

核技术利用建设项目
滨海中山医院新建放射诊疗项目
环境影响报告表

滨海中山医院有限公司
2023年6月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

滨海中山医院新建放射诊疗项目 环境影响报告表

建设单位名称：滨海中山医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：盐城市滨海县幸福北路 208 号



目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 5 -
表 3	非密封放射性物质.....	- 5 -
表 4	射线装置	- 6 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 8 -
表 6	评价依据	- 10 -
表 7	保护目标与评价标准.....	- 14 -
表 8	环境质量和辐射现状.....	- 27 -
表 9	项目工程分析与源项.....	- 31 -
表 10	辐射安全与防护.....	- 49 -
表 11	环境影响分析.....	- 67 -
表 12	辐射安全管理.....	- 111 -
表 13	结论与建议	- 117 -
表 14	审批	- 125 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		滨海中山医院新建放射诊疗项目			
建设单位		滨海中山医院有限公司 (统一社会信用代码: 91320922561840237D)			
法人代表		■	■	■	■
注册地址		江苏省盐城市滨海县北区幸福路 208			
项目建设地点		江苏省盐城市滨海县北区幸福路 208 滨海中山医院肿瘤放射治疗综合楼一楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	5000	项目环保总投资 (万元)	600	投资比例(环保 投资/总投资)	12%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²)	/
应用 类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
<p>项目概述:</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>滨海中山医院有限公司 (以下简称“医院”或“滨海中山医院”) 于 2010 年 09 月 20 日成立, 业务范围包括内科、外科、妇产科、五官科、影像科、检验科等。</p> <p>为了适应医院发展要求, 服务患者, 医院拟在院区内新建放射诊疗项目。项目内容包括: 拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座医用直线加速器机房, 配置 1 台医用直线加速器 (型号为: Vital Beam, X 射线能量 ≤10MV, 电子线能量 ≤18MeV), 利</p>					

用医疗综合楼一楼原有 1 台 CT 模拟定位机(型号: Optima CT520, 最大管电压 140kV, 最大管电流 350mA, 属 III 类射线装置) 进行模拟定位, 配合医用直线加速器开展放射治疗; 拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建头部伽玛刀 (以下简称伽玛刀) 机房, 并配备 1 台伽玛刀 (型号: OUR-XGD/AR, 内含 30 枚 ^{60}Co 放射源, 总活度为 $2.2 \times 10^{14}\text{Bq}$, 属 I 类集束源) 用于开展放射治疗。拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建核医学科, 拟建成丙级非密封放射性物质工作场所, 配置 1 台 PET/CT (型号为: DiscoveryMI, 最大管电压 140kV, 最大管电流 600mA, 属 III 类射线装置), 拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断, PET/CT 质量控制校正时拟使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源, 属 V 类放射源。

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

受滨海中山医院的委托, 南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新建放射诊疗项目的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》(生态环境部部令第 16 号), 本项目新增 1 台医用直线加速器、1 台伽玛刀及核医学科属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用 II 类射线装置的; 丙级非密封放射性物质工作场所; 医疗使用 I 类放射源的”项目, 确定为编制环境影响报告表。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上, 编制了该项目环境影响报告表。该医院新建放射诊疗项目情况见下表:

表 1-1 滨海中山医院新建放射诊疗项目情况一览表

[REDACTED]							
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]							
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]								

二、项目选址情况

滨海中山医院位于盐城市滨海县幸福北路 208 号，医院东侧为幸福支路，南侧为幸福路，西侧为空地，北侧为万锦豪庭南苑。本项目地理位置示意图附图 1，滨海中山医院平面布置和周围环境示意图附图 2。

医院本次新建放射诊疗项目主要包括：

1、于肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建 1 座加速器机房及配套设施用房并配置 1 台医用直线加速器，肿瘤放射治疗综合楼东侧、南侧、北侧为院内道路，西侧为医疗综合楼。医用直线加速器机房东侧为室外、南侧为控制室、设备用房，西侧为伽玛刀机房和缓冲间，北侧为室外，上方为屋顶及办公室，下方为土层。

2、于肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座伽玛刀机房，其东侧为医用直线加速器机房，南侧为缓冲间，西侧为医疗综合楼的诊室，北侧为室外，机房上方为诊室，下方为土层。

3、于肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建核医学科，其东侧、南侧均为室外，西侧为医疗综合楼的门诊大厅，北侧为医用直线加速器机房控制室及设备用房、伽玛刀机房控制室及设备用房。上方为办公室、会议室，下方为土层。本项目肿瘤放射治疗综合楼 1 楼~2 楼平面布局及周围环境示意图附图 3~附图 4。

本项目周围 50m 评价范围东侧至幸福支路，其余方向均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和公众等。新建放射诊疗项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)“实践的正当性”的原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

滨海中山医院现持有盐城市生态环境局颁发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[J0177]，有效期至2027年4月26日，许可种类和范围为：使用III类射线装置。医院现有III类射线装置均已履行环保手续。

五、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；对照《盐城市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（盐环发[2022]200号），本项目符合盐城市“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）的要求。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷ ×1 枚	V	使用	校准源	核医学科	贮存在储源罐中，放置在核医学科的源库内，使用时从储源罐取出，放在检查床的支架上进行相关质控操作	定期更换，退役后交由原生产厂家回收或由城市放射性废物库回收处置
2	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ ×2 枚	V	使用	校准源	核医学科		
3	⁶⁰ Co	2.2×10 ¹⁴ (7.3×10 ¹² Bq/枚)	I 类(聚集源)	使用	放射治疗	伽玛刀机房	随机器存放于伽玛刀设备内	使用年限 6~8 年，半衰期为 5.27 年
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒	使用	3.7×10 ⁹	5.18×10 ⁶	3.7×10 ¹²	核素诊断	很简单操作/源的贮存	核医学科	按需订购，核医学科门诊使用
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：①日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；

②根据 HJ1188-2021 的附表 A.2，医疗机构使用 F-18，为很简单操作。本项目日等效最大操作量为：[单次使用平均量 10mCi×日最高峰 10 人×0.01 (低毒)/10 (液态/很简单操作)]+[日最大备药量 (每日核素最大使用量的 4 倍)×0.01 (低毒)/100 (液态/源的贮存)]=3.7×10⁹Bq+1.48×10⁶Bq=5.18×10⁶Bq。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线 加速器	II	1	Vital Beam	电子	X 射线：6MV、10MV 电子线：6、9、12、15、18MeV	X 射线： 6MV 时 1400cGy/min (3F 模式) 6MV 时 600cGy/min (常用) 10MV 时 2400 cGy/min(3F 模式) 10MV 时 600 cGy/min (常用) 电子线 1m 处最大剂量率； 2500 cGy/min	放射治 疗	加速器机房	本次环 评

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	DiscoveryMI	140	600	医疗诊断	核医学科	本次环 评
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	^{18}F	/	约 4.17kg	约 50kg	/	存放于专用放射性废物铅桶与废物库	暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F	/	约 3.125m^3	约 37.5m^3	/	流入衰变池中	在衰变池中暂存超过 30 天后直接解控排放
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{18}F	/	微量	微量	微量	不暂存	在通风橱中操作，经通风橱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约 50 分钟可自然分解为氧气
废活性炭	固体	^{18}F	/	少量	少量	/	更换后暂存在废物库	暂存时间超过 30 天、经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，作为医疗废物统一交由有资质的单位处理
退役放射源（校准源）	固体	^{68}Ge	使用 270 天后退役，退役时活度： $2.75 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $1.75 \times 10^6 \text{Bq}$	/	/	/	暂存于源库	由原生产厂家回收或由城市放射性废物库回收处置
退役废源	固体	^{60}Co	使用约 6 年后退役，	/	/	/	暂存在伽玛刀	退役废源送生产厂家回收处理。

			退役时总活度约为 1×10^{14} Bq (头刀)				设备内	
--	--	--	--	--	--	--	-----	--

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令 第9号，2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部部令 第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(11) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行；</p> <p>(12) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；</p> <p>(13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函 [2016]430号，2016年3月7日起施行；</p>
------------------	---

	<p>(14) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布；</p> <p>(15) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布；</p> <p>(16) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布；</p> <p>(17) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(18) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布；</p> <p>(19) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布；</p> <p>(20) 《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布；</p> <p>(21) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布；</p> <p>(22) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书(表)编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，江苏省生态环境厅办公室，2021年5月31日印发；</p> <p>(23) 《产业结构调整指导目录(2019年本)》(2021年修改)，国家发展和改革委员会2021年令 第49号，2021年12月30日起施行；</p> <p>(24) 《关于发布放射源分类办法的公告》，公告2005年第62号，国家环保总局，2005年12月23日发布。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)；</p> <p>(2) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)；</p> <p>(3) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(5) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)；</p> <p>(6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)；</p>

	<p>(7) 《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021) ;</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》 (HJ 2.1-2016) ;</p> <p>(9) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》 (HJ 10.1-2016) ;</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021) ;</p> <p>(11) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) ;</p> <p>(12) 《放射治疗放射防护要求》 (GBZ 121-2020) ;</p> <p>(13) 《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020) ;</p> <p>(14) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) ;</p> <p>(15) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》 (GBZ/T 201.1-2007) ;</p> <p>(16) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》 (GBZ/T 201.2-2011) ;</p> <p>(17) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》 (GBZ/T 201.3-2014) 。</p>
其他	<p>附图:</p> <p>(1) 滨海中山医院新建放射诊疗项目地理位置示意图;</p> <p>(2) 滨海中山医院平面布置和周围环境示意图;</p> <p>(3) 滨海中山医院肿瘤放射治疗综合楼 1 楼平面布局示意图;</p> <p>(4) 滨海中山医院肿瘤放射治疗综合楼 2 楼平面布局示意图;</p> <p>(5) 滨海中山医院肿瘤放射治疗综合楼剖面图;</p> <p>(6) 滨海中山医院核医学排风/新风管道布设示意图;</p> <p>(7) 滨海中山医院核医学科专用下水管道布设示意图;</p> <p>(8) 滨海中山医院医疗综合楼、肿瘤放射治疗综合楼一楼平面示意图;</p> <p>(9) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图。</p> <p>附件:</p> <p>(1) 项目委托书;</p>

- | | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">(2) 射线装置、非密封放射性物质、放射源使用承诺书；(3) 退役源处置承诺书；(4) 辐射安全许可证正本复印件；(5) 辐射环境现状监测报告；(6) 伽玛刀辐射水平矩阵图。 |
|--|---|

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

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

保护目标

本项目主要考虑伽玛刀、医用直线加速器、核医学科工作时可能对周围环境产生的辐射影响。本项目周围 50m 评价范围东侧至幸福支路，南侧、西侧、北侧均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等。新建放射诊疗项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。详见表 7-1。

表 7-1 滨海中山医院新建放射诊疗项目保护目标一览表

保护对象类型	场所	环境保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模
辐射工作人员	医用直线加速器机房	医用直线加速器工作人员	控制室	/	7 人
	伽玛刀机房	伽玛刀工作人员	控制室	/	6 人
	核医学科	核医学科工作人员	核医学科工作场所内	/	6 人
评价范围内公众	肿瘤放射治疗综合楼	医护人员	本项目辐射工作场所四周及上方	约 2m	约 15 人
		病患、其他公众			约 20 人
	医疗综合楼	医护人员	肿瘤放射治疗综合楼西侧	约 25m	约 20 人
		病患、其他公众			约 30 人
	院内道路	医护人员、病患、其他公众	肿瘤放射治疗综合楼南侧、北侧	约 2m	流动人员
幸福支路	公众	院区东侧	约 10m	流动人员	

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。	

1.2 非密封源工作场所的分级

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

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

表 B11 工作场所放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、	控制区	4	4×10	4×10

墙壁、地面	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区	2×10^7	2×10^7	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

6.1 屏蔽要求

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

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

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

6.3 密闭和通风要求

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

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

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

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

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

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。

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

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

8.2 工作场所监测

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

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

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

3、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

4 一般要求

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

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

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

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

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

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

5.1.3 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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 治疗机房布置要求

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

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

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

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

5、《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）；

6、《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）：

4.1.1 治疗机房墙外和入口门外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 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 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

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

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

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 $H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

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

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

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

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 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 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。该项辐射和穿透机房墙壁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 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 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 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制；

3) 对无人停留且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 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

7、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）：

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

8、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）：

9、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；

10、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：

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

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

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

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

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

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

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

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

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

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

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

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

5.2 放射防护设施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1，核医学工作场所分类的加圈活度计算方法见附录 G。

表 1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

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

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性物理特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。自屏蔽回旋加速器机房的屏蔽计算方法由回旋加速器在所有工作条件下所产生中子的最大通量（取决于加速器的类型、能量、粒子类型以及使用的靶等）决定。

11、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

6.2.1 机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
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 3 的要求。

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

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。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		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	—

注 1：“—”表示不要求。

注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品。

12、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；

4.1 建筑施工过程中场界环境噪声不得超过表 1 规定的排放限值。

表 1 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB (A)

昼间	夜间
70	55

13、辐射环境评价标准限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；

(1) 剂量约束值

本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a，公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

(2) 辐射剂量率控制水平

①核医学科项目

非密封放射性物质工作场所（核医学科）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；放射性药物分装的通风橱、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见下表：

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

②医用直线加速器项目与伽玛刀项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目放疗机房周开机治疗时间，估算得到放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ，见下表：

- 医用直线加速器项目

表 7-2 本项目加速器机房周围各关注点剂量率参考水平一览表

关注点		控制区	监督区	非控制区	非监督区	其他		
医用直线加速器项目	机房外 30cm 处	□	□	□	□	□	□	□
	机房内 30cm 处	□	□	□	□	□	□	□
	机房内 1m 处	□	□	□	□	□	□	□
	机房内 3m 处	□	□	□	□	□	□	□
	机房内 5m 处	□	□	□	□	□	□	□
	机房内 10m 处	□	□	□	□	□	□	□
	机房内 30m 处	□	□	□	□	□	□	□

[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

注：1、医用直线加速器机房参考点点位布设详见图 11-1；
 2、根据医院提供资料，医用直线加速器投入使用后，每次治疗有效出束时间 2~3 分钟，每天治疗人数 40 人，年开展工作 50 周，年出束运行时间约 500h，则周工作时间 t 为 10h。
 3、根据 HJ1198-2021，人员居留因子>1/2 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $\leq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

• 伽玛刀项目

表 7-3 本项目伽玛刀机房周围各关注点剂量率参考水平一览表

[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

注：1、伽玛刀机房参考点点位布设详见图 11-4；
 2、根据医院提供资料，伽玛刀投入使用后，每次治疗有效出束时间 2~12 分钟，每天治疗人数 10 人，伽玛刀年开展工作 50 周，年出束时间约 500h，则周工作时间 t 为 10h。
 3、根据 HJ1198-2021，人员居留因子>1/2 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $\leq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

14、参考资料：

(1) 《辐射防护导论》，方杰主编。

(2) 《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

江苏省环境天然 γ 辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

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

(均值 $\pm 3s$) *	50.4 \pm 21.0	47.1 \pm 36.9	89.2 \pm 42.0
------------------	-----------------	-----------------	-----------------

注：*测量值已扣除宇宙射线响应值，评价时采用“均值 $\pm 3s$ ”作为辐射现状评价的参考数值。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

滨海中山医院位于盐城市滨海县幸福北路 208 号，医院东侧为幸福支路，南侧为幸福路，西侧为空地，北侧为万锦豪庭南苑。

医院本次新建放射诊疗项目主要包括：

1、于肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建 1 座加速器机房及配套设施用房并配置 1 台医用直线加速器，肿瘤放射治疗综合楼东侧、南侧、北侧为院内道路，西侧为医疗综合楼。医用直线加速器机房东侧为室外、南侧为控制室、设备用房，西侧为伽玛刀机房和缓冲间，北侧为室外，上方为屋顶及办公室，下方为土层。

2、于肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座伽玛刀机房，其东侧为医用直线加速器机房，南侧为缓冲间，西侧为医疗综合楼的诊室，北侧为室外，机房上方为诊室，下方为土层。

3、于肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建核医学科，其东侧、南侧均为室外，西侧为医疗综合楼的门诊大厅，北侧为医用直线加速器机房控制室及设备用房、伽玛刀机房控制室及设备用房。上方为办公室、会议室，下方为土层。

本项目周围 50m 评价范围东侧至幸福支路，其余方向均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和公众等。新建放射诊疗项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-4。



图 8-1 新建放射诊疗项目拟建址东侧(院内道路)



图 8-2 新建放射诊疗项目拟建址南侧(院内道路)



图 8-3 新建放射诊疗项目拟建址西侧（医疗综合楼）



图 8-4 新建放射诊疗项目拟建址北侧(院内道路)

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB 14056.1-2008）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院新建放射诊疗项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1~表 8-2，监测点位示意图见图 8-5。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司（公司检测资质见附件 5）

监测日期：2023 年 2 月 27 日

监测因子： γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平

天气：晴

温度： 11°C

湿度：34%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《表面污染测定 第一部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（检测资质见附件 5），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。保持仪器探头中心距离地面（基础面）

为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。

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

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

1、 γ 辐射剂量率

检测仪器：6150 AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2022 年 11 月 14 日~2023 年 11 月 13 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

表 8-1 本项目拟建址周围现状辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)
1	新建放射诊疗项目拟建址东侧（院内道路）	61
2	新建放射诊疗项目拟建址南侧（院内道路）	88
3	新建放射诊疗项目拟建址西侧（医疗综合楼门诊大厅）	68
4	新建放射诊疗项目拟建址北侧（院内道路）	69
5	幸福支路	69

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值；

2、监测时本项目所在主体大楼正在基坑水泥浇筑阶段，其内部人员不可达。

由表 8-1 监测结果可知，滨海中山医院新建放射诊疗项目拟建址周围环境室内 γ 辐射剂量率为 68nGy/h，位于江苏省环境室内天然 γ 辐射水平涨落区间，道路 γ 辐射剂量率在 61nGy/h~88nGy/h 之间，受医院施工影响，本项目道路 γ 辐射剂量率略高于江苏省环境道路天然 γ 辐射水平，本项目周围整体属江苏省环境天然 γ 辐射本底水平。

2、β 表面污染水平

检测仪器：CoMo 170 型 α、β 表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效期：2022 年 4 月 10 日~2023 年 4 月 9 日，检定单位：中国测试技术研究院，检定证书编号：检定字第 202204002138 号）

测量范围：0cps~20000cps

表 8-2 滨海中山医院新增核医学科项目拟建址周围 β 表面污染水平

测点编号	测点描述	测量结果 (Bq/cm ²)
1	新建放射诊疗项目拟建址东侧 (院内道路)	<0.02
2	新建放射诊疗项目拟建址南侧 (院内道路)	<0.02
3	新建放射诊疗项目拟建址西侧 (医疗综合楼)	<0.02
4	新建放射诊疗项目拟建址北侧 (院内道路)	<0.02

注：1.β 表面放射性污染水平仪器探测下限 (LLD) 为 0.02Bq/cm²；

由表 8-2 监测结果可知，滨海中山医院新建放射诊疗项目拟建址周围 β 表面污染水平均小于 0.02Bq/cm²。

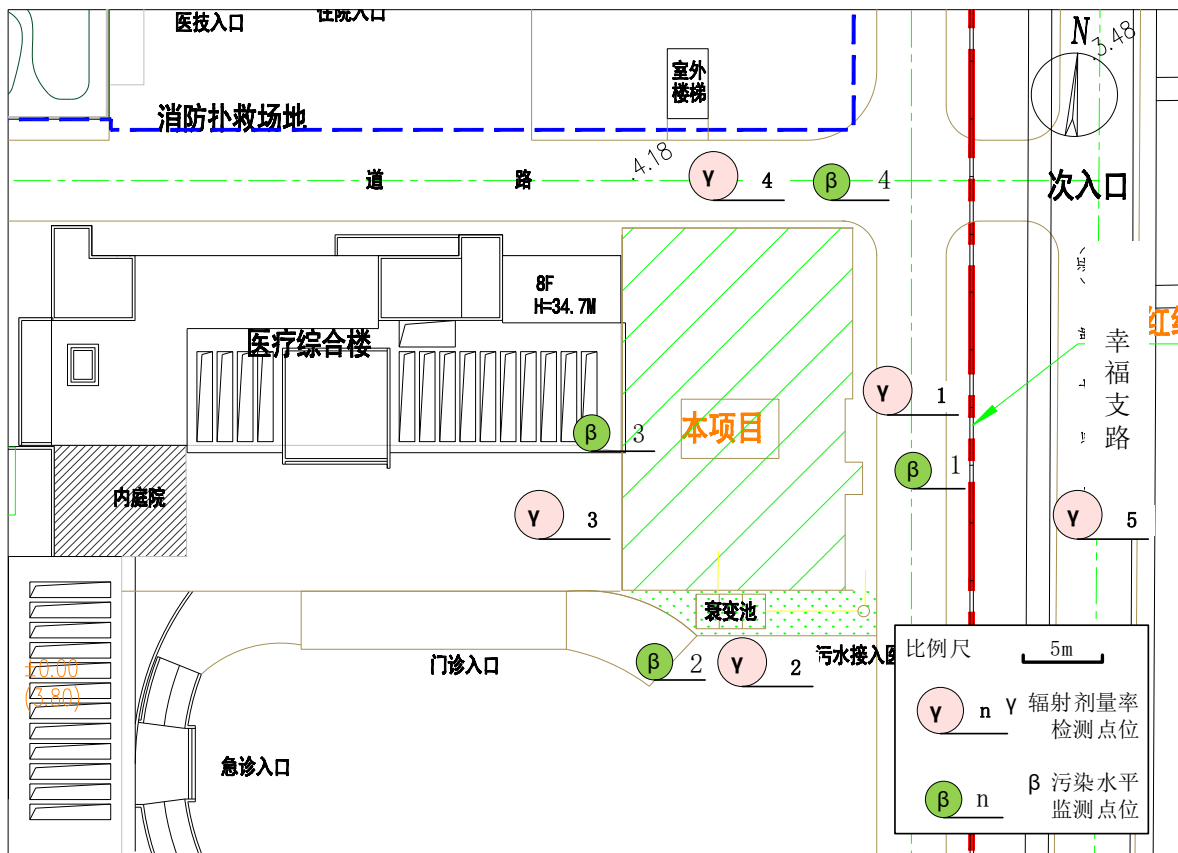


图 8-5 本项目拟建址周围 γ 辐射剂量率、β 表面污染水平监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

为了适应医院发展要求，服务患者，医院拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座加速器机房，配置 1 台 Vital Beam 型医用直线加速器（X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 18\text{MeV}$ ），利用医疗综合楼一楼原有 1 台 CT 模拟定位机（型号：Optima CT520，最大管电压 140kV，最大管电流 350mA，属 III 类射线装置）进行模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗；拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座伽玛刀机房，并配备 1 台伽玛刀（型号：OUR-XGD/AR，内含 30 枚 ^{60}Co 放射源，总活度为 $2.2 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，为 I 类聚集源）用于开展放射治疗。拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建核医学科，拟建成丙级非密封放射性物质工作场所，配置 1 台 PET/CT（型号为：DiscoveryMI，最大管电压 140kV，最大管电流 600mA，属 III 类射线装置），拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断，PET/CT 质量控制校正时拟使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源，属 V 类放射源。

1、医用直线加速器

滨海中山医院拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座医用直线加速器机房，配置 1 台医用直线加速器（型号为：Vital Beam，X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 18\text{MeV}$ ），用于肿瘤的放射治疗。常见医用直线加速器外观见图 9-1。



图 9-1 常见医用直线加速器外观示意图

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

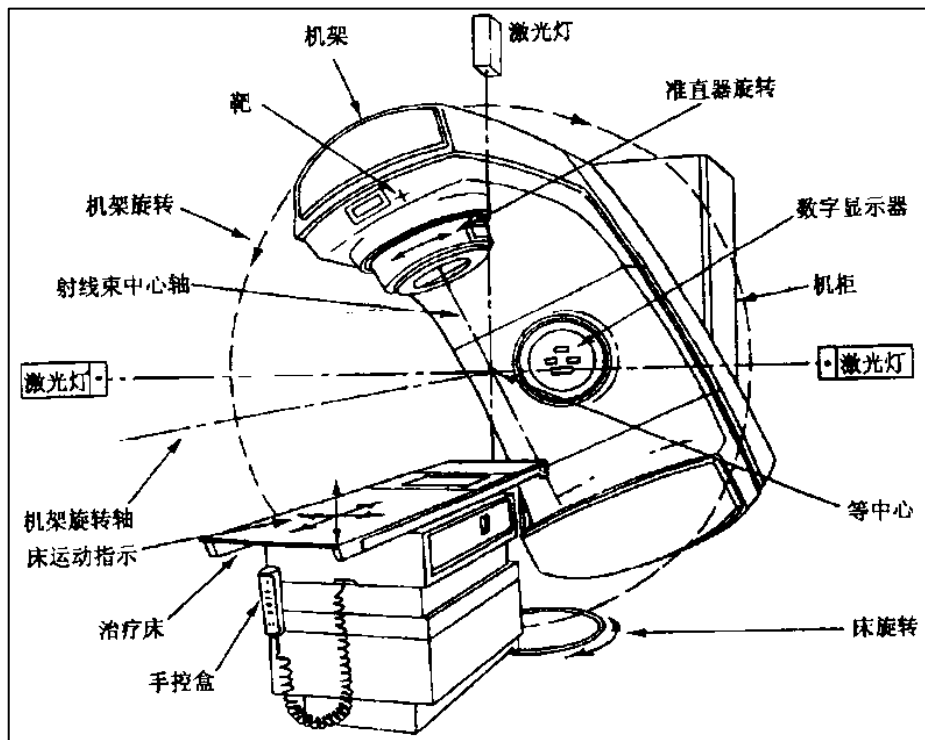


图 9-2 医用直线加速器基本结构示意图

医院拟引进的 Vital Beam 型医用直线加速器，该加速器提供两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，本项目拟建医用直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用直线加速器技术参数情况一览表

型 号	Vital Beam
位 置	肿瘤放射治疗综合楼一楼
主要技术指标	X 射线能量：6MV、10MV 电子线能量：6、9、12、15、18MeV
主射束夹角	28°

靶点到等中心点距离 (SAD)	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.30m
X 射线 1m 处剂量率	6MV: 1400cGy m ² /min (3F 模式) 10MV: 2400cGy m ² /min (3F 模式) 6MV (10MV): 600cGy m ² /min (常用)
电子线 1m 处剂量率	2500 cGy m ² /min
最大照射野大小	40cm×40cm
靶材料	钨合金
机架旋转	360°
用 途	放射治疗

2、伽玛刀项目

医院拟于医院肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座伽玛刀机房，并配备 1 台伽玛刀（型号：OUR-XGD/AR，内含 30 枚 ⁶⁰Co 放射源，总活度为 2.2×10^{14} Bq，为 I 类聚集源）。OUR-XGD/AR 型伽玛刀设备外观见图 9-3。

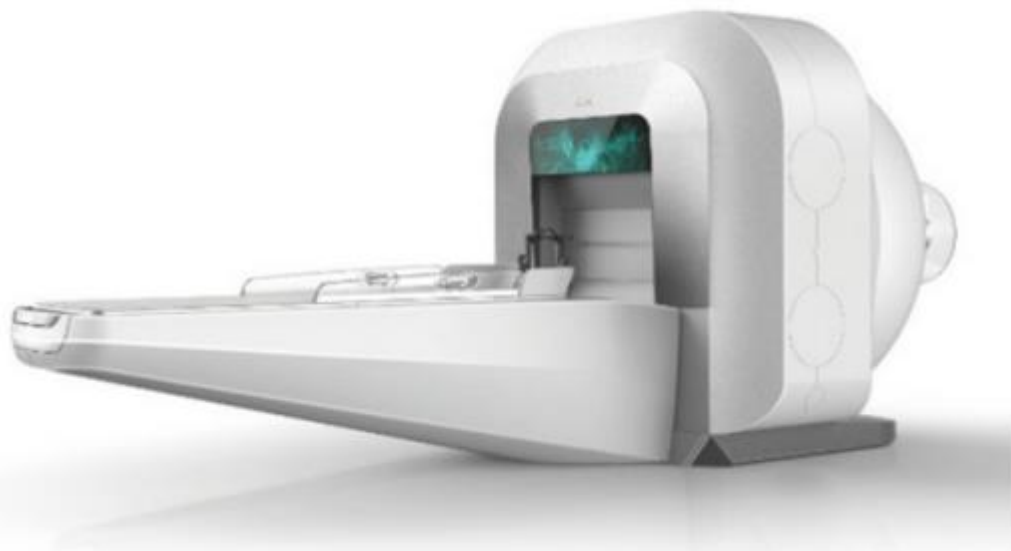


图 9-3 头部伽玛刀设备外观示意图

伽玛刀全称为“多源 γ 射束立体定向放射治疗系统”，医院拟使用的 OUR-XGD/AR 型头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统，由深圳市奥沃医学新技术发展有限公司生产。多源 γ 射束立体定向放射治疗系统是利用 ⁶⁰Co 在衰变过程中发

射 γ 射线对生物肌体的破坏作用来实现对病变细胞的杀伤功能，进而达到损毁病灶的治疗目的的一种新型立体定向放射外科治疗设备。

OUR-QGD/AR 型头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统安装了 30 颗高比活度的 ^{60}Co 放射源，通过匹配一定的准直器将射线聚焦到设备等中心（即焦点）上，使得焦点处形成高剂量射线区，实现动静态聚焦。当病灶组织处于这一高剂量场时产生放射性坏死，而病灶周围以外的组织因只受到均匀小剂量射线的照射而安然无恙，从而达到无创伤治疗肿瘤的目的。多源 γ 射束立体定向放射治疗系统主要由以下部分组成：放射准直系统、治疗床、立体定位系统、电气控制系统和治疗计划系统组成。OUR-QGD/AR 型头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统结构示意图见图 9-4。

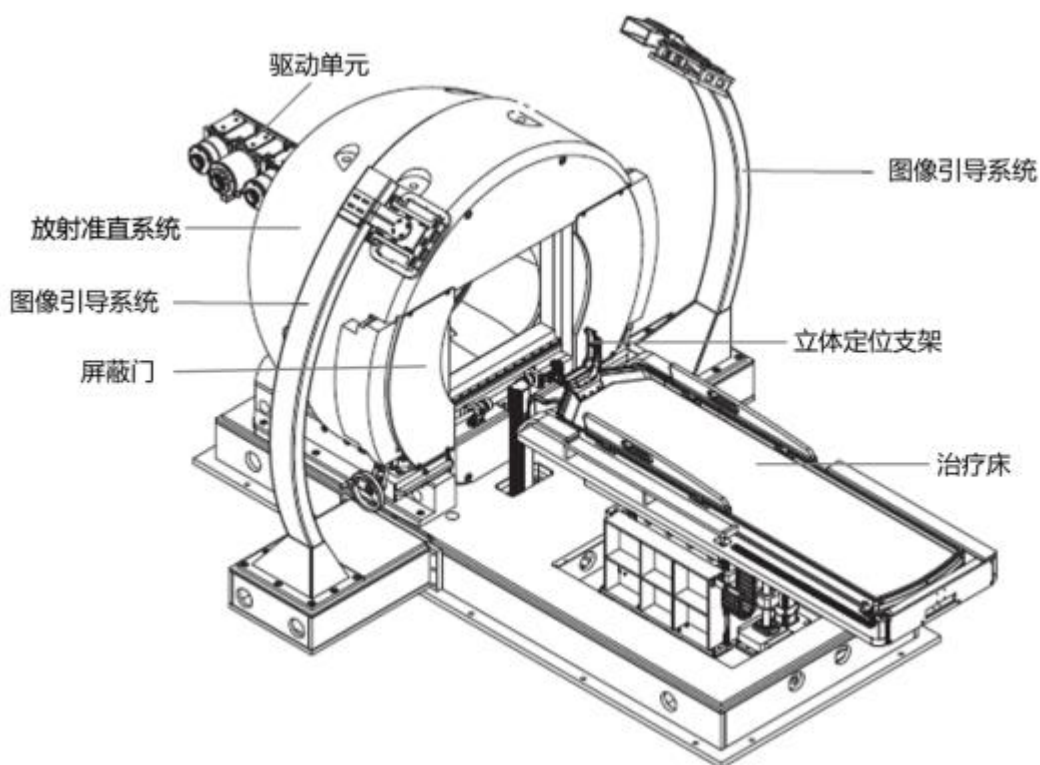


图 9-4 本项目 OUR-QGD/AR 型头部伽玛刀主体机械结构示意图

放射准直系统：由钨合金制造成的安装在源体上的源体预准直器和安装在准直体上的终准直器构成，实现源的选择性打开、关闭。源体与准直体可同步旋转进行治疗，也可通过差速运动进行源开关变换和变换终准直器孔径，取得焦点剂量和辐射野大小以及辐射角度的变化。本项目头部 γ 刀每个源由一定数量尺寸约为 $\Phi 1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 的钴粒组成，装满在内腔尺寸为 $\Phi 2.8\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的双层不锈钢圆柱形包壳内，用氩弧焊封死。屏蔽半球为由耐蚀铸铁制成的耐蚀壳体，包围着源体、准直体以及其中的治疗空

腔，右端以阶梯环与屏蔽门框连接，它与屏蔽门一起最大限度地屏蔽了放射源不必要的射线，使设备的外部环境处于安全、可控范围。

治疗床：三维治疗床用于患者治疗时仰卧，并将患者治疗计划中的每个靶点送到聚焦中心。

立体定位系统：包括立体定位框架适配器（U型架和L型架）、立体定位框架（基环、连接立杆、螺套、顶丝和头钉）、CT/MRI图框和CT/MRI适配架等。立体定位框架通过立体定位框架适配器与治疗床相结合，在系统上对颅内病灶建立三维坐标系，并实现三维定位。将规划好的靶点定位在辐射野中心位置上。CT/MRI图框是在进行CT/MRI定位时，用以标定病灶位置、大小和形状的装置。CT/MRI适配架是立体定位框架与CT/MRI诊断设备的连接装置。

图像引导系统：图像引导系统与设备组合使用，利用医学成像与可视化技术，实现在治疗前的校正和验证患者在设备上的摆位误差。其操作直观可视、定位时间短，可实现快速校验摆位误差。

治疗计划系统：为临床治疗医生提供了一个交互式CT/MRI断层图像的三维重构和数据可视化工具，能够输入和处理图像数据，确定体表、病变组织靶区及颅内其它感兴趣组织的几何描述，医生可根据病灶的体积大小，人机交互地布置、规划靶点。然后，放射治疗计划系统自动计算治疗剂量，最后计算出治疗方案。通过三维图像显示和治疗方案模拟，为患者提供治疗方案的直观表示，用三维体积剂量分布评估治疗方案，并将治疗计划结果打印输出。

本项目拟配备的OUR-QGD/AR型伽玛刀主要技术参数见表9-2。

表9-2 本项目伽玛刀技术参数情况一览表

设备名称	OUR-QGD/AR型头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统
数量	1台
型号	OUR-QGD/AR
厂家	深圳市奥沃医学新技术发展有限公司
放射源名称	^{60}Co
放射源初装总活度	$2.22 \times 10^{14} \text{Bq}$ (6000Ci)
放射源数量	30枚

辐射类型和能量	γ 射线, 平均能量 1.25MeV
半衰期	5.27 年
源轴距 (SAD)	388mm
初次装放射源时焦点标称吸收剂量率	≥ 3.0 Gy/min
准直器种类及聚焦野尺寸 (mm)	1 号 ($\phi 4$)、2 号 ($\phi 8$)、3 号 ($\phi 14$)、4 号 ($\phi 18$) 共 4 种
旋转速度	1~4r/min
自屏蔽体参数	源体外有 420mm 厚的铸铁屏蔽球壳, 形成对钴源的屏蔽。

3、核医学科项目

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体, 由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息, 而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分, 它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要有扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成, 其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 结构示意图见图 9-5。

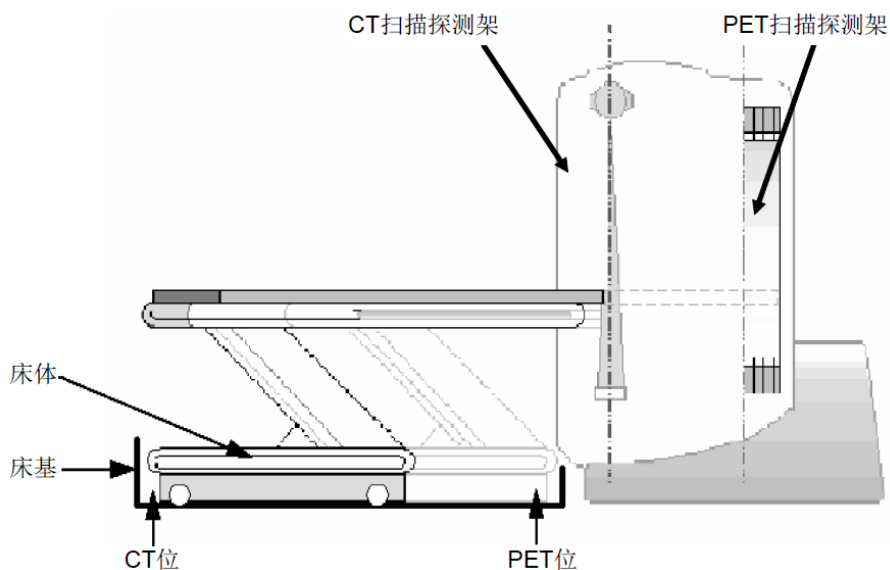


图 9-5 PET/CT 结构示意图

本项目核医学科使用放射性同位素 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断, 拟新增的射项目见表 9-3。

表 9-3 本项目新建核医学科情况一览表

放射源							
序号	放射源名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	放射源类别	工作场所名称	使用情况	环评及审批情况	备注
1	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷ ×1 枚	V	核医学科	未使用	本次环评	校准源
2	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ ×2 枚	V		未使用	本次环评	校准源
非密封放射性物质							
¹⁸ F	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 10 人=3.7×10 ⁹ Bq					核素显像
	年总用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 10 人×250 工作日 =9.25×10 ¹¹ Bq					
	日最大用量	日最大备药量*：4×3.7×10 ⁹ Bq=1.48×10 ¹⁰ Bq					源的贮存
	年总用量	年最大备药量：1.48×10 ¹⁰ Bq×250 工作日=3.7×10 ¹² Bq					
射线装置							
序号	射线装置名称	装置型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	射线装置类别	活动种类	备注
1	PET/CT	DiscoveryMI	140	600	III	使用	拟购

注：*核医学诊断项目每次最大备药量为单次使用平均量 10mCi×10 人×4=1.48×10¹⁰Bq。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量。根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）：医疗机构使用 ¹⁸F 相关活动视为“很简单的操作”，同时查阅 GB 18871-2002 得到 ¹⁸F 核素的毒性组别，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到本项目非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-4 和表 9-5。滨海中山医院核医学科所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-6。

表 9-4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10

高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 9-5 操作方式与放射源状态修正因子

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

表 9-6 PET/CT 使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/ 毒性组别	操作方式	日等效最大操作量 (Bq)
¹⁸ F	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 ($3.7 \times 10^9 \text{Bq}$) $\times 0.01$ (低毒) / 10 (液态/很简 单操作) = $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$
		源的贮存	日最大操作量 ($1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$) $\times 0.01$ (低毒) / 100 (液态/ 源的贮存) = $1.48 \times 10^6 \text{Bq}$
合计			$5.18 \times 10^6 \text{Bq}$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-6 计算结果可知本项目核医学诊断工作场所日等效最大操作量为 $5.18 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于“豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$ ” Bq，确定本项目核医学工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

• 医用直线加速器

1、工作原理

直线加速器主要是根据被加速的电子轰击高原子序数的金属靶而产生高能 X 射线的原理，利用加速器产生的不同能量的 X 射线，根据人体正常组织和肿瘤组织对射线照射的反应不同，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗。

电子发射源发射的电子，进入真空加速管被加速，然后经磁偏转装置，使电子束转向，一般转 90°或 270°，经过磁偏转转向的高速电子束，射向高原子序数的金属靶，

当电子同金属靶的原子核相撞时，速度减慢并损失部分能量，电子损失的能量转换为 X 射线，X 射线经过一个平板滤片，二次准直射出达到患者病灶进行治疗。

2、工作流程

1) 进行定位：先通过 CT 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) 制订治疗计划：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) 固定患者体位：在利用医用直线加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

4) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

5) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用直线加速器放疗工作一般流程见图 9-6。

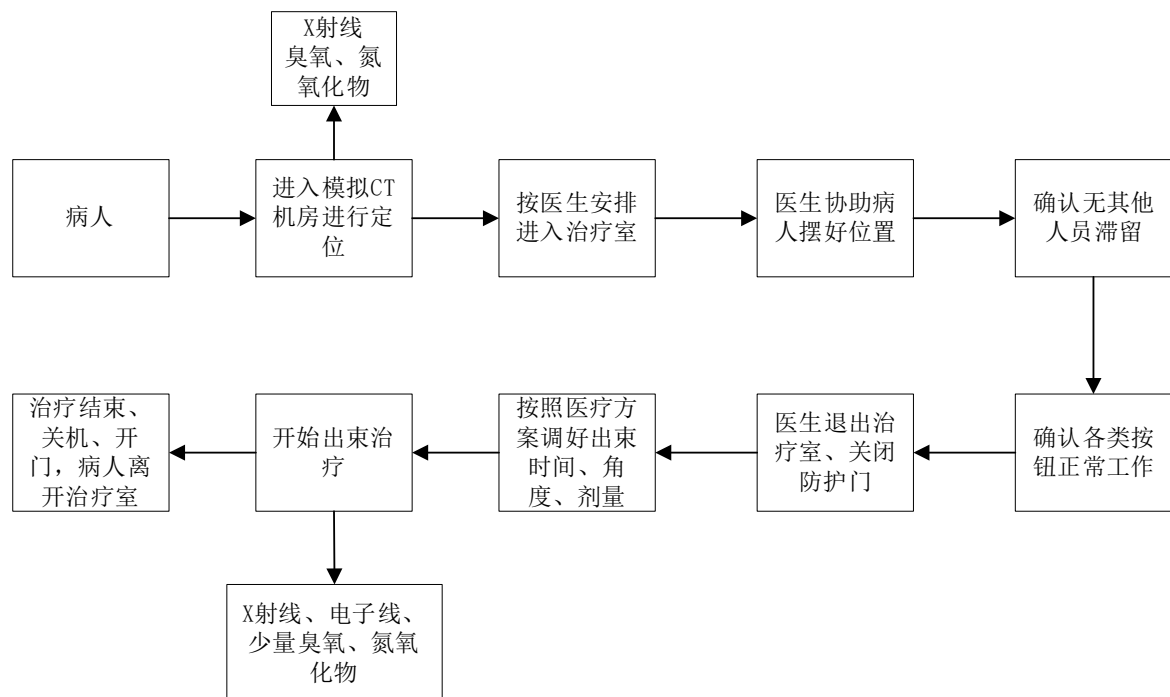


图 9-6 医用直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

• 伽玛刀

1、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，

即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

伽玛刀全称为伽玛射线立体定向治疗系统，是一种融合现代计算机技术、立体定向技术和放射外科技术于一体的治疗性设备，它采用伽玛射线几何聚集的方式，通过精确的立体定向将经过规划的一定剂量的伽玛射线集中照射于体内的预选靶点（即病灶），一次性、致死性的摧毁靶点内的组织，以达到外科手术切除或损毁的效果。由于射线采用旋转聚焦的方式，使射线经过人体正常组织时只受到瞬间、几乎无伤害的照射，并且靶点外射线量锐减，因此其治疗时照射范围与正常组织分界非常明显，边缘如刀割一样整齐，所以人们形象地称之为“伽玛刀”。

本项目拟配备的头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统先利用定位系统和计算机三维重建技术，确定病灶和临近重要器官的准确位置和范围，再利用治疗计划系统（TPS）给定靶区（病灶区）内组织对伽玛射线的吸收剂量，最后将靶点的三维坐标参数转换到照射装置的坐标系统中，通过控制入射射线束大小以达到对肿瘤的治疗。

本项目拟配备的头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统先利用定位系统和计算机三维重建技术，确定病灶和临近重要器官的准确位置和范围，再利用治疗计划系统（TPS）给定靶区（病灶区）内组织对伽玛射线的吸收剂量，最后将靶点的三维坐标参数转换到照射装置的坐标系统中，通过控制入射射线束大小以达到对肿瘤的治疗。

本项目头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统装有 ^{60}Co 放射源共 30 枚，钴源分布在球冠状源体上的纬度为 $14^\circ\sim 43^\circ$ 的范围内，具有 4 个准直体，每个准直体上安置有 30 个准直器，从钴源辐射出的 γ 射线束，经源体的初准直器、开关体、准直体上的次准直器和终准直器准直后汇聚于焦点。通过调整准直体上的出束准直器个数，形成相当于 $\phi 4\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 、 $\phi 14\text{mm}$ 、 $\phi 18\text{mm}$ 四种规格的准直器形成的焦点，以适合病灶形状大小不同的需要。

头部多源 γ 射束立体定向放射治疗系统的球冠状源体形成的射线焦点始终位于球冠状屏蔽体内部。在治疗前，首先根据病灶位置确定患者治疗体位（左侧卧、右侧卧、仰卧和俯卧），然后根据病灶位置，通过治疗床和立体定位系统固定患者。

2、工作流程

伽玛刀放疗工作流程：病人在经诊断确诊需要进行伽玛刀放射治疗后，根据病灶的部位定位体位，用真空体膜垫牢固好体位，通过 MRI 或 CT 扫描采集影像资料，用

于确定靶区位置、形状和大小，放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划。放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位，然后进行治疗，治疗结束后解除定位，关闭系统。伽玛刀放疗工作一般流程见图 9-7。

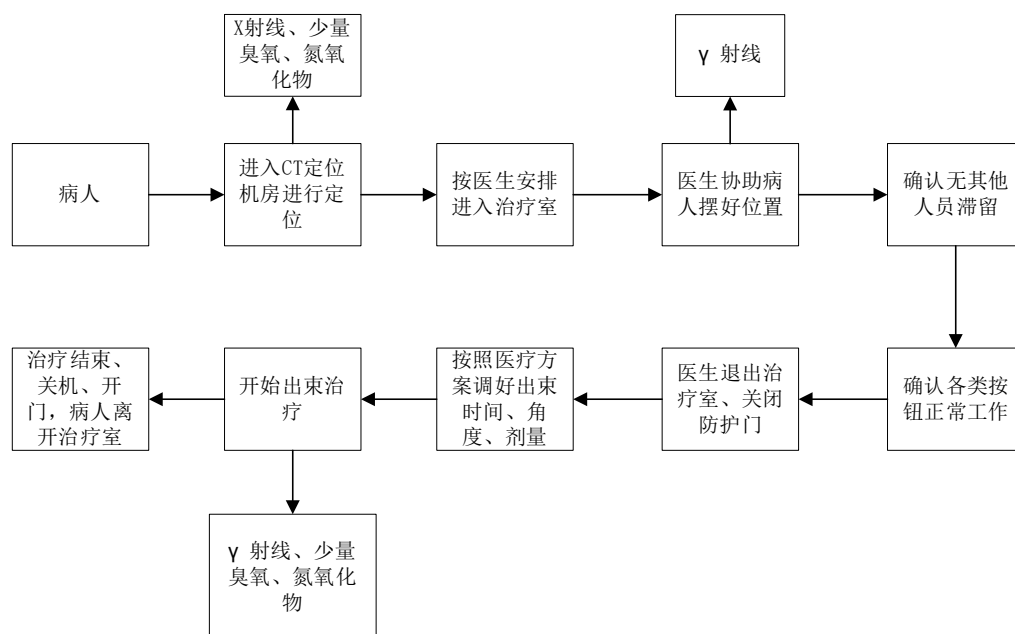


图 9-7 伽玛刀工作流程及产污环节示意图

• 核医学科

1、工作原理

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

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽，即正电子。正电子

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

2、工作流程及产污环节

本项目所使用的 ^{18}F 放射性药物拟向制药公司订购获得，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向提前向制药公司预订，制药公司在患者就诊前将药物送到核医学科的分装室内，核医学科指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室通风橱内，当天用完。

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

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

- ①接收患者，开具 PET/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的剂量；与患者预约，按需订购放射性药物；
- ③病人先进行埋针，然后通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废（注射器、棉球、药品盒）；
- ④病人注射完药物后进入注射后候诊室内等待观察（一般注射放射性药物后需等待约 30min ），待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 检查室，经医护人员摆位后，接受 PET/CT 的扫描，每次扫描约 $10\sim 20$ 分钟。扫描完成后，病人在留观室休息，留观一段时间后，若无其他情况，从病人专用通道离开。此过程病人带有 γ 射线。

PET/CT 诊断工作流程及产污环节分析见图 9-8。

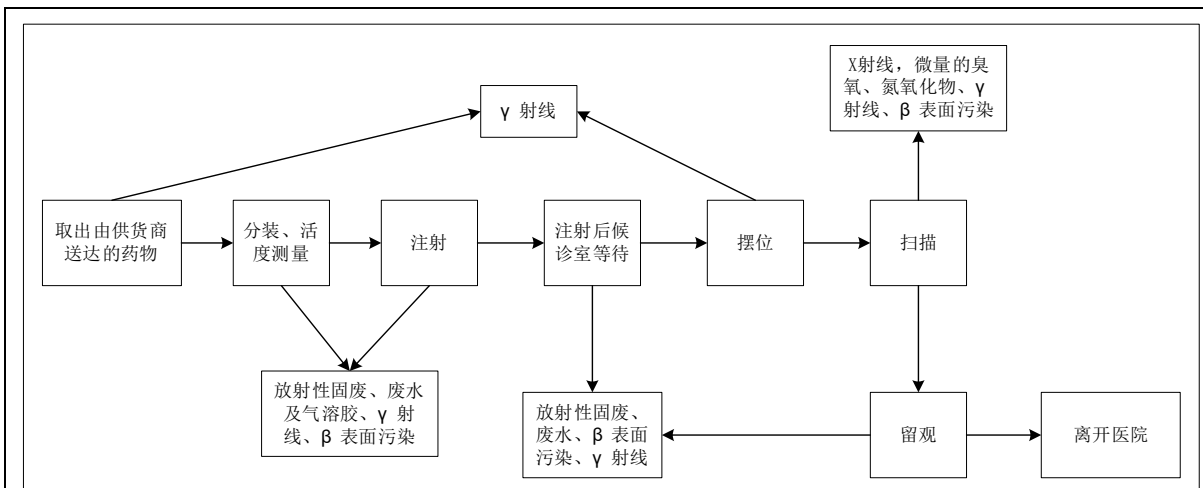


图 9-8 PET/CT 工作流程及产污环节分析示意图

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

3、核医学科人流、物流路径规划

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

医护人员路径：1、核医学科核素操作人员从肿瘤放射治疗综合楼一楼的医生入口进入核医学科，通过更衣室向东进入注射室、分装室等，工作完成后原路返回；2、PET/CT 操作人员由从肿瘤放射治疗综合楼一楼医生入口进入核医学科，向走廊行进到达 PET/CT 控制室，进行扫描操作，工作完成后原路返回。

患者路径：核医学科患者从肿瘤放射治疗综合楼一楼西侧患者入口进入核医学科，经走廊到注射窗口，在注射窗口接受给药后向东依次经过 PET 候诊、PET/CT 扫描间（机房）、留观室，再向东侧出口离开核医学科。从东侧出口可直接出肿瘤放射治疗综合楼，此出口避开人员密集处。

放射性药物路径： ^{18}F 放射性药物由厂商在患者受检前，从肿瘤放射治疗综合楼一楼东侧出入口经走廊到达核医学科分装室，铅罐原路返回。

废物路径：每日核医学诊断项目患者离开后，产生的放射性废物从各房间收集后，

经走廊、注射室集中到废物库中，标记、贮存，在废物库中的铅桶内自然衰变 30 天后，从东侧出入口送出。

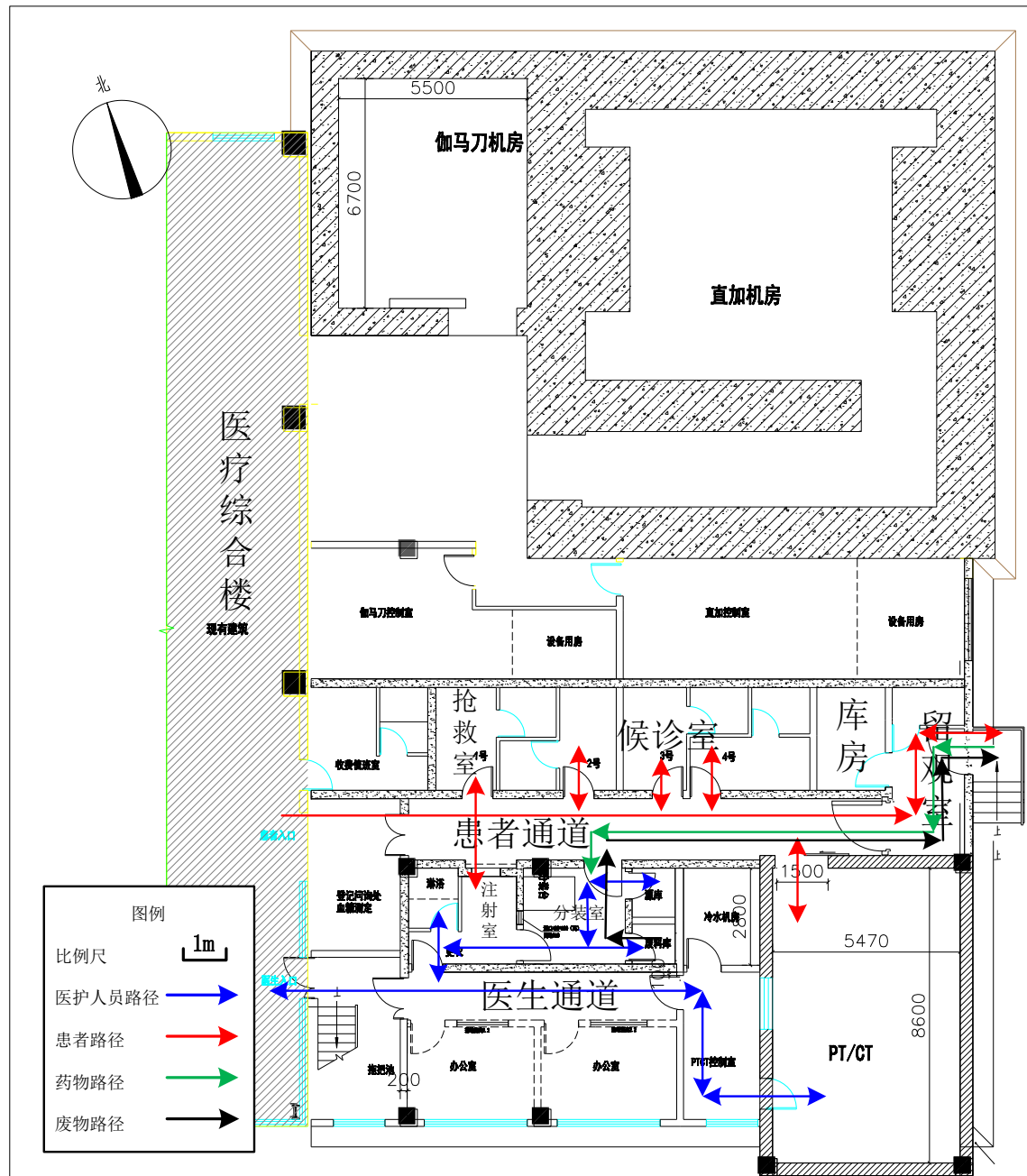


图 9-9 本项目核医学人流、物流示意图

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求：核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷；核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进

入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。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；操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测。

本次核医学诊断项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与患者有各自独立的通道；注射室与检查室分开，给药后候诊室内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者在核医学科工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉而受到额外的辐射影响。工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。本项目丙级非密封放射性物质工作场所布局满足《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）中关于临床核医学工作场所的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）要求。

污染源项描述

（一）放射性污染

• 医用直线加速器项目

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

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

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

医院拟新增的 1 台医用直线加速器电子线最大能量为 18MeV，1m 处电子线最高输出剂量率为 2500cGy/min。本项目医用直线加速器在运行时产生的高能电子束，因

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

根据《辐射防护手册（第三分册）》P100 页“表 4.6 粒子加速器运行时可能遇到的辐射”，电子直线加速器的电子线能量>10MeV 时，辐射种类有电子线、X 射线、快中子、热中子、γ 射线。

3、电磁辐射：医用直线加速器利用高压脉冲调制器产生电磁场加速低能电子到高能，运行时，脉冲调制器将直流高压转变为大功率脉冲供给磁控管，经微波传输系统馈入加速管，在加速管中建立起加速电场，期间会产生微波电磁辐射。由于加速器由金属外壳包裹，运行时产生的电磁辐射经过机器本身的金属外壳有效屏蔽，不会对周围环境造成影响。

综上所述，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），本项目医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

• 伽玛刀

伽玛刀未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入治疗机房治疗室的人员及室外公众等产生照射。

伽玛刀在治疗过程中，机房治疗室内来自放射源的直射、散射和漏射 γ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对治疗机房治疗室外的工作人员和公众产生外照射影响。

本项目拟配备的 OUR-QGD/AR 型伽玛刀内含 30 枚 ^{60}Co 放射源，总活度为 $2.22 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，为 I 类聚集源。核素 ^{60}Co 是一种人工生产的放射性核素，主要由 ^{59}Co 在核反应堆中经中子轰击后生成，半衰期为 5.27 年。 ^{60}Co 核素衰变过程中发射出 0.315 MeV 的 β 射线和能量分别为 1.173 MeV 和 1.332 MeV 的两种 γ 射线，平均能量为 1.25MeV。 ^{60}Co 放射源特性见表 9-7，衰变纲图见图 9-10。

表 9-7 ^{60}Co 放射性核素特性

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α、β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Gy m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$)
^{60}Co	5.27a	β^-	-	β^- : 0.315(99.74%) γ : 1.173 (99.87%) γ : 1.332 (99.98%)	0.308

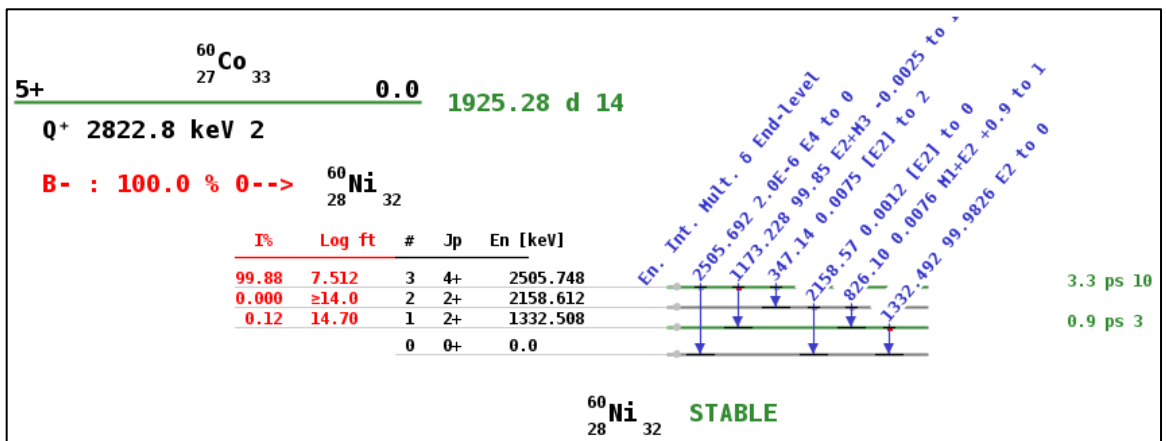


图 9-10 ^{60}Co 衰变纲图

^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

• 核医学科项目

1、辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线，能量最大为 140kV；PET 显像检查用 ^{18}F 放射性核素为 β^+ 衰变，在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中会产生能量约为 0.63MeV 的 β 射线，衰变时同时伴随发射能量为 0.511MeV 的 γ 射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行 ^{18}F 放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

本项目核医学科拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-8。

表 9-8 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）。

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

2、放射性废气

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

3、放射性废水

体内含有放射性核素的患者排泄物等；工作场所清洗废水等。PET/CT 诊断项目、日接诊量最大为 10 人次，放射性废水产生量按 $10\text{L}/\text{人次}$ 计算，工作场所每天的清洗废水约为 50L ，则放射性废水排放量为 $150\text{L}/\text{d}$ ($10\text{L}/\text{人}\times 10\text{人}/\text{d}+50\text{L}/\text{d}$)。

4、放射性固体废物

^{18}F 放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。PET/CT 诊断项目日接诊量最大均为 10 人次，放射性固体废物产生量按 $0.02\text{kg}/\text{人次}$ 计算，则放射性固体废物产生量为 $0.2\text{kg}/\text{d}$ ($0.02\text{kg}/\text{人}\times 10\text{人}/\text{d}$)。

PET/CT 使用的 ^{68}Ge 校准源每隔一定时间更换 1 次，更换时将产生的废 ^{68}Ge 校准源交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。

(二) 非放射性污染

1、废气

医用直线加速器、伽玛刀、PET/CT 机房内的空气在 X 射线、 γ 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。

2、废水

主要是工作人员产生的生活污水。

3、固体废物

主要是工作人员产生的生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

• **医用直线加速器项目**

(一) 工作场所布局及分区

本项目拟于肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座加速器机房，配置 1 台医用直线加速器（型号为：Vital Beam，X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 18\text{MeV}$ ）。医用直线加速器机房东侧为室外、南侧为控制室、设备用房，西侧为伽玛刀机房，北侧为室外，上方为屋顶及办公室，下方为土层。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定。

机房控制室与治疗室分离，治疗室面积约 97.28m^2 （不含迷路）；加速器机房设置“L”型迷路，迷路口设有防护门；有用线束仅向东墙、西墙、地面及屋顶照射。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需求”、“治疗机房均应设置迷路”等规定，布局合理。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）将直线加速器治疗室作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；将控制室、设备用房作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。医用直线加速器机房平面布局及分区详见附图 3。

(二) 辐射防护屏蔽设计

滨海中山医院医用直线加速器机房位于肿瘤放射综合楼一楼，机房整体采用混凝土浇筑，设置“L”形迷道，迷道口设铅防护门。医用直线加速器机房具体屏蔽设计参数见表 10-1。

表 10-1 医用直线加速器机房屏蔽设计参数

屏蔽体	屏蔽设计（屏蔽体厚度及材质）	主屏蔽区宽度
-----	----------------	--------

东墙	主屏蔽区	300cm 混凝土	480cm
	次屏蔽区	170cm 混凝土	
西墙	主屏蔽区	300cm 混凝土	480cm
	次屏蔽区	170cm 混凝土	
南墙	迷道外墙	150cm 混凝土	/
	迷道内墙	150cm 混凝土	/
北墙	侧屏蔽墙	170cm 混凝土	/
屋顶	主屏蔽区	300cm 混凝土	480cm
	次屏蔽区	170cm 混凝土	
防护门		15mmPb	/

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

（三）辐射安全措施

（1）电线电缆布设：医用电子直线加速器机房电缆线穿墙方式（见图 10-2）拟采用“U”型穿墙管道，电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

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

（3）本项目医用直线加速器机房拟设计有通风装置，通风管道穿墙处采用倒“S”型设计，管道内径为 $400\text{mm}\times 400\text{mm}$ 。治疗室内拟采用机械进、出风，从防护门上方至机房内，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高，通风换气频率为不低于 4 次/h。医用直线加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内（预留管道穿墙示意图见图 10-3）。

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

（5）安全联锁装置：除医用直线加速器自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭时加速器才能出束进行治疗。

(6) 紧急停机装置：除加速器上应设急停按钮外，治疗室靠近迷路位置、防护门内迷路入口处和控制室控制台上均应设置急停按钮，以避免医用直线加速器机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

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

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

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

以上辐射防护措施合理可行，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）等标准要求。

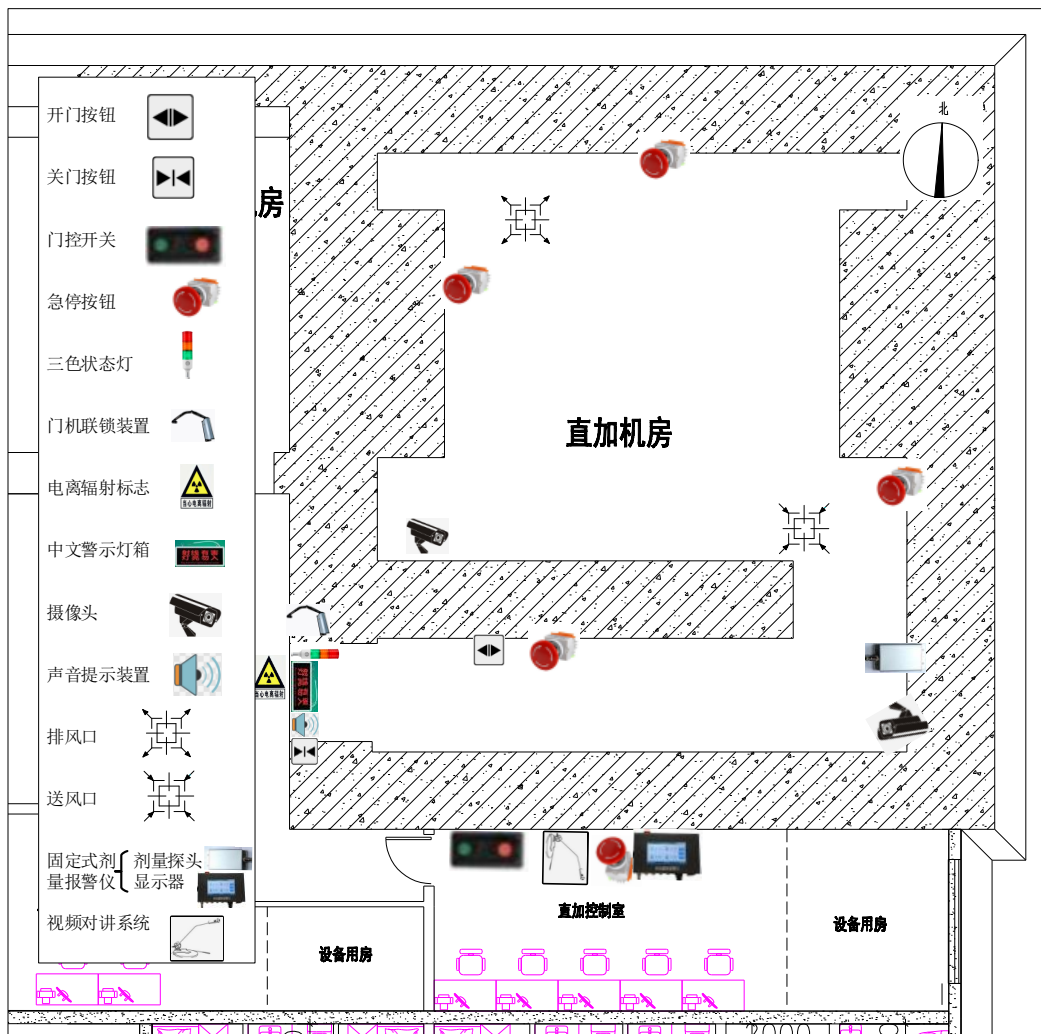


图 10-1 医用直线加速器机房主要安全设施位置示意图

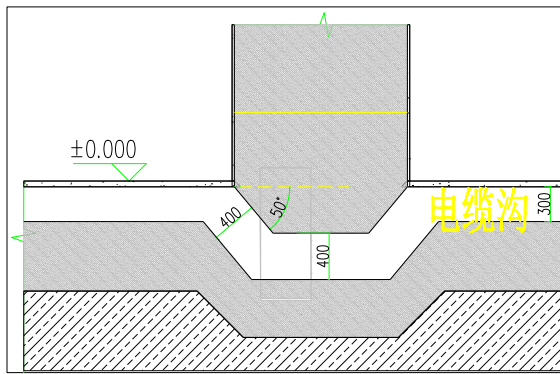


图 10-2 加速器机房电缆沟示意图

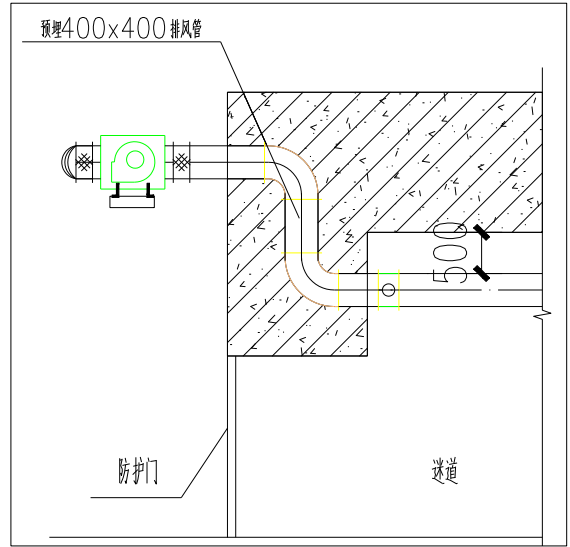


图 10-3 加速器机房预留风管道穿墙示意图

• 伽玛刀项目

(一) 工作场所布局及分区

滨海中山医院拟在肿瘤放射综合楼一楼配备 1 座 OUR-XGD/AR 型伽玛刀（内含 30 枚 ^{60}Co 放射源，总活度为 $2.2 \times 10^{14} \text{ Bq}$ ，为 I 类聚集源），机房东侧为医用直线加速器机房，南侧为缓冲间，西侧为诊室，北侧为室外，机房上方为诊室，下方为土层。伽玛刀机房控制室与治疗室分离，控制室位于治疗室南侧，伽玛刀治疗室面积约 36.85m^2 ，净高为 4m。伽玛刀机房布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将伽玛刀治疗室作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；拟将治疗室南侧控制室、设备用房等作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。伽玛刀机房平面布置及分区见附图 3。

(二) 辐射防护屏蔽设计

本项目伽玛刀机房具体屏蔽设计参数见表 10-2。

表 10-2 本项目伽玛刀机房屏蔽设计一览表

屏蔽位置	屏蔽设计参数（厚度及材质）
------	---------------

东墙	1700mm 混凝土
南墙	800mm 混凝土
西墙	800mm 混凝土
北墙	800mm 混凝土
屋顶	650mm 混凝土
防护门	10mm 铅当量
其他情况	机房（治疗室）东西长 5.5m，南北长 6.7m，治疗室面积 36.85m ² ，治疗室净高为 4m，机房容积约 147.4m ³ 。

（三）辐射安全和防护措施

1、电线电缆布设：医院在伽玛刀机房已经预留地埋式沟槽，伽玛刀机房的控制电缆均拟布设于电缆沟内。电缆沟埋设在地下，沟槽深 30cm，采用了“U”型穿墙方式从迷路外墙地下穿过墙体，电缆沟不会破坏治疗室墙体的整体屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

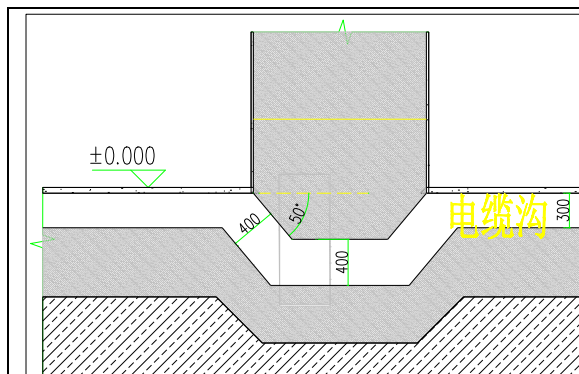


图 10-4 电缆沟槽穿墙示意图

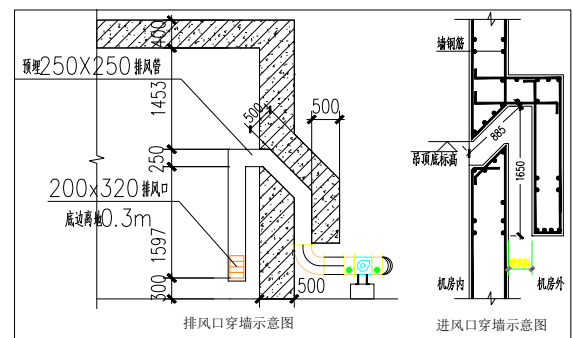


图 10-5 伽玛刀机房进风、排风管道穿墙示意图

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

3、本项目伽玛刀机房拟设计有通风装置，伽玛刀治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于 4 次/h；管道采用与墙体倾斜 45° 的穿墙管道，进、出风口设置在机房对角位置；空调管道采用类似迷道的穿墙设计。进风管道和排风管道的设计均未破坏治疗室墙体的整体屏蔽效果，射线经多次散射后，管道进出口处辐射剂量率将在控制范围内。

4、联锁装置：设计安装门-机联锁装置。只有在防护门关闭的情况下，才能开机出源治疗；在治疗状态下，如果人为将防护门打开，联锁装置会自动启动关源程序、快速中止辐射。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。伽玛刀机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。

5、警示灯、警告标志：在伽玛刀主机外壳、控制台均设计安装与伽玛刀出束联锁的具备“预备”、“照射”工作状态指示灯，门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

6、紧急停止按钮：在伽玛刀控制台、治疗室入口处及伽玛刀主机外壳上分别设计安装紧急停止按钮，紧急情况下，按紧急停止按钮后，设备自动启动关源程序、快速中止辐射，保证辐射安全。

7、辐射剂量报警系统：在伽玛刀治疗室内设计安装辐射剂量检测报警系统，并与门-机联锁相联系。该系统数字显示装置安装在控制室内，剂量检测探头安装在治疗室内，医务人员可在控制室内实时了解治疗室内的辐射水平。当辐射剂量超过预定水平时，系统的音响和（或）灯光警告装置发出警告信号。

8、视频监控和对讲系统：在伽玛刀治疗室内设计安装摄像头，并配备对讲装置，在治疗过程中工作人员可以在控制室内通过实时监控装置及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

9、其它：伽玛刀系统设计配备 UPS，断电情况下可持续供电 30 分钟以上，保证关源步骤的完成，确保病人和技术人员的辐射安全；控制室操作台上配置紧急情况下的快速手动关源装置，当自动关源系统出现故障时，可通过该装置将放射源迅速关闭，保证安全。

10、倒源流程过程中的注意事项

本项目伽玛刀所用钴-60 放射源每隔 6~8 年须更换一次。医院在换源前应于当地公安、生态环境部门、卫生健康部门备案，取得他们的协助、监督和认可。倒源需使用专门的工具，有关操作必须由相关资质单位派出的具有专门资格证书的专业人员进行，其他任何单位和个人不得私自进行倒源。

1) 进行倒源操作前，对贮存放射源的容器要事先表面检测放射性泄漏；

2) 进行每一个具体的操作之前，要仔细考虑后续的动作和操作流程，不可莽撞；

3) 现场工作人员要佩戴个人剂量仪和个人剂量计;

4) 现场工作人员要认真执行辐射防护的三要素: 距离、时间和屏蔽防护, 做好个人辐射安全防护;

5) 出现异常情况现场工作人员要及时退出辐射环境, 按照辐射事故应急预案的要求进行处理;

6) 工作区域除操作人员外, 非现场操作人员不得靠近。

以上辐射防护措施合理可行, 满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 等标准要求。



图 10-6 伽玛刀机房主要安全设施位置示意图

(四) 监测仪器和防护用品

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

滨海中山医院拟为伽玛刀项目、医用直线加速器项目各配备个人剂量报警仪 2 台、固定式剂量辐射监测仪各 1 套。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

• 核医学科项目

（一）工作场所布局及分区

本项目拟在肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建核医学科，肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建核医学科，拟建成丙级非密封放射性物质工作场所，配置 1 台 PET/CT（型号为：DiscoveryMI，最大管电压 140kV，最大管电流 600mA，属III类射线装置），拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断，PET/CT 质量控制校正时拟使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源，属V类放射源。PET/CT 机房东侧、南侧均为室外，西侧为医疗综合楼的门诊大厅，北侧为医用直线加速器机房控制室及设备用房、伽玛刀机房控制室及设备用房。上方为办公室、会议室，下方为土层。

滨海中山医院本次拟新建的核医学科项目将注射室、分装室、抢救室、注射后候诊室（2 号、3 号、4 号）、留观室、PET/CT 扫描间、废物库、源库、患者走道、衰变池等作为辐射防护控制区，将冷水机房、医护走道、控制室、更衣室、库房等作为辐射防护监督区。核医学科平面布局及辐射防护分区见附图 3。

滨海中山医院本次新增的核医学科工作场所位于肿瘤放射治疗综合楼 1 楼，整个诊断工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限。拟新建的核医学科项目人流及物流具有相对的独立通道，且出入口避开了人流量较大的区域，避免了对公众不必要的照射。

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

与安全要求》(HJ 1188-2021)、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)的标准要求。

(二) 工作场所分级和分类

本项目核医学科工作场所均为开放性工作场所,应按《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)的要求进行分类,核医学工作场所分类见表 10-3,核医学常用放射性核素的毒性权重因子见表 10-4,不同操作性质的修正因子见表 10-5。

表 10-3 核医学工作场所分类一览表

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

表 10-4 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

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

表 10-5 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理、闪烁法计数和显像、候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药、简单放射性药物制备、治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

加权活度按下式计算:

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

本项目核医学科核素使用情况见表 10-6,根据表 10-3 至表 10-5 及上式可算出各核素的加权活度及核医学科各功能房间的分类,详见表 10-6。

表 10-6 本项目核医学科工作场所分类情况

工作场所		核素毒性权重因子	操作性质修正因子	日最大操作量加权活度 (MBq)	场所类别
核医学科	注射室	1 (¹⁸ F)	1	3700	II
	分装室	1 (¹⁸ F)	1	14800	II
	PET/CT 机房	1 (¹⁸ F)	10	370	II
	注射后候诊室	1 (¹⁸ F)	10	370	II
	留观室	1 (¹⁸ F)	10	370	II

本项目核医学科工作场所分类由表 10-6 可知，核医学科注射室、PET/CT 机房注射后候诊室等均属于II类核医学工作场所。医院核医学科工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护应根据表 10-7 的要求建造。

表 10-7 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

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

(三) 辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的建设项目设计资料，该核医学科工作场所屏蔽设计如表 10-8:

表 10-8 新建核医学科项目工作场所屏蔽设计一览表

工作场所	屏蔽设计参数 (厚度及材质) ¹⁾
------	------------------------------

	四周墙体	顶部	地面	防护门	观察窗
PET/CT 机房	37cm 实心砖+3mm 铅当量防护材料	27cm 砼+3mm 铅当量防护材料	30cm 砼	8mm 铅当量	8mm 铅 当量
注射室、 分装室	24cm 实心砖	22cm 砼	30cm 砼	12mm 铅当量	注射窗： 40mm 铅 当量
抢救室	24cm 实心砖	22cm 砼	30cm 砼	/	/
注射后候 诊室 2 号、3 号、 4 号	40mm 砼+24cm 实心砖+6mm 铅当 量防护材料（注射后候诊室 3 号、4 号的北墙为 40mm 砼+24cm 实心砖 +14mm 铅当量防护材料）	27cm 砼	30cm 砼	15mm 铅当量	/
留观室	24cm 实心砖	22cm 砼	30cm 砼	12mm 铅当量	/
废物间	24cm 实心砖	22cm 砼	30cm 砼	/	/
源库	24cm 实心砖	22cm 砼	30cm 砼	/	/
通风橱	50mm 铅当量 ²⁾				

注：1、表中所列屏蔽材料密度为：混凝土 2.35g/cm³，铅 11.3g/cm³，实心砖 1.65g/cm³；

2、核医学科项目通风橱内药物最多 1.48×10¹⁰Bq（10 人的最大备药量），对照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中表 I.2，本项目通风橱选用 50mm 铅当量屏蔽厚度。

（四）辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

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

2、工作状态指示灯、闭门装置

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

3、语音对讲、监控装置

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

4、对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入

口设置单向门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；加强对控制区内注射放射性药物患者的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

5、核医学科工作场所安全防护措施管理规定

医院拟将注射室、分装室、抢救室、注射后候诊室（2号、3号、4号）、留观室、PET/CT扫描间、废物库、源库、患者走道、衰变池等作为辐射防护控制区，将冷水机房、医护走道、控制室、更衣室、库房等作为辐射防护监督区。

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

6、工作人员防护用品

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

7、监视和对讲装置

医院拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学中心用药就诊。同时，除了使用监控及对讲设备对患者进行逐个叫号注射（服药）以及扫描外，医院计划在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响。

8、源库的设置要求

本项目PET/CT所用 ^{68}Ge 校准源购买后存放于源库的保险箱内，源库必须满足以下的辐射安全防护要求：

（1）源库应设置报警装置与当地公安“110”联网，同时管理上应做到双人双锁，确保其具备“防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏”的功能，同时还需设置红外监控录像设备，且录像保存时间在15天以上，主要包括：保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控、门口设置红外报警系统和电离辐射标志。

（2） ^{68}Ge 校准源需要使用或存在未使用完的放射性药物需要入库时，由专职人员进行登记出入库。源库管理人员要做到收支账目清楚，定期检查 ^{68}Ge 校准源，做到

账物相符，如发现账物不符，应及时上报主管领导。如遇放射源被盗丢失，应立即上报主管领导并上报生态环境、公安等部门。

(3) 源库内严禁烟火。

(五) 监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，滨海中山医院拟为核医学项目配备 1 台表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-9 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020) 要求	本项目拟采取措施
核医学科	工作人员	必备	放射性污染防护服	2 件放射性污染防护服、2 套注射器铅防护套、防护提盒。
		选备	/	
	患者或受检者		/	/
	应急及去污用品		一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗剂和硫代硫酸钠的水）、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗剂和硫代硫酸钠的水）、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子若干

三废治理

一、放射性三废

1、医用直线加速器

本项目医用直线加速器开机期间无放射性废物产生。

2、伽玛刀项目

⁶⁰Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 ⁶⁰Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件 3）

3、核医学科项目

本项目运行期产生的主要放射性三废为核医学工作场所使用非密封性同位素过

程中产生的含放射性固废、放射性废水和含放射性核素气溶胶，核医学诊断工作场所拟采取以下“三废”防治措施。

(1) 含放射性核素气溶胶

核医学科药品室内的通风橱有独立排风管道，放射性药物的各项操作均在通风橱内进行，通风橱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于0.5m/s）”要求，医院购买的通风橱排风口处风速不得低于0.5m/s；核医学科注射后候诊室、留观室、注射室、分装室、PET/CT扫描间等均有排风管道连接，要确保非密封放射性物质工作为负压工作场所，工作场所各排风管道须密封良好，不与其他排风管道相通，通风管道布设如附图6所示。

医院拟在排风管道末端处配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，为保证过滤效率的有效性，建设单位需根据设备特性定期进行过滤器维护和校准，过滤器及活性炭需定期更换（1~2次/年），更换后的废活性炭经贮存自然衰变30天后作为医疗废物处置。

滨海中山医院肿瘤放射治疗综合楼为2层建筑，本项目核医学科产生的废气将通过排风管引至本楼楼顶排放，排口高于楼屋房脊，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，同时为防止公众进入楼顶，建设单位应将肿瘤放射治疗综合楼楼顶划为管控区域，并进行管理。

(2) 放射性废水

本项目核医学科产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

本项目核医学科设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与本项目新建衰变池相连，该衰变池位于肿瘤放射治疗综合楼南侧地下，避开了人群集中活动区域。工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至本次新建的衰变池系统内，本项目核医学科内大部分下水管道位于建筑体内，对于少部分外露管道将采用铅皮进行包裹，尽量减小对公众的辐射影响。

来自核医学科注射室和注射后病人专用厕所的放射性废水，含有放射性核素，由独立下水管道（详见附图7）统一集中到肿瘤放射治疗综合楼南侧地下的衰变池（结

构示意图 10-7) 中, 暂存衰变 30 天后可直接解控排放至流入医院污水处理系统作为医疗废水处理。

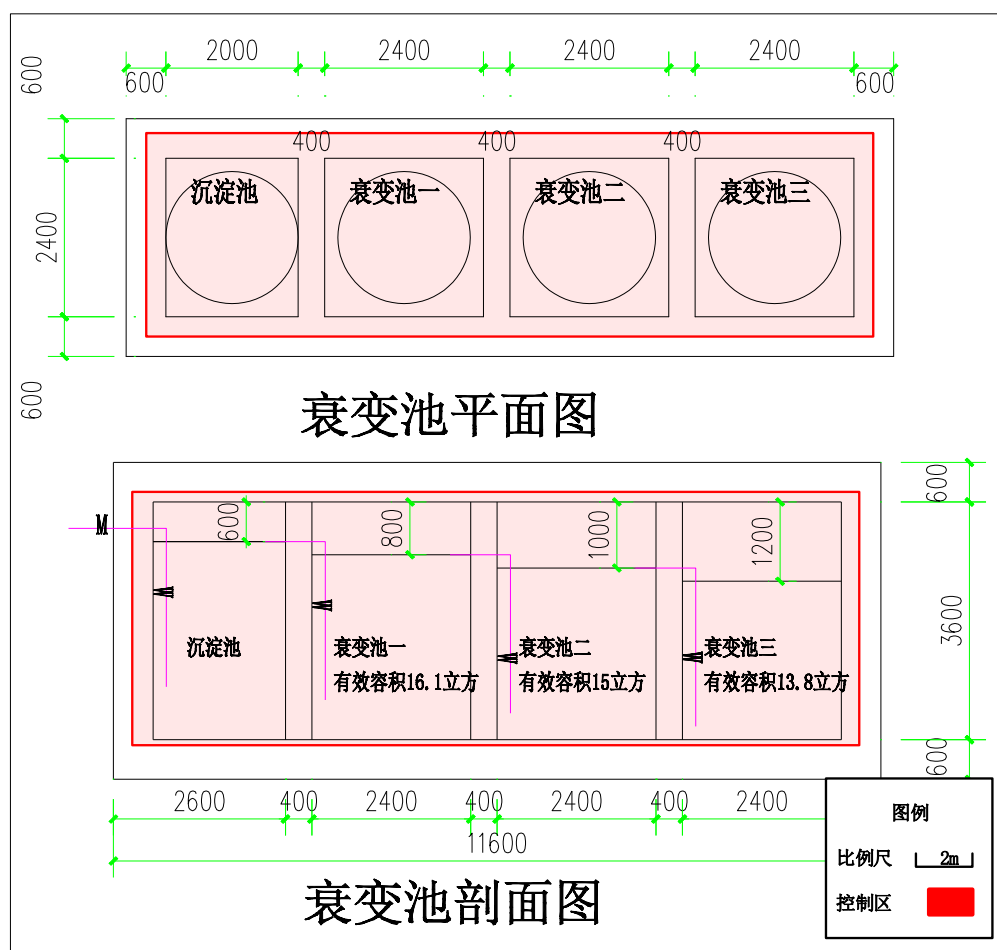


图 10-7 衰变池平面、剖面结构示意图

衰变系统包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池, 单个衰变池有效容积分别为 16.1m^3 、 15m^3 、 13.8m^3 , 总容积为 44.9m^3 ; 池壁由混凝土浇筑而成, 壁厚 300mm; 池顶为 300mm 混凝土 (低于地表 0.3m), 井盖为 50mm 的铸铁井盖 (与地表平齐)。衰变池内设导流墙, 采用推流式排放。每一个衰变池均采用导流管, 污水从池下部进入, 上部排出, 以防止短路, 保证衰变效果。本项目放射性废水衰变系统设有自控装置, 核医学科废水经过专用管道进入化粪池, 逐一流入相联通的 3 个衰变池体, 最后一个衰变池通过污水提升泵管道排至医院污水处理站。

放射性废水主要有沾有放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水, 辐射工作人员的洗涤用水以及服用药物病人的排泄物及冲洗水等。本项目核医学科工作场所中, PET/CT 诊断项目日接诊量最大均为 10 人次, 放射性废水产生量按 10L/人次计算, 工作场所每天的清洗废水约为 50L, 则放射性废水排放量为 150L/d。

根据放射性废水衰变系统工作原理，放射性废水可在该衰变系统内衰变约 300d，而本项目使用的 ^{18}F 核素的半衰期为 109.8min，故本项目衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 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。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

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

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

（3）放射性固废

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料、更换后的高效过滤器滤芯及废活性炭等。工作场所拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋分类收集，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容，按序封闭暂存于放射性衰变桶（20mmPb）内，最后转移至废物库内，暂存超过 30 天后作为医疗废物交由有资质单位进行处置（更换后的高效过滤器滤芯及活性炭，在暂存 30 天后，作为医疗废物进行处置）。核医学科注射室、注射后候诊室、留观室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 20mmPb），医院在核医学科设有 1 个废物库，面积约为 1.46m²，容积约为 6.1m³。核医学科各房间放射性废物桶内的废弃物在下班后统一集中到废物库内，放射性固体废物可在废物库内暂存超过 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”的标准要求。

PET/CT 使用的 ^{68}Ge 校准源每隔一定时间更换一次，更换时将产生的废 ^{68}Ge 校准源交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核

素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规定。

④建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

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

二、非放射性三废

1、医用直线加速器项目

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

(2) 废气：医用直线加速器机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排出室外。臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

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

本项目医用直线加速器机房治疗室容积约 409.9m^3 （不包括迷路），其排风机的设计通风量应不小于 $1640\text{m}^3/\text{h}$ ，医用直线加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。放射治疗机房采用上进下出的通风系统，从防护门上方至机房内，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高。

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

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

2、伽玛刀项目

(1) 废水

工作人员和部分病人产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理。

(2) 废气

伽玛刀机房内的空气在 γ 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排出室外。臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气。

本项目伽玛刀机房内设有通风装置，采用机械排风方式。伽玛刀机房采用上进下出的通风系统，进风口与排风口各一个。伽玛刀机房进风口位于机房内靠近防护门入口上方，排风口位于机房内西北角。进风口和排风管道未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。本项目伽玛刀机房容积约 155m^3 ，设计通风速率应不小于 $620\text{m}^3/\text{h}$ ，以满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(3) 固体废物

工作人员产生的生活垃圾将进行分类收集，并交由城市环卫部门统一处理。

3、核医学科项目

(1) 废气：PET/CT 扫描过程中，空气因 X 射线电离产生的少量臭氧和氮氧化物可通过核医学科工作场所拟设置的排风系统排至室外，臭氧在空气中约 50 分钟可自动分解为氧气。

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

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

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

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

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

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

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

4、废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。在施工阶段，将合理安排施工计划，先行修建临时化粪池，施工人员生活污水排入临时化粪池，及时清理。

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

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

• 医用直线加速器项目

根据建设单位提供的资料，医院拟配备的 1 台医用直线加速器型号为 Vital Beam，X 射线最大能量为 10MV，1m 处输出剂量率最大为 2400cGy m²/min（3F 模式），常用剂量率为 600cGy m²/min，故本项目以加速器最大剂量率 2400cGy m²/min（3F 模式）进行保守计算。

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) 的要求, 在本项目医用直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发, 在医用直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上, 假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目医用直线加速器机房的关注点设定如图 11-1。

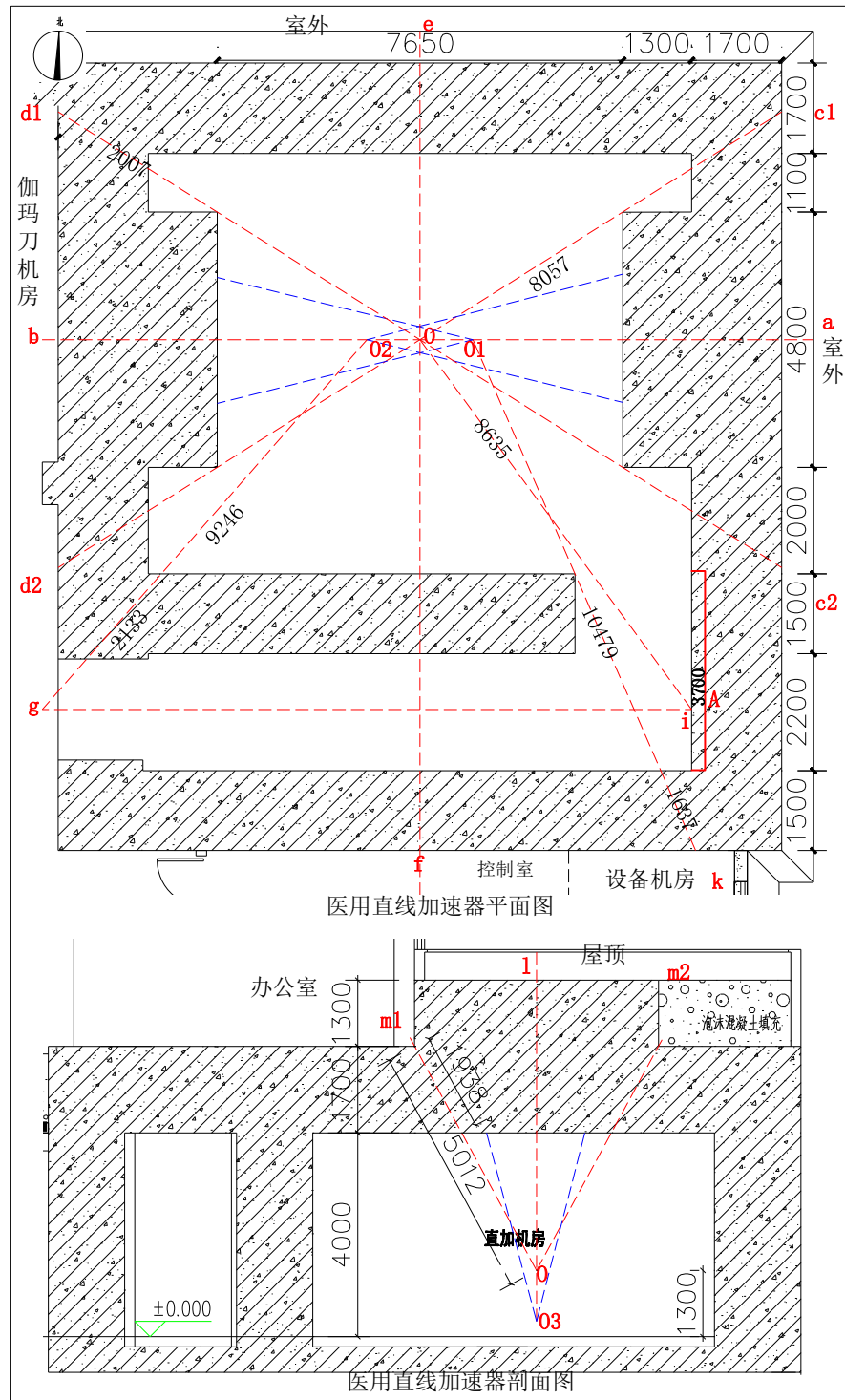


图 11-1 医用直线加速器机房估算点位示意图

1、有用线束主屏蔽区的宽度核算

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

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

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

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

表 11-1 医用直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

2、医用直线加速器机房辐射防护能力分析

(1) 有用线束主屏蔽设计核算（ a 点、 b 点和 l 点）

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

②计算模式及参数选择

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

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

式中： X —设计屏蔽厚度，cm；

θ —斜射角。

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

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

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-4}$$

式中： H_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

③预测计算结果

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

表 11-2 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■		
■	■		
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

↓	↓	↓	↓
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

(2) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（南墙 $c1$ 点、 $c2$ 点，北墙 $d1$ 点、 $d2$ 点及屋顶 $m1$ 点、 $m2$ 点）

①射线路径（射线类型）： $o_2 \rightarrow o \rightarrow c1$ （散射射线）， $o_2 \rightarrow o \rightarrow c2$ （散射射线）， $o_1 \rightarrow o \rightarrow d1$ （散射射线）， $o_1 \rightarrow o \rightarrow d2$ （散射射线）， $o_3 \rightarrow o \rightarrow m1$ （散射射线）， $o_3 \rightarrow o \rightarrow m2$ （散射射线）。

$o \rightarrow c1$ （泄漏射线）， $o \rightarrow c2$ （泄漏射线）， $o \rightarrow d1$ （泄漏射线）， $o \rightarrow d2$ （泄漏射线）， $o \rightarrow m1$ （泄漏射线）， $o \rightarrow m2$ （泄漏射线）。

对于位置 $c1$ 点、 $c2$ 点、 $d1$ 点、 $d2$ 点和 $m1$ 点、 $m2$ 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

②泄漏辐射计算模式及参数

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

③散射辐射屏蔽计算

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

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{公式 11-5}$$

式中： H_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

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

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

R_s —患者 (位于等中心点) 至关注点的距离, m。

④预测计算结果

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

表 11-3 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

	██████	██	██	██
	████████	██████	██████	██████
██████	████████	██████	██████	██████
██████	██████	█	█	█
██████	██████	██████	██████	

(3) 侧屏蔽墙屏蔽设计核算 (迷路墙外 f 点、北墙 e 点)

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

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-4 中, $f=0.001$ (泄漏辐射比率, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011), 加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3})。公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_l=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

③预测计算结果

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

表 11-4 医用直线加速器机房迷路墙外、西墙外泄漏辐射剂量率核算值

██	████████	████████
██████	████████	██████
██████	██████	██████
██████	█	█
██████	█	█
█	██████	██████
██████	██████	██████
████████	██████	██████
█	██████	██████
██████	██████	██████
██████	█	█

(4) 迷路外墙屏蔽设计核算 (迷路外墙 *k* 点)

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

②计算模式及参数选择

本项目有用线束不向迷路内墙照射, 该区考虑泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。公式 11-4 中, $f=0.001$ (泄漏辐射比率, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011), 加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3})。公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_l=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

③预测计算结果

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

表 11-5 迷路外墙泄漏辐射剂量率核算值

■	■■■■■■■■
■■■■■	■■■
■■■■■	■■■■
■■■■■	■
■■■■■	■
■	■■■■
■■■■	■■■
■■■■■■■■	■■■■
■	■■■
■■■■■■■■	■■■■
■■■■■■■■■■	■
■■■	■■■

注: ¹⁾ 根据 GBZ/T 201.2-2011 中 D.1.2.7 要求在斜射角度小于 30° 情况下, *k* 点以垂直入射保守计算。

(5) 迷路入口处辐射水平核算 (*g* 点)

根据 GBZ/T 201.2-2011, *g* 点处同时受到迷道内散射辐射 ($o_2 \rightarrow o \rightarrow i \rightarrow g$) 及加速

器的泄漏辐射 o_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量。

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

②泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 k 点。

其中 X_e 、 R 的取值由 CAD 图纸上读出，取泄漏因子 $f=0.001$ ，公式 11-3 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。计算结果见表 11-6。

表 11-6 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■
■■■■■■■■■■	■
■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■

③散射辐射计算模式及参数选择

根据 GBZ/T 201.2-2011，入口 g 点处的散射辐射剂量率 H_g 按公式 11-6 计算。

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} H_0 \quad \text{公式 11-6}$$

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

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

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射(能量见附录 B 表 B.6)的散射因子, 通常取入射角为 45° , 散射角为 0° ; α_2 值见附录 B 表 B.6, 保守使用其 0.5MeV 栏内的值;

A — i 处的散射面积, m^2 ;

R_1 —“ $o \rightarrow i$ ”之间的距离, m ;

R_2 —“ $i \rightarrow g$ ”之间的距离, m ;

H_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-7 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

■	■■■■■■■■■■
■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■
■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■

④预测计算结果

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

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

式中: H_{og} — g 处的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_g — g 处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

TVL —辐射在铅中的什值层, cm 。

表 11-8 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

■	■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■

██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████
██████████	██████████

3、预测计算结果汇总及评价

综上所述，医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 医用直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████	██████████	██████████
	██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

由表 11-9 可知，本项目医用直线加速器机房屏蔽设计能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。

(1) 电子线治疗时辐射防护评价

医用直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线。本项目医用直线加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 18MeV，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子

束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子线能量大于 X 射线最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对于 MV 级 X 射线的屏蔽要求。

(2) 医用直线加速器 6MV 模式下辐射防护评价

本项目医用直线加速器 6MV 模式下 X 射线最大剂量率(1m 处)为 1400cGy/min，小于 10MV 模式下 X 射线最大剂量率(1m 处)的 2400cGy/min，故机房屏蔽满足 6MV 模式下的防护要求。

(3) 门缝处辐射防护评价

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

(4) 电缆沟辐射影响评价

本项目电缆沟位置在机房迷道外墙(控制室北墙)处，射线在机房内经过不少于 2 次散射到达电缆沟，在电缆沟内经不少于 1 次散射(图 11-2，散射路径 $o \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c$)，根据 GBZ/T 201.2-2011，电缆沟出口处 c 点处的散射辐射剂量率 H 按公式 11-6 计算。

$$H = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} H_0 \quad \text{公式 11-6}$$

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

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

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射(能量见附录 B 表 B.6)的散射因子，通常取入射角为 45° ，散射角为 0° ； α_2 值见附录 B 表 B.6，使用其 0.5MeV 栏内的值；

A_1 —a 处的散射面积， m^2 ；

A_2 —b 处的散射面积， m^2 ；

R_1 —“ $o \rightarrow a$ ”之间的距离，m；

R_2 —“ $a \rightarrow b$ ”之间的距离，m；

R_3 —“ $b \rightarrow c$ ”之间的距离，m；

H_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-10 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

■	■■■■■■■■■■
■	■■■■■■
■■■■■■	■
■	■■■■■■
■■■■■■	■
■■■■■■	■■■■■■
■■■■■■	■
■■■■■■	■■■■■■
■■■■■■	■
■■■■■■■■■■	■■■■■■
■■■■■■	■

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，根据表 11-10 中的计算结果，本项目加速器机房的电缆沟出口处辐射剂量率为 $1.30\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足辐射防护要求。

(5) 穿墙管道处辐射防护评价

本项目医用直线加速器机房通风管道穿墙处采用倒“S”型设计，管道内径为 $400\text{mm}\times 400\text{mm}$ 。医用直线加速器机房通风管道经防护门上方由迷路到达机房内，管道穿迷路上方屏蔽到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线在机房内经过 2 次到达管道入口处（散射路径可参照防护门处散射路径 $o\rightarrow i\rightarrow g$ ），在管道内射线经不少于 2 次散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内（管道散射线路径见图 11-3）。

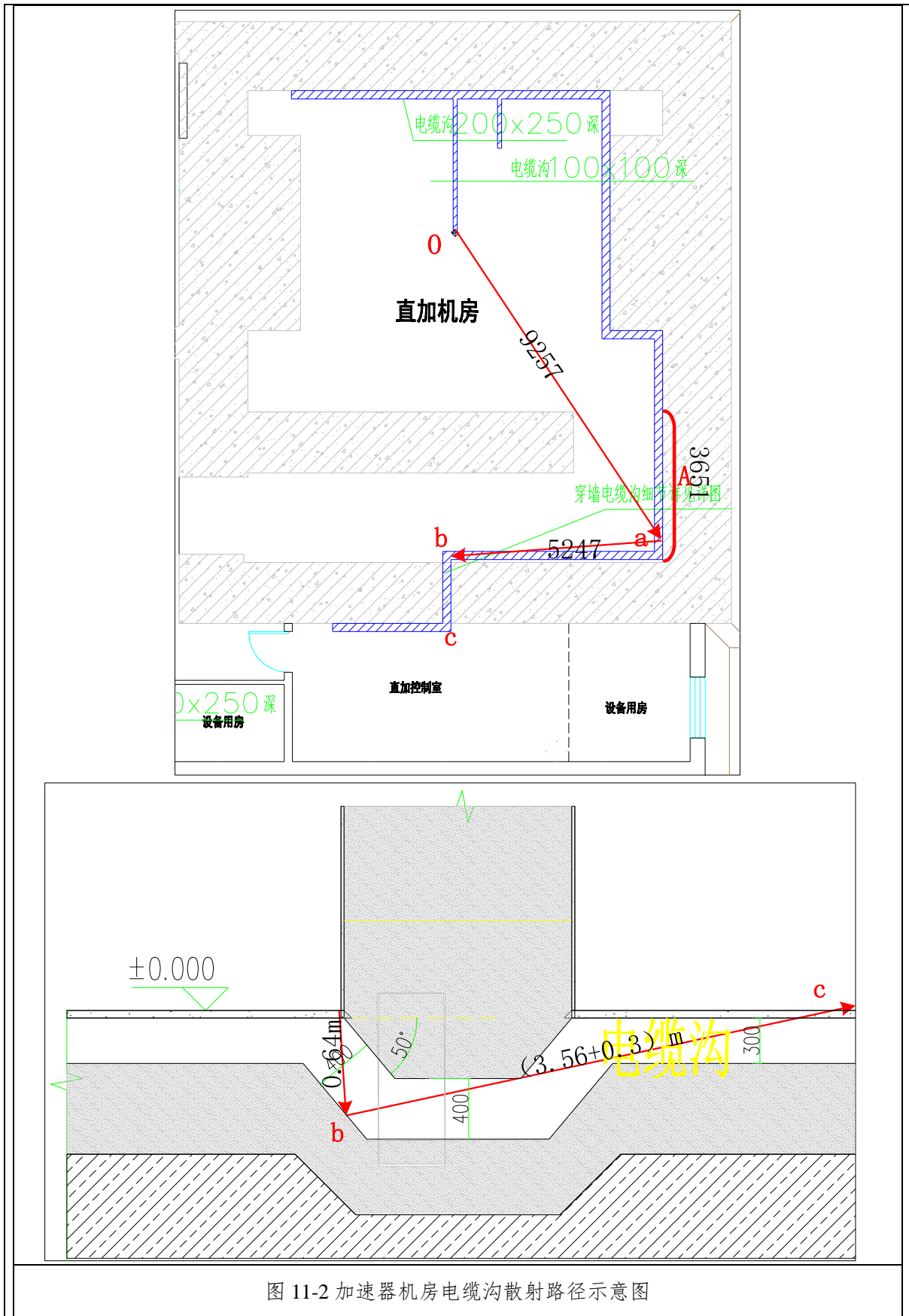


图 11-2 加速器机房电缆沟散射路径示意图

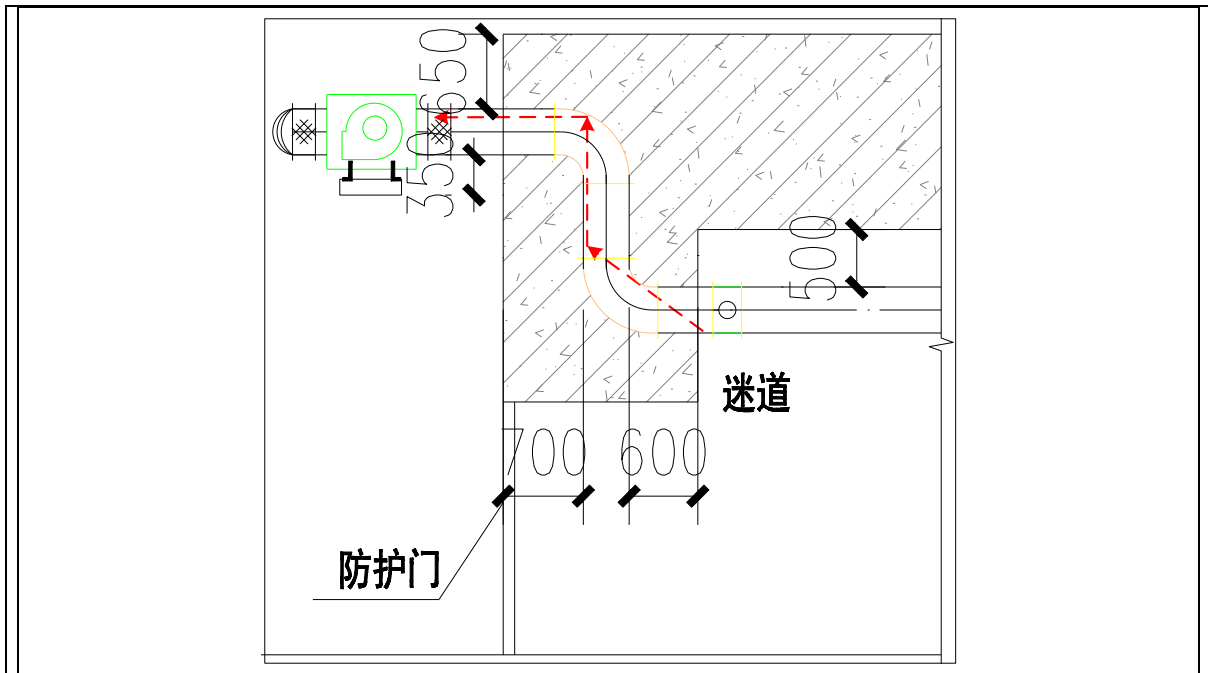


图 11-3 加速器机房预留风管道散射路径示意图

4、保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

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

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

H —考察点的周围辐射剂量率（Sv/h）；

t —考察点处年受照时间（h）；

T —居留因子；

U —使用因子。

将表 11-9 中医用直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8。本项目医用直线加速器年出束运行时间约 500h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-8 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-11。

表 11-11 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

注：1、居留因子取值见 HJ 1198-2021 表 A.1；

2、医用直线加速器机房下方无建筑且人员不可达；

3、本项目 m2 点为屋顶，居留因子小于 m1 点的办公室，故 m2 点辐射剂量率满足相关要求。

根据表 11-11 结果分析知，该项目医用直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量<0.01mSv，周围公众年有效剂量最高为 0.058mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员、公众的剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

• 伽玛刀项目

滨海中山医院拟新增 1 台伽玛刀（型号：OUR-XGD/AR，内含 30 枚 ⁶⁰Co 放射源，总活度为 2.2×10¹⁴ Bq，为 I 类聚集源），用于开展放射治疗。

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/T 201.3-2014）中“4.2.3 c）头部 γ 刀治疗机房可不设迷路，参考图见附录 D。该机房屏蔽只需考虑散射辐射，包括治疗射线和准直器的泄漏辐射的散射。自 γ 刀治疗焦点至 γ 刀可开启的治疗装置屏蔽门的张角相应的屏蔽墙区和部分屏蔽顶区域为一次散射辐射区。散射辐射与入射辐射的夹角通常为 60°~120°；其他区域为二次散射辐射区。治疗室入口门处于治疗装置后部二次散射辐射区，辐射能量接近 0.2MeV。门的防护还应考虑在治疗装置屏蔽门关闭的贮源状态下的泄漏辐射”、“7 c）头部 γ 到治疗机房依据厂家提供的最大准直器照射条件下的散射辐射场，以最接近机房墙内表面的散射辐射剂量按照距离平方反比关系计算机房外关注点的剂量率”。

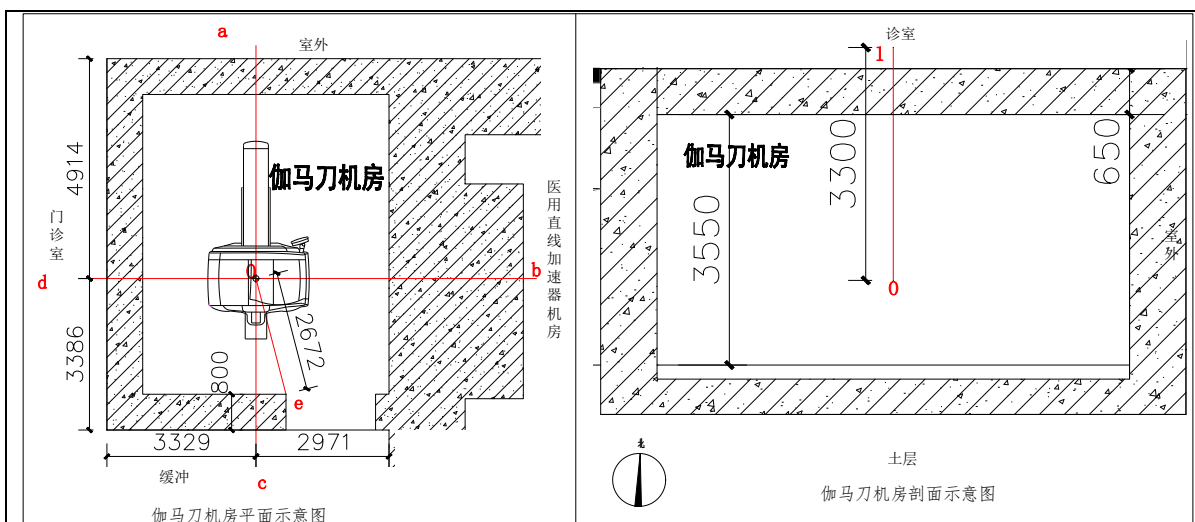


图 11-4 伽马刀机房估算点位示意图

1、计算模式

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/T 201.3-2014), 在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先按照公式 11-9 计算有效厚度 X_e (cm), 按照公式 11-10 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 依据设备厂家提供的辐射水平矩阵图, 选取最靠近机房墙内表面的最大剂量率考虑距离衰减后再按照公式 11-11 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X / \cos \theta = X \cdot \sec \theta \quad \text{公式 11-9}$$

式中: X —设计屏蔽厚度, cm;

θ —斜射角。

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

式中, TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明 TVL_1 时, $TVL_1 = TVL$ 。

$$H = \frac{H_{\text{图}} \cdot R_{\text{图}}^2}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 11-11}$$

式中: $H_{\text{图}}$ —依据设备厂家提供的辐射水平矩阵图, 选取最接近机房墙内表面的最大辐射剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$;

$R_{\text{图}}$ —依据设备厂家提供的辐射水平矩阵图, 选取的点位距辐射源点的距离, 单位为米 (m);

R —辐射源点至关注点的距离, 单位为米 (m), 本项目参考点均为相应墙外 30cm。

2、参数选取

依据设备厂家提供的辐射水平矩阵图，选取最接近机房墙体内部表面、室内距地面 1m 高度处的辐射水平最大值预测四侧墙体及防护门外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，选取距地面 3.5m 高度处的辐射水平最大值 ($522\mu\text{Sv/h}$) 预测顶部墙体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

根据厂家提供的数据，查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.6，使用插值法，当伽玛刀 ^{60}Co γ 射线散射角为 60° 时，患者散射辐射在混凝土中的 TVL 取 189mm，铅中的 TVL 取 2.3cm，在 e 处的散射辐射能量取 0.2 MeV，铅的 TVL 取 5mm。

3、剂量预测计算

依据设备厂家提供的辐射剂量分布图，选取最接近机房墙体内部表面、距地面 1m 高度处的辐射水平最大值预测四侧墙体及防护门外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，选取距地面 3.5m 高度处的辐射水平最大值 (为 $522\mu\text{Sv/h}$) 预测顶部墙体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

穿过设备中心轴垂直平面内出束状态下、测量间隔为 0.5m 的辐射剂量分布图与出束状态下距地面 1m 高度处、测量间隔为 0.5m 的辐射剂量分布图 (由厂家提供，见附件 6) 如下图所示：

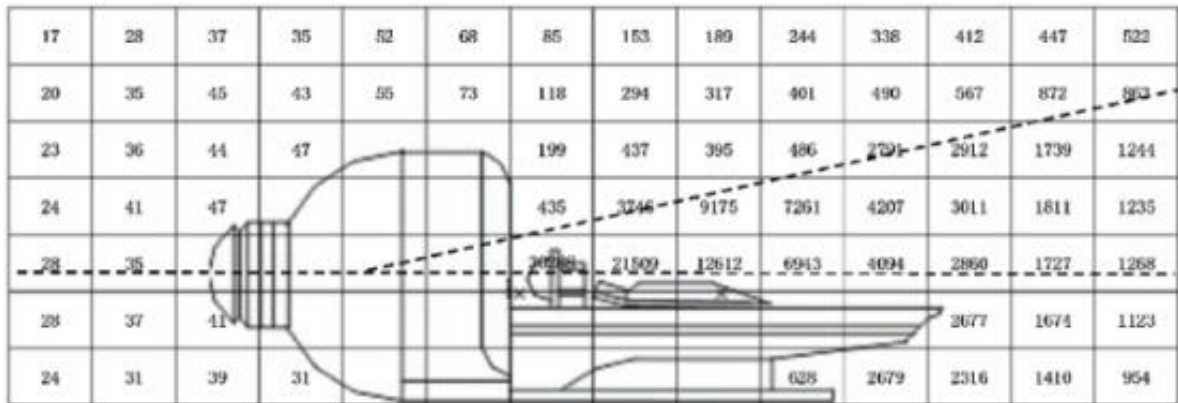


图 11-5 穿过设备中心轴垂直平面内出束状态下、测量间隔为 0.5m 的辐射剂量分布图

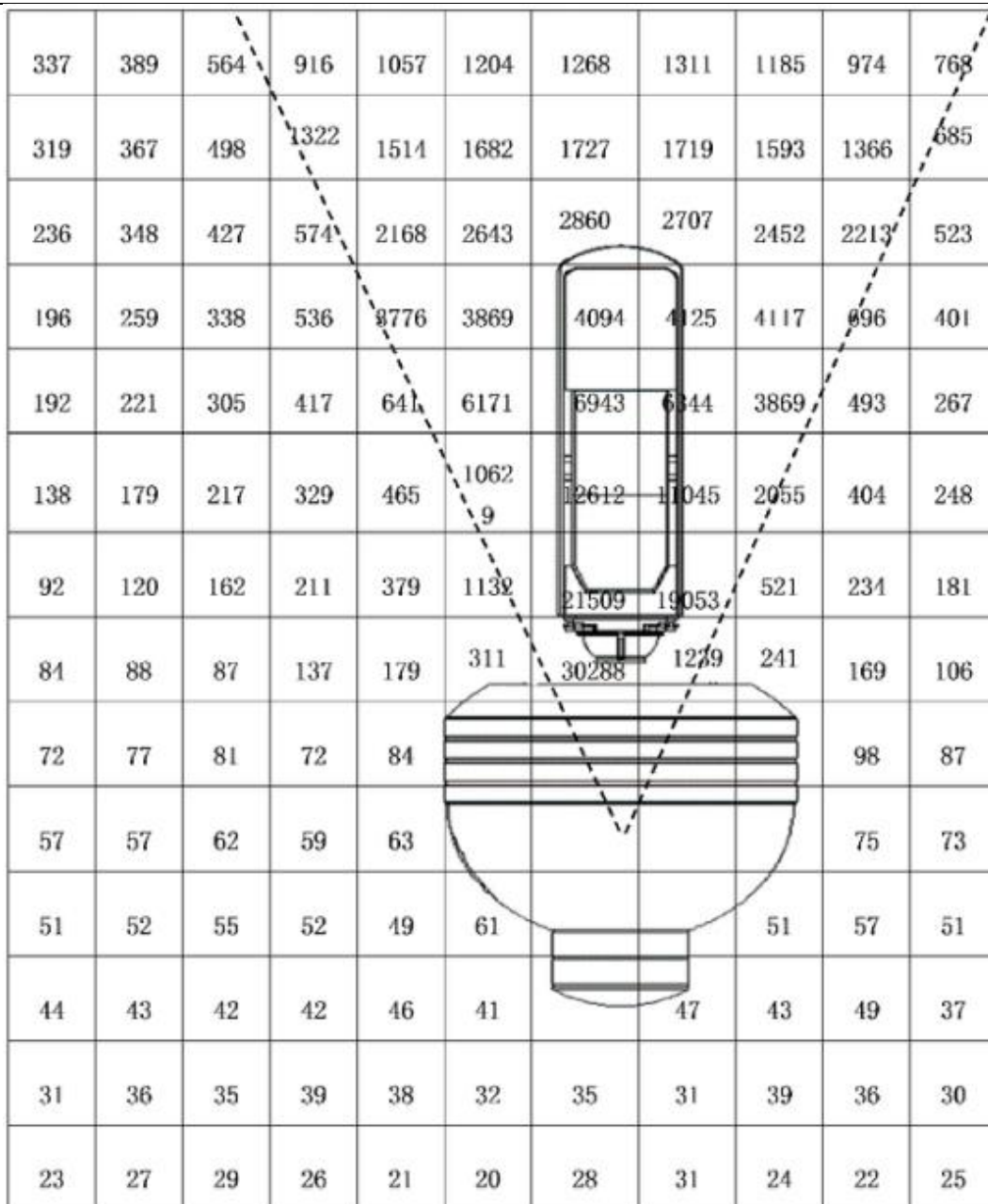


图 11-6 出束状态下距地面 1m 高度处、测量间隔为 0.5m 的辐射剂量分布图

依据设备厂家提供的辐射水平矩阵图，选取最靠近机房墙内表面的最大剂量率再考虑距离衰减后，将相应屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，按照公式 11-11 得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，计算结果见表 11-12，其中 X 、 R 的取值由建设单位提供的 CAD 图纸上读取。

表 11-12 伽玛刀机房出束状态下参考点处的辐射剂量率核算值

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

██████████ ██████████ ██████████	█	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	█	██████████	██████████	██████████	█

注：*本项目伽玛刀机房防护门保守按照装在机房南墙内侧的情况进行计算。

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014），本设备贮源状态下距源1m处的空气比释动能率不超过20μGy/h，则贮源状态下屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）计算结果见表11-13。

表 11-13 伽玛刀机房贮源状态下参考点处的辐射剂量率核算值

██████████	██████████ ██████████	██████████ ██████████	██████████	██████████ ██████████	██████████ ██████████	█
██████████ ██████████	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	██████████	██████████	██████████	█
██████████ ██████████	█	█	██████████	██████████	██████████	█

计算结果表明，本项目伽玛刀正常运行工况下，机房防护墙外的辐射剂量率为（<0.001~0.157）μSv/h，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中“机房四侧屏蔽墙外30cm处剂量率目标控制值为2.5μSv/h”的要求。

4、预测计算结果汇总及评价

综上所述，本项目伽玛刀机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-14。

表 11-14 伽玛刀机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

计算结果表明，本项目伽玛刀正常运行工况下，机房周围的辐射剂量率满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中的剂量控制要求。

(1) 机房门缝处辐射防护评价

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

(2) 电缆沟辐射防护评价

电缆沟 m 处的散射辐射剂量采用《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/T 201.3-2014）中公式计算：

$$H_m = \frac{H_0 \cdot S_w \cdot a_w \cdot f}{R_0^2 \cdot R_1^2} \quad \text{公式 11-12}$$

式中：S_w—n 处的散射面积，m²；

a_w—散射体的散射因子，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4，本项目取 2.15×10⁻³；

R₀—辐射源至散射体中心点的距离，m；

R₁—散射体中心点至计算点的距离，m；

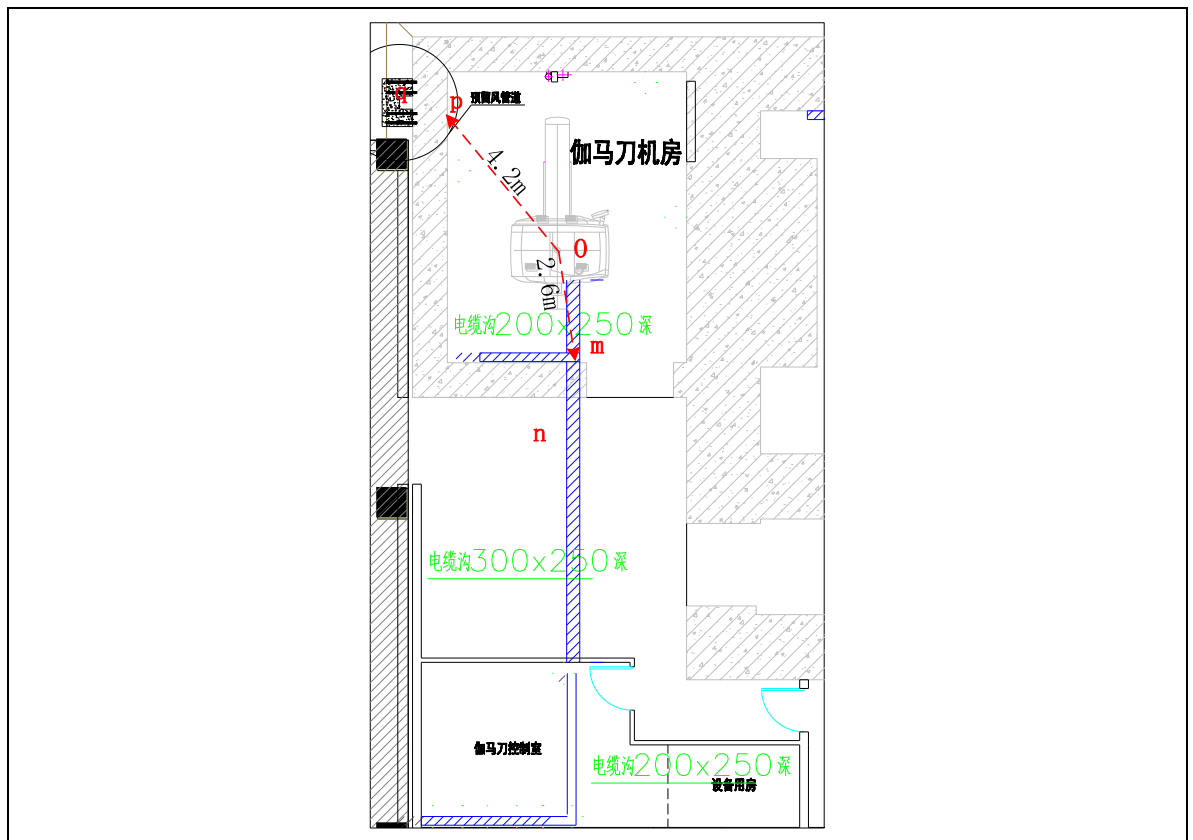
f—泄漏辐射比率，保守考虑，本项目取 1。

表 11-15 伽玛刀机房电缆沟 m 点处辐射剂量率计算结果

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，射线经几次散射后（电缆沟槽散射路径见图 11-7），出口处辐射剂量为 $3.87E-04\mu\text{Sv/h}$ ，在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

(3) 伽玛刀机房通风管道采用与墙体倾斜 45° 的穿墙管道，进、出风口设置在机房对角位置，管道采用类似迷道的穿墙设计。管道经机房西墙上方到达机房内，管道系统均避开主射线方向，保守考虑本项目射线在管道内经过 2 次散射（散射路径 $o \rightarrow p \rightarrow q$ ）到达机房外，依据设备厂家提供的辐射水平矩阵图，选取最靠近机房墙内表面的最大剂量率 $337\mu\text{Sv/h}$ （西墙 4m 处的剂量），根据式 11-12，进风、排风管道出口处的辐射剂量率分别为 $1.51E-02\mu\text{Sv/h}$ 、 $7.38E-03\mu\text{Sv/h}$ （散射面积保守取 1m^3 ），故本项目通风管道、排风管道出口处辐射剂量在控制范围内（见管道散射路径图 11-8）。



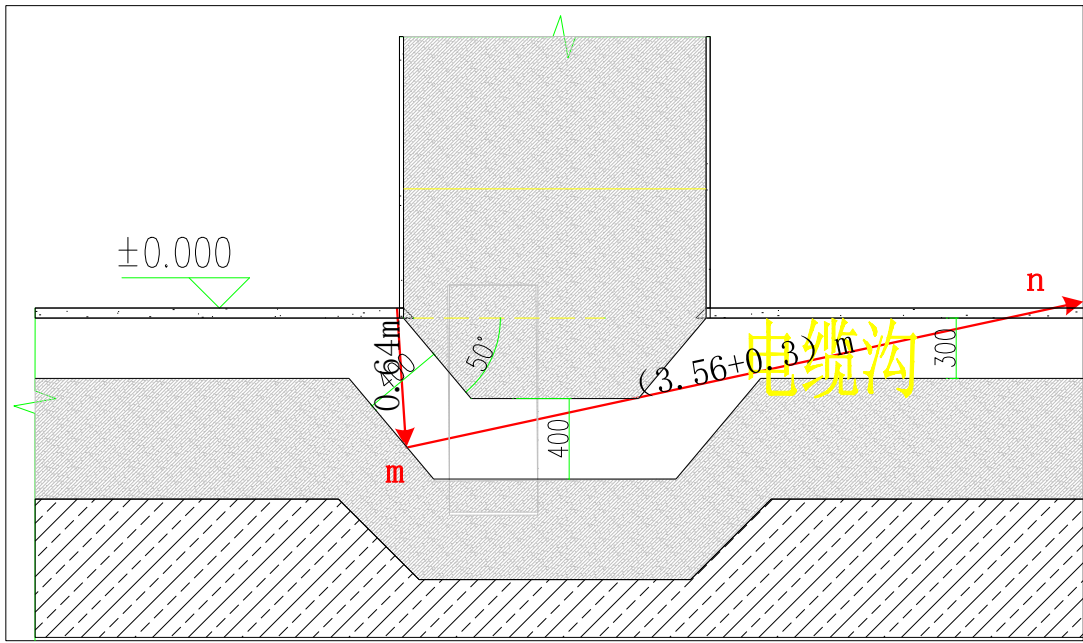


图 11-7 电缆沟槽散射路径示意图

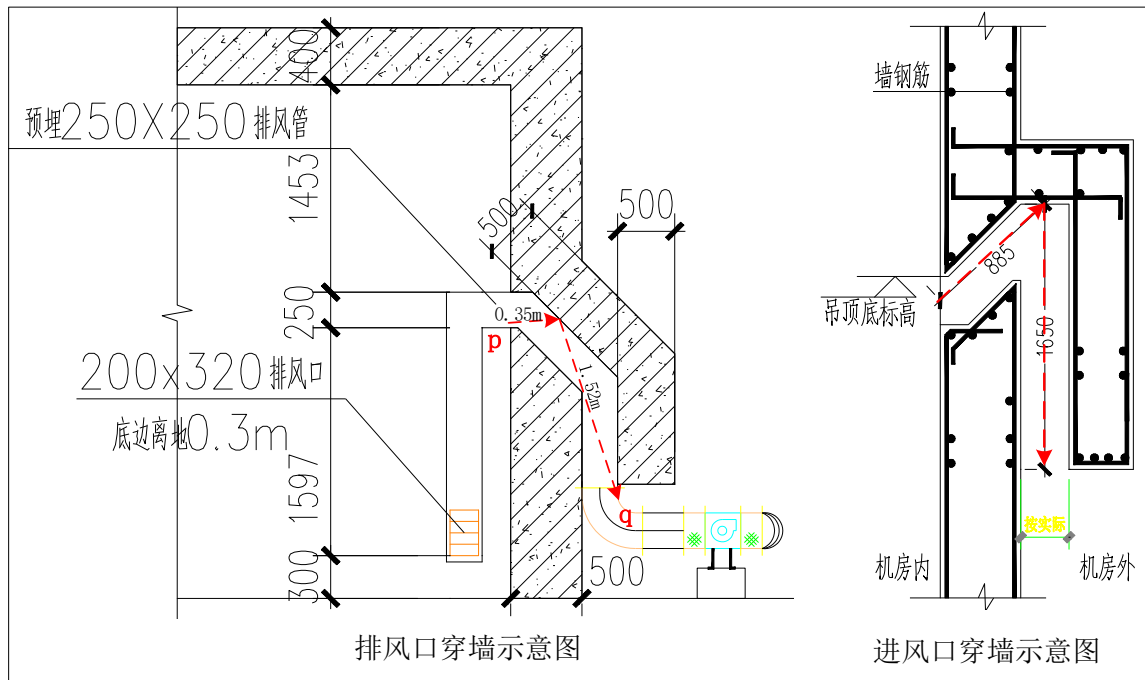


图 11-8 伽玛刀机房风管道散射路径示意图

5、保护目标有效剂量评价

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = K_{\alpha} \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-13}$$

式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量 (Sv)；

K_a —考察点的周围空气比释动能率 (Gy/h) ;

t —考察点处年受照时间 (h) ;

T —居留因子;

U —使用因子;

简化估算: 1mGy 近似为 1mSv。

将伽玛刀机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-13, 本项目伽玛刀年运行时间约 500h, 根据各考察点处年受照时间, 并考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子, 则伽玛刀机房外辐射剂量预测结果见表 11-16。

表 11-16 伽玛刀机房外年有效剂量预测结果

考察点名称	辐射剂量率估算值 (Gy/h)	居留因子	使用因子	年受照时间 (h)	年有效剂量估算值 (mSv)	是否满足要求
控制室	0.001	1	1	500	0.001	是
缓冲间	0.001	1	1	500	0.001	是
候诊室	0.001	1	1	500	0.001	是
治疗室	0.001	1	1	500	0.001	是
办公室	0.001	1	1	500	0.001	是
走廊	0.001	1	1	500	0.001	是
楼梯间	0.001	1	1	500	0.001	是
卫生间	0.001	1	1	500	0.001	是

注: 居留因子取值见GBZT 201.1-2007 附录A;

在进行放射治疗前, 工作人员需进入机房对病人进行摆位, 此时放射源处于贮存状态, 工作人员进行摆位时距离设备约 1m, 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/T 201.3-2014) 附录 B.2 贮源状态下距源 1m 处的空气比释动能率不大于 20 μ Sv/h, 平均每位病人摆位/解除摆位各 1min, 年门诊量最大 2500 人次, 则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为 1.67mSv。根据表 11-16 理论计算结果, 控制室位于缓冲间南侧, 其辐射工作人员年剂量估算值 < 0.001mSv/a; 本项目伽玛刀运行后周围公众年有效剂量最大值为 0.035mSv, 均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 的剂量约束值要求 (职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv)。

• 核医学科项目

本项目主要污染因子为 ^{18}F 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 β 、 γ 射线及 β 放射性表面污染；PET/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

1、 β 射线辐射影响分析

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

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\rho\max} \quad \text{公式 11-14}$$

式中： $E_{\beta\max}$ — β 射线的能量，MeV；

ρ —物质的密度， g/cm^3 。

d —与最大射程对应的防护厚度，cm。

主要计算参数及结果见表 11-17。

表 11-17 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	能量 MeV	密度 g/cm^3	防护厚度 cm
^{18}F	0.063	11.3	0.0004
	0.165	11.3	0.0007
	0.294	11.3	0.0013

本项目通风橱采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体、顶部采用混凝土、实心砖加一定当量的防护材料，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，本项目 ^{18}F 放射性核素 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

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

2、 β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响，因此，为了使本项目核医学科的 β 放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002

规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

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

②本项目放射性核素操作均在通风橱中进行；

③操作 ^{18}F 放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

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

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

3、 γ 射线辐射影响分析

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

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

式中： x —屏蔽厚度，mm；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，mm；

A —单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

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

H_p —屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —放射源到考察点的距离，m。

由公式 I.1 推导可得：

$$H_p = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} 10^{\left(\frac{-x}{TVL}\right)}$$

公式 11-15

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 ^{18}F 什值层见表 11-18。

表 11-18 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度（TVL）

根据工程分析可知，核医学诊断项目辐射影响主要包括药物分装（含质控的活度测量过程）、注射、患者候诊、扫描和留观等过程，主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响，根据公式 11-15 可估算出核医学科项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-9，预测结果见表 11-19。

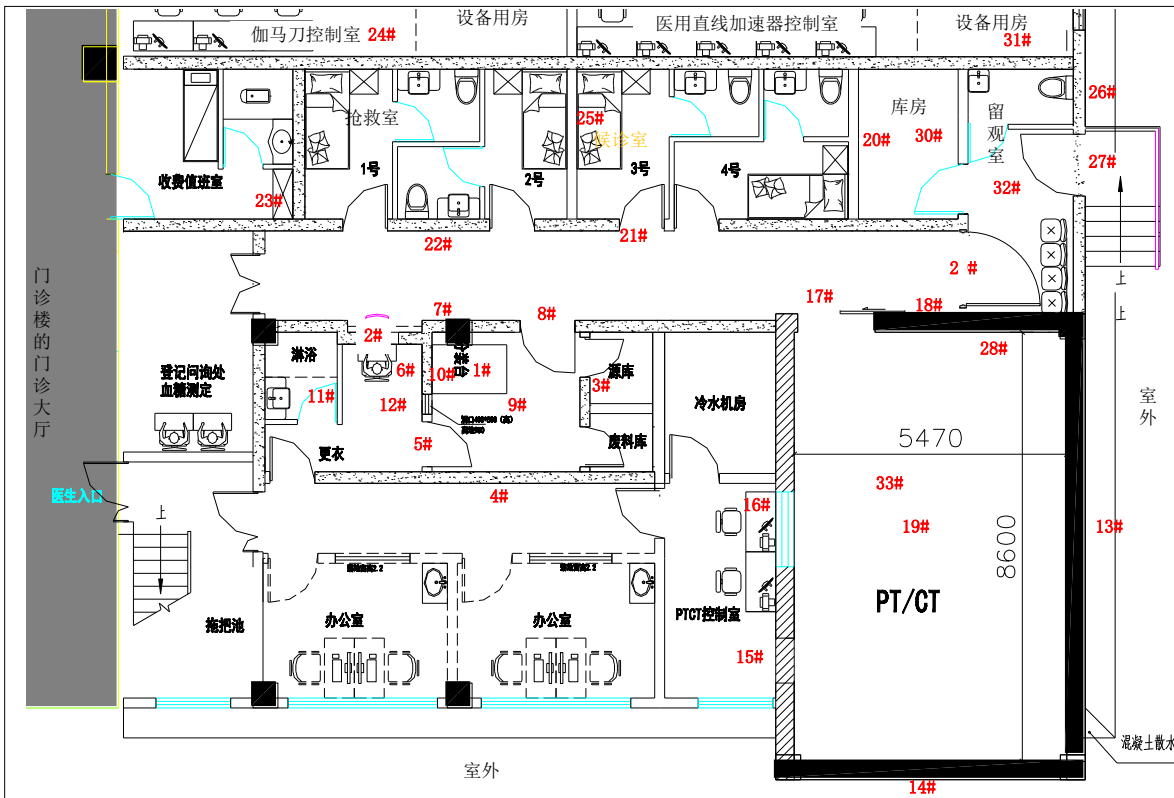


图 11-9 核医学项目剂量率估算点位示意图

表 11-19 核医学项目工作场所辐射水平估算结果

■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■

■	■	■	■	■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

- 注：1、本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，混凝土密度为 2.35g/cm^3 ，铅板密度为 11.34g/cm^3 ，实心砖密度为 1.65g/cm^3 ；
2、通风橱内药物最多 $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$ （10人最大备药量）；
3、核医学科 PET/CT 诊断项目核素分装、注射阶段，周围剂量当量率常数（裸源）取 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq h}$ ，注射后带药患者候诊、扫描、留观阶段，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率保守按裸源取 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq h}$ ；
4、留观室内源强保守计算为注射源强的 70%。

由表 11-19 的理论估算结果可以看出，由于有 50mm 铅当量通风橱屏蔽，¹⁸F 药物取药、分装过程中对操作人员的躯干辐射影响较小，但由于需要用手操作，手部剂量较高。¹⁸F 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服。¹⁸F 药物在操作过程中及患者在显像过程中对分装室、注射室、给药后候诊室、留观室及 PET/CT 外的环境影响较小，分装室、注射室、给药后候诊室、留观室及 PET/CT 机房的防护设计均能够满足 ¹⁸F 核素的辐射防护要求。候诊期间由于患者相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射、分批候诊的方式，严格按照要求控制候诊室内患者的数量，减少对患者与对外环境的辐射影响。

4、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 140kV 核算 PET/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-20。

表 11-20 核医学科 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅板密度为 11.34g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³；
2、混凝土参照 GBZ 130-2020 中表 C.5 及表 C.6 中等效铅当量厚度数值采用插值法求得。

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

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

109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。

(1) 关注点处散射辐射空气比释动能率计算

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

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

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

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

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

S —主束在受照人体上的散射面积，本项目取 314cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

r —受照体至关注点的距离；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-17：

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-17}$$

式中： X —铅厚度；

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-21。

表 11-21 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

(2) 关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \quad \text{公式 11-18}$$

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

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-17。

按照公式 11-18 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-22。

表 11-22 PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{18}F 放射性药物的辐射剂量率核算值

■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
			■	■	■	■					
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

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

计算结果表明，PET/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/200mA）时，叠加放射性药物的辐射影响，机房四周墙体、顶部及防护门处的辐射剂量率为（0.060~1.510） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。

5、保护目标的有效剂量估算

根据表 11-19 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-23。

表 11-23 核医学诊断项目工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

序号	关注点名称	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	停留时间 (h/a)	停留概率 (%)	辐射工作人员年有效剂量 (mSv/a)	公众年有效剂量 (mSv/a)
1	机房东墙	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
2	机房西墙	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
3	机房南墙	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
4	机房北墙	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
5	机房顶部	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
6	机房防护门	1.510	2000	0.05	0.0151	0.0151
7	机房东门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
8	机房西门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
9	机房南门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
10	机房北门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
11	机房顶门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
12	机房东门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
13	机房西门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
14	机房南门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
15	机房北门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
16	机房顶门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
17	机房东门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
18	机房西门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
19	机房南门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
20	机房北门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024
21	机房顶门外	0.060	2000	0.05	0.0024	0.0024

描过程约 20 分钟。预测本项目运行后，PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 10 人次。本项目 PET/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-24。

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

根据表 11-23、表 11-24 估算结果，分装过程中工作人员受到的年有效剂量最大为 0.20mSv，注射过程中工作人员受到的年有效剂量为 0.032mSv，扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 1.384mSv (0.124mSv/a+1.26mSv/a)。医院拟为核医学诊断项目安排 2 名护士（负责分装及注射）、2 名医师及 2 名技师（负责操作设备、指导病人摆位）。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据理论估算可知，本项目 2 名护士（负责分装及注射）平均年有效剂量为 0.116mSv，2 名医师及 2 名技师（负责操作设备并指导病人摆位、取消摆位）平均年有效剂量最大约为 1.498mSv，均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据表 11-23 估算结果，核医学诊断项目工作过程中，周围公众（控制区、监督区外）年有效剂量最大为 0.081mSv，医用直线加速器控制室受到注射后候诊室 3 号、4 号的叠加受照剂量为 0.098mSv/a，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）本项目公众的剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

辐射剂量叠加分析：

(1) 辐射工作人员辐射剂量叠加

辐射工作人员辐射剂量叠加主要考虑辐射工作人员在同时开展多项放射性工作

的情况下，致辐射工作人员所受辐射剂量的总和。

本项目医用直线加速器、伽玛刀运行时产生的辐射剂量 $<0.001\text{ mSv/a}$ ，其辐射影响可忽略不计。医用直线加速器、伽玛刀控制室与核医学科的控制区北侧边界共用一堵屏蔽墙，其辐射工作人员受到核医学运行时产生的辐射剂量最高为 0.098mSv/a ，伽玛刀工作人员摆位过程中最大有效剂量为 1.67mSv/a 。故医用直线加速器辐射工作人员受照辐射剂量最高为 0.098mSv/a ；伽玛刀辐射工作人员受照辐射剂量最高为 1.67 mSv/a ；核医学辐射工作人员受照辐射剂量最高为 1.498 mSv/a （摆位过程）。

本项目辐射工作人员叠加相应辐射影响后，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中本项目职业人员的剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ）。

（2）公众辐射剂量叠加

公众辐射剂量叠加主要考虑公众同时接近不同辐射工作场所的情况下，致公众年所受辐射剂量的总和。

本项目2座放疗机房北侧共用一堵屏蔽墙，则加速器机房西侧、伽玛刀机房南侧缓冲间处的公众受照叠加辐射剂量最高为 0.024mSv/a （ $0.014\text{mSv/a} + 0.010\text{mSv/a}$ ），2座放疗机房北侧屏蔽墙外的公众受照叠加辐射剂量最高为 0.017mSv/a （ $0.013\text{mSv/a} + 0.004\text{mSv/a}$ ）。核医学科、加速器机房东侧的公众年照叠加辐射剂量最高为 0.063mSv/a （ $0.003\text{mSv/a} + 0.06\text{mSv/a}$ ）。

考虑距离对射线的衰减作用，本项目周围 50m 评价范围内环境保护目标处（本项目东侧幸福支路）公众受照剂量最大为 $<0.001\text{mSv/a}$ ，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对本项目公众剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

二、放射性“三废”影响分析

医用直线加速器运行过程中无放射性废物产生。

^{60}Co 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，医院已承诺将退役 ^{60}Co 放射源交由放射源生产厂家回收处理（见附件3）。

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

1、放射性废气

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

2、放射性废水

来自核医学科给药后患者专用卫生间等高活区的放射性废水，含有 ^{18}F 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到肿瘤放射治疗综合楼南侧的衰变池中，衰变 30 天后可直接解控排放至医院污水处理系统作为医疗废水处理。

衰变系统包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，单个衰变池有效容积分别为 16.1m^3 、 15m^3 、 13.8m^3 ，总容积为 44.9m^3 。衰变池设于地下，四面均为土层，池底和池壁采用混凝土一体浇筑成型，并采用坚固耐腐蚀、防渗漏措施。衰变池内设导流墙，采用推流式排放。每一个衰变池均采用导流管，污水从池下部进入，上部排出，以防止短路，保证衰变效果。本项目放射性废水衰变系统设有自控装置，核医学科废水经过专用管道进入化粪池，逐一流入相联通的 3 个衰变池体，最后一个衰变池通过污水提升泵管道排至医院污水处理站。

本项目核医学科工作场所中，PET 诊断项目日接诊量最大为 10 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为 50L，则放射性废水排放量为 150L/d。

根据放射性废水衰变系统工作原理，放射性废水可在该衰变系统内衰变约 300d，而本项目使用的 ^{18}F 核素的半衰期为 109.8min，故本项目衰变系统能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 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。

核医学科放射性废水经专用管道流入衰变系统，裸露管道外采用 5mm 铅当量铅皮包覆进行辐射防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

本项目 ^{18}F 放射性核素的管道外辐射剂量计算，将专用管道中的放射性废水看作线源，其对周围环境产生的辐射影响参照《辐射防护导论》（方杰主编）中相关公式进行计算：

$$K = \frac{2A\Gamma_k}{Lr} t g^{-1} \frac{L}{2r} \quad \text{公式 11-19}$$

式中：K—比释动能率， Sv s^{-1} ；

A—总活度，Bq；

Γ_k —距源 1m 处的周围剂量当量率常数， $\text{Sv m}^2 \text{Bq}^{-1} \text{h}^{-1}$ ；

L—线源长度，m；

r—线源到考察点的距离，m。

表 11-25 核医学专用管道外剂量估算结果

████	████
████████████████	████
████████████████	████████
████████████████	████████
████████████████	█
████████████████	█
████████████████	█
████████████████	████
████	████
████████████████	█
████████████████	████████████████
████████████████	████

注：1、单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30% 进行计算，则单次排放 ^{18}F 核素活度为 $10\text{mCi} \times 30\% = 3\text{mCi}/\text{次}$ ；

2、距源 1m 处的周围剂量当量率常数取自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 H 表 H.1；

3、本项目核医学科位于肿瘤放射治疗综合楼一楼，放射性废水管道裸露段距一层地面最近约 0.3m，考察点设置于一层地面 170cm 处，线源到考察点的距离取 1.4m。

由表 11-25 可知，裸露的放射性废水专用管道外采用 5mmPb 铅皮包覆进行辐射

防护，其对周围公众产生的辐射影响较小。

放射性废水经专用下水管道集中到肿瘤放射治疗综合楼南侧地下的衰变池中，衰变池为混凝土浇筑成型，池壁、池顶为 300mm 混凝土，井盖为 50mm 的铸铁井盖（与地表平齐）。衰变池底下及四周均为土层，上方为绿化地面。

将衰变池内放射性废水看作点源，参照公式 11-15 计算衰变池内废水对地面处产生的辐射影响，其预测计算结果见表 11-26。

表 11-26 核医学科衰变池上方辐射水平估算结果

████████	████	██████	██████	████	██████	██████
██████████	██████	████	██████████	████	████	████
			██████	████	████	████

注：单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30% 进行计算，则单次排放 ^{18}F 核素活度为 $10\text{mCi} \times 30\% = 3\text{mCi/次}$ ，保守按 10 名候诊患者的排泄物进入衰变系统进行辐射计算（保守估计每名候诊患者均进行排泄，每 30 分钟有 1 名患者排泄，仅考虑到排泄物内核素活度随时间产生衰减，未考虑废水对核素的屏蔽影响）。

由表 11-26 可知，核医学科衰变池采用现有屏蔽设计进行辐射防护，其对周围环境及公众产生的辐射影响较小。

3、放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸、通风橱通风管道内更换下来的废活性炭等。核医学科设有废物库，注射室、注射后候诊室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶。

本项目配备的废物桶防护厚度应不低于 20mmPb，其透射比为 0.0624，考虑核素的衰减及放射性固体废物的放射性较小，源强保守取 $3.70\text{E}+06\text{Bq}$ ($10\text{mCi} \times 1\%$)，故废物桶外表面 30cm 处（与源距离取 0.5m）的周围剂量当量率为 $0.132\mu\text{Sv/h}$ 。

根据医院对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，PET 诊断项目日接诊量最大为 10 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.2kg/d（体积约为 1.1L/月）。

从核医学科各房间收集的含放射性废物和通风橱通风管道内更换下来的废活性炭集中到废物库中的铅桶中暂存。废活性炭每年更换一次，每次更换下来的废活性炭保守估计约 0.1L，在废物库内暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

本项目核医学科的废物库面积约为 1.46m²，容积约为 6.1m³，废物库内放置 2 个容积为 18L 的放射性废物桶，废物桶存满时间约为 30 天，能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。核医学科各房间内放射性废物桶放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。

本项目 PET/CT 使用的 ⁶⁸Ge 校准源储存在铅罐中，放置于源库的保险柜里。所用校准源均为 V 类放射源，用于储存校准源的铅罐不低于 10mm 铅当量，经铅罐屏蔽后，校准源对周围影响较小。校准源每隔一定时间更换一次，更换时将产生的废 ⁶⁸Ge 校准源交由原生产厂家回收或由城市放射性废物库回收处置。

本项目产生的放射性固废经过上述辐射防护措施管理后对周围环境及公众产生的辐射影响较小。

三、非放射性“三废”影响分析

1、废气

本项目医用直线加速器提供两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，运行过程中会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，医用直线加速器连续出束时间不超过 3 分钟，距下次治疗出束时间超过 10 分钟，机房内产生的臭氧、氮氧化物等有害气体通过动力排风装置排入室外，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

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

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理。对周围环境影响较小。

3、固体废物

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

事故影响分析

本项目新增的医用直线加速器为 II 类射线装置，PET/CT 为 III 类射线装置，伽玛刀内配备的 ⁶⁰Co 放射源（最大装源活度为 2.2×10¹⁴ Bq）为 I 类聚集源，核医学科工

作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

(1) 医用直线加速器、伽玛刀、PET/CT 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

(2) 医用直线加速器、伽玛刀机房门机联锁失效，导致防护门未关闭时，设备开机或无关人员勿入，使防护门外工作人员或公众受到误照射。

(3) 操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

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

(4) 注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

(5) 由于保管或管理工作不到位，导致 ^{18}F 放射性核素、 ^{60}Co 放射源的丢失、被盗，使公众受到误照射。

(6) 放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学科地面受到放射性污染。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

(1) 发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机联锁装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保医用直线加速器、伽玛刀、PET/CT 停止工作。

(2) 迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

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

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

(5) 发生放射源丢失，应立即启动辐射事故应急预案，封锁现场，按照应急预案进行应急处置；

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

(7) 医院应定期对医用直线加速器机房、伽玛刀机房、核医学科工作场所辐射

安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

(8) 事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

滨海中山医院拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座医用直线加速器机房，配置 1 台医用直线加速器；新建 1 座伽玛刀机房，配备 1 台伽玛刀，用于开展放射治疗。拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建核医学科，开展核素显像诊断。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用丙级非密封放射性物质工作场所、使用 II 类、III 类射线装置、使用 I 类放射源的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，滨海中山医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次新建放射诊疗项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟为本项目共配备 19 名辐射工作人员（伽玛刀 6 名、医用直线加速器 7 名、核医学科 6 名），为医院原有辐射工作人员。辐射安全管理人员与辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，辐射安全管理人员应参加“辐射安全管理”辐射防护上岗考核。放射治疗的辐射工作人员应参加“放射治疗”辐射安全与防护考核，核医学科的辐射工作人员应参加“核医学”辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源、射线装置、丙级非密封放射性场所的单位要“有健全操作规程、岗位职

责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前滨海中山医院已制定相关辐射安全与防护管理制度，如《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《设备维修保养制度》《放射工作人员培训管理制度》《放射工作人员职业健康管理制度》《个人剂量监测管理制度》《放射防护检测与评价制度》《放射事故应急预案》及不同设备相应的《操作规程》等。医院现有管理制度内容较为全面，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，拟根据本次新建放射诊疗项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

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

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

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

③从事放射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

④在工作场所严禁吸烟、进食；

⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

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

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

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

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

③放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内。

4) 设备维修制度：明确放射源、射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线

检测装置、安全措施（联锁装置、警告标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

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

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

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

①明确监测项目和频次；

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

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

④医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

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

辐射监测

根据辐射管理要求，滨海中山医院拟配备辐射巡测仪 1 台、并拟为本项目配备表面污染仪 1 台、2 套固定式剂量辐射监测仪和个人剂量报警仪共 10 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

1) 工作场所监测

①应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30 cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测；

②放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标；

③含放射源的放射治疗设备进行放射源倒装时应根据倒装源实施方案开展外照射剂量率监测；

④应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测；

⑤核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

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

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

3) 辐射工作人员开展个人剂量监测，定期（不少于 1 次/季）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

4) 定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

5) 所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展放射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

6) 出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

滨海中山医院已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于1次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X- γ 辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

滨海中山医院已为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1次/季）和职业健康体检（1次/2年），医院医务科负责全院人员个人剂量的收发和管理，职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于医务科。

滨海中山医院每年编写放射源、放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括放射源、放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

辐射事故应急

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

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急的具体人员和联系电话；
- ③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- ④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- ⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

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

滨海中山医院已经制定了《放射事故应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织

各相关科室，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。医院开展核技术利用项目至今，暂未发生辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

一、实践正当性

滨海中山医院拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座加速器机房，配置 1 台医用直线加速器（型号为：Vital Beam，X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 18\text{MeV}$ ），利用医疗综合楼一楼原有 1 台 CT 模拟定位机（型号：Optima CT520，最大管电压 140kV，最大管电流 350mA，属 III 类射线装置）进行模拟定位，配合医用直线加速器开展放射治疗；拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座伽玛刀机房，并配备 1 台伽玛刀（型号：OUR-XGD/AR，内含 30 枚 ^{60}Co 放射源，总活度为 2.2×10^{14} Bq，为 I 类聚集源）用于开展放射治疗。拟在肿瘤放射治疗综合楼一楼新建核医学科，拟建成丙级非密封放射性物质工作场所，配置 1 台 PET/CT（型号为：DiscoveryMI，最大管电压 140kV，最大管电流 600mA，属 III 类射线装置），拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断，PET/CT 质量控制校正时拟使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源，属 V 类放射源。

本项目的建设，可为医院提供多种诊断、治疗手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断及治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平。具有良好的社会效益和经济效益，经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后，本项目的建设和运行对受照个人和社会公众所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修正），本项目不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

二、选址合理性

滨海中山医院位于盐城市滨海县幸福北路 208 号，医院东侧为幸福支路，南侧为幸福路，西侧为空地，北侧为万锦豪庭南苑。

医院本次新建放射诊疗项目主要包括：

1、于肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建 1 座加速器机房及配套设施用房并配置 1 台医用直线加速器，肿瘤放射治疗综合楼东侧、南侧、北侧为院内道路，西侧为医疗综合楼。医用直线加速器机房东侧为室外、南侧为控制室、设备用房，西侧为伽玛刀机房和缓冲间，北侧为室外，上方为屋顶及办公室，下方为土层。

2、于肿瘤放射治疗综合楼一楼新建 1 座伽玛刀机房，其东侧为医用直线加速器机房，南侧为缓冲间，西侧为医疗综合楼的诊室，北侧为室外，机房上方为诊室，下方为土层。

3、于肿瘤放射治疗综合楼 1 楼新建核医学科，其东侧、南侧均为室外，西侧为医疗综合楼的门诊大厅，北侧为医用直线加速器机房控制室及设备用房、伽玛刀机房控制室及设备用房。上方为办公室、会议室，下方为土层。

本项目周围 50m 评价范围东侧至幸福支路，其余方向均位于医院内，项目运行后的环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和公众等。新建放射诊疗项目周围 50m 评价范围内均无学校、居民区等环境敏感点。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；对照《盐城市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（盐环发[2022]200 号），本项目符合盐城市“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）的要求。

本项目各放射诊疗设备机房及核医学科工作场所均划分了控制区及监督区，其中核医学科工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，相关配套布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，能够有效防止交叉污染，核医学科工作场所控制区内设置有患者专用卫生间，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，布局合理。

三、辐射环境现状评价

滨海中山医院本次新建放射诊疗项目拟建址周围本底辐射剂量率在 $61\text{nGy/h} \sim 88\text{nGy/h}$ 之间，与江苏省环境天然 γ 辐射水平调查结果相比较，未见异常；核医学项目拟建址周围 β 表面污染水平均小于 0.02Bq/cm^2 。

四、环境影响评价

根据预测估算结果，滨海中山医院新建放射诊疗项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后：

辐射防护影响预测：本项目核医学科控制区内房间防护门、观察窗、通风橱、墙壁与注射窗外表面 30cm 处的周围剂量当量率均符合《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)的相关要求;放疗机房四周、顶面 30cm 处的周围剂量率均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)的相关要求。

剂量约束值:本项目辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对本项目职业人员和公众剂量约束值要求(职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv)。

五、“三废”的处理处置

废气:核医学科核素操作均在通风橱中进行,通风橱内保持负压且设有排风系统(通风速率不少于 0.5m/s, 排放口高于本建筑屋脊),管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置,能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响;

废水:来自核医学科的分装室、注射室、注射后候诊室、留观室内的卫生间等高活区的放射性废水,含有 ^{18}F 放射性核素,由独立下水管道统一集中到肿瘤放射治疗综合楼南侧地下的衰变池中,衰变 30 天满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理;

固废:核医学科产生的放射性固体废物集中到废物库中的放射性废物桶中暂存,在废物库内自然衰变 30 天后,作为医疗废物进行处理;PET/CT 使用的 ^{68}Ge 校准源退役后交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。符合辐射环境保护管理要求。

医用直线加速器机房、PET/CT 机房、伽玛刀机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体,通过动力排风装置排入室外,臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气;本项目医用直线加速器机房、伽玛刀机房内设有通风装置,采用机械排风方式。机房采用上进下出的通风系统,进风口与排风口各一个。伽玛刀机房进风口位于机房内靠近防护门入口上方,排风口位于机房内西北角;医用直线加速器机房进风口位于治疗室顶部吊顶处,排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高。进风口和排风管道未破坏治疗室墙体的屏蔽效果,能够满足辐射防护要求。医用直线加速器机房治疗室容积约 409.9m^3 (不包括迷路),其排风机的设计通风量应不小于 $1640\text{m}^3/\text{h}$;伽玛刀机房容积约 155m^3 ,设计通风速率应不小于 $620\text{m}^3/\text{h}$,以满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。工作人员和部分患者产生的生活污水,由院内污水处理站统一处理;工作人员和病人产生的生

活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

六、辐射安全防护措施评价

滨海中山医院拟配备的 1 台医用直线加速器的 X 射线最大能量为 10MV，电子线最大能量为 18MeV，医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目医用直线加速器机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络，医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设置固定式剂量辐射监测仪，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的安全管理要求。

医院拟配备伽玛刀机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态灯和门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮及监控装置，控制室通过监视器与对讲机与治疗室联络。在伽玛刀机房迷路出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元拟设置在控制室内，开门状态下不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到伽玛刀治疗设备的安全位置。医院 ^{60}Co 放射源由生产厂家负责放射源运输、换装。医院承诺退役 ^{60}Co 放射源委托原厂家回收处理，符合放射源安全管理要求。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），确定核医学科工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科 PET/CT 机房扫描时产生的 X 射线； ^{18}F 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学科工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯。PET/CT 机房设置有门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

七、辐射安全管理评价

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

滨海中山医院需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。滨海中山医院还需配备辐射巡测仪 1 台、为本项目配备表面沾污仪 1 台、2 套固定式剂量辐射监测仪及个人剂量报警仪共 10 台。此外，医院应根据相关标准要求，为核医学科工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

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

建议和承诺

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

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

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

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

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：医用直线加速器机房、伽玛刀机房四侧墙体、顶面采用混凝土进行辐射防护，核医学科工作场所四侧墙体采用实心砖加防护材料、顶部采用混凝土+防护材料进行辐射防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对本项目职业人员和公众的剂量约束值要求。	530
	<div style="display: flex;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">安全措施</div> <div> 医用直线加速器机房设置门机联锁装置，并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置，防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，医用直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能，治疗室迷道口拟设固定式剂量辐射监测仪，机房容积约 409.9m³（包括迷路），其排风机的设计通风量应不小于 1640m³/h，医用直线加速器机房内设有通风装置，采用机械排风方式。放射治疗机房采用上进下出的通风系统，从防护门上方至机房内，进风口位于治疗室顶部吊顶处，排风口下沿距治疗室地面 0.3m 高。 </div> </div>	满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)的相关要求。	
	伽玛刀机房防护门设置门机联锁，开门状态下不能出源照射，出源照射状态若开门放射源自动回到设备的安全位置。治疗室外防护门上方拟设置工作状态显示，机房入口设置电离辐射警告标志，机房内及控制室内安装急停按钮，配备监视器及对讲装置，在治疗室迷路出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，机房采用上进下出的通风系统，进风口与排风口各一个，进风口位于机房内靠近防护门入口上方，排风口位于机房内西北角。进风口和排风管道未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。伽玛刀机房容积约 155m ³ ，设计通风速率应不小于 620m ³ /h。	满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)的相关要求。	

	核医学科控制区入口处（包括 PET/CT 机房、注射室、分装室、废物库、注射后候诊室、留观室等）、放射性废物桶表面设置电离辐射警告标志，同时在 PET/CT 机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置，并设置急停按钮及对讲装置，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
	<p>放射性“三废”处理措施：</p> <p>本项目核素操作均在通风橱中进行，通风橱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，符合非密封放射性物质工作场所相关要求。</p> <p>本项目产生的放射性废水由专用下水管道统一集中到肿瘤放射治疗综合楼南侧的衰变池中，暂存 30 天后可直接解控排放至医院污水处理系统作为医疗废水处理。衰变系统采用串联衰变池，包含 1 个沉淀池、3 个衰变池，单个衰变池有效容积分别为 16.1m³、15m³、13.8m³，总容积为 44.9m³。</p> <p>核医学科产生的放射性固体废物集中到废物库中的铅桶中暂存，在废物库内自然衰变 30 天后，作为医疗废物进行处理；本项目产生的废 ⁶⁸Ge 校准源交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置。符合辐射环境保护管理要求。</p>	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	
人员配备	<p>辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。</p> <p>辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。</p> <p>辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立放射工作人员职业健康档案。</p>	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/
监测仪器和防护用品	拟配备辐射巡测仪 1 台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	20
	拟配备表面沾污仪 1 台。		
	拟配备 2 套固定式剂量辐射监测仪		
	拟配备个人剂量报警仪 10 台。		
	核医学科拟配备 1 个通风橱，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ	50

	脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。	1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)及《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。	
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度:根据环评要求,按照项目的实际情况,补充相关内容,建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	600

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

