×10^{3}	4.6	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.75×10^{-3}
	北侧	洁净走廊	4.41×10^{3}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.99×10^{-2}
		北侧患者防护门	4.41×10^{3}	4.8	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.61×10^{-3}
	楼上	诊室、医护走廊	4.41×10^{3}	3.6	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	1.58×10^{-4}
	楼下	核医学科预约登记、储源室、分装质控室等	4.41×10^{3}	1.8	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	6.34×10^{-4}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{3}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	188
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb）））		4.41×10^{3}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	47.1
综合医院介入中心介入手术室 2	东侧	机房	4.41×10^{3}	4.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.81×10^{-2}
	南侧	缓冲	4.41×10^{3}	3.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	2.71×10^{-2}
		南侧防护门	4.41×10^{3}	4.3	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	2.01×10^{-3}
	西侧	洁净走廊	4.41×10^{3}	4.5	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.73×10^{-2}
		西侧患者防护门	4.41×10^{3}	4.8	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.61×10^{-3}
	北侧	北墙工作人员防护门	4.41×10^{3}	4.6	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.75×10^{-3}
		观察窗	4.41×10^{3}	4.0	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	2.32×10^{-3}
		北墙（控制室）	4.41×10^{3}	3.9	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	2.31×10^{-2}
		介入手术室 1	4.41×10^{3}	3.7	6	2.219	7.923	0.5386	9.84×10^{-8}	3.17×10^{-5}
	楼上	患者走廊	4.41×10^{3}	3.6	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	1.58×10^{-4}
	楼下	办公、医护走廊	4.41×10^{3}	1.8	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	6.34×10^{-4}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{3}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	188
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb）））		4.41×10^{3}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	47.1

综合医院手术中心介入手术室（OR-12）	东侧	东侧患者防护门	4.41×10^{3}	7.6	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	6.43×10^{-4}
		刷手缓冲	4.41×10^{3}	6.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.58×10^{-3}
	南侧	南侧防护门（体外循环）	4.41×10^{3}	6.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	8.79×10^{-4}
		南侧防护门（缓冲）	4.41×10^{3}	5.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.23×10^{-3}
		设备间	4.41×10^{3}	4.5	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.73×10^{-2}
		观察窗	4.41×10^{3}	4.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.83×10^{-3}
		南侧工作人员防护门	4.41×10^{3}	7.4	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	6.78×10^{-4}
	西侧	清洁走廊	4.41×10^{3}	7.0	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	7.17×10^{-3}
	北侧	手术室（OR-11）	4.41×10^{3}	4.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.66×10^{-2}
	楼上	净化空调机房	4.41×10^{3}	3.6	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	1.17×10^{-3}
	楼下	办公室、值班室等	4.41×10^{3}	1.8	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	4.69×10^{-3}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{3}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	188
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb））		4.41×10^{3}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	47.1
传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）	东侧	手术室（OR-5）	4.41×10^{3}	4.3	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.90×10^{-2}
	南侧	刷手（前室）	4.41×10^{3}	4.8	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.52×10^{-2}
		洁净走廊	4.41×10^{3}	4.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.81×10^{-2}
		南侧患者防护门	4.41×10^{3}	4.8	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.61×10^{-3}
	西侧	机房	4.41×10^{3}	4.5	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.73×10^{-2}
		西墙（控制室）	4.41×10^{3}	4.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.81×10^{-2}
		观察窗	4.41×10^{3}	4.3	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	2.01×10^{-3}
		西侧工作人员防护门	4.41×10^{3}	5.3	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.32×10^{-3}
	北侧	北侧防护门	4.41×10^{3}	4.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.83×10^{-3}
		污物走廊	4.41×10^{3}	4.3	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.90×10^{-2}
	楼上	净化机房	4.41×10^{3}	3.6	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	1.17×10^{-3}
	楼下	消毒供应中心	4.41×10^{3}	1.8	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	4.69×10^{-3}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{3}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	188
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb））		4.41×10^{3}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	47.1

表 11-39　　各关注点泄露辐射剂量率估算结果—透视状态

工作场所	关注点位置描述		H_0	d	X	α	β	γ	透射因子 B	采集状态剂量率
	单位		μGy/h	m	mm	/	/	/	/	μGy/h
综合医院介入中心介入手术室 1	东侧	清洁间	2.10×10^{2}	4.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	7.91×10^{-4}
		污洗间	2.10×10^{2}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	9.48×10^{-4}
		医疗废物暂存	2.10×10^{2}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	9.48×10^{-4}
		东侧防护门	2.10×10^{2}	4.7	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	8.00×10^{-5}
	南侧	介入手术室 2	2.10×10^{2}	4.0	6	2.219	7.923	0.5386	9.84×10^{-8}	1.29×10^{-6}
		机房	2.10×10^{2}	4.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	7.91×10^{-4}
	西侧	西墙（控制室）	2.10×10^{2}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	9.48×10^{-4}

		观察窗	2.10×10^{2}	4.2	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.0×10^{-4}
		西侧工作人员防护门	2.10×10^{2}	4.6	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	8.35×10^{-5}
	北侧	洁净走廊	2.10×10^{2}	4.2	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	9.48×10^{-4}
		北侧患者防护门	2.10×10^{2}	4.8	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	7.67×10^{-5}
	楼上	诊室、医护走廊	2.10×10^{2}	3.6	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	7.55×10^{-6}
	楼下	核医学科预约登记、储源室、分装质控室等	2.10×10^{2}	1.8	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	3.02×10^{-5}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	8.97
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	2.24
综合医院介入中心介入手术室 2	东侧	机房	2.10×10^{2}	4.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.64×10^{-4}
	南侧	缓冲	2.10×10^{2}	3.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.29×10^{-3}
		南侧防护门	2.10×10^{2}	4.3	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	9.56×10^{-5}
	西侧	洁净走廊	2.10×10^{2}	4.5	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.26×10^{-4}
		西侧患者防护门	2.10×10^{2}	4.8	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	7.67×10^{-5}
	北侧	北墙工作人员防护门	2.10×10^{2}	4.6	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	8.35×10^{-5}
		观察窗	2.10×10^{2}	4.0	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	1.10×10^{-4}
		北墙（控制室）	2.10×10^{2}	3.9	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	1.10×10^{-3}
		介入手术室 1	2.10×10^{2}	3.7	6	2.219	7.923	0.5386	9.84×10^{-8}	1.51×10^{-6}
	楼上	患者走廊	2.10×10^{2}	3.6	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	7.55×10^{-6}
	楼下	办公、医护走廊	2.10×10^{2}	1.8	5.3	2.219	7.923	0.5386	4.66×10^{-7}	3.02×10^{-5}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	8.97
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	2.24
综合医院手术中心介入手术室（OR-12）	东侧	东侧患者防护门	2.10×10^{2}	7.6	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	3.06×10^{-5}
		刷手缓冲	2.10×10^{2}	6.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	4.08×10^{-4}
	南侧	南侧防护门（体外循环）	2.10×10^{2}	6.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	4.18×10^{-5}
		南侧防护门（缓冲）	2.10×10^{2}	5.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	5.84×10^{-5}
		设备间	2.10×10^{2}	4.5	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.26×10^{-4}
		观察窗	2.10×10^{2}	4.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	8.73×10^{-5}
		南侧工作人员防护门	2.10×10^{2}	7.4	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	3.23×10^{-5}
	西侧	清洁走廊	2.10×10^{2}	7.0	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	3.41×10^{-4}
	北侧	手术室（OR-11）	2.10×10^{2}	4.6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	7.91×10^{-4}
	楼上	净化空调机房	2.10×10^{2}	3.6	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	5.59×10^{-5}
	楼下	办公室、值班室等	2.10×10^{2}	1.8	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	2.24×10^{-4}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	8.97
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	2.24

传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）	东侧	手术室（OR-5）	2.10×10^{2}	4.3	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	9.05×10^{-4}
	南侧	刷手（前室）	2.10×10^{2}	4.8	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	7.26×10^{-4}
		洁净走廊	2.10×10^{2}	4.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.64×10^{-4}
		南侧患者防护门	2.10×10^{2}	4.8	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	7.67×10^{-5}
	西侧	机房	2.10×10^{2}	4.5	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.26×10^{-4}
		西墙（控制室）	2.10×10^{2}	4.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.64×10^{-4}
		观察窗	2.10×10^{2}	4.3	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	9.56×10^{-5}
		西侧工作人员防护门	2.10×10^{2}	5.3	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	6.29×10^{-5}
	北侧	北侧防护门	2.10×10^{2}	4.5	4	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	8.73×10^{-5}
		污物走廊	2.10×10^{2}	4.3	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	9.05×10^{-4}
	楼上	净化机房	2.10×10^{2}	3.6	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	5.59×10^{-5}
	楼下	消毒供应中心	2.10×10^{2}	1.8	4.4	2.219	7.923	0.5386	3.45×10^{-6}	2.24×10^{-4}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10^{-2}	8.97
	第二术者位护士/助手（0.5mmPb 床侧防护帘、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{2}	1.0	1	2.219	7.923	0.5386	2.50×10^{-4}	2.24

② 散射辐射估算结果

本项目各工作场所防护门、观察窗、四周墙壁、房顶、地板等各关注点的泄漏辐射剂量率估算见表 11-40 和表 11-41。

表 11-40　　各关注点散射辐射剂量率估算结果—采集状态

工作场所	关注点位置描述		H_0	α	透射因子 B	S	d_0	d_S	采集状态剂量率
	单位		μGy/h	/	/	cm^2	m	m	μGy/h
综合医院介入中心介入手术室 1	东侧	清洁间	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.6	0.20
		污洗间	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	0.24
		医疗废物暂存	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	0.24
		东侧防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.7	2.0×10^{-2}
	南侧	介入手术室 2	4.41×10^{6}	0.0015	1.91×10^{-7}	400	0.5	4.0	3.16×10^{-4}
		机房	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.6	0.20
	西侧	西墙（控制室）	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	0.24
		观察窗	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.2	2.50×10^{-2}
		西侧工作人员防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.6	2.08×10^{-2}
	北侧	洁净走廊	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	0.24
		北侧患者防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.8	1.91×10^{-2}
	楼上	诊室、医护走廊	4.41×10^{6}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	3.6	1.86×10^{-3}
	楼下	核医学科预约登记、储源室、分装质控室等	4.41×10^{6}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	1.8	7.46×10^{-3}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	1790
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	449

综合医院介入中心介入手术室 2	东侧	机房	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.4	0.21
	南侧	缓冲	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	3.6	0.32
		南侧防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.3	2.39×10^{-2}
	西侧	洁净走廊	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.5	0.20
		西侧患者防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.8	1.91×10^{-2}
	北侧	北墙工作人员防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.6	2.08×10^{-2}
		观察窗	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.0	2.76×10^{-2}
		北墙（控制室）	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	3.9	0.27
		介入手术室 1	4.41×10^{6}	0.0015	1.91×10^{-7}	400	0.5	3.7	3.70×10^{-4}
	楼上	患者走廊	4.41×10^{6}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	3.6	1.86×10^{-3}
	楼下	办公、医护走廊	4.41×10^{6}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	1.8	7.46×10^{-3}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	1790
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	449
综合医院手术中心介入手术室（OR-12）	东侧	东侧患者防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	7.6	7.64×10^{-3}
		刷手缓冲	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	6.4	0.10
	南侧	南侧防护门（体外循环）	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	6.5	1.04×10^{-2}
		南侧防护门（缓冲）	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	5.5	1.46×10^{-2}
		设备间	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.5	0.20
		观察窗	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.5	2.18×10^{-2}
		南侧工作人员防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	7.4	8.05×10^{-3}
	西侧	清洁走廊	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	7.0	8.45×10^{-2}
	北侧	手术室（OR-11）	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.6	0.20
	楼上	净化空调机房	4.41×10^{6}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	3.6	1.39×10^{-2}
	楼下	办公室、值班室等	4.41×10^{6}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	1.8	5.57×10^{-2}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	1790
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	449
传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）	东侧	手术室（OR-5）	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.3	0.22
	南侧	刷手（前室）	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.8	0.18
		洁净走廊	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.4	0.21
		南侧患者防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.8	1.91×10^{-2}
	西侧	机房	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.5	0.20
		西墙（控制室）	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.4	0.21
		观察窗	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.3	2.39×10^{-2}
		西侧工作人员防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	5.3	1.57×10^{-2}
	北侧	北侧防护门	4.41×10^{6}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.5	2.18×10^{-2}
		污物走廊	4.41×10^{6}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.3	0.22
	楼上	净化机房	4.41×10^{6}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	3.6	1.39×10^{-2}

	楼下	消毒供应中心	4.41×10^{6}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	1.8	5.57×10^{-2}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	1790
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		4.41×10^{6}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	449

表 11-41　　各关注点散射辐射剂量率估算结果—透视状态

工作场所	关注点位置描述		H_0	α	透射因子 B	S	d_0	d_S	采集状态剂量率
	单位		μGy/h	/	/	cm^2	m	m	μGy/h
综合医院介入中心介入手术室 1	东侧	清洁间	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.6	9.32×10^{-3}
		污洗间	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	1.12×10^{-2}
		医疗废物暂存	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	1.12×10^{-2}
		东侧防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.7	9.51×10^{-4}
	南侧	介入手术室 2	2.10×10^{5}	0.0015	1.91×10^{-7}	400	0.5	4.0	1.51×10^{-5}
		机房	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.6	9.32×10^{-3}
	西侧	西墙（控制室）	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	1.12×10^{-2}
		观察窗	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.2	1.19×10^{-3}
		西侧工作人员防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.6	9.92×10^{-4}
	北侧	洁净走廊	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.2	1.12×10^{-2}
		北侧患者防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.8	9.11×10^{-4}
	楼上	诊室、医护走廊	2.10×10^{5}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	3.6	8.88×10^{-5}
	楼下	核医学科预约登记、储源室、分装质控室等	2.10×10^{5}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	1.8	3.55×10^{-4}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	85.4
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	21.4
综合医院介入中心介入手术室 2	东侧	机房	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.4	1.02×10^{-2}
	南侧	缓冲	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	3.6	1.52×10^{-2}
		南侧防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.3	1.14×10^{-3}
	西侧	洁净走廊	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.5	9.74×10^{-3}
		西侧患者防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.8	9.11×10^{-4}
	北侧	北墙工作人员防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.6	9.92×10^{-4}
		观察窗	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.0	1.31×10^{-3}
		北墙（控制室）	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	3.9	1.30×10^{-2}
		介入手术室 1	2.10×10^{5}	0.0015	1.91×10^{-7}	400	0.5	3.7	1.76×10^{-5}
	楼上	患者走廊	2.10×10^{5}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	3.6	8.88×10^{-5}
	楼下	办公、医护走廊	2.10×10^{5}	0.0015	9.13×10^{-7}	400	0.5	1.8	3.55×10^{-4}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	85.4
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	21.4

综合医院手术中心介入手术室（OR-12）	东侧	东侧患者防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	7.6	3.64×10^{-4}
		刷手缓冲	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	6.4	4.81×10^{-3}
	南侧	南侧防护门（体外循环）	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	6.5	4.97×10^{-4}
		南侧防护门（缓冲）	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	5.5	6.94×10^{-4}
		设备间	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.5	9.74×10^{-3}
		观察窗	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.5	1.04×10^{-3}
		南侧工作人员防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	7.4	3.84×10^{-4}
	西侧	清洁走廊	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	7.0	4.02×10^{-3}
	北侧	手术室（OR-11）	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.6	9.32×10^{-3}
	楼上	净化空调机房	2.10×10^{5}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	3.6	6.63×10^{-4}
	楼下	办公室、值班室等	2.10×10^{5}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	1.8	2.65×10^{-3}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	85.4
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	21.4
传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）	东侧	手术室（OR-5）	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.3	1.07×10^{-2}
	南侧	刷手（前室）	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.8	8.56×10^{-3}
		洁净走廊	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.4	1.02×10^{-2}
		南侧患者防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.8	9.11×10^{-4}
	西侧	机房	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.5	9.74×10^{-3}
		西墙（控制室）	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.4	1.02×10^{-2}
		观察窗	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.3	1.14×10^{-3}
		西侧工作人员防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	5.3	7.48×10^{-2}
	北侧	北侧防护门	2.10×10^{5}	0.0015	1.67×10^{-5}	400	0.5	4.5	1.04×10^{-3}
		污物走廊	2.10×10^{5}	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.3	1.07×10^{-2}
	楼上	净化机房	2.10×10^{5}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	3.6	6.63×10^{4}
	楼下	消毒供应中心	2.10×10^{5}	0.0015	6.82×10^{-6}	400	0.5	1.8	2.65×10^{-3}
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb）、铅手套（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	85.4
	第二术者位护士/助手（2mmPb 移动铅屏风、铅衣（0.5mmPb））		2.10×10^{5}	0.0015	4.83×10^{-4}	400	0.5	1.0	21.4

③ 附加年有效剂量估算结果

本项目 4 台 DSA 手术室防护门、观察窗、四周墙壁、房顶、地板等关注点人员受到的附加年有效剂量率估算见表 11-42～表 11-45。

a. 综合医院介入中心介入手术室 1

表 11-42　　综合医院介入中心介入手术室 1 各关注点处 X-γ 辐射剂量率

关注点位置描述		采集状态				透视状态				换算系数 K	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H_W	人群
		泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间	泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间				
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	Sv/Gy	/	mSv/a	/
东侧	清洁间	1.66×10^{-2}	0.20	0.21	1.67	7.91×10^{-4}	9.32×10^{-3}	1.01×10^{-2}	33.3	1	0.25	1.73×10^{-4}	公众
	污洗间	1.99×10^{-2}	0.24	0.26	1.67	9.48×10^{-4}	1.12×10^{-2}	1.21×10^{-2}	33.3	1	0.25	2.07×10^{-4}	公众
	医疗废物暂存	1.99×10^{-2}	0.24	0.26	1.67	9.48×10^{-4}	1.12×10^{-2}	1.21×10^{-2}	33.3	1	0.25	2.07×10^{-4}	公众
	东侧防护门	1.68×10^{-3}	2.0×10^{-2}	2.16×10^{-2}	1.67	8.00×10^{-5}	9.51×10^{-4}	1.03×10^{-3}	33.3	1	0.25	1.76×10^{-5}	公众
南侧	介入手术室 2	2.71×10^{-5}	3.16×10^{-4}	3.43×10^{-4}	1.67	1.29×10^{-6}	1.51×10^{-5}	1.64×10^{-5}	33.3	1	1	1.12×10^{-6}	职业人员
	机房	1.66×10^{-2}	0.20	0.21	1.67	7.91×10^{-4}	9.32×10^{-3}	1.01×10^{-2}	33.3	1	0.25	1.73×10^{-4}	公众
西侧	西墙（控制室）	1.99×10^{-2}	0.24	0.26	1.67	9.48×10^{-4}	1.12×10^{-2}	1.21×10^{-2}	33.3	1	1	8.29×10^{-4}	职业人员
	观察窗	2.10×10^{-3}	2.50×10^{-2}	2.71×10^{-2}	1.67	1.0×10^{-4}	1.19×10^{-3}	1.29×10^{-3}	33.3	1	1	8.82×10^{-5}	职业人员
	西侧工作人员防护门	1.75×10^{-3}	2.08×10^{-2}	2.26×10^{-2}	1.67	8.35×10^{-5}	9.92×10^{-4}	1.08×10^{-3}	33.3	1	1	7.35×10^{-5}	职业人员
北侧	洁净走廊	1.99×10^{-2}	0.24	0.26	1.67	9.48×10^{-4}	1.12×10^{-2}	1.21×10^{-2}	33.3	1	0.25	2.07×10^{-4}	公众
	北侧患者防护门	1.61×10^{-3}	1.91×10^{-2}	2.08×10^{-2}	1.67	7.67×10^{-5}	9.11×10^{-4}	9.88×10^{-4}	33.3	1	0.25	1.69×10^{-5}	公众
楼上	诊室、医护走廊	1.58×10^{-4}	1.86×10^{-3}	2.02×10^{-3}	1.67	7.55×10^{-6}	8.88×10^{-5}	9.63×10^{-5}	33.3	1	0.25	1.65×10^{-6}	公众
楼下	核医学科预约登记、储源室、分装质控室等	6.34×10^{-4}	7.46×10^{-3}	8.09×10^{-3}	1.67	3.02×10^{-5}	3.55×10^{-4}	3.85×10^{-4}	33.3	1	0.25	6.58×10^{-6}	公众
第一术者位医生		188	1790	1978	0.33①	8.97	85.4	94.37	6.67①	1	1	1.29	职业人员
第二术者位护士/助手		47.1	449	496	0.33①	2.24	21.4	23.6	6.67①	1	1	0.32	职业人员

备注：① 本项目针对综合医院介入中心介入手术室 1 配备医生 5 名、护士 5 名，技师 2 名，分 5 组轮流进行，技师不进行轮岗

b. 综合医院介入中心介入手术室 2

表 11-43　　综合医院介入中心介入手术室 2 各关注点处 X-γ 辐射剂量率

关注点位置描述		采集状态				透视状态				换算系数 K	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H_W	人群
		泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间	泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间				
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	Sv/Gy	/	mSv/a	/
东侧	机房	1.81×10^{-2}	0.21	0.23	1.67	8.64×10^{-4}	1.02×10^{-2}	1.10×10^{-2}	33.3	1	0.25	1.89×10^{-4}	公众
南侧	缓冲	2.71×10^{-2}	0.32	0.35	1.67	1.29×10^{-3}	1.52×10^{-2}	1.65×10^{-2}	33.3	1	0.25	2.82×10^{-4}	公众
	南侧防护门	2.01×10^{-3}	2.39×10^{-2}	2.59×10^{-2}	1.67	9.56×10^{-5}	1.14×10^{-3}	1.23×10^{-3}	33.3	1	0.25	2.10×10^{-5}	公众
西侧	洁净走廊	1.73×10^{-2}	0.20	0.22	1.67	8.26×10^{-4}	9.74×10^{-3}	1.06×10^{-2}	33.3	1	0.25	1.80×10^{-4}	公众
	西侧患者防护门	1.61×10^{-3}	1.91×10^{-2}	2.08×10^{-2}	1.67	7.67×10^{-5}	9.11×10^{-4}	9.88×10^{-4}	33.3	1	0.25	1.69×10^{-5}	公众
北侧	北墙工作人员防护门	1.75×10^{-3}	2.08×10^{-2}	2.26×10^{-2}	1.67	8.35×10^{-5}	9.92×10^{-4}	1.08×10^{-3}	33.3	1	1	7.35×10^{-5}	职业人员
	观察窗	2.32×10^{-3}	2.76×10^{-2}	2.99×10^{-2}	1.67	1.10×10^{-4}	1.31×10^{-3}	1.42×10^{-3}	33.3	1	1	9.72×10^{-5}	职业人员
	北墙（控制室）	2.31×10^{-2}	0.27	0.30	1.67	1.10×10^{-3}	1.30×10^{-2}	1.41×10^{-2}	33.3	1	1	9.61×10^{-4}	职业人员
	介入手术室 1	3.17×10^{-5}	3.70×10^{-4}	4.01×10^{-4}	1.67	1.51×10^{-6}	1.76×10^{-5}	1.91×10^{-5}	33.3	1	1	1.31×10^{-6}	职业人员
楼上	患者走廊	1.58×10^{-4}	1.86×10^{-3}	2.02×10^{-3}	1.67	7.55×10^{-6}	8.88×10^{-5}	9.63×10^{-5}	33.3	1	0.25	1.65×10^{-6}	公众
楼下	办公、医护走廊	6.34×10^{-4}	7.46×10^{-3}	8.09×10^{-3}	1.67	3.02×10^{-5}	3.55×10^{-4}	3.85×10^{-4}	33.3	1	0.25	6.58×10^{-6}	公众
第一术者位医生		188	1790	1978	0.33①	8.97	85.4	94.37	6.67①	1	1	1.29	职业人员
第二术者位护士/助手		47.1	449	496	0.33①	2.24	21.4	23.6	6.67①	1	1	0.32	职业人员
备注：① 本项目针对综合医院介入中心介入手术室 2 配备医生 5 名、护士 5 名，技师 2 名，分 5 组轮流进行，技师不进行轮岗													

c. 综合医院手术中心介入手术室（OR-12）

表 11-44　综合医院手术中心介入手术室（OR-12）各关注点处 X-γ 辐射剂量率

关注点位置描述		采集状态				透视状态				换算系数 K	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H_W	人群
		泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间	泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间				
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	Sv/Gy	/	mSv/a	/
东侧	东侧患者防护门	6.43×10^{-4}	7.64×10^{-3}	8.28×10^{-3}	3.33	3.06×10^{-5}	3.64×10^{-4}	3.94×10^{-4}	66.7	1	0.25	1.35×10^{-5}	公众
	刷手缓冲	8.58×10^{-3}	0.10	0.11	3.33	4.08×10^{-4}	4.81×10^{-3}	5.22×10^{-3}	66.7	1	0.25	1.78×10^{-4}	公众
南侧	南侧防护门（体外循环）	8.79×10^{-4}	1.04×10^{-2}	1.13×10^{-2}	3.33	4.18×10^{-5}	4.97×10^{-4}	5.39×10^{-4}	66.7	1	1	7.36×10^{-5}	职业人员
	南侧防护门（缓冲）	1.23×10^{-3}	1.46×10^{-2}	1.58×10^{-2}	3.33	5.84×10^{-5}	6.94×10^{-4}	7.53×10^{-4}	66.7	1	1	1.03×10^{-4}	职业人员
	设备间	1.73×10^{-2}	0.20	0.22	3.33	8.26×10^{-4}	9.74×10^{-3}	1.06×10^{-2}	66.7	1	0.25	3.61×10^{-4}	公众
	观察窗	1.83×10^{-3}	2.18×10^{-2}	2.36×10^{-2}	3.33	8.73×10^{-5}	1.04×10^{-3}	1.12×10^{-3}	66.7	1	1	1.54×10^{-4}	职业人员
	南侧工作人员防护门	6.78×10^{-4}	8.05×10^{-3}	8.73×10^{-3}	3.33	3.23×10^{-5}	3.84×10^{-4}	4.16×10^{-4}	66.7	1	1	5.68×10^{-5}	职业人员
西侧	清洁走廊	7.17×10^{-3}	8.45×10^{-2}	9.17×10^{-2}	3.33	3.41×10^{-4}	4.02×10^{-3}	4.37×10^{-3}	66.7	1	0.25	1.49×10^{-4}	公众
北侧	手术室（OR-11）	1.66×10^{-2}	0.20	0.21	3.33	7.91×10^{-4}	9.32×10^{-3}	1.01×10^{-2}	66.7	1	0.25	3.45×10^{-4}	公众
楼上	净化空调机房	1.17×10^{-3}	1.39×10^{-2}	1.51×10^{-2}	3.33	5.59×10^{-5}	6.63×10^{-4}	7.19×10^{-4}	66.7	1	0.25	2.46×10^{-5}	公众
楼下	办公室、值班室等	4.69×10^{-3}	5.57×10^{-2}	6.04×10^{-2}	3.33	2.24×10^{-4}	2.65×10^{-3}	2.87×10^{-3}	66.7	1	0.25	9.82×10^{-5}	公众
第一术者位医生		188	1790	1978	0.67①	8.97	85.4	94.37	13.3①	1	1	2.58	职业人员
第二术者位护士/助手		47.1	449	496	0.67①	2.24	21.4	23.6	13.3①	1	1	0.65	职业人员
备注：① 本项目针对综合医院手术中心介入手术室（OR-12）配备医生 5 名、护士 5 名，技师 1 名，分 5 组轮流进行，技师不进行轮岗													

d. 传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）

表 11-45　　传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）各关注点处 X-γ 辐射剂量率

关注点位置描述		采集状态				透视状态				换算系数 K	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H_W	人群
		泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间	泄漏辐射剂量率 H_L	散射辐射剂量率 H_S	总有效剂量率 H_R	年曝光时间				
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	Sv/Gy	/	mSv/a	/
东侧	手术室（OR-5）	1.90×10^{-2}	0.22	0.24	1.25	9.05×10^{-4}	1.07×10^{-2}	1.16×10^{-2}	25	1	0.25	1.48×10^{-4}	公众
南侧	刷手（前室）	1.52×10^{-2}	0.18	0.20	1.25	7.26×10^{-4}	8.56×10^{-3}	9.28×10^{-3}	25	1	0.25	1.19×10^{-4}	公众
	洁净走廊	1.81×10^{-2}	0.21	0.23	1.25	8.64×10^{-4}	1.02×10^{-2}	1.10×10^{-2}	25	1	0.25	1.42×10^{-4}	公众
	南侧患者防护门	1.61×10^{-3}	1.91×10^{-2}	2.08×10^{-2}	1.25	7.67×10^{-5}	9.11×10^{-4}	9.88×10^{-4}	25	1	0.25	1.27×10^{-5}	公众
西侧	机房	1.73×10^{-2}	0.20	0.22	1.25	8.26×10^{-4}	9.74×10^{-3}	1.06×10^{-2}	25	1	0.25	1.35×10^{-4}	公众
	西墙（控制室）	1.81×10^{-2}	0.21	0.23	1.25	8.64×10^{-4}	1.02×10^{-2}	1.10×10^{-2}	25	1	1	5.66×10^{-4}	职业人员
	观察窗	2.01×10^{-3}	2.39×10^{-2}	2.59×10^{-2}	1.25	9.56×10^{-5}	1.14×10^{-3}	1.23×10^{-3}	25	1	1	6.31×10^{-5}	职业人员
	西侧工作人员防护门	1.32×10^{-3}	1.57×10^{-2}	1.70×10^{-2}	1.25	6.29×10^{-5}	7.48×10^{-2}	8.11×10^{-4}	25	1	1	4.15×10^{-5}	职业人员
北侧	北侧防护门	1.83×10^{-3}	2.18×10^{-2}	2.36×10^{-2}	1.25	8.73×10^{-5}	1.04×10^{-3}	1.12×10^{-3}	25	1	0.25	1.44×10^{-5}	公众
	污物走廊	1.90×10^{-2}	0.22	0.24	1.25	9.05×10^{-4}	1.07×10^{-2}	1.16×10^{-2}	25	1	0.25	1.48×10^{-4}	公众
楼上	净化机房	1.17×10^{-3}	1.39×10^{-2}	1.51×10^{-2}	1.25	5.59×10^{-5}	6.63×10^{4}	7.19×10^{-4}	25	1	0.25	9.21×10^{-6}	公众
楼下	消毒供应中心	4.69×10^{-3}	5.57×10^{-2}	6.04×10^{-2}	1.25	2.24×10^{-4}	2.65×10^{-3}	2.87×10^{-3}	25	1	0.25	3.68×10^{-5}	公众
第一术者位医生		188	1790	1978	0.625①	8.97	85.4	94.37	12.5①	1	1	2.42	职业人员
第二术者位护士/助手		47.1	449	496	1.25	2.24	21.4	23.6	25	1	1	1.21	职业人员

备注：① 本项目针对传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）配备医生 2 名、护士 1 名，技师 1 名，分 2 组轮流进行，护士及技师不进行轮岗

④ 剂量率估算结果分析

由表 11-42～表 11-45 可知，本项目 4 台 DSA 在正常运行期间，采集模式下手术室外各关注点处 X-γ 辐射剂量率在 6.14×10^{-4}～0.62μGy/h；透视模式下手术室外各关注点处 X-γ 辐射剂量率在 2.04×10^{-5}～2.06×10^{-2}μGy/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求。

采集模式下医生操作位（铅衣）采集模式下 X-γ 辐射剂量率为 1978μGy/h，第二术者位（护士/助手）X-γ 辐射剂量率为 496μGy/h；透视模式下，机房内医生操作位 X-γ 辐射剂量率为 94.37μGy/h，第二术者位（护士/助手）X-γ 辐射剂量率为 23.6μGy/h。此外，上述评价是基于保守假设进行的。实际运行时，DSA 工作场所周围的辐射剂量率水平可以维持在正常本底水平。

⑤ 人员年附加剂量估算结果分析

根据医院提供资料，本项目人员配备及工作轮岗方式如下：

a. 综合医院介入中心：拟配备医生 5 名、护士 5 名，技师 2 名，分 5 组轮流进行，技师不进行轮岗，且介入中心的工作人员均可使用介入手术室 1 和介入手术室 2，工作人员年附加剂量需进行叠加估算；

b. 综合医院手术中心介入手术室（OR-12）：拟配备医生 5 名、护士 5 名，技师 1 名，分 5 组轮流进行，技师不进行轮岗；

c. 传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）：拟配备医生 2 名、护士 1 名，技师 1 人，分 2 组轮流进行，护士及技师不进行轮岗。

DSA 机房工作人员为专职工作人员，不参与其他放射性工作。根据上述计算结果，本项目年附加剂量估算总结如下：

表 11-46　本项目职业人员及公众年附加有效剂量估算一览表

工作场所		本项目年附加有效剂量（mSv/a）					
		第一术者位（医生操作位）		第二术者位（护士/助手）		机房外控制室职业人员	公众
综合医院	介入中心介入手术室 1	1.29	1.12×10^{-6}②	0.32	1.12×10^{-6}②	8.82×10^{-5}～8.29×10^{-4}	1.65×10^{-6}～2.07×10^{-4}
	介入中心介入手术室 2	1.29	1.31×10^{-6}②	0.32	1.31×10^{-6}②	7.35×10^{-5}～9.61×10^{-4}	1.65×10^{-6}～2.82×10^{-4}
叠加后年附加有效剂量①		2.58		0.64		1.62×10^{-4}～1.79×10^{-3}	/
年剂量约束限值		5		5		5	0.1
是否满足		满足		满足		满足	满足
综合医院	手术中心介入手术室（OR-12）	2.58		0.65		5.68×10^{-5}～1.54×10^{-4}	1.35×10^{-5}～3.45×10^{-4}

传染病医院	手术中心介入手术室（OR-4）	2.42	1.21	4.15×10^{-5}～5.66×10^{-4}	9.21×10^{-6}～1.48×10^{-4}
年剂量约束限值		5	5	5	0.1
是否满足		满足	满足	满足	满足

备注：① 考虑到综合医院介入中心的工作人员均可在介入手术室 1 和介入手术室 2 进行手术，故针对职业人员的年附加有效剂量进行了叠加；

② 综合医院介入中心介入手术室 1 与介入手术室 2 相邻，若两个手术室同时进行手术时，则综合医院介入中心的职业人员年附加有效剂量需进行叠加相邻手术室产生的年附加有效剂量。

由上表可知，各 DSA 手术室的职业人员年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（5mSv/a）；公众年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（0.1mSv/a）。

事实上，上述计算是偏保守的，忽略了设备材料的衰减作用和人体的吸收作用，此外本项目 DSA 设备配备床边操作系统、床边剂量控制系统等防护设施，可实时显示剂量率、调节运行档位，因此实际本项目血管造影机在正常运行情况下，医护人员受到的年附加剂量率将远小于理论计算数值。若建设单位需要增加手术台数，应增加人员配备数量，其年附加有效剂量才能满足相应国家标准要求。

⑷ 废气影响分析

根据《X 射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（郝海鹰、刘容、王玉海编著）及《X 射线工作场所空气中臭氧氮氧化物浓度调查》（张大薇编著）资料显示，医院射线装置工作场所臭氧浓度范围为 0.010～0.137mg/m^3、氮氧化物浓度范围为 0.010～0.103mg/m^3。

本项目各介入手术室均设置有排风系统，可保持良好通风。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的标准要求。

项目运行后，DSA 工作场所室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风装置和外界空气对流，满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）的二级标准（臭氧为 0.20mg/m^3，氮氧化物为 0.25mg/m^3）的要求。因此，本项目射线装置产生的臭氧、氮氧化物对人员和周围环境影响较小。

⑸ 固体废物影响分析

本项目介入手术时会产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，每个介入手术室的月排放量约为 0.5t，则本项目涉及的 4 个 DSA 手术室的年产生量共计约

为 24t；经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置。DSA 工作场所的固体废物均得到合理处置，对环境影响较小。

三、事故影响分析

1、医用电子直线加速器

⑴ 可能发生的辐射事故

① 机房安全联锁装置失效：因设备故障导致门机联锁装置失效，防护门未完全关闭即开机进行治疗，造成防护门外辐射剂量率升高，对防护门外活动人员产生不必要的照射；防护门未关闭人员误入治疗中的机房对其产生的不必要的照射；

② 工作人员误开机：机房内有人员滞留，工作人员误开机对滞留人员产生不必要的照射；

③ 工作人员疏忽大意等，未按诊疗计划剂量对患者进行治疗，对患者造成一定的辐射影响；

④ 设备故障，导致出束剂量与实际不符，对患者造成一定辐射影响；

⑵ 辐射事故影响分析

① 防护门未关闭或门机联锁失效状态

在加速器机房（10MV）和加速器机房（15MV）防护门未关闭或门机联锁失效时，无防护门防护时此处辐射剂量率分别为 10.8μSv/h、57.4μSv/h，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 A.2，机房外人员在此分别停留 27.9min 和 5.22min，即达到公众的周剂量限值 5μSv。

② 机房内误照射

一旦人员误入或滞留机房，考虑人员受到泄露辐射的照射，在加速器治疗模式下，10MV 的加速器按照距靶 1m 处最大剂量率 24Sv/min，泄露比率为 0.1%进行估算，人员在距靶 2m 处停留 1s 秒达到公众年剂量约束值 0.1mSv；15MV 的加速器按照距靶 1m 处最大剂量率 6Sv/min，泄露比率为 0.1%进行估算，人员在距靶 2m 处停留 4s 秒达到公众年剂量约束值 0.1mSv。

根据以上估算结果可以看出，事故状态下，短时间内即可对人员产生较大辐射影响，因此医院在日常工作过程中应做好日常检查维护，确保联锁装置、监控设施

的有效性。严格按照操作规程执行，避免此类事故的发生。

⑶ 风险防范与事故应急处理措施

① 定期认真地对设备和放射源的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

② 医院需制定严格的操作规程，运行期必须按操作规程执行，并做好个人的防护，并应将操作规程和辐射事故应急预案张贴在操作人员可看到的显眼位置；

③ 定期对设备的安全装置进行维护、保养，确保设备处于正常工作状态。

2、后装治疗机

⑴ 可能发生的辐射事故

① 治疗机房门机联锁装置失效，人员误入；

② 卡源事故；

③ 储源器泄漏；

④ 放射源丢失、被盗。

⑵ 辐射事故影响分析

① 防护门未关闭或门机联锁失效状态

在后装治疗机防护门未关闭或门机联锁失效时，无防护门防护时此处辐射剂量率为 24.1μSv/h，根据《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/T201.3-2014），机房外人员在此停留 12.5min，即达到公众的周剂量限值 5μSv。

② 机房内误照射

一旦人员误入或滞留机房，考虑人员受到泄露辐射的照射，在后装治疗机治疗模式下，距放射源 1m 处的最大剂量率为 6.85×10^{-4}Sv/min，泄露比率为 0.1%进行估算，人员在距靶 1m 处停留 146min 达到公众年剂量约束值 0.1mSv。

根据以上估算结果可以看出，事故状态下，短时间内即可对人员产生较大辐射影响，因此医院在日常工作过程中应做好日常检查维护，确保联锁装置、监控设施的有效性。严格按照操作规程执行，避免此类事故的发生。

⑶ 风险防范与事故应急处理措施

① 一旦发现联锁系统出现故障，应立即停止治疗工作，组织技术人员对联锁系

统进行检查维修，在确认联锁系统恢复正常后，设备才能重新投入使用。同时应将避免发生这类事故的措施建立在治疗室的工作制度中，严格执行设备联锁系统定期检查制度，并且将检查结果记录备案。

② 如果出现系统故障导致卡源时，由设备厂家专业人员进行处理。首先采用自动回源，当自动回源失效时，采用手动回源。

③ 在放射源储存过程中发生储源器泄漏事故，医院应实时监控储源器周围的X、γ 辐射剂量率，一旦发现储源器泄漏，应及时暂停诊疗工作，并及时联系设备厂家进行储源器的修复更换，期间封闭治疗机房，禁止医务人员或其他人员进入机房从而受到不必要的照射。储源器修复更换结束后应对现场进行详细的辐射剂量率测量。

④ 一旦发生放射源丢失、被盗、失控事故，采取以下处理措施：

a. 启动辐射事故应急预案，保护事故现场，紧急疏散无关人员，所有人员紧急撤离至安全区域；

b. 及时报告医院辐射应急领导小组，上报卫生行政部门、生态环境部门及公安部门；

c. 协助公安部门迅速查找，追回丢失的放射源。

3、核医学科

⑴ 放射性药物造成的事故分析

① 可能发生的事故类型

本项目使用的非密封放射性物质为 ^{99m}Tc 和 ^{18}F，患者在核医学科的驻留时间段，在正常营运情况下对公众和周围环境是安全的。但是如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

a. 放射性药物注射或服药患者错误

工作人员没有核对患者信息，导致药物错误注射，可能对患者造成辐射污染；

b. 放射性药物注射错误剂量

由于医生与技术人员沟通不当，放射性药物注射错误剂量；

c. 放射性药物的意外泄漏

由于工作人员操作不熟练或其他原因造成工作时放射性药物意外泼洒、撒漏。

② 应急情况类型

a. 放射性同位素或放射性药品丢失；

b. 少量放射性同位素溢出；

c. 溢出大量的放射性同位素。

③ 辐射事故环境影响分析

a. 放射性药品丢失、被盗事故

本次选用核医学科使用量较大，且射线能量较大的 ^{18}F 药物进行理论估算，分析药品丢失情况下对人员所造成的辐射影响程度。假定丢失 ^{18}F 药物活度为 370MBq（患者每人次核素最大用量），依据 γ 放射源点源裸源计算公式，可计算一定持续时间、距离处个人照射剂量，理论估算结果见表 11-47。

表 11-47　　^{18}F 药物丢失情况一定时间、距离处个人有效剂量

距源的距离（m）	事故持续时间药物产生的γ射线所致人员外照射剂量（mSv）				
	20min	30min	120min	270min	540min
0.3	**0.196**	0.294	1.180	2.650	5.290
0.5	7.05×10^{-2}	**0.106**	0.423	0.952	1.90
1	1.76×10^{-2}	2.65×10^{-2}	**0.106**	0.238	0.476
2	4.41×10^{-3}	6.61×10^{-3}	2.65×10^{-2}	5.95×10^{-2}	**0.119**

由表 11-47 计算结果可知，事故持续时间 20min 时，距离 ^{18}F 药物 0.3m 处辐射剂量为 0.196mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv；事故持续时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。

本项目拟购 ^{99m}Tc 贮存在核医学科储源室的药物转运防护罐内、^{18}F 贮存在核医学科分装质控室的手套箱内。为了防止放射性药品贮存期间发生丢失、被盗事故，医院拟采取如下防范措施：

I 放射性药品贮存场所（分装质控室、储源室）均位于综合医院地下一层核医学科控制区内，在核医学科患者通道入口、出口处设计单向门禁系统，限制无关人员进入此区域；

II 在分装质控室以及主要通道处设计安装视频监控系统，由医院保卫部门进行全天监控；

III 对放射性药品贮存场所（分装质控室、储源室）设置门锁，采用双人双锁进行管理；

IV 建立放射性药品台账制度，实现专人管理，明确放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录；

V 建立放射源台账、使用登记制度，对每次使用的放射源进行登记、定期进行盘点。应急措施：当发生放射性药品被盗事故，事故发现者应立即上报医院辐射事故应急领导机构。接到报告后，医院应立即启动辐射事故应急预案。同时，保护事故现场，防止无关人员进入现场，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，并向当地生态环境主管部门和公安部门报告，协助公安对被盗的放射性药品进行侦察和追缴。

b. 放射性药品洒漏事故

工作人员在分装、注射过程中，由于工作人员未按操作规程要求或操作失误，可能导致盛装放射性药物的试剂瓶被打翻或者破碎，进而导致放射性药物撒漏在工作台面以及地上。由于本项目注射放射性核素 ^{99m}Tc 的患者较多，发生药品撒漏事件的概率更大，故对于本项目发生放射性药品洒漏事故时辐射影响，以放射性核素 ^{99m}Tc 为例进行理论估算，注射过程中放射性药物活度最大为 9.25×10^{8}Bq，放射性药物全部洒漏在工作台面上，则根据 γ 放射源裸源计算公式，则工作人员所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-48 所示。

表 11-48　　^{99m}Tc 药物洒漏情况一定时间、距离处个人有效剂量

距源的距离（m）	事故持续时间药物产生的γ射线所致人员外照射剂量（mSv）				
	1min	2min	5min	10min	20min
0.3	5.19×10^{-3}	1.04×10^{-2}	2.60×10^{-2}	5.19×10^{-2}	0.104
0.5	1.87×10^{-3}	3.74×10^{-3}	9.34×10^{-3}	1.87×10^{-2}	3.74×10^{-2}
1	4.67×10^{-4}	9.34×10^{-4}	2.34×10^{-3}	4.67×10^{-3}	9.34×10^{-3}
2	1.17×10^{-4}	2.34×10^{-4}	5.84×10^{-4}	1.17×10^{-3}	2.34×10^{-3}
5	5.19×10^{-5}	1.04×10^{-4}	2.60×10^{-4}	5.19×10^{-4}	1.04×10^{-3}

根据表 11-47 中可以看出，假如 ^{99m}Tc 药物发生洒漏事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。对事故洒漏场地进行清污的人员，应加强个人防护措施，减少接触时间和尽量增加操作距离，以减少辐射影响。

防范措施：核医学科分装、注射或给药工作人员应严格按照操作规程操作，穿戴个人防护用品，增强操作熟练程度，减少操作时间，以减少辐射影响。

应急措施：若发生非密封放射性物质洒漏事故，应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用酒精药棉或纸巾进行擦抹，以防止污染扩散。吸附、擦拭物质作为放射性固体废物，放入带有屏蔽功能的放射性废物桶内。并对污染区域进行表

面污染监测，β 表面污染大于 0.8Bq/cm^2，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，直到污染区表面污染小于 0.8Bq/cm^2。

⑵ 射线装置造成的事故分析

① 事故风险分析

本项目使用 SPECT-CT 和 PET-CT，属于III类射线装置，发生辐射事故的概率较小，但仍应进行考虑。主要辐射事故体现在以下方面：

a. 在射线装置工作状态下，安全联锁失效，人员误入机房产生误照射；

b. 在射线装置工作状态下，安全联锁失效，防护门未完全关闭，对经过或停留的人员产生误照射。

② 事故情况下剂量分析

由于使用 PET-CT 时，患者体内已注射 ^{18}F 药物，^{18}F 的射线能量较大，故本次评价假设 PET-CT 发生安全联锁失效，公众误入机房，在无任何屏蔽措施的情况时，受到的辐射影响。

本次估算主要考虑 PET-CT 中 CT 部分的 X 射线照射及患者注射 ^{18}F 药物后产生的 γ 射线的叠加影响。根据估算，公众所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-49 所示。

表 11-49　　PET-CT 设备事故情况一定时间、距离处个人有效剂量

距 PET-CT 设备的距离（m）	事故持续时间药物产生的 X 射线所致人员外照射剂量（mSv）				
	1s	2s	**3s**	5s	10s
0.5	0.721	1.442	2.163	3.605	7.210
1	**0.180**	0.361	0.541	0.901	1.803
2	4.51×10^{-2}	0.090	**0.135**	0.225	0.451

根据表 11-49 中可以看出，本项目 PET-CT 使用时，假如发生公众误入机房的事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。事故持续时间 1s 时，距离 PET-CT 设备 1m 处辐射剂量为 0.180mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv。因此，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的机房。

③ 风险防范措施与事故应急处理措施

对于射线装置可能发生的意外照射事故，关键在于预防，主要采取以下防范措

施：

a. 机房防护门处设置规范的电离辐射警告标志及中文说明，安装工作状态指示灯；

b. 定期巡查机房防护门工作状态指示灯及安全联锁有效性；

c. 规范医院诊断工作秩序，严格执行放射诊断操作规程和辐射安全管理制度；

d. 定期检查安全制度落实情况，发现问题及时处理，消除隐患前不得继续使用；

e. 定期组织开展辐射事故应急演练，当发生辐射事故时及时响应，将辐射事故影响降到最小。为避免辐射事故的发生，要求工作人员每次上班时首先要检查个人防护设施、监控系统和报警系统是否正常。如果发生故障失灵，应立即修理，严格按照各设备操作程序进行操作作业，按照相关规定要求，完善和加强管理，使放射性同位素和射线装置始终处于监控状态。

4、DSA

⑴ 事故风险分析

① 职业人员违反操作规程或误操作，造成事故照射；

② 辐射安全措施失效，造成事故照射；

③ 检查与维护状态下，设备维修人员违反操作规程或误操作，造成事故照射。

④ 警示标志不合理使无关人员进入手术室造成误照射。

⑵ 事故情况下剂量分析

本次评价假设 DSA 设备发生事故，公众误入机房，在无任何屏蔽措施的情况下，受到透视和采集时的 X 射线照射（漏射线和散射线）。根据估算，公众所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-50 所示。

表 11-50　　DSA 设备事故情况一定时间、距离处个人有效剂量

距 DSA 设备的距离（m）	事故持续时间产生的 X 射线所致人员外照射剂量（mSv）—采集模式					
	1s	2s	**5s**	10s	**20s**	30s
0.5	3.43×10^{-2}	6.86×10^{-2}	**0.172**	0.343	0.686	1.029
1	8.58×10^{-3}	1.72×10^{-2}	4.29×10^{-2}	8.58×10^{-2}	**0.172**	0.257
2	2.14×10^{-3}	4.29×10^{-3}	1.07×10^{-2}	2.14×10^{-2}	4.29×10^{-2}	6.43×10^{-2}
距 DSA 设备的距离（m）	事故持续时间产生的 X 射线所致人员外照射剂量（mSv）—透视模式					
	10s	30s	60s	**90s**	**300s**	600s
0.5	1.63×10^{-2}	4.90×10^{-2}	9.80×10^{-2}	**0.147**	0.490	0.980
1	4.08×10^{-3}	1.23×10^{-2}	2.45×10^{-2}	3.68×10^{-2}	**0.123**	0.245

2	1.02×10^{-3}	3.06×10^{-3}	6.13×10^{-3}	9.19×10^{-3}	3.06×10^{-2}	6.13×10^{-2}
备注：采集模式下的时间为出束累计时长						

根据表 11-50 中可以看出，本项目在 DSA 进行手术时，假如发生公众误入机房的事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。采集模式下，事故持续时间 5s（出束累计时长）时，距离 DSA 设备 0.5m 处辐射剂量为 0.172mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv；透视模式下，事故持续时间 90s 时，距离 DSA 设备 0.5m 处辐射剂量为 0.147mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv。因此，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的手术室。

⑶ 事故应急措施

为减少事故发生及发生后立即采取有效防范措施，医院需做好以下防范措施：

① 定期认真地对医院射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

② 凡涉及对 DSA 进行操作，必须有明确的操作规程，并做到“制度上墙”（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在放射诊断操作时，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

③ 每月对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

④ 加强放射工作人员的管理，DSA 开机前，必须确保无关人员全部撤离后才可开启；加强放射工作人员的业务培训，防止误操作，以避免工作人员和公众受到意外辐射。

⑤ 加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区管理，限制公众在监督区长期滞留。

⑥ 检修人员准备进入机房时，必须携带个人剂量计。

⑦ 检查系统发生故障而紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动射线装置。

⑧ 调试和维修必须解除安全联锁时，需经负责人同意并通告有关人员；工作结

束后，先恢复安全联锁并经确认系统正常后再行使用。

⑨ 机房门外明显处应设置电离辐射警示标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

⑩ 辐射安全工作领导小组应对医院的应急组织人员、救护计划和方法、救护器材和设备以及联络方式进行明确布置和安排，一旦事故发生时可立即执行。

⑪ 操作人员需持证上岗，确保岗位责任制度的落实，严肃查处违规作业。

表 12 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全与环境保护管理机构

根据《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日）第十六条“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（一）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；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”等有关法律法规及国家标准的要求，为了加强放射性同位素和射线装置的安全和防护的监督管理，促进放射性同位素和射线装置的安全应用，正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产，该单位应成立相应的辐射安全与环境保护管理机构。

西安市第八医院已成立辐射环境安全和放射卫生管理工作领导小组。领导小组下设办公室，办公室设在医务科，办公室主任由副院长张艳兼任，副主任由医务科科长黄小正、放射科主任薛永明兼任。主要职责如下：

⑴ 辐射安全管理领导小组职责。

① 组织制定医院辐射事故应急处理预案。

② 负责组织协调辐射事故应急处理工作。

⑵ 辐射安全管理办公室职责。

① 按照辐射事故应急处理预案的要求，落实应急处理的各项日常工作。

② 组织辐射事故应急人员的培训。

③ 负责与行政主管部门、环保（雁塔区）、公安、卫生等相关部门的联络、报告应急处理工作。

④ 负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作。

⑤ 完成应急处理领导小组交办的其它工作。

本项目为西安市第八医院新院区，依托现有辐射安全与环境保护管理机构。

2、人员配备与职能

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，“从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核”。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的职业人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗”。

本项目工作场所均建设于新院区，拟配备的工作人员均为新增。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部 公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日），本项目涉及的辐射工作人员应根据公告要求，经培训后取得培训合格证书方可上岗。

二、辐射安全管理规章制度

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全防护条例》、《陕西省放射性污染防治条例》、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》，西安市第八医院已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，辐射安全管理内容实际建设情况详见表 12-1。

表 12-1　　辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作	有
		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容	有
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告	有
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	有
		建立辐射环境安全管理档案	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录	有
	直接从事放射工作的	岗前进行职业健康体检，结果无异常	有
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	有
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	有

	作业人员	熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理	有
机构建设		设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人	有
制度建立与执行		建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	有
		建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	有
		建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	有
		建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案	有
		建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性	有
		建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性	有
		建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	有
		建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	有
		建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	有
应急管理		结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	有
		应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	有

综上，将本项目建设内容纳入现有辐射安全管理规章制度，但建设单位需要结合本项目实际情况对现有辐射安全管理规章制度予以完善。

三、辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括**个人剂量测量、辐射监测**等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有**表面污染监测仪**。（八）使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应

的质量保证大纲和质量控制检测计划。”

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）“6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置**固定式辐射剂量监测仪**并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。”

西安市第八医院拟为本项目新院区配备的辐射监测仪器如下：

表 12-2　　本项目拟配备的辐射监测仪器

项目	拟配备的监测仪器	数量（台）
综合医院放疗科	X-γ 剂量率测量仪	1 台
	个人剂量报警仪	2 台
	固定式辐射剂量监测仪	3 台
	中子周围剂量当量仪	1 台
综合医院核医学科	a、β 表面污染检测仪	2 台
	固定式剂量监测报警仪	1 套
	个人剂量报警仪	4 台
	X-γ 剂量率测量仪	1 台
综合医院介入中心	X-γ 剂量率测量仪	1 台
	个人剂量报警仪	2 台
综合医院手术中心（介入手术室）	X-γ 剂量率测量仪	1 台
	个人剂量报警仪	2 台
传染病医院手术中心（介入手术室）	X-γ 剂量率测量仪	1 台
	个人剂量报警仪	2 台

2、监测方案

⑴ 监测内容：X-γ 辐射剂量率、β 表面沾污及衰变池废水总 β 放射性；

⑵ 监测布点及数据管理：监测布点应参照环评监测布点、验收监测布点，监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

本项目监测计划见表 12-3。

表 12-3　　监测计划

位置		监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
综合医院放疗科	医用电子直线加速器机房（10MV）	防护性能检测	四周屏蔽墙外 30cm 处、机房楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟	X、γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
		周围环境巡测	机房周围	X、γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
	医用电子直线加速器机房（15MV）	防护性能检测	四周屏蔽墙外 30cm 处、机房楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟	X、γ 辐射剂量率、中子剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
		周围环境巡测	机房周围	X、γ 辐射剂量率、中子剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
	后装机房	防护性能	四周屏蔽墙外 30cm、机房	X、γ 辐射剂	每月自测一次，

		检测	楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟	量率	委托有资质单位每年一次
			储源器表面 30cm、100cm		
		周围环境巡测	机房周围	X、γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
综合医院核医学科		防护性能检测	分装质控室、储源室、注射区、运动候诊兼抢救室、SPECT-CT 候诊、PET-CT 候诊、VIP 候诊、留观室、放射性废物桶表面	X、γ 辐射剂量率、表面污染	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
			控制室操作位置、防护门及观察窗表面、四周屏蔽墙体表面及核医学科控制区楼下距地面 1.7m、楼上距地面 1m、控制区墙体外 30cm 处	X、γ 辐射剂量率	
			机房躺床表面、注射工作台及地面、手套箱表面、SPECT-CT 候诊座椅及地面、PET-CT 候诊座椅及地面、VIP 候诊座椅及地面、留观室座椅及地面、卫生间等	表面污染	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
		放射性固体废物	放射性废物表面	X、γ 辐射剂量率、表面污染	每次解控前需委托有资质单位监测一次
		含放射性废水	衰变池出水口	总 β	每次排放前需委托有资质单位监测一次
综合医院介入中心介入手术室 1、2；综合医院手术中心介入手术室（OR-12）；传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）		防护性能检测	四周墙体及门窗表面 30cm、手术室楼上地面 1.0m、手术室楼下地面 1.7m、操作位、线沟等	X、γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年一次
		周围环境巡测	DSA 手术室周围	X、γ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年一次

四、环境保护投资与环保验收要求

1、环境保护投资

本项目总计投资 12000 万元，其中环保投资 285 万元，占总投资的 2.38%，具体见环保投资一览表 12-4。

表 12-4　　环保投资一览表

实施阶段	类别	污染源或污染物	污染防治措施或设施	费用（万元）
运营期	废气	放射性废气	排风系统，设活性炭过滤器	100.0
	废水	清洗废水、患者排泄物等	衰变池	15.0
	固体废物	废注射器、废手	建设有固废室，放射性废物解	50.0

		套、废活性炭滤芯等	控后按医疗废物处理，废活性炭作为一般固体废物处理	
	防护用品、监测仪器、警告标志、电离辐射标识、警示装置等		/	50.0
	人员培训、制度上墙		/	10.0
环境监测	/			60.0
总环保投资				285.0

2、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），本项目竣工后，建设单位应按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，及时对本项目配套建设的环境保护设施进行自主验收。

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-5。

表 12-5　　项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	项目	内容	验收效果和环境预期目标	备注
1	辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构	西安市第八医院已成立专门的辐射防护管理小组，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确辐射防护管理小组的主要职责。新院区依托现有辐射防护管理小组。	依托现有辐射防护管理小组
2	辐射安全防护措施	安全措施	各工作场所设置分区标识，地面设置行走路径标识。各工作场所出入口设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；门机连锁装置	新增
3	人员配备	辐射防护与安全培训	辐射工作人员应参加辐射安全与防护培训，取得培训合格证书	拟配备的工作人员均为新增
		个人剂量检测	辐射工作人员个人剂量计定期委托有资质单位进行监测，并建立个人剂量档案	新增
		职业健康管理	辐射工作人员定期进行体检，并建立职业健康档案	新增
4	防护用品、监测仪器	个人剂量计	有与工作人员数量匹配的个人剂量计	新增
		个人防护用品	为本项目工作人员配备铅防护服、铅帽、铅围脖等	新增
		辅助防护设施	为本项目 DSA 工作人员配备铅防护吊帘、床侧防护帘、移动铅防护屏	新增
		放射性废气	放射工作场所安装通风装置，核医学科有独立排风系统，排风口设置在所在建筑物顶部；分装质控室内的手套箱有独立排风系统并配置过滤装置，排风口设置在所在建筑物顶部，具体详见章节表 10 中的“二、三废的治理”	新建
		放射性废水	配套建设衰变池，设置有取水口	新建

		放射性固体废物	在分装质控室、运动候诊兼抢救室、SPECT-CT 候诊、PET-CT 候诊、VIP 候诊、留观室等内配置带铅防护垃圾桶，垃圾桶外张贴电离辐射标识。注射药物患者设置专用卫生间。放射性固体废物分类收集存放于固废室，废物包装体外注明核素、收集时间、处理时间等相关信息。解控后的废活性炭作为一般固体废物处理，建立放射性废物管理台账	新建
		辐射环境监测仪器	配备 X、γ 辐射监测仪器、便携式表面污染监测仪、个人剂量报警仪、固定式辐射剂量监测仪，并定期检定，建立监测数据档案，具体见表 12-2	新增
5	监测限值要求	个人剂量监测	工作人员年有效剂量本项目低于年剂量约束限值 5mSv，公众年有效剂量低于年剂量约束限值 0.1mSv	/
		工作场所表面污染控制水平以及剂量率控制水平	工作场所的放射性表面污染控制水平及剂量率控制水平满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的工作场所的防护水平要求	/
6	辐射环境管理	健全辐射环境管理制度，并认真贯彻执行	根据环评报告要求，按照项目的实际情况，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对本次使用的放射性核素和射线装置使用过程可能存在的风险，完善应急预案，落实必要的应急物资，定期进行辐射事故应急演练。	将本项目建设内容纳入现有管理体系中，完善应急预案，其余依托现有
7	辐射安全管理标准化	辐射工作场所按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》完善标准化建设		

五、辐射事故应急

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强放射性同位素和射线装置安全管理工作，保障辐射相关工作人员和公众人员的健康安全，使环境受到辐射污染程度控制在标准允许范围之内。根据《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）及其其它相关法律、法规的规定和管理部门要求，建设单位应建立《辐射事故应急预案》。

西安市第八医院已制定了《放射事故应急预案》，建设单位应将本项目建设内容纳入现有管理体系中，完善应急预案，其余依托现有应急预案，应急预案主要包括下列内容：⑴ 应急组织及职责；⑵ 放射管理；⑶ 应急处置措施；⑷ 保障措施。

综上，医院现行应急预案符合相关法律、法规的规定和管理部门要求。对突发辐射事故，该单位需坚持以预防为主，常备不懈的方针，建立和加强相应的监测、应急制度，做到及时发现、及时报告、快速反应、及时控制。同时应具备应急反应

机制和应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。应从经费、物资、人员和技术人员方面做好准备工作，定期进行培训以备应急时之需要。在辐射事故应急预案的实施中，根据新的相关法律法规内容，结合检查工作的实际情况对应急预案进行修订，使之更能符合辐射实际需要。

目前西安市第八医院未曾发生过辐射事故，为预防辐射事故的发生，医院会定期根据应急预案进行演练。

表 13 结论与建议

一、结论

1、项目概况

西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）拟在综合医院门诊医技楼地下二层放疗科拟配置 2 台医用电子直线加速器，在综合医院门诊医技楼地下一层放疗科拟配置 1 台后装治疗机用于肿瘤治疗；在综合医院门诊医技楼地下一层核医学科拟配置 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，使用放射性核素有 ^{18}F 和 ^{99m}Tc；在综合医院门诊医技楼一层介入中心拟配置 2 台 DSA；在综合医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-12）拟配置 1 台 DSA；在传染病医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-4）拟配置 1 台 DSA。

项目建成后将成为国内床位最多、功能最全、医疗设备最先进的公共卫生中心，将极大提升西安市日常公共卫生保障水平和突发事件应急反应能力。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践正当性”的原则。

项目建设地点周边环境较为简单，评价范围均位于院区内，且综合医院门诊医技楼和传染病医院门诊医技楼均距离临近道路较远，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素，选址和平面布置基本合理。

项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

2、辐射环境影响分析

⑴ 医用电子直线加速器

经估算分析可知：

① 项目医用电子直线加速器机房主屏蔽墙设计宽度均满足有用射线束屏蔽宽度要求；在正常或调强放射治疗情况下，项目机房辐射防护实体屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处各关注点的辐射剂量率均在参考控制水平以内，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）相关要求。

② 医用电子直线加速器辐射工作人员最大年有效剂量率为 1.81×10^{-7}～1.91×10^{-7}mSv/a，公众最大为 8.81×10^{-5}～8.24×10^{-3}mSv/a，均低于本次环评提出的辐射工作人员的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

⑵ 后装治疗机

经估算分析可知：

① 后装治疗机房实体屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处各关注点处剂量率均满足各关注点剂量率参考控制水平，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）相关要求。

② 后装治疗机辐射工作人员最大年有效剂量率为 0.065mSv/a，公众最大为 1.08×10^{-4}～2.05×10^{-2}mSv/a，均低于本次环评提出的辐射工作人员的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

⑵ 核医学科

经估算分析可知：

① 核医学科正常运行期间，各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求；

② 在采取了本评价所提屏蔽措施的前提下，采取操作台面铺衬吸水纸、加强人员培训和患者的管理，可以有效避免对工作场所的表面污染。项目开展后，工作场所表面污染水平可以控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表面污染控制水平之内；

③ 本项目正常运行期间，对工作人员所致年有效剂量最大为 2.85mSv，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。由于放射性药物半衰期较短，药物活度不断降低，其产生辐射剂量率也不断降低，工作人员也可轮换作业，实际工作人员年有效剂量低于估算结果。

④ 公众年附加有效剂量为 1.46×10^{-13}mSv/a～7.95×10^{-2}mSv/a，均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

⑶ DSA

本项目 4 台 DSA 在正常运行期间，采集模式下机房外各关注点处 X-γ 辐射剂量率在 6.14×10^{-4}～0.62μGy/h；透视模式下机房外各关注点处 X-γ 辐射剂量率在 2.04×10^{-5}～2.06×10^{-2}μGy/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求。

本项目各 DSA 手术室的职业人员年附加有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中要求的工作人员连续 5 年年平均有效剂量

（20mSv）和本次评价提出的年管理剂量约束值（5mSv/a）；公众年附加有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众年有效剂量控制目标（1mSv/a）和本次评价提出的年管理剂量约束值（0.1mSv/a）。

3、辐射安全管理

本项目依托医院现有的辐射安全防护管理机构，并已明确相关成员职责；将本项目建设内容纳入现有管理体系中，完善应急预案，用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作，医院应根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射安全和防护制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，使其具有更强的针对性和可操作。

4、项目可行性分析结论

项目在落实本报告提出的各项污染防治措施、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运行期对周围环境的辐射影响可达到合理且尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致放射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限制要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

二、建议和要求

1、项目竣工后建设单位应按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，医院应及时申领辐射安全许可证，并及时开展竣工环境保护验收工作。

2、项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年对放射性同位素和射线装置应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证颁发部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

3、定期对放射工作人员进行个人剂量检测和健康体检，对个人剂量检测报告、体检报告中出现问题、异常数据及时查明原因，采取有效措施妥善处理，并留档备查。

4、应加强对工作人员和公众成员辐射防护知识的宣传教育，提高其自身安全防护意识，避免辐射事故的发生。

5、定期检查联锁装置、指示灯，确保其处于正常的工作状态，发现问题及时维修。

6、应加强对工作人员的辐射安全培训工作，在进行放射性同位素操作时，医护

人员必须穿戴防护用品，以合理有效的降低人员受照射剂量。

7、购买密封放射源时与厂家签订回收协议，放射源不再使用或无法满足使用要求时联系厂家回收处置。

8、新增辐射工作人员应安排岗前体检，确认可从事放射工作并取得核技术利用辐射安全与防护考核合格成绩报告单方可上岗。

表 14 审批

预审意见： 经办人：　　　　　　单位公章 年　月　日
下一级环境保护行政主管部门审查意见： 经办人：　　　　　　单位公章 年　月　日

环境影响评价委托书

西安海蓝环保科技有限公司：

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》等相关规定，我公司现决定委托贵公司承担 西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目 的环境影响评价工作，编制《 西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目 环境影响报告表》。

特此委托！

西安市第八医院

2022 年 9 月 6 日

正本

志诚检测

CMA

192712050108

有效期至2025年05月06日

监 测 报 告

报告编号：XAZC-JC-2022-0756

项目名称：西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目辐射环境现状监测

委托单位：西安市第八医院（西安市肝病医院）

监测类别：委托监测

报告日期：2022 年 12 月 13 日

西安志诚辐射环境检测有限公司

西安志诚辐射环境检测有限公司 检验检测专用章

声　明

1、本报告首页适用于西安志诚辐射环境检测有限公司现场监测项目的监测报告。

2、报告无西安志诚辐射环境检测有限公司“检验检测专用章”、骑缝章、MA章及编制、校核、审核、批准签字无效，报告涂改无效。

3、复制报告未重新加盖本单位“检验检测专用章”无效。

4、本报告、本报告数据及本公司名称未经同意，不得用于产品标签、包装及广告等宣传活动。

5、未经委托方许可，不向第三方泄漏委托方商业机密、技术机密。

6、本报告仅对本次监测数据、结果的准确性负责。本报告仅提供给委托方，本公司不承担其他方应用本报告所产生的责任。

7、对本报告有异议，应于收到本报告之日起十五日内（邮寄报告以签收日期为准）向本公司提出。

西安志诚辐射环境检测有限公司
地　　址：西安经济技术开发区凤城十路保利中达广场 1211 室
电　　话：029-86180196
邮政编码：710018
E-mail：xazcfs@163.com
http://www.xazcfs.com

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

一、监测概况

监测项目	X、γ辐射剂量率、β表面污染		
委托单位	西安市第八医院（西安市肝病医院）		
监测地点	陕西省西安市高陵区310国道与210国道交叉口西南角		
监测日期	2022年12月2日	监测时间	14:30~17:30
天气状况	阴	监测现场环境条件	温度：11.3℃、湿度：48.9%
监测仪器	X、γ剂量率仪		
型号规格	HY1001	仪器编号	XAZC-YQ-042
测量范围	10nGy/h~400μGy/h	检定单位	中国辐射防护研究院放射性计量站
检定证书	检字第[2022]-LA018	检定有效期	2022.6.9~2023.6.8
监测仪器	表面污染监测仪		
型号规格	CoMo-170	仪器编号	XAZC-YQ-036
测量范围	α：0.1cps~2500cps β：0.1cps~20000cps	检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2021H21-20-3741691001	检定有效期	2021.12.30~2022.12.29
监测依据	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） 《环境监测用X、γ辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-1995） 《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$>0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）		
评价标准	参照《中国环境天然放射性水平》（2015年7月）		
点位布设	综合医院放疗科拟建医用电子直线加速器机房、后装治疗机房、核医学科、介入中心介入手术室、手术中心介入手术室及传染病医院手术中心拟建介入手术室X、γ辐射剂量率，以及综合医院拟建核医学科β表面污染。		

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

二、监测结果

表 2-1 综合医院及传染病医院核技术利用项目拟建工作场所 X、γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述		X、γ 辐射剂量率（μGy/h）
1	综合医院放疗科	拟建 10MV 医用电子直线加速器机房	0.123
2		拟建 10MV 医用电子直线加速器机房控制室	0.123
3		拟建 15MV 医用电子直线加速器机房	0.123
4		拟建 15MV 医用电子直线加速器机房控制室	0.120
5		拟建后装治疗机房	0.120
6		拟建后装治疗机房控制室	0.122
7	综合医院拟建核医学科	预约登记处	0.120
8		储源室	0.120
9		固废室	0.120
10		污洗间	0.120
11		冲淋间	0.120
12		一更	0.120
13		二更	0.120
14		缓冲区	0.120
15		分装质控室	0.120
16		注射区	0.119
17		设备间	0.119
18		SPECT-CT 机房	0.119
19		控制室	0.120
20		PET-CT 机房	0.120
21		患者走廊	0.120
22		留观室	0.119
23		VIP 候诊室	0.120

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测结果（续）

续表 2-1 综合医院及传染病医院核技术利用项目拟建工作场所 X、γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述		X、γ 辐射剂量率（μGy/h）
24	综合医院拟建核医学科	PET-CT 候诊室	0.119
25		SPECT-CT 候诊室	0.119
26		运动候诊兼抢救室	0.119
27		洁具清洗存放间	0.119
28		核医学科楼下	0.120
29		核医学科楼上	0.120
30		衰变池	0.121
31		衰变池上部	0.114
32	综合医院介入中心	拟建介入手术室 1	0.112
33		拟建介入手术室 1 控制室	0.112
34		拟建洁净走廊	0.112
35		拟建介入手术室 2	0.112
36		拟建机房	0.112
37		拟建清洁间	0.113
38		拟建污洗间	0.113
39		拟建医疗废物暂存	0.113
40		拟建污物走廊	0.112
41		拟建介入手术室 2 楼下	0.119
42		拟建介入手术室 1 楼上	0.111
43		拟建介入手术室 2 楼上	0.112

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测结果（续）

续表 2-1 综合医院及传染病医院核技术利用项目拟建工作场所 X、γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述		X、γ 辐射剂量率（μGy/h）
44	综合医院手术中心	拟建介入手术室（OR-12）	0.108
45		拟建控制室	0.107
46		拟建设备间	0.107
47		拟建缓冲间	0.108
48		拟建体外循环室	0.108
49		拟建清洁走廊	0.108
50		拟建 OR-11	0.108
51		拟建刷手缓冲区	0.108
52		拟建介入手术室（OR-12）楼上	0.106
53		拟建介入手术室（OR-12）楼下	0.106
54	传染病医院手术中心	拟建介入手术室（OR-4）	0.114
55		拟建控制室	0.115
56		拟建机房	0.115
57		拟建污物走廊	0.108
58		拟建介入手术室（OR-5）	0.115
59		拟建刷手处	0.115
60		拟建洁净走廊	0.115
61		拟建介入手术室（OR-4）楼上	0.107
62		拟建介入手术室（OR-4）楼下	0.113

备注：1、监测结果已校准，已扣除仪器对宇宙射线响应修正值 0.022μGy/h；

2、本报告仅对本次监测点位及结果负责，监测点位示意图见图 3-1~图 3-12。

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测结果（续）

表 2-2 综合医院拟建核医学科 β 表面污染监测结果

监测点位	监测点位描述		β 表面污染（Bq/cm²）
1	综合医院拟建核医学科	预约登记处地面	ND
2		储源室地面	ND
3		固废室地面	ND
4		污洗间地面	ND
5		冲淋间地面	ND
6		一更地面	ND
7		二更地面	ND
8		缓冲间地面	ND
9		分装质控室地面	ND
10		注射区地面	ND
11		设备间地面	ND
12		SPECT-CT 机房地面	ND
13		控制室地面	ND
14		PET-CT 机房地面	ND
15		患者走廊地面	ND
16		留观室地面	ND
17		VIP 候诊室地面	ND
18		PET-CT 候诊室地面	ND
19		SPECT-CT 候诊室地面	ND
20		运动候诊兼抢救室地面	ND
21		洁具清洗存放间地面	ND

备注：1、β 表面污染监测结果已扣除仪器本底计数率，“ND”表示监测结果低于仪器 β 表面污染检出限 0.08Bq/cm²；

2、本报告仅对本次监测点位及结果负责，监测点位示意图见图 3-5。

西安志诚辐射环境检测有限公司

监　测　报　告

三、监测点位示意图

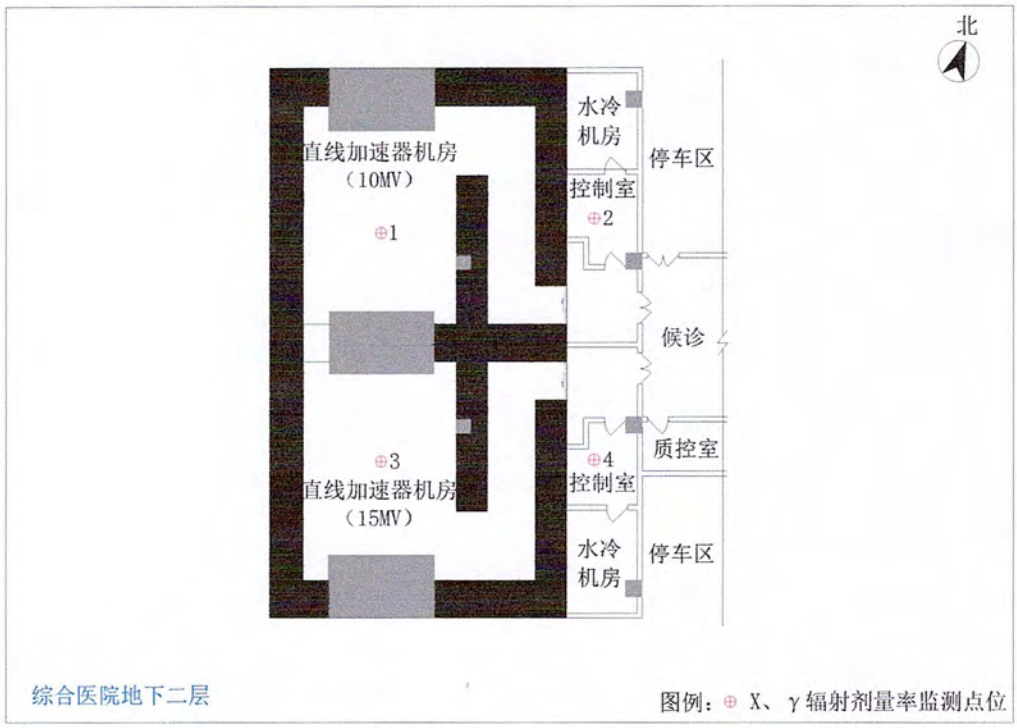


图 3-1　拟建加速器机房 X、γ辐射剂量率监测点位示意图

图 3-2　拟建后装治疗机房 X、γ辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测点位示意图（续）

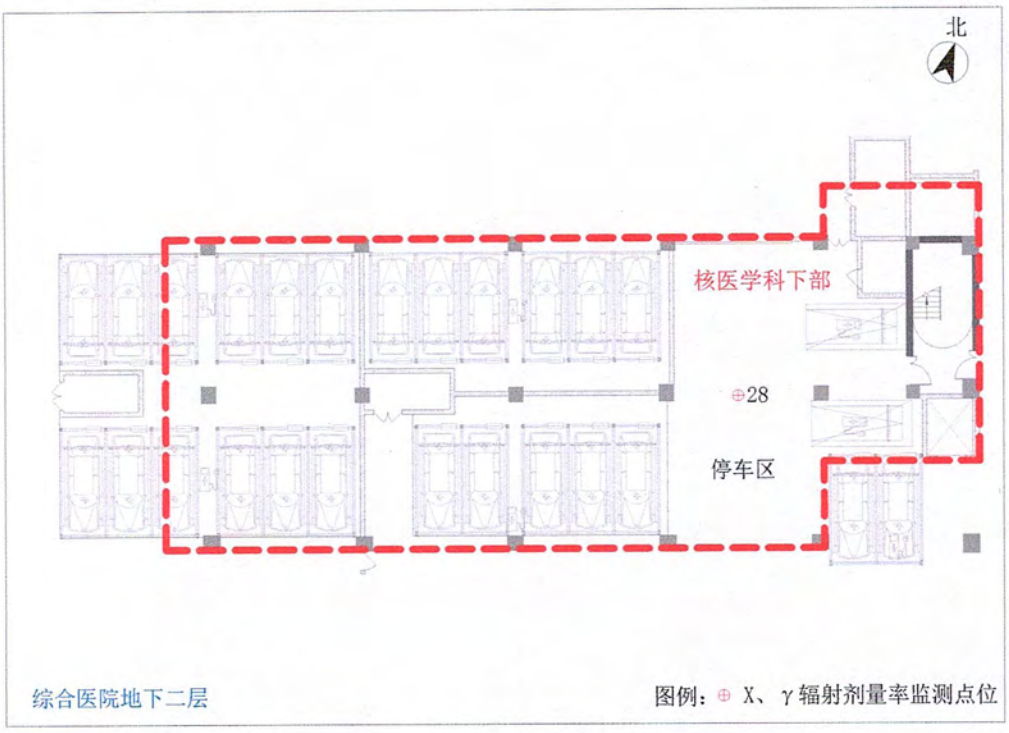


图 3-3 拟建核医学科下部 X、γ辐射剂量率监测点位示意图

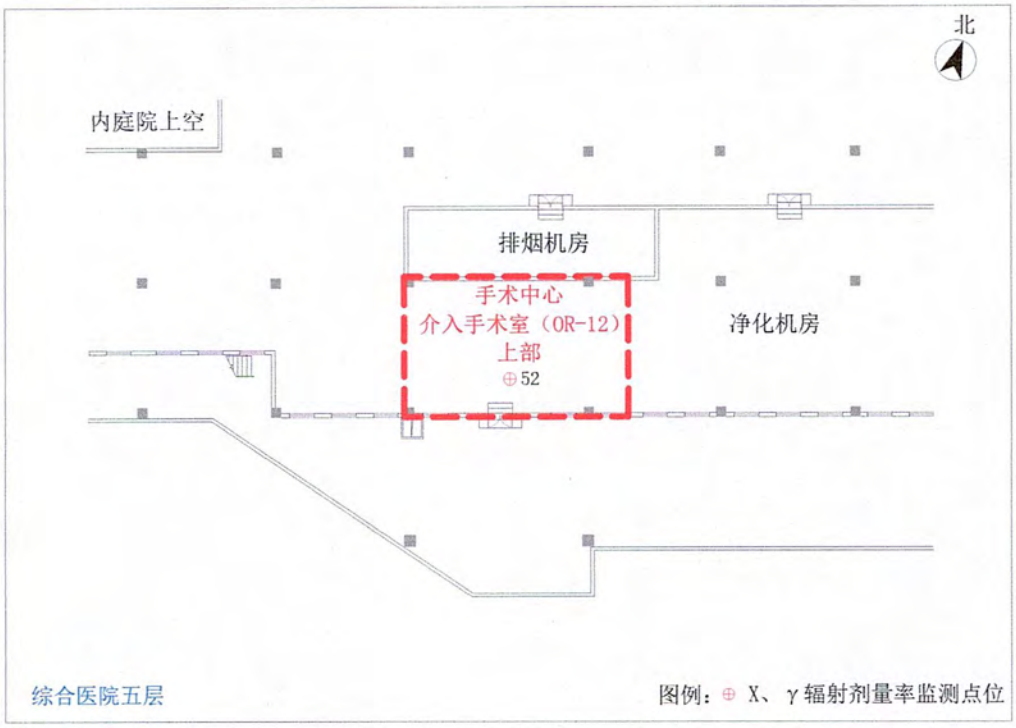


图 3-4 综合医院手术中心拟建介入手术室（OR-12）上部 X、γ辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监　测　报　告

监测点位示意图（续）

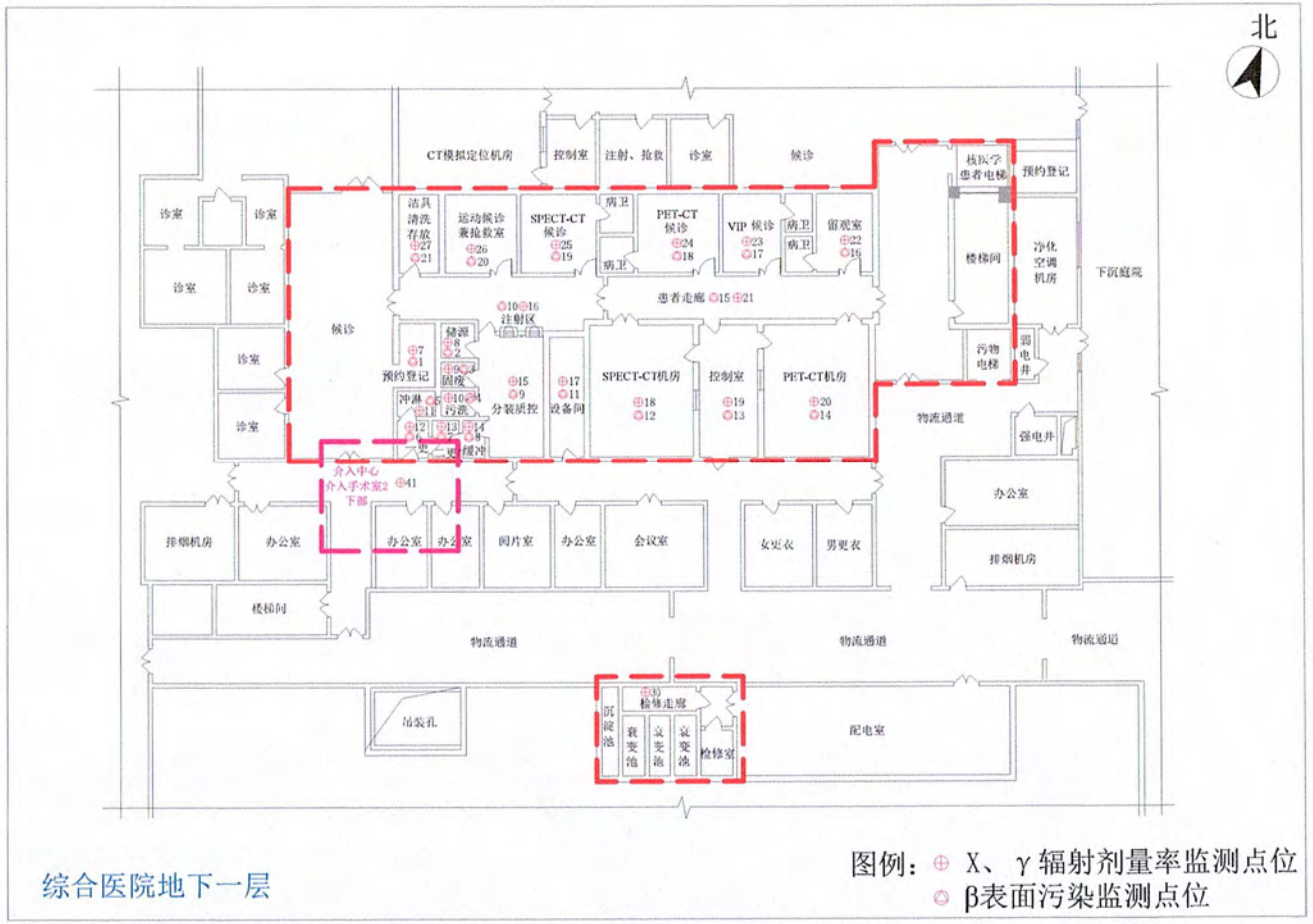


图 3-5　综合医院拟建核医学科 X、γ 辐射剂量率及 β 表面污染监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监　测　报　告

监测点位示意图（续）

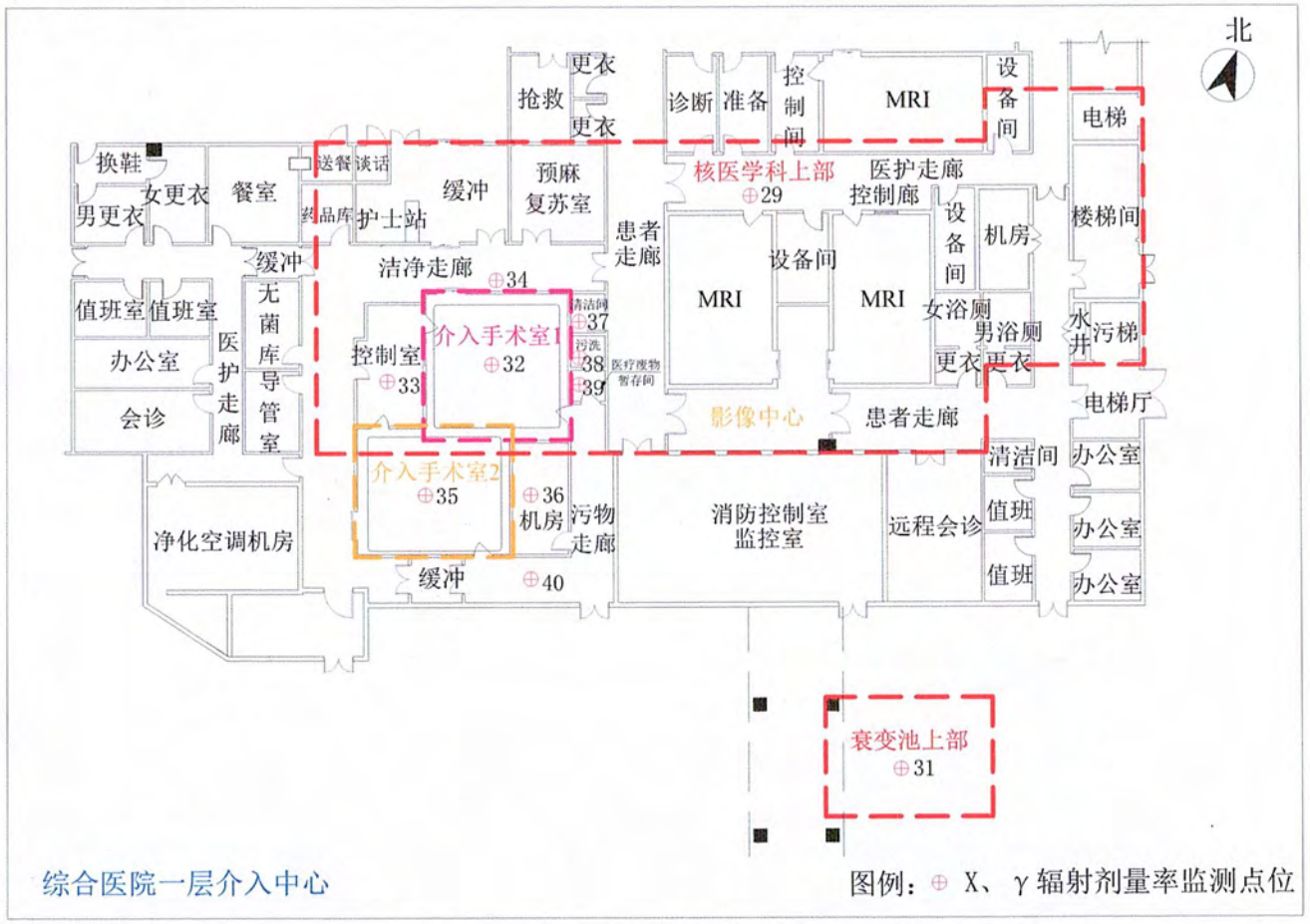


图 3-6　综合医院拟建核医学科上部、衰变池上部及介入手术室 X、γ 辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测点位示意图（续）

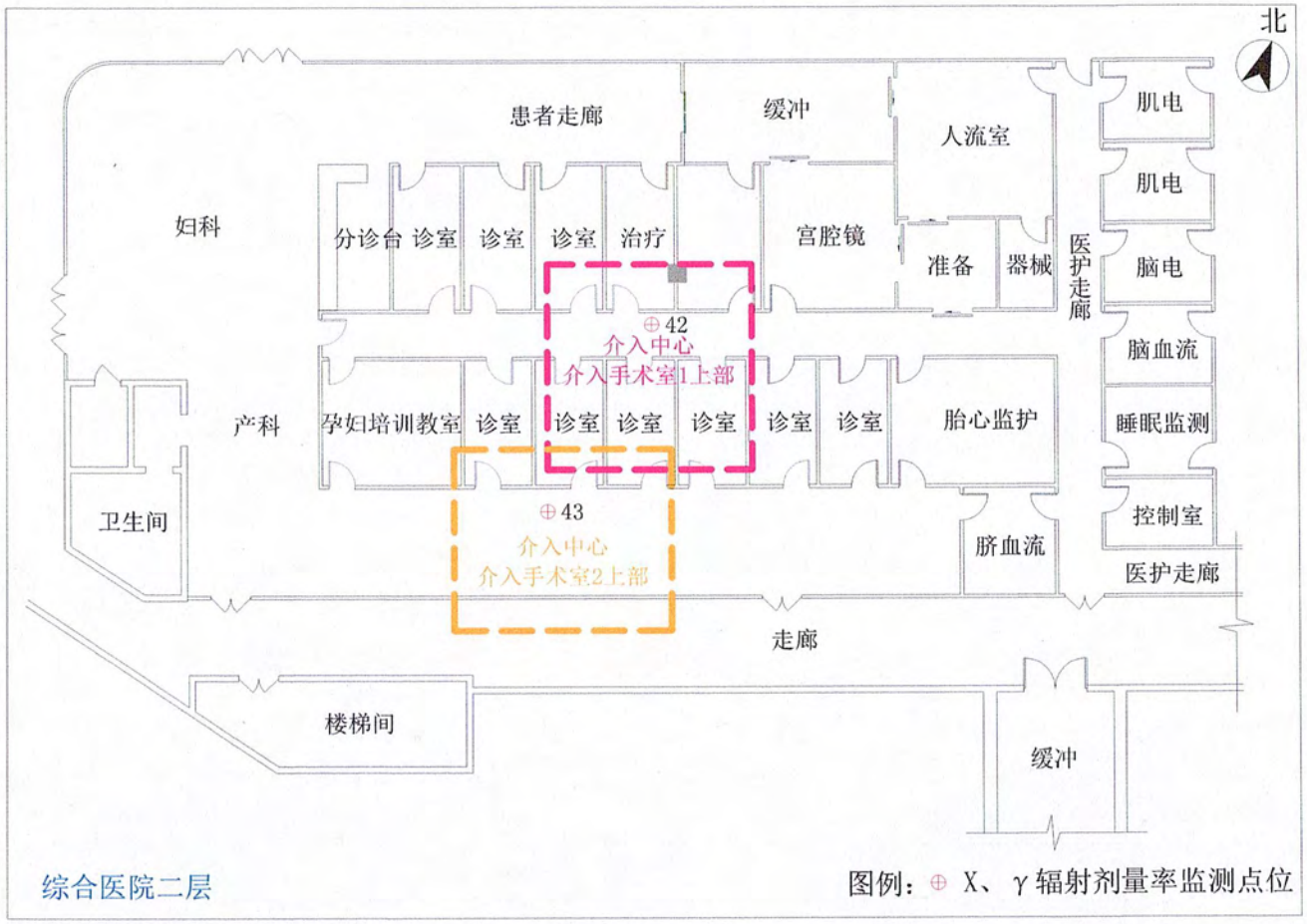


图 3-7 综合医院介入中心拟建介入手术室上部 X、γ 辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测点位示意图（续）

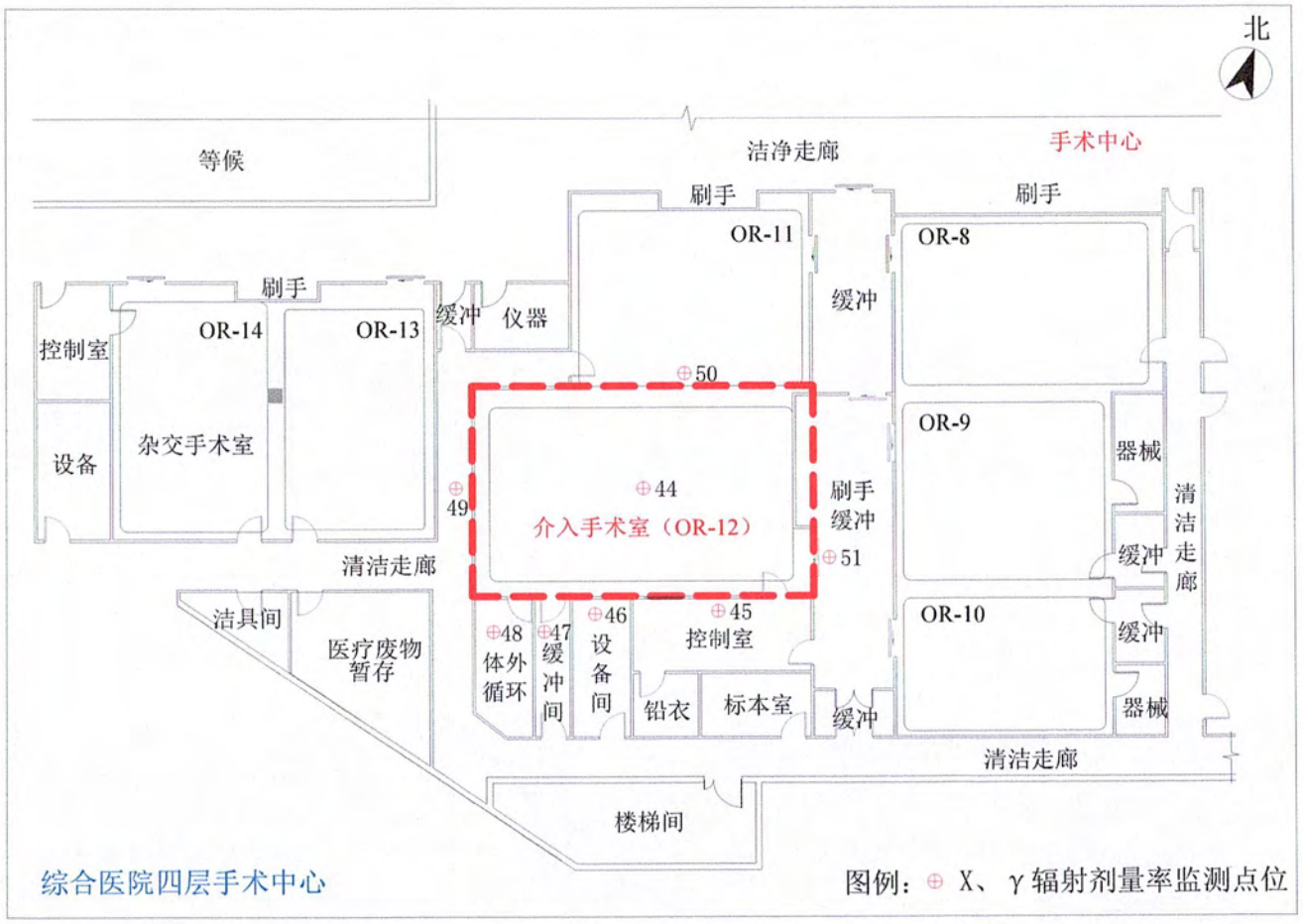


图 3-8 综合医院手术中心拟建介入手术室（OR-12）X、γ辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测点位示意图（续）

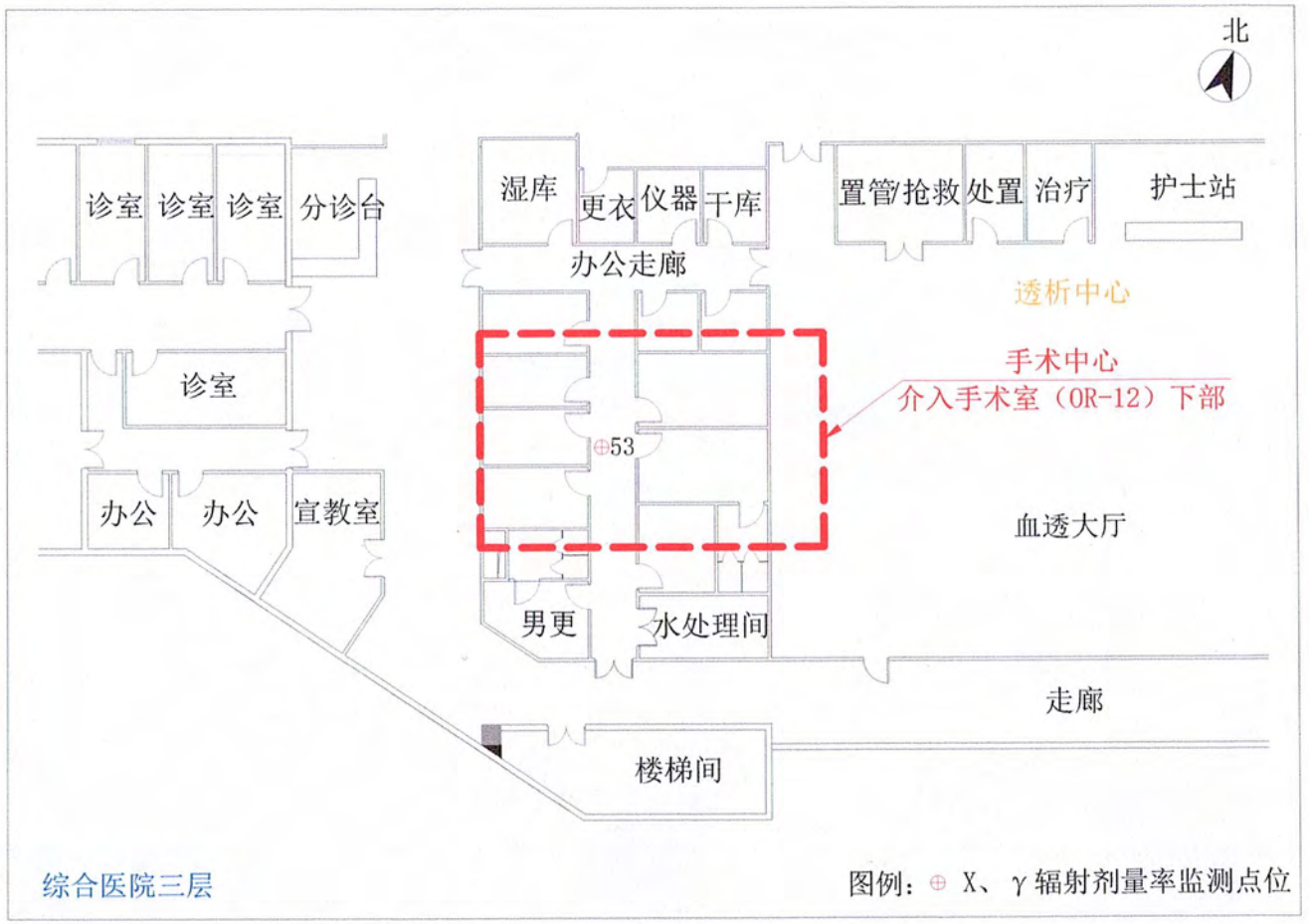


图 3-9 综合医院手术中心拟建介入手术室（OR-12）下部 X、γ辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测点位示意图（续）

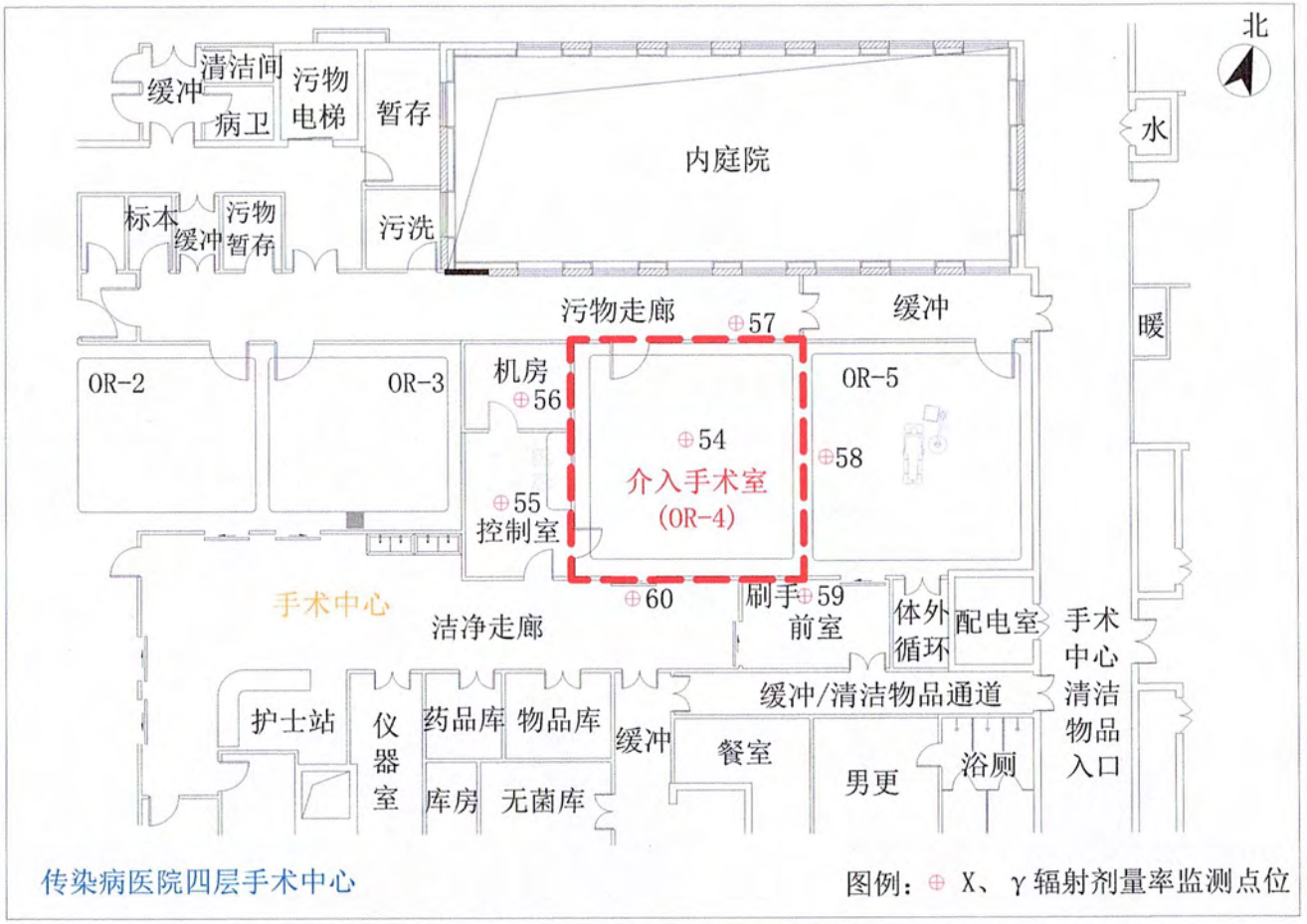


图 3-10 传染病医院手术中心拟建介入手术室（OR-4）X、γ辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测点位示意图（续）

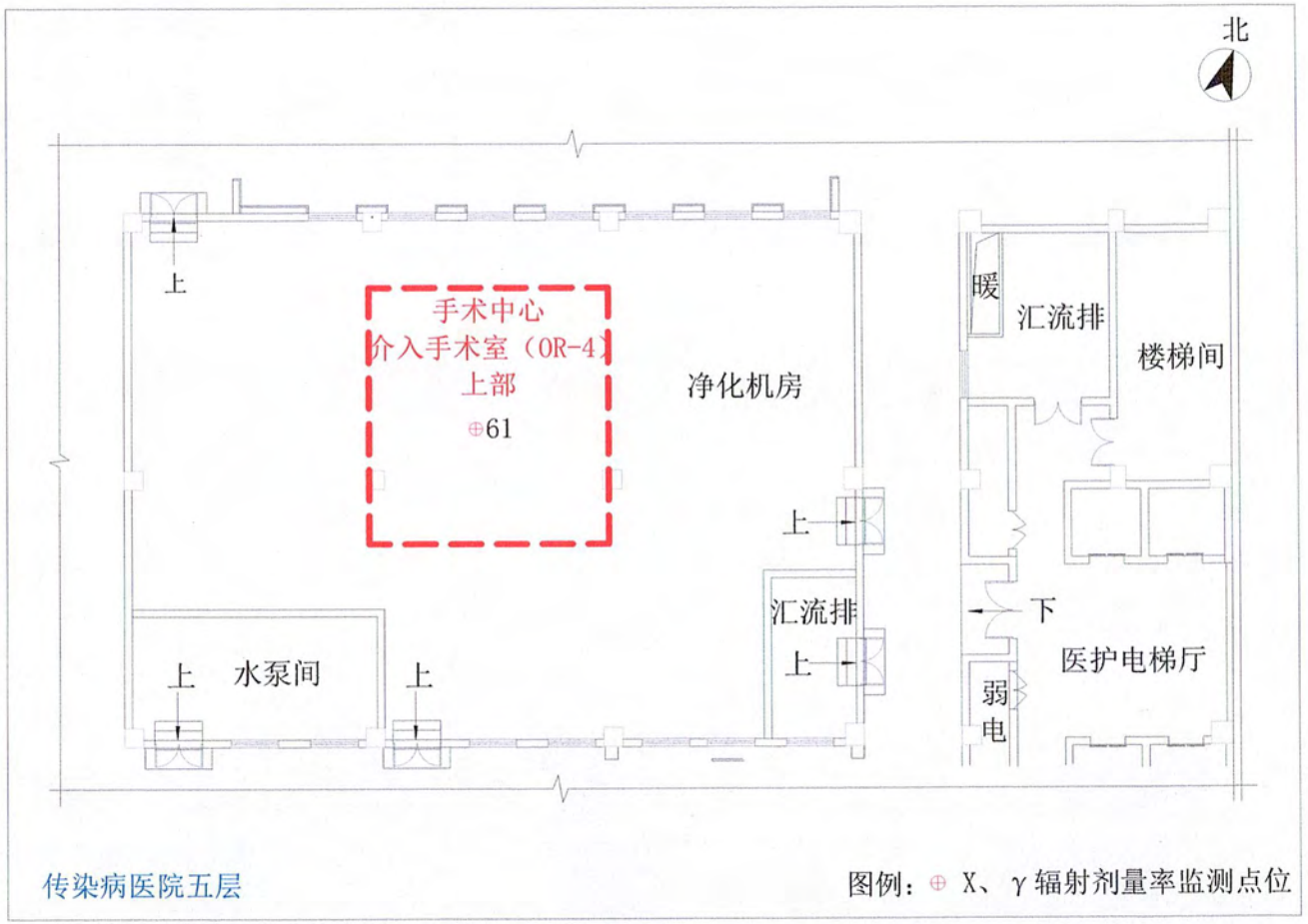


图 3-11 传染病医院手术中心拟建介入手术室（OR-4）上部 X、γ辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

监测点位示意图（续）

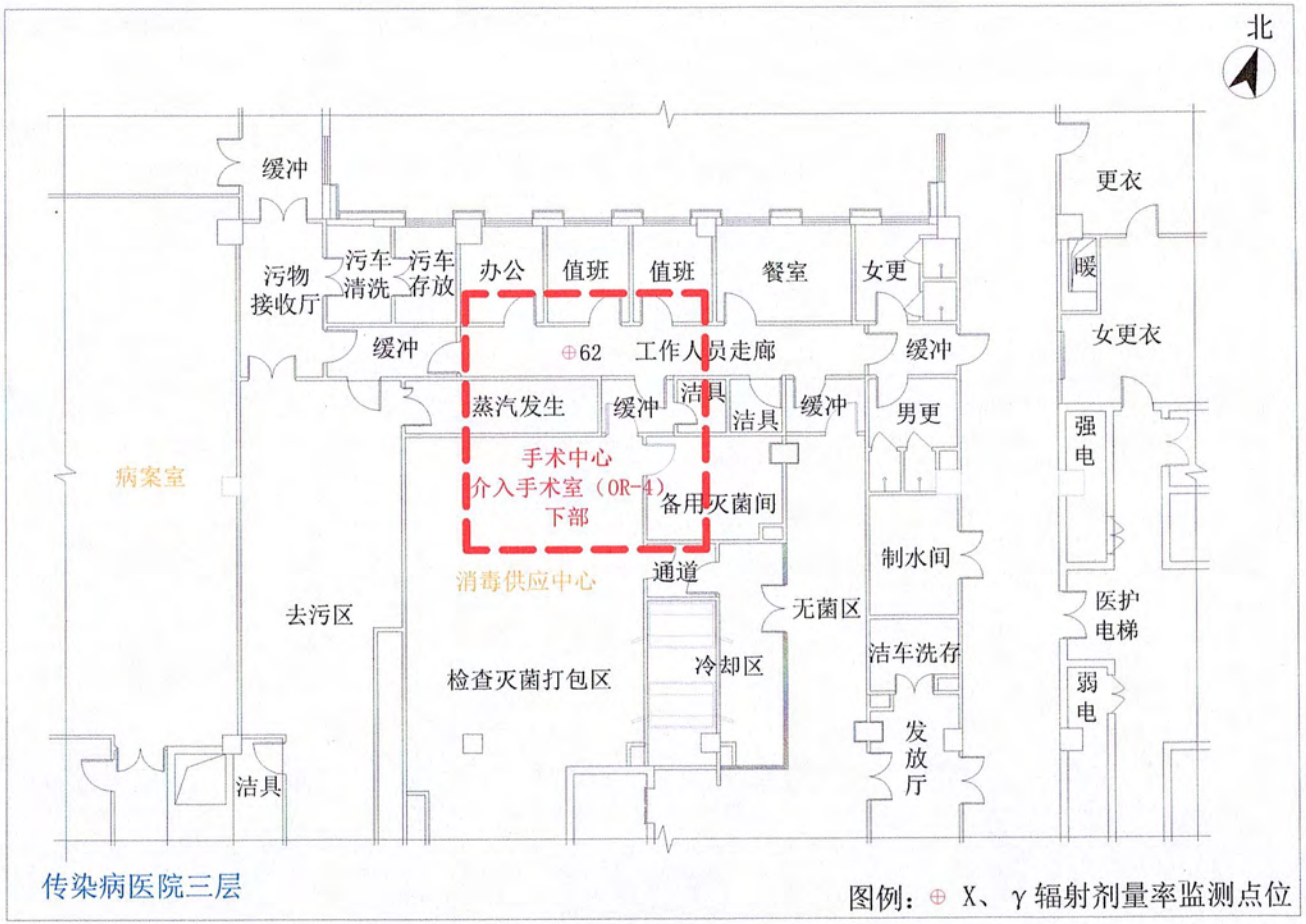


图 3-12 传染病医院手术中心拟建介入手术室（OR-4）下部 X、γ辐射剂量率监测点位示意图

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

四、监测现场照片

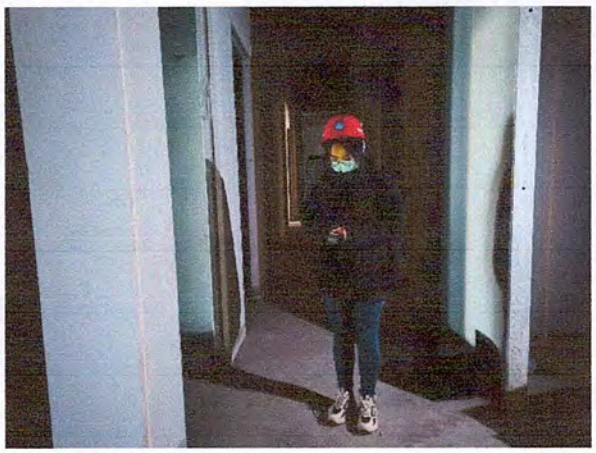
综合医院介入手术室（OR-12）

综合医院介入手术室 1 清洁间

传染病医院手术中心介入手术室（OR-4）

综合医院手术中心介入手术室（OR-12）下部

综合医院介入手术室 2



综合医院介入中心介入手术室 2 上部

西安志诚辐射环境检测有限公司

监 测 报 告

五、监测结论

经现场监测，西安市公共卫生中心（西安市应急医疗中心）西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置各拟建场所各监测点位 X、γ 辐射剂量率测量值范围为（0.106~0.123）μGy/h，即（106~123）nGy/h。

参照《中国环境天然放射性水平》（2015年7月）中“西安市室内γ辐射剂量率范围为（79.0~130.0）nGy/h，经比较，本项目辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底波动水平。

拟建核医学科β表面污染测量值均低于仪器β表面污染检出限0.08Bq/cm^2。

编制：杜岳华 校核：[illegible] 审核：[illegible] 批准：陈婧

日期：2022.12.7 日期：2022.12.8 日期：2022.12.9 日期：2022.12.13

西安市生态环境局高陵分局

市环高批复[2020]34号

西安市生态环境局高陵分局
关于西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目环境影响报告书的批复

西安市第八医院：

你单位报来的《西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）建设项目环境影响报告书》（以下简称《报告书》）已收悉。根据国家建设项目有关法律法规及相关技术规范，生态环境高陵分局环评会审小组对该《报告书》进行了审议，现批复如下：

一、项目概况

项目位于西安市高陵区310国道与210国道交汇处西侧，东邻西安市应急医疗中心，南侧隔渭阳五路邻曹家村一组（已拆迁）、岩王村一组（已拆迁），西邻泾惠五路，北邻310国道。项目占地面积284.669亩，总建筑面积279850 m^2。主要建设内容包括传染病医院医疗区、综合医院医疗区、生活区、辅助功能区等，设计床位1500张。项目总投资263077万元，其中环保投资1569万元。

二、该项目在全面落实环境影响报告书提出的各项污染防

治措施后，对环境的不利影响能够得到缓解和控制。因此，生态环境高陵分局原则同意你单位环境影响报告书中所列建设项目拟采取的环保措施。

三、项目运行管理中应重点做好以下工作

（一）强化水污染防治措施

项目医疗废水经各自区域化粪池收集处理后，与救护车汽车废水一同进入项目自建污水处理站处理，污水处理站采用“预处理+生物处理+絮凝沉淀+接触消毒”工艺，处理后污水达到《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）表1中排放限值后，通过市政污水管网排入西安市高陵区污水处理厂。餐饮废水经隔油池处理后与生活污水经化粪池处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后排入市政污水管网。锅炉房排水主要为清净下水，直接进入市政污水管网。

（二）严格落实大气污染防治措施

项目废气主要为锅炉燃烧废气、污水处理站产生的恶臭气体、食堂油烟废气、地下车库汽车尾气及备用发电机废气。

六台锅炉烟风系统均为各自独立的系统，采用低氮燃烧器，满足《锅炉大气污染物排放标准》（DB61/1226-2018）中表3大气污染物排放限值，三台蒸汽锅炉分别设1根排气筒，三台热水锅炉共用1根排气筒，高度不低于25m。污水处理站各构筑物加盖密闭，采用高能离子除臭净化装置进行除臭、消毒处理后通过管道收集经15m高排气筒排放，满足《恶臭污染物排放标准》

（GB14554-93）表 2 标准要求。食堂油烟采用去除效率 85%以上的油烟净化器处理后，满足《饮食业油烟排放标准（试行）》（GB18483-2001）排放限值浓度。地下车库设机械排风系统，排风系统换气次数不小于 6 次/h，经专用排风道引至地面排放。备用发电机产生的废气经项目预留烟道引至发电机房楼顶排气筒排放，朝向避开医疗区等敏感目标。

（三）加强噪声污染防治

项目噪声主要为泵房、污水处理站水泵、风机、发电机等设备噪声；采取减振、隔声、软连接等措施，噪声值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类及 4 类标准。

（四）严格落实固废污染防治措施

项目固体废物主要包括生活垃圾、医疗废物、餐厨垃圾、废油脂、污水处理设施产生的污泥、废渣、一般固废物等。生活垃圾分类收集后，暂存于垃圾收集站，由环卫部门定期清运；废油脂和餐厨垃圾收集后暂存于垃圾收集站，定期交于有资质单位处置；药品包装纸箱、纸盒等一般固废收集后定期外售；医疗废物及污泥、废渣等危险废物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及 2013 年修改单要求，暂存于危废暂存间，交由有资质单位处置。

四、强化环境信息公开与公众参与机制。应建立畅通的公众参与平台，及时解决公众担忧的环境问题，满足公众合理的环境诉求。定期发布环境信息，并主动接受社会监督。

五、本项目属于新冠肺炎疫情期间应急项目，须符合发改、自然资源规划、水务、应急等有关行政主管部门的相关规定。

六、必须严格执行配套的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度，落实各项环境保护措施。按照《建设项目环境保护事中事后监督管理办法（试行）》要求，由生态环境高陵分局环境监察大队负责该项目的事中事后日常监督管理。项目竣工后，你单位应依法按规定的标准和程序开展竣工环保验收工作。经验收合格后，方可正式投入运营。

七、环境影响报告书经批准后，项目的性质、规模、地点和环保措施发生重大变动的，且可能导致不利环境影响加重的，应当重新报批该项目的环境影响报告书。自环境影响报告书批复文件批准之日起，超过5年方决定工程开工建设的，环境影响报告书应当报生态环境高陵分局重新审核。

八、你单位应将环评批复及报告原件于 2 个工作日内报生态环境高陵分局环境监察大队进行备案，并按规定接受生态环境高陵分局的监督检查。

西安市生态环境局高陵分局

2020 年 6 月 4 日

西安市生态环境局

市环批复〔2021〕90号

西安市生态环境局关于西安市第八医院DSA医用射线装置核技术利用项目环境影响报告表的批复

西安市第八医院：

你单位《西安市第八医院DSA医用射线装置核技术利用项目环境影响报告表》（以下简称“报告表”）收悉。经审查，现批复如下：

一、该项目位于西安市雁塔区第八医院门诊医技楼4楼，主要建设DSA介入手术室一间，新增1台西门子ARTISZEE III FLOOR医用血管造影X射线机（DSA）（属II类射线装置）。

经审查，在全面落实报告表提出的辐射安全防护措施后，对项目作业人员和公众产生的辐射影响符合辐射剂量约束限值要求。该项目报告表中所列建设项目的性质、规模、地点和拟采取的环境保护措施可作为项目实施的依据。

二、项目建设和运营管理中应重点做好以下工作。

（一）严格按照设计方案开展建设，确保DSA室满足防护要求；DSA室出入口要安装明显的工作状态指示灯和电离辐射警告标志，防止人员受到误照射。

（二）健全辐射安全和防护管理机构，建立并完善各项规章制度，严格按照环保要求和技术操作规程开展作业，加强设

备维护，定期对设备的操作、维修和管理措施进行检查，完善辐射事故应急预案并定期开展演练。

（三）使用射线装置的操作人员和相关管理人员应按要求参加辐射安全和防护培训并取得合格证书，做到持证上岗；建立健全个人剂量和职业健康档案，所有辐射工作人员均应按要求佩戴个人剂量计并接受剂量监测。

三、该项目在建设中必须严格执行配套建设的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度，落实各项环境保护措施。

（一）你单位按规定接受生态环境部门的监督检查，西安市生态环境局雁塔分局负责该项目的事中事后监督管理工作，西安市生态环境保护综合执法支队负责督导工作。

（二）按规定组织竣工环保验收合格并取得辐射安全许可证后，该项目方可正式投入运营。

（三）项目环评文件可在西安市生态环境局官网查询下载。

2021 年 9 月 24 日

抄送：西安市生态环境局雁塔分局，西安市生态环境保护综合执法支队，西安桐梓环保科技有限公司。

辐射安全许可证

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称： 西安市第八医院

地　　址： 陕西省西安市丈八东路2号

法定代表人： 郭雅玲

种类和范围： 使用II类、III类射线装置。

证书编号： 陕环辐证[AD045]

有效期至： 2026 年 08 月 29 日

发证机关：西安市生态环境局

发证日期：2022 年 02 月 25 日

中华人民共和国生态环境部制

辐射安全许可证

副本

MEE

中华人民共和国生态环境部制

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	西安市第八医院		
地　　址	陕西省西安市丈八东路2号		
法定代表人	郭雅玲	电话	029—85230200
证件类型	身份证	号码	61011319631014042X
涉源部门	名　称	地　址	负责人
	CT放射科	陕西省西安市雁塔区丈八东路2号	薛永明
种类和范围	使用II类、III类射线装置。		
许可证条件			
证书编号	陕环辐证[AD045]		
有效期至	2026 年 8 月 2 日		
发证日期	2022 年 2 月 2 日（发证机关章）		

西安市生态环境局
行政审批专用章
6101202292

台账明细登记

（三）射线装置

证书编号陕环辐证[AD045]

序号	装置名称	规格型号	类别	用 途	场 所	来源/去向		审核人	审核日期
1	GE64排螺旋CT	PtimaCT670	III类	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	门诊一楼CT放射科	来源			
						去向			
2	岛津移动DR	NUX-200D	III类	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科	来源			
						去向			
3	飞利浦移动DR	M250	III类	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科	来源			
						去向			
4	西门子DR	AXIOM Aristovx plus	III类	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科	来源			
						去向			
5	西门子数字胃肠机	IconosR200	III类	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科	来源			
						去向			
6	双能X线骨密度检测仪	DCS-600EXV	III类	医用诊断X射线装置	门诊一楼CT放射科	来源			
						去向			
7	飞利浦16排螺旋CT	AccessCT	III类	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	发热门诊一楼CT室	来源			
						去向			
8	牙科X线拍片机	RAY68(M)	III类	口腔（牙科）X射线装置	门诊二楼口腔科	来源			
						去向			

台账明细登记

（三）射线装置

证书编号陕环辐证[AD045]

序号	装置名称	规格型号	类别	用 途	场 所	来源/去向		审核人	审核日期
9	联影车载CT	uCT528	III类	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	隔离区楼下:隔离病区楼下西北角	来源			
						去向			
10	数字减影血管造影机	ARTISZEE III FLOOR	II类	血管造影用X射线装置	门诊楼4楼:门诊4楼介入室	来源			
						去向			
	以下空白					来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			

活动种类和范围

(三)射线装置

证书编号：陕环辐证[AD045]

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	牙片机	III类	1	使用
2	西门子数字胃肠机	III类	1	使用
3	西门子DSA	II类	1	使用
4	西门子DR	III类	1	使用
5	双能X线骨密度检测仪	III类	1	使用
6	联影车载CT	III类	1	使用
7	飞利浦移动DR	III类	1	使用
8	飞利浦16排螺旋CT	III类	1	使用
9	岛津移动DR	III类	1	使用
10	GE64排螺旋CT	III类	1	使用
	以下空白			

192703340132
有效期至2025年08月27日

陕西华大普泰检测技术有限公司

Shaanxi HDPT Testing Technology Co.,Ltd.

检 测 报 告

报告编号：HDPT-2022-JL0106

样品名称：	个人剂量计
委托单位：	西安市第八医院
检测类别：	常规检测
报告日期：	2022 年 4 月 27 日

声　明

1. 如果对检测结果有异议，可在收到本报告之日起十五日内以书面形式向本公司提出复核申请，逾期不予受理。
2. 本报告无编制人、审核人和签发人签名无效；涂改或无报告编号无效。
3. 本报告未加盖本公司检测专用章和骑缝章无效。
4. 复印本报告必须经公司同意，加盖公司印章后有效。
5. 本报告不得用于不当广告、商品宣传等。
6. 本报告仅对本次检测项目负责。

联系地址：陕西省西安市经济技术开发区凤城八路 180 号长和国际 F 座 21904 室
联系电话：029-86686516　　传真：029-86686516
邮编：710021　　邮箱：sxhd@hdptjc.com

检 测 报 告

样品名称：个人剂量计　　收样日期：2022 年 4 月 25 日

送检单位：西安市第八医院　　检测日期：2022 年 4 月 25 日

检测项目：热释光外照射剂量监测　　检测方法：热释光剂量法

检测仪器：BR2000-D 热释光剂量读出器　　仪器编号：HDPT-JC-056

证书编号：检字第[2021]-R4577　　证书有效期至：2022 年 12 月 09 日

探测器：热释光剂量计(TLD)-片状（圆片）-LiF(Mg,Cu,P)

检测依据：GBZ128-2019《职业性外照射个人监测规范》
GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

检测结果：

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20210029060000-2	本底	-	-	2022.1.18-2022.4.17	90	0.33
20210029060001-2	丁百成	男	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060002-2	叶东廷	男	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060003-2	刘敏	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060004-2	李芬	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060005-2	席红珠	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060006-2	薛永明	男	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060007-2	刘成光	男	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	0.02
20210029060008-2	孟兆瑞	男	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060009-2	冯亚宁	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	0.02
20210029060010-2	石三利	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060011-2	王泽坤	男	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	0.02
20210029060012-2	温雅	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20210029060013-2	李明昕	女	2B	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060014-2	鲁冰冬（内）	男	2E	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060015-2	鲁冰冬（外）	男	2E	2022.1.18-2022.4.17	90	2.75
20210029060016-2	张景梅（内）	女	2E	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060017-2	张景梅（外）	女	2E	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060018-2	柏伟伟	男	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060019-2	何燕鸿	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060020-2	魏亚楠	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060021-2	王瑞瑞	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL
20210029060022-2	张晓婷	女	2A	2022.1.18-2022.4.17	90	<MDL

注：1.本报告中个人剂量当量已扣除本底剂量。

2.测量系统最低探测限 MDL 为0.02mSv；监测结果低于 MDL 时，报告结果表述为<MDL。

3.本周期的调查水平参考值为 1.25mSv。

（以下空白）

编制人：李韦　　审核人：李凯　　签发人：

192703340132
有效期至2025年08月27日

陕西华大普泰检测技术有限公司

Shaanxi HDPT Testing Technology Co.,Ltd.

检 测 报 告

报告编号：HDPT-2022-JL0197

样品名称：个人剂量计

委托单位：西安市第八医院

检测类别：常规检测

报告日期：2022 年 8 月 10 日

声　明

1. 如果对检测结果有异议，可在收到本报告之日起十五日内以书面形式向本公司提出复核申请，逾期不予受理。
2. 本报告无编制人、审核人和签发人签名无效；涂改或无报告编号无效。
3. 本报告未加盖本公司检测专用章和骑缝章无效。
4. 复印本报告必须经公司同意，加盖公司印章后有效。
5. 本报告不得用于不当广告、商品宣传等。
6. 本报告仅对本次检测项目负责。

联系地址：陕西省西安市经济技术开发区凤城八路 180 号长和国际 F 座 21904 室
联系电话：029-86686516　　传真：029-86686516
邮编：710021　　邮箱：sxhd@hdptjc.com

检 测 报 告

样品名称：个人剂量计　　收样日期：2022 年 8 月 2 日

送检单位：西安市第八医院　　检测日期：2022 年 8 月 2 日

检测项目：热释光外照射剂量监测　　检测方法：热释光剂量法

检测仪器：BR2000-D 热释光剂量读出器　　仪器编号：HDPT-JC-056

证书编号：检字第[2021]-R4577　　证书有效期至：2022 年 12 月 09 日

探测器：热释光剂量计(TLD)-片状（圆片）-LiF(Mg,Cu,P)

检测依据：GBZ128-2019《职业性外照射个人监测规范》
GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

检测结果：

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20210029060000-3	本底	-	-	2022.4.18-2022.7.17	91	0.41
20210029060001-3	丁百成	男	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060002-3	叶东廷	男	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060003-3	刘敏	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060004-3	李芬	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060005-3	席红珠	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060006-3	薛永明	男	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060007-3	刘成光	男	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060008-3	孟兆瑞	男	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060009-3	冯亚宁	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060010-3	石三利	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060011-3	王泽坤	男	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060012-3	温雅	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20210029060013-3	李明昕	女	2B	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060014-3	鲁冰冬（内）	男	2E	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060015-3	鲁冰冬（外）	男	2E	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060016-3	张景梅（内）	女	2E	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060017-3	张景梅（外）	女	2E	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060018-3	柏伟伟	男	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	0.02
20210029060019-3	何燕鸿	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060020-3	魏亚楠	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060021-3	王瑞瑞	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL
20210029060022-3	张晓婷	女	2A	2022.4.18-2022.7.17	91	<MDL

注：1.本报告中个人剂量当量已扣除本底剂量。

2.测量系统最低探测限 MDL 为0.02mSv；监测结果低于 MDL 时，报告结果表述为<MDL。

3.本周期的调查水平参考值为 1.25mSv。

（以下空白）

编制人：李韦　　审核人：李莉　　签发人：

陕西华大普泰检测技术有限公司 检测专用章

2022.8.10

192703340132
有效期至2025年08月27日

陕西华大普泰检测技术有限公司

检 测 报 告

报告编号：HDPT-2022-JL0293

样品名称：	个人剂量计
委托单位：	西安市第六医院
检测类别：	常规检测
报告日期：	2022 年 11 月 14 日

声 明

1. 如果对检测结果有异议，可在收到本报告之日起十五日内以书面形式向本公司提出复核申请，逾期不予受理。
2. 本报告无编制人、审核人和签发人签名无效；涂改或无报告编号无效。
3. 本报告未加盖本公司检测专用章和骑缝章无效。
4. 复印本报告必须经公司同意，加盖公司印章后有效。
5. 本报告不得用于不当广告、商品宣传等。
6. 本报告仅对本次检测项目负责。

联系地址：陕西省西安市经济技术开发区凤城八路 180 号长和国际 F 座 21904 室
联系电话：029-86686516　　传真：029-86686516
邮编：710021　　邮箱：tugenrich@163.com

检 测 报 告

样品名称：个人剂量计

收样日期：2022 年 11 月 10 日

送检单位：西安市第八医院

检测日期：2022 年 11 月 10 日

检测项目：热释光外照射剂量监测

检测方法：热释光剂量法

检测仪器：BR2000-D 热释光剂量读出器

仪器编号：HDPT-JC-056

证书编号：检字第[2022]-RD031

证书有效期至：2023 年 08 月 16 日

探测器：热释光剂量计(TLD)-片状（圆片）-LiF(Mg,Cu,P)

检测依据：GBZ128-2019《职业性外照射个人监测规范》
GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

检测结果：

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20210029060000-4	本底	-	-	2022.7.18-2022.10.17	92	0.41
20210029060001-4	丁百成	男	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.11
20210029060002-4	叶东廷	男	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.09
20210029060003-4	刘敏	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.10
20210029060004-4	李芬	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.11
20210029060005-4	席红珠	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.10
20210029060006-4	薛永明	男	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.11
20210029060007-4	刘成光	男	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.09
20210029060008-4	孟兆瑞	男	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.11
20210029060009-4	冯亚宁	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.09
20210029060010-4	石三利	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.12
20210029060011-4	王泽坤	男	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.10
20210029060012-4	温雅	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.10

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20210029060013-4	李明昕	女	2B	2022.7.18-2022.10.17	92	0.10
20210029060014-4	鲁冰冬（内）	男	2E	2022.7.18-2022.10.17	92	<MDL
20210029060015-4	鲁冰冬（外）	男	2E	2022.7.18-2022.10.17	92	<MDL
20210029060016-4	张景梅（内）	女	2E	2022.7.18-2022.10.17	92	<MDL
20210029060017-4	张景梅（外）	女	2E	2022.7.18-2022.10.17	92	0.03
20210029060018-4	柏伟伟	男	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.11
20210029060019-4	何燕鸿	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.10
20210029060020-4	魏亚楠	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.11
20210029060021-4	王瑞瑞	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.09
20210029060022-4	张晓婷	女	2A	2022.7.18-2022.10.17	92	0.10

注：1.本报告中个人剂量当量已扣除本底剂量。

2.测量系统最低探测限 MDL 为0.02mSv；监测结果低于 MDL 时，报告结果表述为<MDL。

3.本周期的调查水平参考值为 1.25mSv。

（以下空白）

编制人：李韦　　审核人：李[illegible]　　签发人：[illegible]

陕西华大普泰检测技术有限公司 检测专用章

签发日期：2022年 11 月 14 日

CMA
192703340182
有效期至2026年08月27日

陕西华大普泰检测技术有限公司

检 测 报 告

报告编号：HDPT-2023-JL0067

样品名称：	个人剂量计
委托单位：	西安市第八医院
检测类别：	常规检测
报告日期：	2023 年 2 月 17 日

检 测 报 告

样品名称：个人剂量计　　收样日期：2023 年 2 月 15 日

送检单位：西安市第八医院　　检测日期：2023 年 2 月 16 日

检测项目：热释光外照射剂量监测　　检测方法：热释光剂量法

检测仪器：BR2000-D 热释光剂量读出器　　仪器编号：HDPT-JC-056

证书编号：检字第[2022]-RD031　　证书有效期至：2023 年 08 月 16 日

探测器：热释光剂量计(TLD)-片状（圆片）-LiF(Mg,Cu,P)

检测依据：GBZ128-2019《职业性外照射个人监测规范》
GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

检测结果：

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20220029060000-1	本底	-	-	2022.10.18-2023.1.17	92	0.49
20220029060001-1	丁百成	男	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060002-1	叶东廷	男	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060003-1	刘敏	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060004-1	李芬	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060005-1	席红珠	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060006-1	薛永明	男	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060007-1	刘成光	男	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060008-1	孟兆瑞	男	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060009-1	张银莉	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060010-1	石三利	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060011-1	王泽坤	男	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060012-1	温雅	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060013-1	柏伟伟	男	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL

（续表）

编号	姓名	性别	职业类别	监测起止日期	监测时间（天）	个人剂量当量 $H_p(10)$(mSv)
20220029060014-1	何燕鸿	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060015-1	魏亚楠	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060016-1	王瑞瑞	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060017-1	张晓婷	女	2A	2022.10.18-2023.1.17	92	0.02
20220029060018-1	李明昕	女	2B	2022.10.18-2023.1.17	92	0.04
20220029060019-1	鲁冰冬（内）	男	2E	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060020-1	鲁冰冬（外）	男	2E	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060021-1	张景梅（内）	女	2E	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL
20220029060022-1	张景梅（外）	女	2E	2022.10.18-2023.1.17	92	<MDL

注：1.本报告中个人剂量当量已扣除本底剂量。

2.测量系统最低探测限 MDL 为0.02mSv；监测结果低于 MDL 时，报告结果表述为<MDL；为便于职业照射统计，在相应的剂量档案中记录为1/2MDL,即0.01。

3.本周期的调查水平参考值为 1.25mSv。

（以下空白）

编制人：李韦　　审核人：冯波　　签发人：

检测专用章

签发日期：2023年 2月17日

192703340132
有效期至2025年08月27日

陕西华大普泰检测技术有限公司

检 测 报 告

报告编号：HDPT-2022-JC0202

项目名称： 医用 X 射线诊断设备工作场所检测

委托单位： 西安市第八医院

检测类别： 放射防护检测

报告日期： 2022 年 9 月 27 日

陕西华大普泰检测技术有限公司 检测专用章

声 明

1. 如果对检测结果有异议，可在收到本报告之日起十五日内以书面形式向本公司提出复核申请,逾期不予受理。
2. 本报告无编制人、审核人和签发人签名无效；涂改或无报告编号无效。
3. 本报告未加盖本公司检测专用章和骑缝章无效。
4. 复印本报告必须经公司同意，加盖公司印章后有效。
5. 本报告不得用于不当广告、商品宣传等。
6. 本报告仅对本次检测项目负责。

联系地址：陕西省西安市经济技术开发区凤城八路 180 号长和国际 F 座 21904 室
联系电话：029-86686516　　传真：029-86686516
邮编：710021　　邮箱：sxhd@hdptjc.com

检 测 报 告

项目名称：医用 X 射线诊断设备工作场所检测

委托单位：西安市第八医院

委托单位地址：陕西省西安市丈八东路 2 号

检测依据：

GBZ 130-2020《放射诊断放射防护要求》

检测仪器：

仪器名称	型号/编号	证书编号及有效期至
X、γ辐射剂量当量率仪	AT1123/HDPT-JC-087	2021H21-20-3728828001 2022 年 12 月 26 日

检测工具：

CT 头部剂量模体/HB100/HDPT-JC-030	防护水模体/PTW100/HDPT-JC-035

检测结论：

所检测西安市第八医院 7 台医用 X 射线诊断设备工作场所放射防护检测结果均符合 GBZ 130-2020《放射诊断放射防护要求》标准规定的周围剂量当量率控制目标值的要求。

检测机构（盖章）：陕西华大普泰检测技术有限公司

编制人：　　审核人：　　签发人：

2022年 9月26日　　2022年 9月27日　　2022年 9月28日

检 测 报 告

1、X 射线计算机体层摄影设备质量控制检测结果

设备名称：X 射线计算机体层摄影设备

设备型号：Optima CT670

设备编号：BCYG1900003

制造厂商：航卫通用电气医疗系统有限公司

检测日期：2022 年 9 月 13 日

检测地点：门诊楼一楼放射科 CT 室

检测条件：120kV　200mA　2s

序号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）		结果判定
			检测结果	标准要求	
1	操作位		0.14	≤2.5	符合
2	观察窗	上	0.14	≤2.5	符合
3		下	0.13	≤2.5	符合
4		左	0.13	≤2.5	符合
5		中	0.14	≤2.5	符合
6		右	0.13	≤2.5	符合
7	工作人员出入防护门	上	0.14	≤2.5	符合
8		下	0.14	≤2.5	符合
9		左	0.13	≤2.5	符合
10		中	0.13	≤2.5	符合
11		右	0.13	≤2.5	符合
12	受检者出入防护门	上	0.13	≤2.5	符合
13		下	0.13	≤2.5	符合
14		左	0.13	≤2.5	符合
15		中	0.14	≤2.5	符合
16		右	0.14	≤2.5	符合
17	屏蔽墙	东墙	0.12～0.15	≤2.5	符合
18		南墙	0.12～0.14	≤2.5	符合
19		西墙	0.13～0.15	≤2.5	符合
20		北墙	0.12～0.14	≤2.5	符合
21	机房楼上：走廊		0.12～0.15	≤2.5	符合
22	穿线孔		0.13	≤2.5	符合
本底			0.10～0.14（μSv/h）		

注：1、检测结果为平均值修正后且未扣除本底；机房楼下为土层；

2、机房楼上检测点距地面 100cm，各检测点距屏蔽体外表面 30cm；检测点位示意图见图 1。

检 测 报 告

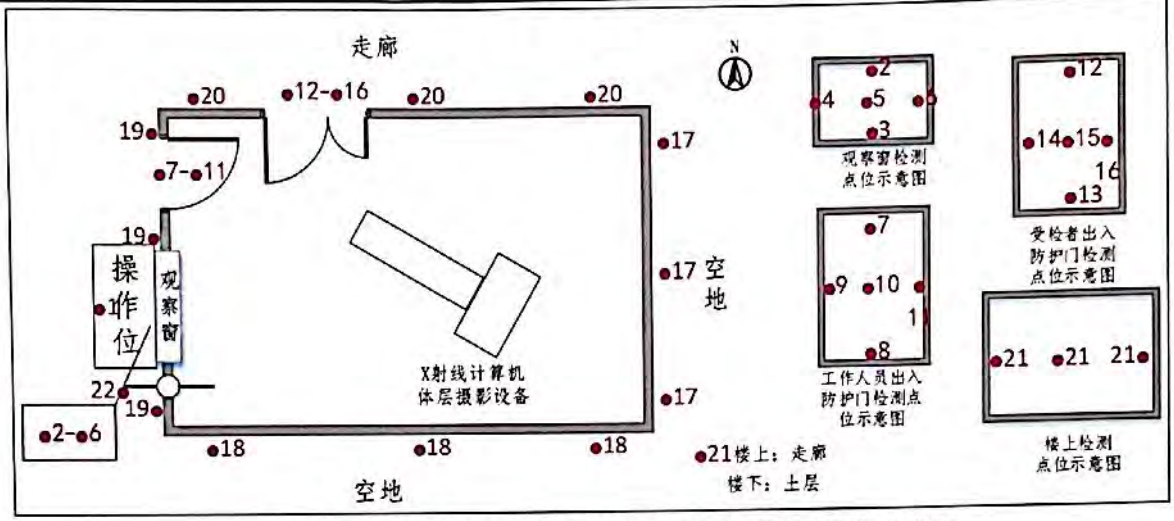


图 1　X 射线计算机体层摄影设备工作场所检测点位示意图

2、X 射线计算机体层摄影设备质量控制检测结果

设备名称：X 射线计算机体层摄影设备

设备型号：Access CT

设备编号：325047

制造厂商：飞利浦医疗（苏州）有限公司

检测日期：2022 年 9 月 13 日

检测地点：新发热门诊楼一楼 CT 室

检测条件：120kV　200mAs　CT 头体部剂量模体

序号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）		结果判定
			检测结果	标准要求	
1	操作位		0.13	≤2.5	符合
2	观察窗	上	0.13	≤2.5	符合
3		下	0.11	≤2.5	符合
4		左	0.13	≤2.5	符合
5		中	0.12	≤2.5	符合
6		右	0.12	≤2.5	符合
7	工作人员出入防护门	上	0.13	≤2.5	符合
8		下	0.13	≤2.5	符合
9		左	0.13	≤2.5	符合
10		中	0.13	≤2.5	符合
11		右	0.12	≤2.5	符合

检 测 报 告

12	受检者出入防护门	上	0.14	≤2.5	符合
13		下	0.13	≤2.5	符合
14		左	0.14	≤2.5	符合
15		中	0.13	≤2.5	符合
16		右	0.14	≤2.5	符合
17	屏蔽墙	东墙	0.12～0.14	≤2.5	符合
18		南墙	0.12～0.15	≤2.5	符合
19		西墙	0.13～0.15	≤2.5	符合
20		北墙	0.12～0.16	≤2.5	符合
21	机房楼上：病房		0.13～0.15	≤2.5	符合
22	穿线孔		0.14	≤2.5	符合
本底			0.09～0.13（μSv/h）		

注：1、检测结果为平均值修正后且未扣除本底；机房楼下为土层；
2、机房楼上检测点距地面 100cm，各检测点距屏蔽体外表面 30cm；检测点位示意图见图 2。

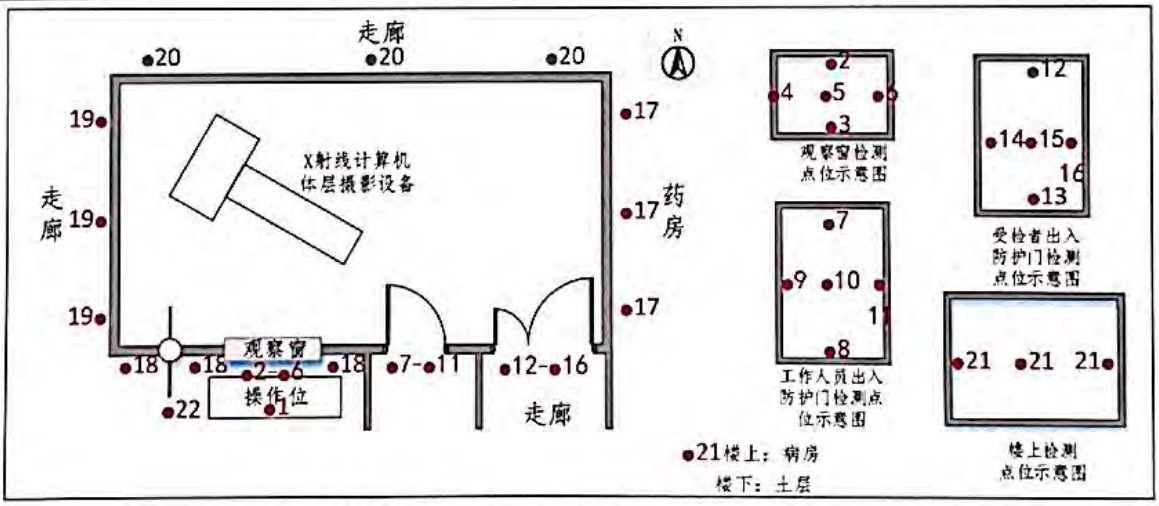


图 2　X 射线计算机体层摄影设备工作场所检测点位示意图

3、X 射线计算机体层摄影设备质量控制检测结果

设备名称：X 射线计算机体层摄影设备

设备型号：uCT 528

设备编号：290068

制造厂商：上海联影医疗科技股份有限公司

检测日期：2022 年 9 月 13 日

检测地点：医院内空地体检车

检 测 报 告

检测条件：120kV　295mAs

序号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）		结果判定
			检测结果	标准要求	
1	操作位		0.14	≤2.5	符合
2	观察窗	上	0.14	≤2.5	符合
3		下	0.15	≤2.5	符合
4		左	0.16	≤2.5	符合
5		中	0.16	≤2.5	符合
6		右	0.15	≤2.5	符合
7	车头防护门	上	0.15	≤2.5	符合
8		下	0.15	≤2.5	符合
9		左	0.14	≤2.5	符合
10		中	0.15	≤2.5	符合
11		右	0.15	≤2.5	符合
12	车尾防护门	上	0.17	≤2.5	符合
13		下	0.31	≤2.5	符合
14		左	0.16	≤2.5	符合
15		中	0.15	≤2.5	符合
16		右	0.17	≤2.5	符合
17	车头防护门墙		0.14～0.17	≤2.5	符合
18	车尾防护门墙		0.13～0.16	≤2.5	符合
19	穿线孔		0.15	≤2.5	符合
20	车身左侧		0.29	≤2.5	符合
21	车身右侧		0.32	≤2.5	符合
22	左侧防护门	上	0.28	≤2.5	符合
23		下	0.26	≤2.5	符合
24		左	0.45	≤2.5	符合
25		中	0.30	≤2.5	符合
26		右	0.35	≤2.5	符合
27	右侧防护门	上	0.32	≤2.5	符合
28		下	0.43	≤2.5	符合
29		左	0.40	≤2.5	符合
30		中	0.51	≤2.5	符合
31		右	0.45	≤2.5	符合
32	其他人员停留位置		0.16	≤2.5	符合
33	工作人员停留位置		0.15	≤2.5	符合
34	车头		0.16	≤2.5	符合
35	车尾		0.27	≤2.5	符合
本底			0.12～0.17（μSv/h）		

检 测 报 告

注：1、检测结果为平均值修正后且未扣除本底；
2、各检测点距屏蔽体外表面 30cm；检测点位示意图见图 3。

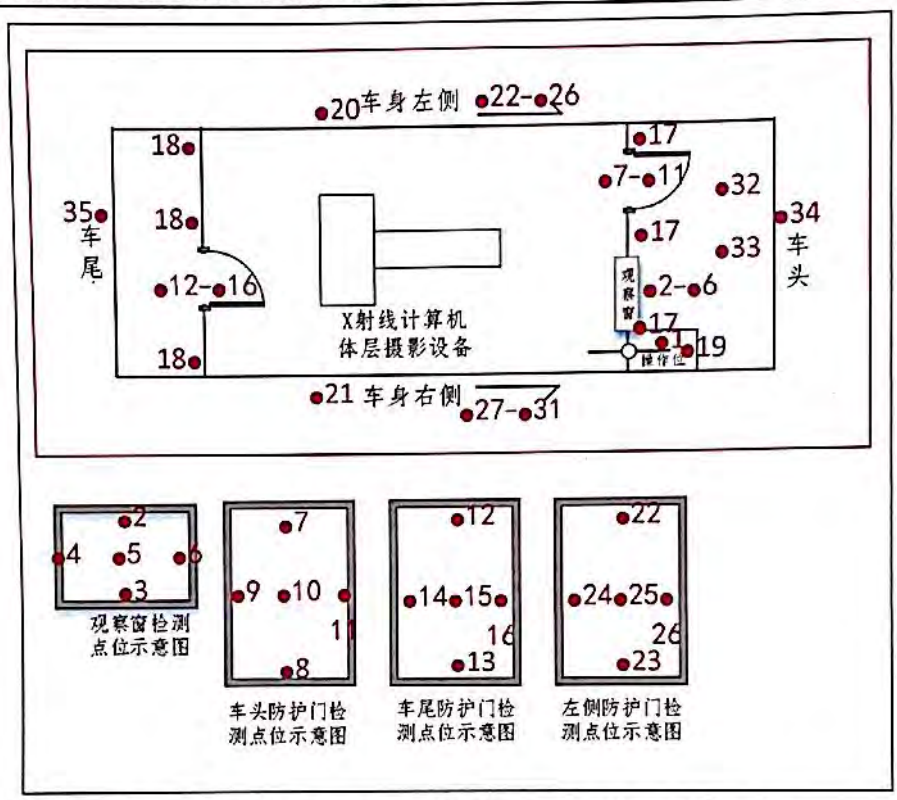


图 3　X 射线计算机体层摄影设备工作场所检测点位示意图

4、医用血管造影 X 射线机质量控制检测结果

设备名称：医用血管造影 X 射线机

设备型号：Artis zee III floor

设备编号：100103

制造厂商：SIEMENS

检测日期：2022 年 9 月 13 日

检测地点：门诊楼 4 楼 DSA 手术间

检测条件：70kV　1mA　3.0s　1.5mmCu　防护水模体

序号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）		结果判定
			检测结果	标准要求	
1	操作位		0.14	≤2.5	符合
2	观察窗	上	0.13	≤2.5	符合
3		下	0.15	≤2.5	符合
4		左	0.14	≤2.5	符合

检 测 报 告

5	观察窗	中	0.13	≤2.5	符合
6		右	0.14	≤2.5	符合
7	工作人员出入防护门	上	0.12	≤2.5	符合
8		下	0.12	≤2.5	符合
9		左	0.13	≤2.5	符合
10		中	0.14	≤2.5	符合
11		右	0.15	≤2.5	符合
12	受检者出入防护门	上	0.15	≤2.5	符合
13		下	0.15	≤2.5	符合
14		左	0.16	≤2.5	符合
15		中	0.15	≤2.5	符合
16		右	0.15	≤2.5	符合
17	污物通道防护门	上	0.15	≤2.5	符合
18		下	0.13	≤2.5	符合
19		左	0.14	≤2.5	符合
20		中	0.14	≤2.5	符合
21		右	0.12	≤2.5	符合
22	屏蔽墙	东墙	0.13～0.16	≤2.5	符合
23		南墙	0.12～0.15	≤2.5	符合
24		北墙	0.11～0.14	≤2.5	符合
25	机房楼上：检验科		0.12～0.15	≤2.5	符合
26	机房楼下：检验科		0.13～0.16	≤2.5	符合
本底			0.10～0.15（μSv/h）		

注：1、检测结果为平均值修正后且未扣除本底；机房西墙临空；

2、机房楼上检测点距地面 100cm，机房楼下检测点距地面 170cm，各检测点距屏蔽体外表面 30cm；检测点位示意图见图 4。

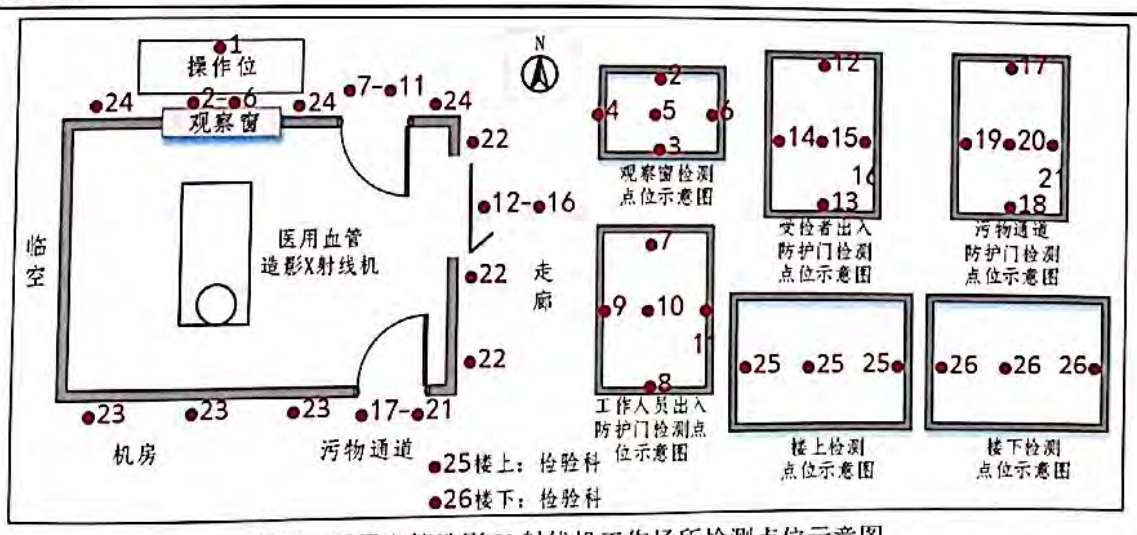


图 4 医用血管造影 X 射线机工作场所检测点位示意图

检 测 报 告

5、医用 X 射线摄影装置质量控制检测结果

设备名称：医用 X 射线摄影装置

设备型号：AXIOM Aristos VX Plus

设备编号：10619

额定参数：150kV　250mAs

制造厂商：上海西门子医疗器械有限公司

检测日期：2022 年 9 月 13 日

检测地点：门诊楼一楼放射科拍片室

检测条件：121kV　20mAs　200ms　防护水模体

序号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）		结果判定
			检测结果	标准要求	
1	操作位		0.17	≤25	符合
2	观察窗	上	0.81	≤25	符合
3		下	0.34	≤25	符合
4		左	0.52	≤25	符合
5		中	0.66	≤25	符合
6		右	0.41	≤25	符合
7	工作人员出入防护门	上	0.16	≤25	符合
8		下	0.16	≤25	符合
9		左	0.16	≤25	符合
10		中	0.18	≤25	符合
11		右	0.16	≤25	符合
12	受检者出入防护门	上	0.15	≤25	符合
13		下	0.18	≤25	符合
14		左	0.16	≤25	符合
15		中	0.16	≤25	符合
16		右	0.16	≤25	符合
17	屏蔽墙	东墙	0.13～0.16	≤25	符合
18		南墙	0.11～0.15	≤25	符合
19		西墙	0.13～0.14	≤25	符合
20		北墙	0.14～0.16	≤25	符合
21	机房楼上：13C 碳呼气实验室		0.13～0.17	≤25	符合
22	穿线孔		0.16	≤25	符合
23	电箱		0.17	≤25	符合
24	机头向南墙		0.19	≤25	符合
本底			0.12～0.17（μSv/h）		

检 测 报 告

注：1、检测结果为平均值修正后且未扣除本底；机房楼下为土层

2、机房楼上检测点距地面 100cm，各检测点距屏蔽体外表面 30cm；检测点位示意图见图 5。

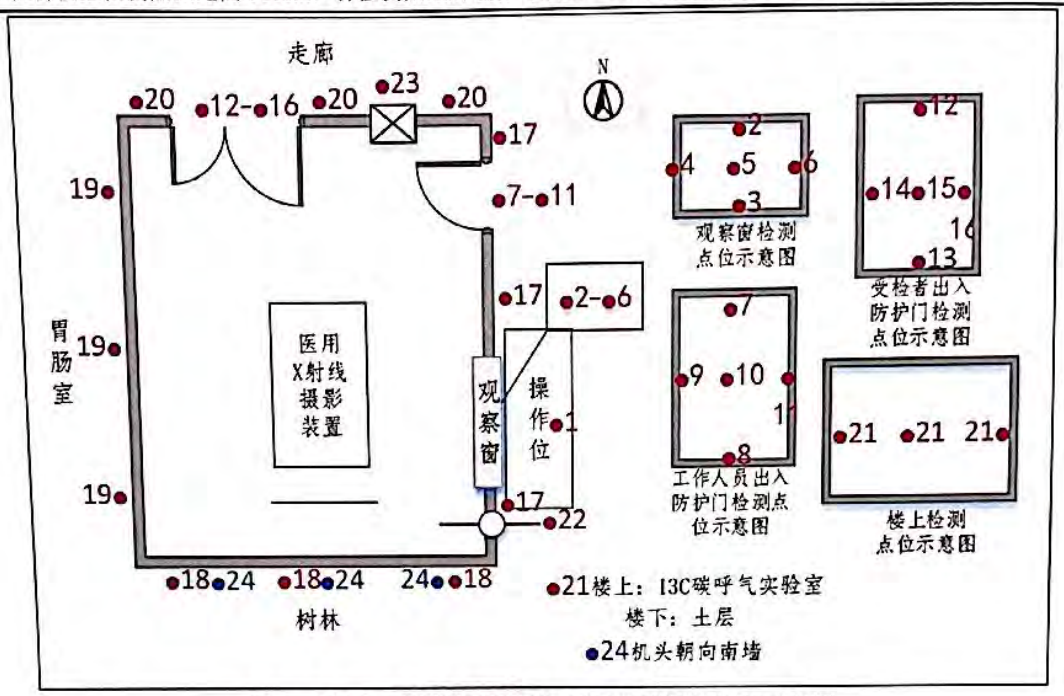


图 5　医用 X 射线摄影装置工作场所检测点位示意图

6、双能 X 射线骨密度仪质量控制检测结果

设备名称：双能 X 射线骨密度仪

设备型号：DCS-600EXV

设备编号：205F9208

制造厂商：日立医疗（广州）有限公司

检测日期：2022 年 9 月 13 日

检测地点：门诊楼一楼放射科骨密度检测室

检测条件：70kV　0.8mA

序号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）		结果判定
			检测结果	标准要求	
1	操作位		0.28	≤2.5	符合
2	观察窗	上	0.34	≤2.5	符合
3		下	0.32	≤2.5	符合
4		左	0.36	≤2.5	符合
5		中	0.41	≤2.5	符合
6		右	0.39	≤2.5	符合

7	屏蔽墙	东墙（铅屏风）	0.12～0.14	≤2.5	符合
8		南墙	0.12～0.14	≤2.5	符合
9		西墙	0.11～0.14	≤2.5	符合
10		北墙（铅屏风）	0.25～0.33	≤2.5	符合
11	机房楼上：肝纤维化室		0.11～0.13	≤25	符合
本底			0.11～0.14（μSv/h）		

注：1、检测结果为平均值修正后且未扣除本底；

2、机房楼上检测点距地面 100cm，各检测点距屏蔽体外表面 30cm；检测点位示意图见图 6。

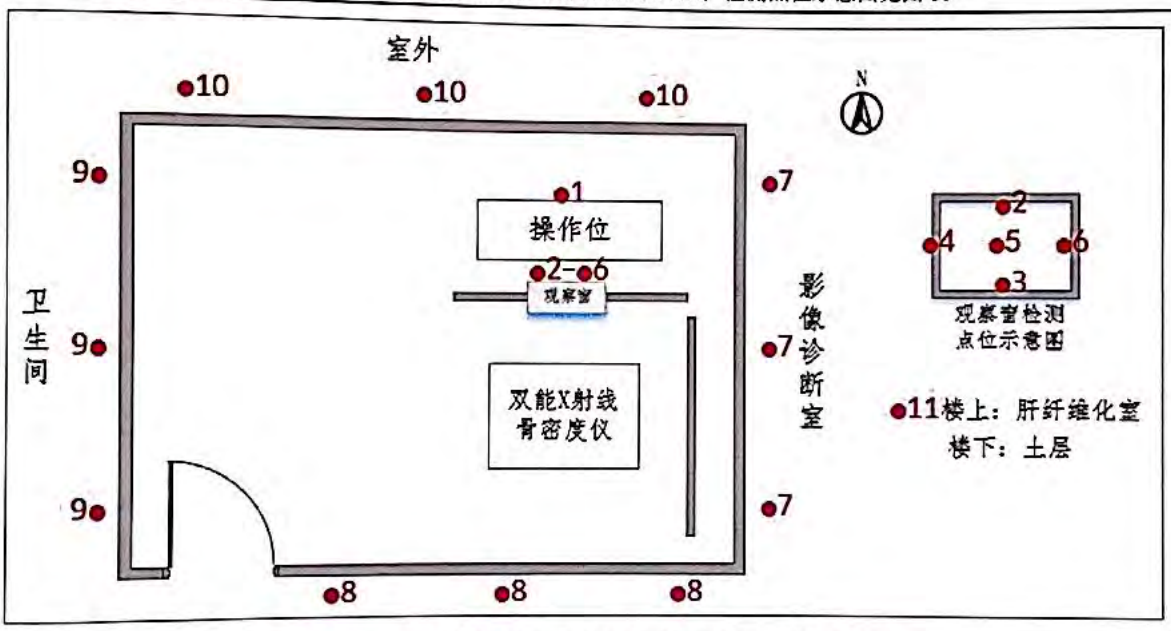


图 6 双能 X 射线骨密度仪工作场所检测点位示意图

7、牙科 X 射线机质量控制检测结果

设备名称：牙科 X 射线机	
设备型号：RAY 68（M）	
设备编号：M1510191	
额定参数：70kV 7mAs	
制造厂商：宁波蓝野医疗器械有限公司	
检测日期：2022 年 9 月 13 日	
检测地点：门诊楼二楼口腔科 X 光室	

检 测 报 告

检测条件：70kV　7mA　0.5s　CT 头体部剂量模体

序号	检测点位置		周围剂量当量率（μSv/h）		结果判定
			检测结果	标准要求	
1	操作位		0.14	≤2.5	符合
2	观察窗	上	0.13	≤2.5	符合
3		下	0.12	≤2.5	符合
4		左	0.12	≤2.5	符合
5		中	0.14	≤2.5	符合
6		右	0.13	≤2.5	符合
7	人员出入防护门	上	0.13	≤2.5	符合
8		下	0.13	≤2.5	符合
9		左	0.13	≤2.5	符合
10		中	0.13	≤2.5	符合
11		右	0.13	≤2.5	符合
12	屏蔽墙	东墙	0.13～0.15	≤2.5	符合
13		南墙	0.12～0.14	≤2.5	符合
14		西墙	0.11～0.13	≤2.5	符合
15		北墙	0.12～0.14	≤2.5	符合
16	机房楼上：检验科		0.12～0.14	≤2.5	符合
17	机房楼下：大厅		0.13～0.15	≤2.5	符合
本底			0.11～0.15（μSv/h）		

注：1、检测结果为平均值修正后且未扣除本底；

2、机房楼上检测点距地面 100cm，机房楼下检测点距地面 170cm，各检测点距屏蔽体外表面 30cm；检测点位示意图见图 7。

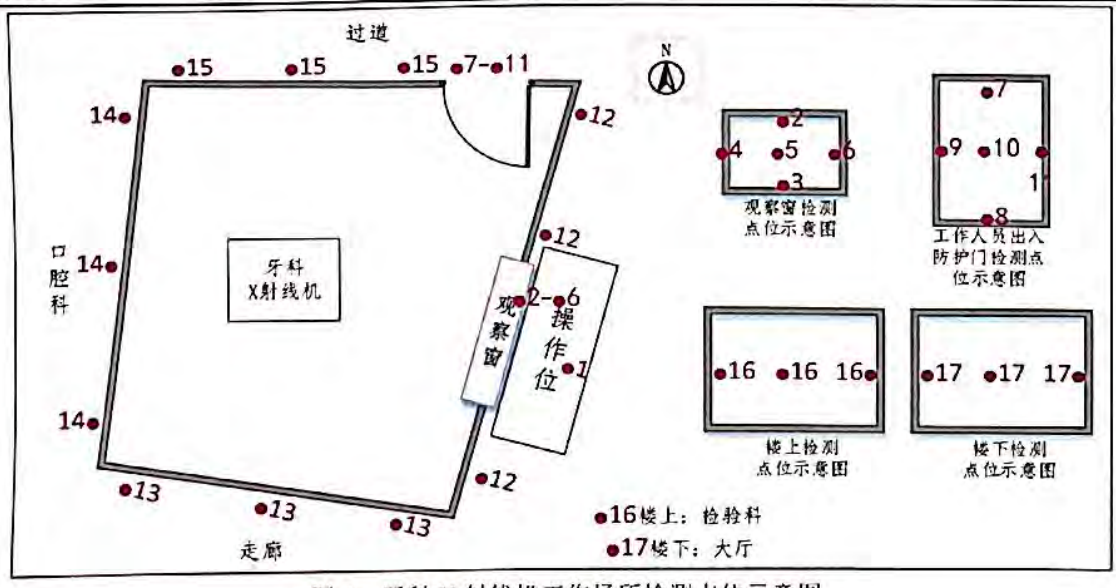


图 7　牙科 X 射线机工作场所检测点位示意图

（以下空白）

职业健康检查报告

报告编号：ZJ -2022- 136

种　　类：岗前、在岗期间

委托单位：西安市第八医院

兵器工业五二一医院

2022 年 10 月 18 日

说　明

一、兵器工业五二一医院是陕西省卫健委依法设置的职业健康体检机构【陕卫职检备字（2020）年第017号】。本机构保证体检结果的科学性、公正性和有效性，并对体检结果负责。

二、本报告若无报告人、审核人、签发人的签名，或涂改、未盖兵器工业五二一医院职业健康体检专用章，均无效。

三、对体检报告若有异议，委托单位请于收到报告之日起十五日内向本机构提出复核申请。

四、本报告一式两份，委托单位、本机构各一份。

五、本报告不得部分复印，不得做广告宣传，未经同意复制件未重新加盖本机构体检专用章无效。

地址：西安市丈八东路12号

电话：029-88235169　84507521　88271489

邮编：710065

兵器工业五二一医院

职业健康检查报告

委托单位： 西安市第八医院

统一社会信用代码：91361000MA38261W54

体检日期： 2022年9月16日——9月23日

体检机构： 兵器工业五二一医院

体检依据： 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）

报告日期： 2022年10月18日

一、体检对象

本次职业健康检查人数应检19人，实检人数19人，其中岗前1人，岗中18人。检查结果显示所检岗中17人可继续原放射工作，1人结果无法评价；岗前1人建议复查相关项目，再来我科进行放射适任性评价。

二、检查项目

按照《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）规定执行。本次职业健康检查项目及目标疾病汇总见表1。

职业健康检查项目及目标疾病汇总表

职业病危害因素	职业健康检查项目	放射性疾病	放射工作人员的健康要求	不应从事放射工作的指征
电离辐射	1、医学史、职业史调查 2、内、外科常规检查 3、皮肤科常规检查 4、眼科检查（色觉、视力、晶体裂隙灯、玻璃体眼底检查。 5、实验室和其他检查血常规、尿常规、肝功能血糖、肾功能、微核试验心电图、腹部彩超、胸部X片、甲状腺功能功	放射性白内障(眼病) 放射性甲状腺疾病 放射性性腺疾病 放射性皮肤疾病 放射性肿瘤 放射性骨损伤等	矫正视力5.0,无红绿色盲,听力正常.血红蛋白男≥120g女≥110g/L.红细胞男≥4.0×10^{12}/L 女≥3.5×10^{12}/L 白细胞≥4×10^{9}/L 血小板 100~350×10^{9}/L	严重的视觉和（或）听力障碍；严重和反复发作的疾病，使之丧失部分工作能力。如造血器官疾病、慢性肺部疾患、未控制的糖尿病、未控制的癫痫和暴露部位的严重皮肤病

注：*职业危害相关异常有以下几种情况：1.疑似职业病，需要进行职业病诊断。2.指疑似职业病，但需要进一步复查确定。3.已有职业损害，但未发展为职业病，需要比国家规定的周期更短的职业监护。

*职业禁忌证相关异常有以下几种情况：1.考虑职业禁忌证，已确诊的可直接调离。2.需要进一步确诊。3.诊治后可能治愈或改善的情况。

三、体检结果及建议

1、放射工作适任性评价：

岗中17人：可继续原放射工作（佩戴呼吸防护器具的适任性未评价）

2、与职业禁忌证相关性异常：

张银莉：白细胞偏低

建议复查血常规，再来我科进行放射适任性评价。

3、结果无法评价：

刘敏：本人自愿放弃拍摄胸片，结果无法评价

未完成国家对职业健康体检要求的必须检查项目，放射作业结果无法评价。

4、其它临床异常检出：

见职业健康检查汇总表附件1.

四、建议及处理意见：

1、对本次检查中发现的职业禁忌证相关异常者，应按照本报告第三节提出的建议进行复查，必要时调离或加强职业监护。

2、对本次职业健康检查中检出的临床异常者，应及时通知本人做进一步的临床检查或治疗。

五、提示

1、本次职业健康检查结果应及时如实告知职工。

2、定期对工作场所职业病危害因素进行检测与评价，及时掌握职业病危害因素浓（强）度，不断完善职业病危害防护措施，以保护职工健康。

3、根据《中华人民共和国职业病防治法》的要求，按照《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020)中规定的体检周期对所有接触职业病危害因素的作业人员进行职业健康检查，做到早发现、早诊断、早治疗，以进一步保护劳动者健康。

4、加强对职工职业卫生知识的宣传教育，让每一位职工了解职业健康监护的意义，提高个人健康保护意识及生产过程中的个体防护意识，严格按章操作，按要求佩戴相应的个人防护用品，以减少职业病危害因素对职工的健康损害。

5、为接触职业危害因素的职工建立个人职业健康监护档案，保留本次职业健康检查报告，及时归档，永久保存。

本次职业健康检查汇总表见附件1

报告人：王朕　　审核人：　　签发人：

报告日期：2022年10月18日

西安市第八医院职业健康体检汇总表

序号	姓名	性别	年龄	部门	接害工龄	危害因素	体检结论		建议
							职业相关结论	非职业相关结论	
1	薛永明	男	40	CT放射科	15	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	————————	加强职业防护
2	孟兆瑞	男	77	CT放射科	53	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、双眼晶体密度增高 2、高血压病？ 3、脂肪肝	1、加强职业防护 2、专科诊治
3	丁百成	男	50	CT放射科	26	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	高血压病？	1、加强职业防护 2、专科诊治
4	叶东廷	男	36	CT放射科	14	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、血红蛋白偏高 2、脂肪肝	1、加强职业防护 2、专科诊治
5	石三利	女	42	CT放射科	12	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	2、晶体点状混浊 3、甲状腺结节	1、加强职业防护 2、专科诊治
6	刘敏	女	31	CT放射科	7	X线	结果无法评价	甲状腺结节	1、未完成国家对职业健康体检要求的必须检查项目，放射作业结果无法评价 2、专科诊治
7	席红珠	女	31	CT放射科	6	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、促甲状腺激素偏高、甲状腺弥漫性病变 2、晶体点片状混浊	1、加强职业防护 2、专科诊治
8	王泽坤	男	29	CT放射科	6	X线	无疑似放射病及职业禁忌证。	————————	加强职业防护

附件一

9	王瑞瑞	女	27	CT放射科	1	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、右眼晶体片状混浊 2、甲状腺结节	1、加强职业防护 2、专科诊治
10	刘成光	男	27	CT放射科	6	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、晶体点状混浊 2、肺结节灶	1、加强职业防护 2、专科诊治
11	李明昕	女	34	口腔科	3	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	甲状腺结节	1、加强职业防护 2、专科诊治
12	张晓婷	女	23	CT放射科	1	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、左眼晶体点状混浊 2、甲状腺结节	1、加强职业防护 2、专科诊治
13	鲁冰冬	男	42	介入中心	7	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	————————	
14	张景梅	女	48	介入中心	5	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	————————	
15	李芬	女	32	CT放射科	6	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	甲状腺弥漫性病变	1、加强职业防护 2、专科诊治
16	魏亚楠	女	27	CT放射科	1	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、血红蛋白：偏低 2、甲状腺结节	1、加强职业防护 2、专科诊治
17	何燕鸿	女	24	CT放射科	1	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	1、双眼晶体点状混浊 2、血红蛋白：偏低 3、窦性心律不齐	1、加强职业防护 2、专科诊治
18	柏伟伟	男	26	CT放射科	1	X线	无疑似放射病及职业禁忌证	促甲状腺激素偏高	1、加强职业防护 2、专科诊治
19	张银莉（岗前）	女	51	CT放射科	0	X线	白细胞偏低	1、主动脉粥样硬化 2、尿隐血1+ 3、肝血管瘤	1、建议复查血常规，再来我科进行放射适任性评价。 2、专科诊治

辐射安全管理制度目录

西安市第八医院

西安市第八医院文件

市八医发〔2021〕35号

西安市第八医院关于
调整各类委员会的通知

各科室：

为进一步加强医院管理，规范医疗行为，鉴于人员变动，经医院研究决定，现将各委员会进行调整，请各部门认真开展本委员会工作。

西安市第八医院

2021年6月22日

应负责建立包括各种原始记录、凭证在内的生物安全委员会会议档案并整理保存。

（七）主任委员不能履行其职责时，可委托副主任委员临时主持委员会的工作。

（八）生物安全委员会向医院负责，有责任向医院报告工作情况和提交年度工作报告。

（九）生物安全委员会主任委员由院长担任，副主任委员由分管院长担任，委员由院长提名，由医院质量管理委员会批准。一般任期为三年，可连选连任。特殊情况可由生物安全委员会主任委员提名按上述程序做出调整。

辐射安全管理委员会

一、组织机构

主　任：郭雅玲

副主任：张　艳　王晓宏

成　员：薛永明　黄小正　任艳叶　李　刚　康意宏

张　京　李　津　任　健　王卫娜　刘秋桂

李燕平　赵　玲

领导小组下设办公室，办公室设在医务科，办公室主任由副院长张艳兼任，副主任由医务科科长黄小正、放射科主任薛永明兼任。

二、工作职责

（一）辐射安全管理领导小组职责。

1.组织制定医院辐射事故应急处理预案。

2.负责组织协调辐射事故应急处理工作。

（二）辐射安全管理办公室职责。

1.按照辐射事故应急处理预案的要求，落实应急处理的各项日常工作。

2.组织辐射事故应急人员的培训。

3.负责与行政主管部门、环保（雁塔区）、公安、卫生等相关部门的联络、报告应急处理工作。

4.负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作。

5.完成应急处理领导小组交办的其它工作。

学术委员会

一、组织机构

主任委员：郭雅玲

副主任委员：王晓宏　张　艳

成　员：黄小正　付　葵　毛　剑　任艳叶　赵　玲
王黑豆　李燕平　张　静　李　瑛　李青春
袁西侠　王宏利　李飞宇　王　直　杨明博
杨璞叶　何　萍　刘秋桂　代晓银　李明昕

西安市第八医院
放射事故应急预案（细则）

一、目的

射线穿透人体将产生一定的生物效应，如果剂量过大或接触时间过长，对人体将产生一定程度的损害。因此，为了保证放射安全，特制定本预案。

二、应急组织及职责

医院成立放射防护领导小组及院放射事故应急组织，其放射事件应急组织职责如下：

全面负责医院放射事件应急统一协调工作；

负责协调各个科室做好放射防护相关的工作；

定期组织放射工作人员学习放射事件应急知识；

发生放射事件组织应急救援，并向相关部门汇报。

三、放射管理

（一）定期自查和监测制度

在医院放射防护领导小组的领导下，指定专人每周一次检查每一个场所的射线警示标志和安全指示灯是否完好，否则及时更换；每年进行一次射线装置监测；每个季度进行一次从放工作人员的个人剂量监测，建立个人剂量档案集中统一保存；每年最后一个季度对本年度射线装置放射防护安全进行管理评审，制定下一年度工作计划与目标，对存在的内容提出改进措施；每 1-2 年安排一次从放工作人员的健康体检，建立健康档案，集中统一保

存；每两年安排从放射工作人员轮训一次放射防护知识及相关法律法规；在省卫生厅、卫生执法监督总队和省环保局的领导下，根据辐射剂量的大小与工龄长短，组织相关从放工作人员进行保健休假或疗养。

（二）放射事件报告制度

1、如果个人辐射剂量超标应立即向医院放射防护领导小组及组长汇报，安排超标人员脱岗休息，分析原因，分类处理。

2、发生或发现放射事故的科室和个人，必须立即向医务科报告（电话 85320064）。

3、医院立即向雁塔区环境保护部门和卫生行政部门报告。

四、应急处置措施

1、如果射线装置出现故障，应立即切断装置电源，并迅速向放射防护领导小组汇报。联系人：薛永明。联系电话：85331575。

2、若发生人体受超剂量照射事故时，医院应当迅速安排受照人员接受医学检查或者在指定的医疗机构救治，同时对危险源采取应急安全处理措施。

3、发生放射事故以后，医院应立即组织放射防护领导小组成员进行讨论，并上报主管部门。

五、保障措施

1、登记预约人员要热情接待患者及其家属，细心介绍检查流程，耐心解释其所关心的问题，告知其 x 线穿透人体将产生一定的生物效应，对人体将产生一定程度的损害，但其产生只是在

x 线发生器电源开启的瞬间，与可见光一样，当开关关闭之后，没有射线的残留，检查的受益（尽早诊断和治疗疾病）远远超过可能产生损害的风险，而且我们放射科的医生和技师已经接受过严格的培训，将使用最小的曝射剂量和最小的曝射范围可得到一幅可供诊断的影像资料；温馨提示患者在放射科候诊期间注意人身财产的安全。

2、照片技术人员或医生必须经过放射专业培训合格之后方可进行临床操作，对所操作的机器应十分熟悉；对遥控诊断床或机架机械臂的操作，应严格遵守操作规程，并密切注意机件的动作和病人的情况；必须熟悉各机器的应急停止开关，并能对应急情况做出判断。操作中必须注意对患者敏感部位的防护及家属的防护，原则上检查时不需要陪护，确需陪护者请穿铅衣防护，绝对禁止无关人员停留，杜绝不必要的曝射。如果有疑问，应立即向科主任咨询。

西安市第八医院

放射诊疗工作场所辐射防护安全管理制度

1、强化工作人员的放射防护意识，自觉配合并切实落实放射设备的使用安全，避免放射事故的发生。

2、操作人员应严格遵守各项安全操作规程，经常检查防护设施的性能，确保其安全正常的运转。射线装置变更时及时办理申报变更手续，机房定期进行辐射水平检测。

3、采用放射诊断应遵循医疗照射正当化和放射防护最优化原则，避免一切不必要的照射，并事先告知受检者辐射对健康的潜在影响。放射工作人员上岗前必须经过放射防护知识和相关法规的专门培训，并通过考核合格后方可上岗，从业期间须接受定期培训，确保正确合理操作射线装置。

4、放射诊疗工作人员上岗前须进行健康检查，合格后方可从事放射诊疗工作。对已经从事放射诊疗工作人员要进行在岗期间的定期健康检查，建立个人剂量、职业健康管理和教育培训档案。

5、医用诊断X射线机须由专业放射影像医师操作，其他无关人员不得擅自动用设备。

6、进机房前须佩戴个人剂量计，开机前检查安全装置，记录机器运行状况，发现异常情况立即切掉电源并报告上级主管部门。

7、对患者拍摄前应认真核对诊疗方案，准确对位，避免因操作不当导致重复照射。

8、机房内除受检者外，陪同人员及其他无关人员不得进入。

9、机房内必须配备一套受检者防护服装，并按规定使用。

10、机房门必须设置门灯连锁装置并保持正常运行，张贴电离辐射警示标志。照射前必须关闭机房大门后方可开机照射，机房工作时大门上方应有红灯指示。

西安市第八医院
放射监测制度
个人剂量监测管理制度
职业健康监护管理制度

第 在医院放射防护领导小组的领导下，指定专人每周一次检查每一个场所的射线警示标志和安全指示灯是否完好，否则及时更换；每年进行一次射线装置监测；每个季度进行一次从放工作人员的个人剂量监测，建立个人剂量档案集中统一保存；每年最后一个季度对本年度射线装置放射防护安全进行管理评审，制定下一年度工作计划与目标，对存在的内容提出改进措施；每 1-2 年安排一次从放工作人员的健康体检，建立健康档案，集中统一保存；每两年安排从放射工作人员轮训一次放射防护知识及相关法律法规；在省卫生厅、卫生执法监督总队和省环保局的领导下，根据辐射剂量的大小与工龄长短，组织相关从放工作人员进行保健休假或疗养。

西安市第八医院
放射安全防护人员培训制度

1. 为进一步贯彻《放射诊疗管理规定》和《医用X射线诊断放射卫生防护及影像质量保证管理规定》，增强工作人员的放射安全和防护意识，杜绝危害事故及职业病的发生，根据环境保护部门的要求，制订人员培训制度。
2. 从事放射影像工作的医技人员，必须具备国家规定的资格条件，并经有专业及防护知识培训，考核合格，方可从事放射影像工作。
3. 人员培训的主要内容为《医用X射线诊断放射卫生防护及影像质量保证管理规定》及其它有关的规定、制度、防护知识等。
4. 对新参加工作的医、护、技人员进行系统培训，使他们对设备的工作原理、结构、操作、防护有所了解，掌握各种影像检查技术。
5. 技术人员应自觉学习，了解和掌握设备的一些常见故障现象，并掌握其排除方法，以便在特殊情况下能自行排除故障，消除隐患。
6. 新设备投入使用前应请设备厂商工程师对技术人员进行系统培训，内容应包括设备结构、工作原理、操作技术、注意事项、保养要求和故障表现及简单故障的排除。

西安市第八医院放射操作规程

1、每天上岗前做好摄片机保洁工作，保持机器良好的工作环境。

2、开机后应注意电源电压是否正常，并检查其他功能键是否选择正确。

3、操作机器时应该小心仔细，尤其注意电源电压，不得超过标识的标准电压。

4、对于随时出现的液体应立即清理，防止流入仪器设备内部。

5、严格按照使用说明书进行操作，杜绝一切非法操作。

6、根据人体大小，摄片部位，合理选择参数。

7、随时观察照片质量，出现异常应检查摄片机是否正常，如果异常应立即报告维修人员。

8、工作结束后应关闭摄片机并将电源关闭。

西安市第八医院
从事放射人员岗位职责

1、使用射线装置工作人员必须经过岗前体检，并经过辐射安全防护培训，持证上岗。

2、要正确使用使用射线装置，作到专人专管专用。

3、工作时，每一名工作人员必须佩带个人剂量检测牌。

4、从事射线装置岗位人员，要严格按照操作规程和规章制度，杜绝非法操作。

5、发生放射事故，立即上报有医教科，启动辐射应急预案。

辐射设备维护维修制度

1. DR 和 CT 机配备专人负责机器的定期维护、保养，每天记录机器的运行情况。
2. 每日检测和记录 DR 和 CT 机房的温度和湿度，保证机房环境适合机器正常运行。
3. 如出现故障，及时报告科主任及器械修理科。若故障不能排除，则联系专业设备工程师维修。
4. 定期做机器的校正和调试。

放射防护档案管理制度

放射防护档案管理工作，是放射卫生防护工作的一项重要工作。我院按照《职业病防治法》和《放射诊疗管理规定》的要求，结合我院的放射诊疗工作，制定了放射防护管理档案。具体如下：

一、建立管理体制

我院成立了专职管理机构，由医务部负责放射防护工作。确定了专(兼)职管理人员，制定了工作任务与职责。

二、建立放射诊疗管理档案

1、按照不同类别的放射诊疗工作，制定了各项管理制度。

2、建立台账明细登记：射线装置的名称、型号、射线种类、用途。

3、建立了放射诊疗设备清单、其它配套仪器设备清单、放射工作人员名单、放射诊疗作业场所分布、放射工作人员体检情况预览表、个人防护用品配备清单、个人剂量发放登记等明细帐目。

4、每年定期请有检测资质的机构对我院放射诊疗设备性能及工作场所进行放射防护监测，并建档保存。

5、建立了建设项目卫生审查、竣工验收和设置放射诊疗项目申报等工作档案。

三、 建立健全放射工作人员档案

1、建立个人职业健康监护档案。

根据《中华人民共和国职业病防治法》、《放射工作人员职业健康

管理办法》，从事放射诊疗工作人员上岗前必须进行健康体检，对已经从事放射工作的人员进行定期体检，并建立健全个人职业健康监护档案。

2、建立个人剂量监测档案。

从事放射诊疗工作人员在工作中必须佩带个人剂量计，定期检测并建立个人剂量监测档案。

3、建立培训档案

对新从事放射工作人员组织安排岗前放射防护和有关法律知识培训，取得培训合格证书和放射工作人员证，才能从事相应的放射工作。每两年组织放射工作人员参加放射防护及有关法律知识培训，更新放射防护知识，增强防护意识，取得培训合格证书和放射工作人员证，建立了放射工作人员培训档案。

辐射工作场所监测制度

1.定期开展辐射监测。监测结果向辐射防护和环境保护部门报告，发现异常情况应随时报告。积极配合辐射防护和环境保护部门的监测。

2.接触辐射装置的工作人员佩戴个人剂量牌，定期做个人剂量检测，并将监测结果逐个记录、存档，其保存时间不少于停止辐射工作后 30 年。

3.在事故或应急情况下，根据情况可对有关人员以及少数有代表性的公众成员进行个人监测。

4.对辐射工作人员的医学监督根据一般职业医学原则进行。

5.辐射工作从业期间的定期医学检查，内容根据其受照类型的程度，以及工作人员健康状况确定，除一般健康检查项目外，尚 可追加对辐射照射敏感的检查指标。

6.定期医学检查频率一般为一年一次，如辐射照射情况和工作人员健康状况需要的话，则可将检查周期缩短或延长。

7.定期做“辐射环境检测”每年最少一次。

受检者防护制度

1、 放射科工作人员必须在医生开具申请单后方可对患者进行 X 线检查，患者可以根据自己的实际情况和意愿决定是否接受此项检查。

2、 放射科工作人员必须严格按照申请单进行 X 线检查，如有疑问，及时和医生沟通，不可私自更改投照部位及方法。

3、 放射科工作人员需耐心细致的回答患者的提问，不得隐瞒 X 线对健康的影响。

4、 每次只允许一名患者进入检查室，其他患者在候诊区域等候，不要靠近检查室防护门，更不能私自进入检查室。

5、 孕妇及可能怀孕者，非特殊情况下不宜做 X 线检查，婴幼儿应慎重做 X 线检查。对必须进行 X 线检查的，工作人员必须告知 X 线检查的危害，并取得患者同意，必要时留下书面知情同意书，同时对非投照部位做好必要的防护。

6、 对患者进行 X 线检查过程中，在不影响投照质量的情况下，对邻近部位和敏感器官（如性腺，甲状腺，眼晶体）采取防护措施。

7、 X 线检查过程中，尽量减少陪同人员，不要由青少年和孕妇陪同患者。对必须陪护的患者，工作人员要指导陪护人员穿戴防护用品。

8、 检查结束后，请患者及陪护尽快离开，不要在检查室及附近停留。

CT 放射科防护用品清单

1、 电动连锁门 3 个

2、 铅衣 3 套

3、 个人防护剂量胸牌 10 个

4、 铅玻璃 3 面

5、 X、γ 辐射个人剂量当量（率）监测仪

介入中心防护用品清单

1、 电动连锁门 1 个

2、 铅衣 6 套

3、 个人防护剂量胸牌 3 个

4、 铅玻璃 1 面

口腔科防护用品清单

1、 电动连锁门 1 个

2、 铅衣 1 套

3、个人防护剂量胸牌 1 个

4、铅玻璃 1 面

建设项目环评审批基础信息表

建设单位（盖章）：	西安市第八医院（西安市肝病医院）	填表人（签字）：	李宗好	建设单位联系人（签字）：	刘之春

建设项目	项目名称	西安市公共卫生中心（西安市第八医院新院区）新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科、医用射线装置核技术利用项目				建设内容、规模	建设内容：新建医用电子直线加速器、后装机、核医学科及医用射线装置 建设规模：在综合医院门诊医技楼地下一层放疗科拟配置2台医用电子直线加速器、1台后装治疗机，后装机内含1枚^{192}Ir放射源；在综合医院门诊医技楼地下一层核医学科拟配置1台PET-CT和1台SPECT-CT，使用放射性核素^{18}F和^{99m}Tc，为乙级非密封放射性物质工作场所；在综合医院门诊医技楼一层拟配置2台DSA；在综合医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-12）拟配置1台DSA；在传染病医院门诊医技楼四层手术中心的介入手术室（OR-4）拟配置1台DSA。			
	项目代码[1]	/								
	建设地点	陕西省西安市高陵区310国道与210国道交叉口西南角								
	项目建设周期（月）	6.0				计划开工时间	2023年8月			
	环境影响评价行业类别	五十五、核与辐射-172、核技术利用建设项目				预计投产时间	2024年1月			
	建设性质	新建（迁建）				国民经济行业类型[2]	检测服务（M7452）			
	现有工程排污许可证编号（改、扩建项目）	/				项目申请类别	其他			
	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	109.088995	纬度	34.492792	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）	12000.00				环保投资（万元）	285.00		环保投资比例	2.38%
建设单位	单位名称	西安市第八医院（西安市肝病医院）		法人代表	郭雅玲	评价单位	单位名称	西安海蓝环保科技有限公司	证书编号	2014035610350000003507610076
	统一社会信用代码（组织机构代码）	12610100437200371R		技术负责人	羊世森		环评文件项目负责人	高明强	联系电话	029-87886946
	通讯地址	西安市雁塔区丈八东路2号		联系电话	13709188683		通讯地址	西安经济技术开发区凤城十路保利中达广场1209室		

污染物排放量	污染物	现有工程（已建+在建）①实际排放量（吨/年）	现有工程（已建+在建）②许可排放量（吨/年）	本工程（拟建或调整变更）③预测排放量（吨/年）	总体工程（已建+在建+拟建或调整变更）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排放增减量（吨/年）[5]	排放方式
废水	废水量(万吨/年)								○不排放 ◉间接排放：☑市政管网 ☐集中式工业污水处理厂 ○直接排放：受纳水体
	COD								
	氨氮								
	总磷								
	总氮								
废气	废气量（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 / 生态保护目标	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
	自然保护区			/		否		☐避让☐减缓☐补偿☐重建（多选）
	饮用水水源保护区（地表）			/		否		☐避让☐减缓☐补偿☐重建（多选）
	饮用水水源保护区（地下）			/		否		☐避让☐减缓☐补偿☐重建（多选）
	风景名胜区			/		否		☐避让☐减缓☐补偿☐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、指该项目所在区域通过“区域平衡”专为本工程替代削减的量
5、⑦=③−④−⑤；⑥=②−④+③，当②=0时，⑥=①−④+③