

检索号	2021-HP-0119
-----	--------------

核技术利用建设项目

福建省童昌综合医院有限公司

核技术利用项目

环境影响报告表

（公开本）

福建省童昌综合医院有限公司（盖章）

2021 年 8 月

核技术利用建设项目

福建省童昌综合医院有限公司

核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称: 福建省童昌综合医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：福建省泉州市南安市罗东镇幸福路 3 号
基金大厦 15 楼

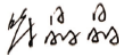
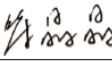
邮政编码: 362324 联系人: 刘福水

电子邮箱: / 联系电话: /

编制单位和编制人员情况表

打印编号：1627978839000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	01879r		
建设项目名称	福建省童昌综合医院有限公司核技术利用项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	福建省童昌综合医院有限公司		
统一社会信用代码	91350583MA31HH4H72		
法定代表人（签章）	侯昌财		
主要负责人（签字）	刘焕文		
直接负责的主管人员（签字）	刘福水		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	江苏辐环环境科技有限公司		
统一社会信用代码	913201003393926218		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
符晶晶	2015035320350000003510320304	BH005877	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
卢艺	表1项目基本情况、表2放射源、表3非密封放射性物质、表4射线装置、表5废弃物（重点是放射性废弃物）、表6评价依据、表7保护目标与评价标准、表8环境质量和辐射现状、表9项目工程分析与源项、表10辐射安全与防护	BH040622	
符晶晶	表11环境影响分析、表12辐射安全管理、表13结论与建议	BH005877	

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	9
表 3 非密封放射性物质.....	9
表 4 射线装置.....	10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	12
表 6 评价依据.....	14
表 7 保护目标与评价标准.....	17
表 8 环境质量和辐射现状.....	36
表 9 项目工程分析与源项.....	39
表 10 辐射安全与防护.....	71
表 11 环境影响分析.....	91
表 12 辐射安全管理.....	160
表 13 结论与建议.....	169
表 14 审批.....	176

表 1 项目基本情况

建设项目名称		福建省童昌综合医院有限公司核技术利用项目				
建设单位		福建省童昌综合医院有限公司				
法人代表	侯昌财	联系人	刘福水	联系电话	/	
注册地址		福建省泉州市南安市罗东镇幸福路 3 号 基金大厦 15 楼				
项目建设地点		福建省泉州市南安市罗东镇罗溪村				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	30000	项目环保投资 (万元)	4500	投资比例(环保 投资/总投资)	15%	
项目性质		■新建 □改建 □扩建 □其它			占地面积 (m ²)	—
应用 类 型	放射源	□销售	□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类			
		■使用	□I类 (医疗使用) □II类 ■III类 □IV类 □V类			
	非密封放 射性物质	□生产	□制备 PET 用放射性药物			
		□销售	/			
		■使用	■乙 □丙			
	射线装置	□生产	□II类 □III类			
		□销售	□II类 □III类			
		■使用	■II类 ■III类			
	其他		/			
	1.1 项目概述 1.1.1 建设单位基本情况 福建省童昌综合医院有限公司成立于 2018 年 3 月，是厦门源昌集团有限公司的全资子公司。根据《福建省卫生健康委员会关于同意重新设置福建童昌医院的函》(闽卫审医函[2019]1 号)，福建省卫生健康委员会同意福建省童昌综合医院有限公司设置福建童昌医院，并下发了设置医疗机构批准书(闽卫医字[2019]001 号)。 福建童昌医院是由厦门源昌集团有限公司独立投资、台湾童昌综合医院和大陆专家团队负责运营管理的一所现代化三级综合医院，将通过引进台湾先进的服务模式和学科技术，打造融医疗、预防、康复、保健于一体的大型综合民办医院。 医院选址位于福建省泉州市南安市罗东镇罗溪村，项目建设总用地面积为 91135m²，拟建设总建筑面积 487200m²，拟设置床位 1000 张，拟定医护人员及职工					

总人数为 3500 人。项目总投资为 25.0 亿元，预计 2024 年 5 月建成，投入运营。

福建童昌医院项目已委托有资质单位编制了环境影响报告书，并已于 2020 年 12 月 23 日通过了泉州市生态环境局审批，批复文号：泉南环评[2020]书 9 号。

1.1.2 项目建设规模

1.1.2.1 项目概况及由来

为满足患者的就医需求，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，福建童昌医院拟开展核技术利用项目，本次环评项目具体包括：

1、在医院地下室负一层放疗科新建 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房，在 2 间加速器机房内各配备 1 台 X 射线最大能量为 10MV 的直线加速器，在射波刀机房内配备 1 台治疗用 X 射线能量为 6MV 的射波刀，在后装治疗机房内配备 1 台后装治疗机（使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源），开展放射治疗项目。

2、在医院地下室负一层核医学科新建核医学工作场所，包括诊断工作场所和治疗工作场所，在诊断工作场所开展 PET 放射诊断、SPECT 放射诊断项目，在治疗工作场所开展甲亢治疗、甲癌治疗项目。PET 放射诊断项目拟配备 2 台 PET/CT、1 台 PET/MR，使用放射性药物 ^{18}F 开展显像检查；SPECT 放射诊断项目拟配备 3 台 SPECT/CT，使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展显像检查；甲亢治疗项目使用放射性药物 ^{131}I 开展门诊治疗；甲癌治疗项目使用放射性药物 ^{131}I 开展住院治疗，拟设置 7 间甲癌病房（均为单人间）。

本项目 PET/CT、PET/MR 型号未定，根据采购的 PET 设备型号的不同，可能使用 ^{18}F 正电子核素进行设备的质量控制和校准、不使用校验源，也有可能使用 V 类校验源进行设备的质量控制和校准。医院暂不考虑配备 PET 校验源，待项目招标后若确定使用 V 类校验源，将根据要求另行办理建设项目环境影响登记表备案手续。

3、在医院医疗综合楼三层内镜中心新建 2 间 ERCP 机房，在机房内各配备 1 台 ERCP（经内镜逆行性胰胆管造影）用 X 光机，开展放射诊断和介入治疗。

4、在医院医疗综合楼四层介入科新建 6 间 DSA 机房，在机房内各配备 1 台 DSA，开展放射诊断和介入治疗。

5、在医院医疗综合楼五层手术中心新建 2 间复合手术室（共用 1 间复合 CT 中腔），在手术室内各配备 1 台 DSA，同时配备 1 台共用移动 CT，开展放射诊断和介入治疗。

此外，医院拟在医院地下室负一层放疗科新建质子加速器放射治疗项目，该项目已另行委托环评，不属于本次环评内容；拟在地下室负一层核医学科新建一间敷贴治疗室，使用锶钇敷贴器（属于 V 类放射源）进行敷贴治疗，同时拟在院内开展 ^{125}I 粒

籽植入治疗项目，拟新增 DR、CT、数字胃肠机等 III 类射线装置，医院将根据要求另行办理建设项目环境影响登记表备案手续，不属于本次环评内容。

本项目核技术利用情况见表 1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况表

放射源									
序号	放射源名称	数量（枚）	单枚活度（Bq）	放射源类别	工作场所名称		活动种类	环评情况	
1	^{192}Ir	1	3.7×10^{11}	III	地下室负一层放疗科后装治疗机房		使用	新建项目，本次环评	
非密封放射性物质									
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	工作场所名称		活动种类	环评情况		
1	乙级	^{18}F	2.22×10^7	地下室负一层核医学科		使用	新建项目，本次环评		
2		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.55×10^7			使用			
3		^{131}I	3.478×10^9			使用			
射线装置									
序号	射线装置名称		数量（台）	管电压（kV）	管电流（mA）	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况
1	医用直线加速器（型号未定）		1	X 射线： $\leq 10\text{MV}$ 电子线： $\leq 22\text{MeV}$		II	地下室负一层放疗科直线加速器机房 1	使用	新建项目，本次环评
2	医用直线加速器（型号未定）		1	X 射线： $\leq 10\text{MV}$ 电子线： $\leq 22\text{MeV}$		II	地下室负一层放疗科直线加速器机房 2	使用	
3	射波刀（型号未定）		1	治疗 X 射线： $\leq 6\text{MV}$ 成像系统 X 射线： 150kV ， 640mA		II	地下室负一层放疗科射波刀机房	使用	
4	ERCP 用 X 光机（型号未定）		2	125	1250	II	医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房	使用	
5	DSA（型号未定）		6	125	1250	II	医疗综合楼四层介入科 DSA 机房	使用	
6	DSA（型号未定）		2	125	1250	II	医疗综合楼五层手术中心复合手术室	使用	
7	移动 CT（型号未定）		1	150	1300	III		使用	
8	PET/CT（型号未定）		2	150	1000	III	地下室负一层核医学科 PET/CT 机房	使用	
9	SPECT/CT（型号未定）		3	150	1000	III	地下室负一层核医学科 SPECT/CT 机房	使用	

注：核医学科日等效最大操作量为 $3.56\times 10^9\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.2.2 项目由来

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，福建省童昌综合医院有限公司本次拟开展的核技术利用项目应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

根据《关于发布放射源分类办法的公告》，本项目后装机内 ^{192}Ir 放射源属于Ⅲ类放射源；根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB 18871-2002），本项目核医学工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所；根据《射线装置分类》（2017年修订版），本项目医用直线加速器、射波刀、DSA、ERCP用X光机属于Ⅱ类射线装置，移动CT、PET/CT、SPECT/CT属于Ⅲ类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），本项目应编制环境影响报告表。受福建省童昌综合医院有限公司的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察、现场检测（委托江苏核众环境监测技术有限公司检测）等工作的基础上，编制了该核技术应用项目环境影响报告表。

1.1.2.3 项目定员及年工作时间

本项目放疗科直线加速器和射波刀拟配备至少8名辐射工作人员，后装机拟配备至少3名辐射工作人员，实行白班制，每周工作5天，每年工作50周；核医学工作场所拟配备至少14名辐射工作人员，主要实行白班制，有甲癌患者住院情况下，医院拟安排辐射工作人员轮值夜班，各岗位人员平均分担辐射工作，每周工作5天，每年工作50周；内镜中心ERCP拟配备至少10名辐射工作人员；介入科DSA拟配备至少28名辐射工作人员；手术中心复合手术室拟配备至少10名辐射工作人员。

根据医院提供资料，直线加速器、射波刀工作时间见表1-2，后装机工作时间见表1-3，ERCP、DSA工作时间见表1-4。

表 1-2 直线加速器、射波刀工作时间一览表

设备名称	数量	单台每天治疗人数	平均每次治疗照射时间	每年工作天数	单台年最大出束时间	备注
直线加速器	2台	80人	3min	250d	1000h	每位患者每次照射平均2个野，每个野时间约为1.5min
射波刀	1台	12人	40min	250d	2000h	/

表 1-3 后装机工作时间一览表

设备名称	数量	每天治疗人数	平均每位患者的治疗照射时间	每年工作天数	年治疗照射时间
后装机	1台	20人	10min	250d	833h

表 1-4 ERCP 用 X 光机、DSA 工作时间一览表

设备名称	数量	单台设备年最大手术台数	单名医生年最大手术台数	单台手术平均透视曝光时间	单台设备年总透视曝光时间
ERCP 用 X 光机	2 台	1000 台	250 台	20min	333.3h
DSA	8 台	1000 台	250 台	20min	333.3h

1.1.2.4 核医学工作场所核素用量

根据医院提供资料，核医学工作场所拟使用的 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性药物均为外购成品， ^{18}F 预计每天最多送三次药，每次最多 20 人量， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 预计每半天送一批药，每次最多 30 人量， ^{131}I 预计每天送一批药，各核素日最大用量及年最大用量见表 1-5。

表 1-5 核医学工作场所拟使用的放射性核素日最大用量及年最大用量表

核素	单人用药量 (Bq)	日最大门诊 (住院) 量 (人)	日最大操作量 (Bq)		年最大门诊 (住院) 量 (人)	年最大用量 (Bq)	
^{18}F	最大 3.7×10^8	60	2.22×10^{10}		15000	5.55×10^{12}	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	最大 9.25×10^8	60	5.55×10^{10}		15000	1.39×10^{13}	
^{131}I	甲亢治疗： 平均 3.7×10^8	10	3.7×10^9	3.478×10^{10}	2500	9.25×10^{11}	2.479×10^{12}
	甲癌治疗： 平均 4.44×10^9	7	3.108×10^{10}		350	1.554×10^{12}	

注：① ^{18}F 单人用药量约为 $(1.48 \times 10^8 \sim 3.7 \times 10^8)$ Bq，表中操作量已包含因 ^{18}F 半衰期较短等因素而需要的备药量；

②患者在甲亢治疗或甲癌治疗前，需进行甲状腺功能测定，单名患者甲功测定用 ^{131}I 药物活度最大为 $2.22 \times 10^5 \text{Bq}$ ，相对治疗量小得多，表中操作量已包括甲功测定所需用量。

1.1.2.5 核医学工作场所等级划分

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）：医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”；同时根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素的毒性组别及使用因子，经过毒性组别及使用因子的双重修正，本项目核医学工作场所日等效最大操作量计算见表 1-6。

表 1-6 核医学工作场所日等效最大操作量一览表

核素	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	
^{18}F	2.22×10^{10}	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	2.22×10^7	3.56×10^9
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.55×10^{10}	低毒, 0.01	很简单的操作 (液体), 10	5.55×10^7	

¹³¹ I	3.478×10 ¹⁰	中毒, 0.1	简单操作（液体），1	3.478×10 ⁹	
根据表 1-6 计算结果可知，本项目核医学工作场所日等效最大操作量为 3.56×10⁹Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，该核医学工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所（2×10⁷~4×10⁹Bq）。 1.2 项目周边保护目标及项目选址情况 福建省童昌综合医院有限公司核技术利用项目选址位于福建省泉州市南安市罗东镇罗溪村，医院东侧为迎宾大道，南侧为罗东大道，西侧为罗溪，北侧为罗溪和桥头庙。 （1）直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房 本项目 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房拟设置于医院地下室负一层放疗科，加速器机房和射波刀机房东西向相邻设置（从西向东依次为加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房），均位于质子加速器机房东侧，后装治疗机房位于质子加速器机房西侧。加速器机房和射波刀机房东侧依次为活动大厅、库房、排烟机房、备用间等，南侧依次为放疗中心工作场所、核医学科工作场所等，西侧依次为质子加速器机房、后装治疗机房、排烟机房等辅房和土壤层，北侧为风机房和土壤层，底下为地基层、无建筑，顶上为绿化；后装治疗机房东侧依次为质子加速器机房、2 间直线加速器机房和 1 间射波刀机房、活动大厅、库房等，南侧依次为后装治疗辅房（缓冲、控制室、妇科置管室）、患者走道、空调机房等辅房、核医学科衰变室及工作场所等，西侧为排烟机房等辅房和土壤层，北侧为土壤层，底下为地基层、无建筑，顶上为绿化。 （2）核医学工作场所 本项目核医学工作场所拟设置于医院地下室负一层核医学科，东部为放射诊断工作场所，西部为核素治疗工作场所。核医学工作场所东侧依次为医疗街、放疗科诊室、办公备用、进风机房和空调机房、维修区（包括维修大厅、报废仪器暂存区等）、垃圾暂存区等，南侧依次为医生办公及办公备用区、楼梯及电梯厅、商店库房、商店办公室、医疗用品及器材商店等，西侧依次为走道、排烟机房等辅房、土壤层，北侧依次为核医学科放射性废水衰变室、排烟机房等辅房、放疗中心工作场所、土壤层，底下为地下车库等，顶上为体检区和康复理疗区等。 （3）ERCP 机房					

本项目 2 间 ERCP 机房拟设置于医疗综合楼三层内镜中心，2 间机房南北向并排设置，中间间隔药品库和控制室。2 间机房东侧依次为内镜中心工作场所、病理科工作场所等，南侧依次为内镜中心工作场所、公共通道、楼梯间和电梯厅等，西侧依次为内镜中心工作场所、生殖中心工作场所等，北侧为内镜中心工作场所等，底下为肾内科门诊诊室、等候区等，顶上为产科家属休息等候区、谈话/咨询室、缓冲、视频探视室等。

（4）DSA 机房

本项目 6 间 DSA 机房拟设置于医疗综合楼四层介入科，3 间机房为一组东西向并排设置，两组机房南北向设置，中间间隔控制室。6 间机房东侧为介入科工作场所和办公室等，南侧依次为介入科工作场所、CCU（冠心病监护病房）工作场所、电梯厅等，西侧依次为介入科办公区、楼梯间和电梯厅等，北侧依次为走道、庭院上空、值班室、电梯厅、中心供应检测包装及检查区、去污区等，底下为超声门诊办公室、彩超室等，顶上为手术中心术中休息室、手术间等。

（5）复合手术室

本项目 2 间复合手术室拟设置于医疗综合楼五层手术中心，2 间手术室东西向并排设置，中间为共用的复合 CT 中腔。2 间手术室东侧为手术中心手术室和辅房等，南侧依次为手术中心洁净走道及准备室等、庭院上空、手术区等，西侧依次为手术中心走道、器械室、办公区等，北侧依次为复合手术室设备控制室、手术中心手术室等，底下为中心供应检测包装及检查区、去污区等，顶上为屋顶、无建筑。

根据医院提供资料、现场调查可知，本项目建成后，各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点；各场所所处位置相对独立，各设备均设有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开，核医学工作场所不与产科、儿科、食堂等部门邻接。根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，因此，项目选址基本合理。

本项目环境保护目标主要是各辐射工作场所辐射工作人员，评价范围内医院内的其他医护人员等工作人员、病患及陪同家属等流动人员，评价范围内医院周围公众。

2021 年 5 月 25 日现场踏勘时，直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房拟建址均为空地，尚未开始建设；医疗综合楼主体结构正在施工中；医院东侧和北侧用地红线范围内尚有部分民房未拆迁。

1.3 产业政策符合性分析

经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目直线加速器、射波刀、后装机、核医学科放射诊断和治疗项目属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，ERCP、DSA、复合手术室项目属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 5 款中“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备”，符合国家产业发展政策。

1.4 代价利益分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊疗服务，方便群众就医，具有良好的社会效益和经济效益。本项目总投资 30000 万元，其中环保投资 4500 万元，占总投资的 15%，与同类项目环保投资指标相比，本项目环保投资比例合理、适当，可保证环保措施的落实。根据下文分析，本项目经辐射防护屏蔽和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满足项目管理目标要求。

因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设符合《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。

1.5 项目环保投资

本项目环保投资明细见表 1-7。

表 1-7 本项目环保投资明细一览表

序号	项目	投资金额(万元)
1	机房的土建和防护施工	4070
2	辐射安全装置和保护措施（电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲装置等）	40
3	辐射防护用品（通风橱、铅衣、铅帽、铅围脖等）	200
4	通风系统	50
5	放射性废水衰变系统	100
6	个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护考核	6
7	辐射监测仪器	6
8	辐射安全规章制度上墙、竣工环保验收	28
合计		4500

1.6 医院原有核技术利用项目

福建省童昌综合医院有限公司暂未开展核技术利用项目。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq×1枚	III	使用	放射治疗	地下室负一层 放疗科后装治疗机房	后装机房内随设备存放	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 T _{1/2} =109.8 min	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	5.55×10 ¹²	PET 显像检查	很简单的操作	地下室负一层核医学工作场所	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
2	^{99m} Tc	液态、低毒 T _{1/2} =6.02h	使用	5.55×10 ¹⁰	5.55×10 ⁷	1.39×10 ¹³	SPECT 显像检查	很简单的操作		
3	¹³¹ I	液态、中毒 T _{1/2} =8.04d	使用	3.478×10 ¹⁰	3.478×10 ⁹	2.479×10 ¹²	甲亢治疗、 甲癌治疗	简单操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线 加速器	II	1	拟购待定	电子	X 射线: $\leq 10\text{MV}$ 电子线: $\leq 22\text{MeV}$	距靶 1m 处最高 X 线剂量 率: 1440Gy/h (10MV)、 960Gy/h (6MV)	放射 治疗	地下室负一层放疗科 直线加速器机房 1	/
2	医用直线 加速器	II	1	拟购待定	电子	X 射线: $\leq 10\text{MV}$ 电子线: $\leq 22\text{MeV}$	距靶 1m 处最高 X 线剂量 率: 1440Gy/h (10MV)、 960Gy/h (6MV)	放射 治疗	地下室负一层放疗科 直线加速器机房 2	/
3	射波刀	II	1	拟购待定	电子	治疗 X 射线: $\leq 6\text{MV}$; 成像系统 X 射线: 150kV , 640mA	距靶 0.8m 处最高 X 线剂量 率: 600Gy/h (6MV)	放射 治疗	地下室负一层放疗科 射波刀机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	ERCP 用 X 光 机	II	2	拟购待定	125	1250	放射诊断/介入治疗	医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房	/
2	DSA	II	6	拟购待定	125	1250	放射诊断/介入治疗	医疗综合楼四层介入科 DSA 机房	/
3	DSA	II	2	拟购待定	125	1250	放射诊断/介入治疗	医疗综合楼五层手术中心	/

4	移动 CT	III	1	拟购待定	150	1300	放射诊断	复合手术室	/
5	PET/CT	III	2	拟购待定	150	1000	放射诊断	地下室负一层 核医学科 PET/CT 机房	/
6	SPECT/CT	III	3	拟购待定	150	1000	放射诊断	地下室负一层 核医学科 SPECT/CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (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
退役放射源	固态	^{192}Ir	使用约 180 天后退役，退役时活度约为 $6.9 \times 10^{10} \text{Bq}$	/	约 2 枚	/	随设备存放	由放射源生产厂家回收处理
核医学诊断工作场所产生的放射性废水	液体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 20.9m^3	约 250.96m^3	总 $\beta < 10 \text{Bq/L}$	经专用管道排至显像检查区放射性废水衰变系统	在衰变系统中自然衰变至少十个半衰期，符合排放标准后排放至院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂
核医学治疗工作场所产生的放射性废水	液体	^{131}I	/	约 22.1m^3	约 264.98m^3	总 $\beta < 10 \text{Bq/L}$	经专用管道排至核素治疗区放射性废水衰变系统	在衰变系统中自然衰变至少十个半衰期，符合排放标准后排放至院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂
核医学诊断工作场所产生的放射性固体	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 125kg	约 1500kg	$^{18}\text{F} \leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ $^{99\text{m}}\text{Tc} \leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	暂存于分装注射室、注射后候诊室、留观室等场所内的废物	每天下班后分类收集放置在核医学科放射性废物库中，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平

废							铅桶中	推荐值后作为普通医疗废物处理
核医学治疗工作场所产生的放射性固体废物	固体	^{131}I	/	约 104.2kg	约 1250kg	$\leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	暂存于控制给药室、甲癌病房等场所内的废物铅桶中	每周治疗结束后集中收集放置在核医学科放射性废物库中，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理
核医学非密封放射性物质工作场所更换下来的废活性炭	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	/	约 16kg	$^{18}\text{F} \leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ $^{99\text{m}}\text{Tc} \leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ $^{131}\text{I} \leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	集中收集放置在核医学科放射性废物库	自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为非放射性固体废物处理
含微量放射性核素的挥发气体	气态	^{131}I 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	微量	微量	/	不暂存	经专用通风管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排放
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015 年 1 月 1 日起施行 (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），2018 年 12 月 29 日起施行 (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施 (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订版），国务院令 709 号，2019 年 3 月 18 日起施行 (5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订），2017 年 10 月 1 日起实施 (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行 (7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行 (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 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 (9) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令 29 号，自 2020 年 1 月 1 日起施行 (10) 《关于发布放射源分类办法的公告》，原环境保护总局公告 2005 年第 62 号 (11) 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 (12) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，2018 年 1 月 1 日起施行 (13) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行 (14) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号 (15) 《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》，闽环保辐射〔2013〕10 号，2013 年 3 月 15 日印发
------	--

	(16) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行 (17) 《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11月1日起施行 (18) 《生态环境部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日生成 (19) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起施行 (20) 《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
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016) (2) 《辐射环境保护管理导则——核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) (3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) (4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) (5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) (6) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020) (7) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017) (8) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) (9) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) (10) 《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) (11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) (12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014) (13) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) (14) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010) (15) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

其他	/
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用 III 类放射源，使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），使用 II 类、III 类射线装置。

根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中的要求，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级、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。因此本项目辐射评价范围确定为：直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房、核医学工作场所、ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室实体边界外 50m 范围内区域。

7.2 保护目标

根据医院提供资料、现场调查可知，本项目建成后，各辐射工作场所周围 50m 评价范围无学校、居民区等环境敏感点。本项目环境保护目标主要是各辐射工作场所辐射工作人员，评价范围内医院内的其他医护人员等工作人员、病患及陪同家属等流动人员，评价范围内医院周围公众。本项目环境保护目标情况见表 7-1。

表 7-1-1 直线加速器、射波刀项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称		保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员		控制室内	机房南侧	0.3m	至少 8 人	年剂量不超过 5mSv/a
公众	医院内的其他医护人员等工作人员	活动大厅、库房、高压氧舱等	东侧	0.3m	医院拟定工作人员总人数为 3500 人	年剂量不超过 0.25mSv/a
		放疗中心工作场所、核医学科工作场所等	南侧	0.3m		
		质子加速器机房、后装治疗机房、排烟机房等辅房	西侧	0.3m		
		风机房	北侧	0.3m		
		绿化区	楼上	0.4m		
		地下车库等	斜下方	约 2m		
	病患、陪同家属等流动人员	医院内	机房周围、楼上、斜下方	0.3m	流动人群	

	医院周围公众	医院外桥头庙、罗溪等	西侧、北侧	约 14m	流动人群	
--	--------	------------	-------	-------	------	--

表 7-1-2 后装机项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称	保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员	开机治疗时： 控制室内	南侧	0.3m	至少 3 人	年剂量 不超过 5mSv/a
	治疗前摆位时： 机房内	机房内	距后装机机头至少 1m		
公众	医院内的其他 医护人员等工作 人员	质子加速器机房、直 线加速器机房、射波 刀机房、活动大厅、 库房等	东侧	0.3m	医院拟定工 作人员总人 数为 3500 人 年剂量 不超过 0.25mSv/a
		后装治疗辅房（缓 冲、控制室、妇科置 管室）、患者走道、 空调机房等辅房、核 医学科工作场所等	南侧	0.3m	
		排烟机房等辅房	西侧	0.3m	
		绿化区	顶上	1m	
		地下车库等	斜下方	约 2m	
	病患、陪同家 属等流动人员	医院内	机房四周、楼 上、斜下方	0m	流动人群
	医院周围公众	医院外桥头庙、罗溪 等	西侧、北侧	约 24m	流动人群

表 7-1-3 核医学项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称	保护目标位置描述	方位	距核医学工作场所 最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员	PET 控制室内	南侧	0.3m	不少于 14 人	年剂量 不超过 5mSv/a
	SPECT 控制室内	北侧	0.3m		
	核医学工作场所内		距辐射源点 $\geq 0.3\text{m}$		
公众	医院内的其他 医护人员等工作 人员	医疗街、放疗科诊 室、办公备用、进 风机房和空调机 房、维修区（包括 维修大厅、报废仪 器暂存区等）、垃 圾暂存区等	东侧	0.3m	医院拟定工 作人员总人 数为 3500 人 年剂量 不超过 0.25mSv/a
		医生办公及办公备 用区、楼梯及电梯	南侧	0.3m	

		厅、商店库房、商店办公室、医疗用品及器材商店等				
		走道、排烟机房等辅房	西侧	0.3m		
		核医学科放射性废水衰变室、排烟机房等辅房、放疗中心工作场所	北侧	0.3m		
		地下车库等	楼下	约 2m		
		体检区和康复理疗区等	楼上	0m		
	患者、陪同家属等流动人员	医院内	场所四周、楼上、楼下	0m	流动人群	
	医院周围公众	医院外罗溪等	西侧	约 30m	流动人群	

表 7-1-4 ERCP 项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称		保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员		控制室内	ERCP1 机房南侧、ERCP2 机房北侧	0.3m	至少 10 人	年剂量不超过 5mSv/a
		机房内	ERCP1、ERCP2 机房内	距离 X 光机球管不低于 0.5m		
公众	医院内的其他医护人员等工作人员	内镜中心工作场所、病理科工作场所等	东侧	0.3m	医院拟定工作人员总人数为 3500 人	年剂量不超过 0.25mSv/a
		内镜中心工作场所、公共通道、楼梯间和电梯厅等	南侧	0.3m		
		内镜中心工作场所、生殖中心工作场所等	西侧	0.3m		
		内镜中心工作场所等	北侧	0.3m		
		肾内科门诊诊室、等候区等	楼下	约 2.3m		
		产科家属休息等候区、谈话/咨询室等	楼上	0m		
	患者、陪同家属等流动人员	医院内	机房四周、楼上、楼下	0m	流动人群	

表 7-1-5 DSA 项目环境保护目标一览表					
环境保护目标名称	保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员	控制室内	DSA1、DSA2、DSA3 机房北侧、DSA4、DSA5、DSA6 机房南侧	0.3m	至少 28 人	年剂量不超过 5mSv/a
	机房内	6 间 DSA 机房内	距离 DSA 球管不低于 0.5m		
公众	医院内的其他医护人员等工作人员	介入科工作场所和办公室等	东侧	医院拟定工作人员总人数为 3500 人	年剂量不超过 0.25mSv/a
		介入科工作场所、CCU（冠心病监护病房）工作场所、电梯厅等	南侧		
		介入科办公区、楼梯间和电梯厅等	西侧		
		走道、值班室、电梯厅、中心供应检测包装及检查区、去污区等	北侧		
		超声门诊办公室、彩超室等	楼上		
		手术中心术中休息室、手术间等	楼下		
	患者、陪同家属等流动人员	医院内	机房四周、楼上、楼下	0m	流动人群

表 7-1-6 复合手术室项目环境保护目标一览表					
环境保护目标名称	保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员	控制室内	北侧	0.3m	至少 10 人	年剂量不超过 5mSv/a
	机房内	2 间复合手术室内	距离 DSA 球管不低于 0.5m		
公众	医院内的其他医护人员等工作人员	手术中心手术室和辅房等	东侧	医院拟定工作人员总人数为 3500 人	年剂量不超过 0.25mSv/a
		手术中心洁净走道及准备室等、庭院上空、手术区等	南侧		
		手术中心走道、器械室、办公区等	西侧		
		复合手术室设备控制室、手术中心手	北侧		

		术室等				
		中心供应检测包装及检查区、去污区等	楼下	约 2.5m		
		屋顶层电梯机房等	斜上方	约 3m		
	患者、陪同家属等流动人员	医院内	机房四周、楼上、楼下	0m	流动人群	

7.3 评价标准：

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

①剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2：

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv
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，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

11.4.3.2 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。

②辐射管理分区

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

③工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量(Bq)与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{与操作方式有关的修正因子}} \quad (\text{式 7-1})$$

本项目放射性核素的毒性分组及毒性组别修正因子见表 7-4，与操作方式有关的修正因子见表 7-5。

表 7-4 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 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

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

④表面污染控制水平

表 7-6 工作场所放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4
1) 该区内的高污染子区除外				

(2) 清洁解控水平推荐值

根据 GB18871-2002 中 4.2.5.2 的原则, 将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据, 由此得出本项目放射性核素的清洁解控水平推荐值, 列于表 7-7 中。

表 7-7 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10^1	^{18}F
1×10^2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I

注 1: 上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生少量放射性固体废物的医学应用或实验室。

注 2: 严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。

(3) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020)

4.5 在终止照射后感生放射性的测量和要求

4.5.1 感生放射性仅适用于电子能量超过 10 MeV 的设备。

4.5.2 在规定的最大吸收剂量率下, 进行 4 Gy 照射, 以间隙 10 min 的方式连续运行 4 h 后, 在最后一次照射终止后的 10 s 开始测量, 测得感生放射性的周围剂量当量 $H^*(d)$, 且应满足下列要求:

a) 累积测量 5 min, 在离外壳表面 5 cm 任何容易接近处 $\leq 10 \mu\text{Sv}$, 离外壳表面 1 m 处 $\leq 1 \mu\text{Sv}$;

b) 在 $\leq 3 \text{ min}$ 的时间内, 测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5 cm 任何容易接近处 $200 \mu\text{Sv}$, 离外壳表面 1 m 处 $\leq 20 \mu\text{Sv}$ 。

(4) 《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017)

表 7-8 后装治疗设备质量控制检测项目与技术要求

序号	检测项目	指标要求			
		验收检测	状态检测	稳定性检测	
		判定标准	判定标准	判定标准	检测周期
4	贮源器表面 (5cm、100cm) 泄漏辐射所致周围剂量当量率	5cm (50μSv/h) ; 100cm (5μSv/h)	5cm (50μSv/h) ; 100cm (5μSv/h)	5cm (50μSv/h) ; 100cm (5μSv/h)	换源或 维修后 (¹⁹² Ir)

(5) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)

6 工作场所放射防护要求

6.1 布局要求

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

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

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

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

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

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.2 空间、通风要求

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

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

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

b) 按照关注点人员居留因子的不同, 分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$:

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

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

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面30cm处, 或在立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 周围剂量当量率参考控制水平同6.3.1。

6.3.2.2 除6.3.2.1的条件外, 若存在天空反射和侧散射, 并对治疗机房墙外关注点位置照射时, 该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和, 按6.3.1确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置, 应确保其报警功能正常。

6.4.2 联锁装置

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

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志:

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

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关, 除移动加速器机房外, 放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常

应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

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

6.4.5 应急储存设施

6.4.5.1 γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

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

7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

（6）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

6.1.5 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（即表 7-9）的规定。

表 7-9 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

^a双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。

^b单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。

^d机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

^e机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3（即表 7-10）的规定。

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

表 7-10 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5	
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

少配备铅橡胶防护衣。

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

(7) 《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)

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

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

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

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

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

(9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)

(10) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

本项目污水排放放射性，在衰变池排放口执行“总 $\beta \leq 10 \text{Bq/L}$ ”的要求。

(11) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)

5.3.1 辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。

5.3.2 辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.4 在伴有外照射的工作场所，应做好个人外照射防护，包括 β 外照射防护。

5.3.5 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

5.3.6 辐射工作场所应根据所操作非密封源的特点配备适当的医学防护用品和急救品箱，供处理事故时使用。严重污染事件的医学处理应在医学防护人员的指导下进行。

(12) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

5.1 工作场所平面布局和分区

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

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

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

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

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

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

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

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用。

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

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

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

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

5.2 放射防护措施要求

5.2.3 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用的排风装置，风速应不小于0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

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

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

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

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；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。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表2规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、

核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

7.2 患者出院的管理要求

7.2.1 接受¹³¹I治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至400MBq或距离患者体表1 m处的周围剂量当量率不大于25μSv/h方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。

7.2.2 对甲亢和甲状腺癌患者，出院时应按附录L中L.4给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

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

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后患者候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，质量不超过20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。

10 ^{131}I 治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

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

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

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

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

10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合5.3.1要求。

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

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

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

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

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

10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 宜订购按照患者人份分装的 ^{131}I 药物，如果需要分装，则应配备分装防护通风橱，宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

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

10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，按照7.2的要求进行出院管理。

10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。

(13) 本项目管理目标

综合考虑 GB 18871-2002、GBZ 121-2020、GBZ 130-2020、GBZ120-2020 等要求，本项目管理目标确定为：

①辐射环境剂量率控制水平：

a) 直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所：机房墙、顶棚、入口门外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：机房墙、顶棚、入口门外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

b) 核医学工作场所：

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不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；治疗工作场所控制给药室内全自动分装柜、诊断工作场所分装注射室内通风橱外表面 5cm 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

c) ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室：

机房屏蔽体外 30cm 及周围人员可居留处周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②辐射剂量控制水平：

职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超过 **0.25mSv**。

(14) 参考资料

- ①《辐射防护导论》，方杰主编
- ②《辐射防护手册》（第一分册），李德平 潘自强 主编
- ③《分化型甲状腺癌患者的 ^{131}I 有效半衰期》，易艳玲等。原子能科学技术，2010 年第 44 卷增刊
- ④《中国环境天然放射性水平》，国家环境保护局，1995 年

福建省原野、道路、建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率（单位：nGy/h）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

福建省童昌综合医院有限公司核技术利用项目选址位于福建省泉州市南安市罗东镇罗溪村。

本项目 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房拟设置于医院地下室负一层放疗科，核医学工作场所拟设置于医院地下室负一层核医学科，2 间 ERCP 机房拟设置于医疗综合楼三层内镜中心，6 间 DSA 机房拟设置于医疗综合楼四层介入科，2 间复合手术室拟设置于医疗综合楼五层手术中心。

8.2 环境现状检测

本项目为使用 III 类放射源，使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），使用 II 类、III 类射线装置，运行期主要环境影响为电离辐射影响。

2021 年 5 月 25 日现场检测时，本项目直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房拟建址均为空地，尚未开始建设；医疗综合楼主体框架结构正在施工中，项目在进行现状调查时，主要调查项目拟建址及周围环境的辐射水平现状。

8.2.1 环境现状评价对象、监测因子、监测点位等

环境现状评价对象：项目拟建址及周围辐射环境现状

检测因子：X- γ 辐射剂量率

检测点位：在项目拟建址及周围布设 19 个检测点位，调查环境贯穿辐射水平

检测频次：每个检测点位读 10 个数据，读数间隔 10s

8.2.2 检测方案

检测单位：江苏核众环境监测技术有限公司

检测时间：2021 年 5 月 25 日

检测天气：晴

检测仪器名称：辐射检测仪

仪器型号：AT1123，仪器编号：55045，能量响应范围：15keV~3MeV，量程：50nSv/h~10Sv/h，检定有效期：2020.6.17~2021.6.16，检定单位：江苏省计量科学研究院，证书编号：Y2020-0050543

8.2.3 质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证（证书编号：171012050259），具备有相应的

检测资质和检测能力；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测报告实行三级审核。

8.2.4 检测结果及评价

本项目环境天然贯穿辐射水平检测结果见表 8-1。

表 8-1 本项目环境天然贯穿辐射水平检测结果

序号	检测点位描述	检测结果（nSv/h）	备注
1	直线加速器机房 1 拟建址	184	/
2	直线加速器机房 2 拟建址	186	
3	射波刀机房拟建址	177	
4	后装治疗机房拟建址	169	
5	放疗科治疗机房拟建址东侧	176	
6	放疗科治疗机房拟建址南侧	180	
7	放疗科治疗机房拟建址西侧	186	
8	放疗科治疗机房拟建址北侧	178	
9	桥头庙南侧	186	
10	在建医疗综合楼北侧（西）	169	
11	在建医疗综合楼北侧（中）	168	
12	在建医疗综合楼北侧（东）	174	
13	在建医疗综合楼东侧（北）	165	
14	在建医疗综合楼东侧（中）	177	
15	在建医疗综合楼东侧（南）	166	
16	在建医疗综合楼南侧（中）	153	
17	在建医疗综合楼西侧（南）	124	
18	在建医疗综合楼西侧（中）	132	
19	在建医疗综合楼西侧（北）	125	

注：上表数据未扣仪器字响值。

根据检测结果可知,本项目拟建址及周围环境贯穿辐射剂量率为(124~186)nSv/h,即 γ 空气吸收剂量率为(103~155) nGy/h(本项目检测仪器使用 ^{137}Cs 作为检定参考辐射源时,根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021),换算系数取1.20Sv/Gy),处于《中国环境天然放射性水平》中福建省室内及道路环境天然贯穿辐射水平正常范围内(室内(70.9~351.7) nGy/h,道路(39.4~399.1) nGy/h)。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

9.1.1.1 医用直线加速器

1、项目所含设备组成

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9-1 和图 9-2。

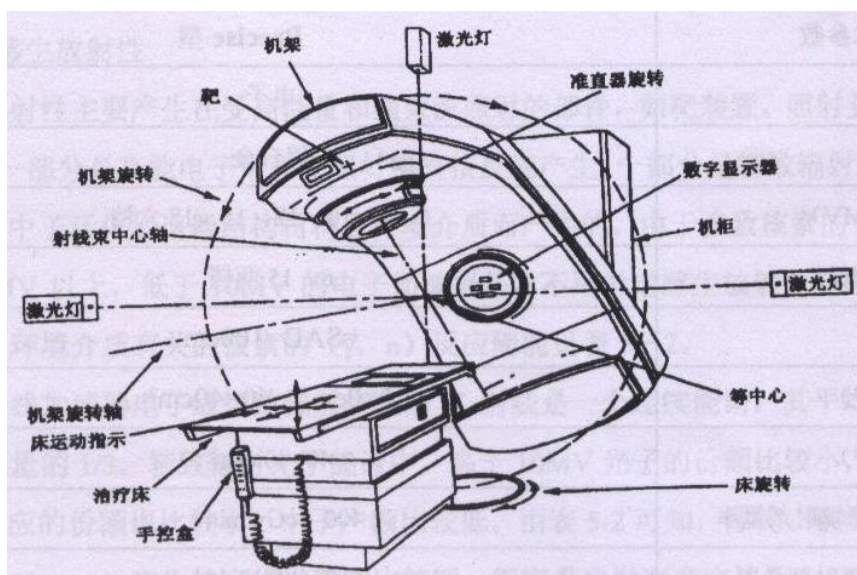


图 9-1 典型医用直线加速器示意图

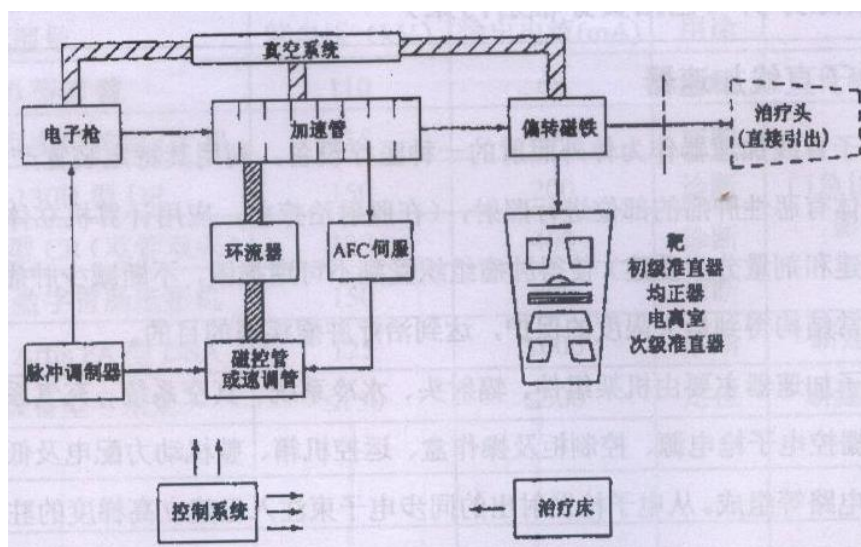


图 9-2 典型医用直线加速器结构图

2、设备技术参数

本项目 2 台直线加速器型号未定，根据医院提供资料，本项目医用直线加速器主要技术参数详见表 9-1。

表 9-1 本项目直线加速器主要技术参数

项目	参数
	直线加速器（2 台）
设备型号	未定
类别	II 类射线装置
加速器粒子	电子
能量	X 射线：6/10MV 电子线：4~22MeV
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	1440Gy/h（10MV）、 960Gy/h（6MV）
泄漏 X 射线	在所有的方向上，距离电子加速路径 1 m 处的 X 线吸收剂量，均不超过等中心处吸收剂量的 0.1%
最大照射野	40cm×40cm
最大源轴距	SAD = 100cm
射线最大出射角	28°
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
等中心点离地高度	≤120cm

3、工作方式

本项目 2 台直线加速器均拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与机房均分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作直线加速器开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.1.1.2 射波刀

1、项目所含设备组成

射波刀是整合机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行追踪治疗。常见射波刀结构主要包括：

（1）直线加速器(Linear accelerator)：射波刀使用一个紧凑型、能产生6MV X射线的轻型直线加速器，直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上，该直线加速器一般配有12个准直器，准直器直径从5mm到60mm。

加速器系统的核心器件由电子枪、加速腔、磁控管、环流器、调制器等构成，电

子枪发射电子注入加速腔，磁控管产生的微波在加速腔轴线上形成加速电场，该电场把电子加速到6MV能量，轰击金属靶，产生韧致X射线，该射线经过准直器限束整形后，用于治疗肿瘤等。

（2）机器人机械臂（Robot arm）：机器人机械臂头端上安装有直线加速器，它带动直线加速器围绕患者在前、后、左、右、上、下六度空间自由转动，按照计算机预设的路线，机械臂可将直线加速器调整到最多两百余个位置（或节点），在每个节点处可以从12个角度投照射线，因此提供多达最多三千个方位发出射线。每到一个预设治疗点，机械臂停止运动，直线加速器对准靶区投照相应的放射剂量。

（3）治疗床（treatment table）：射波刀的治疗床也由机器人控制，可以在六度空间自由移动。

（4）靶区定位（影像）追踪系统（target localization system）：与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同，射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架，颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位（影像）追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断X射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成。两组X射线球管发出的低能X线相互垂直，交叉穿过头颅（或患者肿瘤的治疗部位），影像探测器获得颅骨的数字图像，并将影像资料传输到数据处理系统（image processing system, IPS），计算机与事先CT扫描获得的颅骨数字重建图像（DDR）相比较，首先确定颅骨的精确位置，然后得出治疗靶目标（病灶）的精确位置。靶区定位追踪系统使用4套计算机软件，治疗颅内病变时，使用6维颅骨追踪软件；治疗脊髓、脊柱及其周围肿瘤时，使用Xsight Spine（脊柱追踪软件）；治疗部分周围型肺癌时，使用X sight Lung（肺部追踪软件）；治疗随呼吸运动的肿瘤时或需要埋置金标时，使用金标追踪和呼吸追踪系统。

（5）治疗计划系统：治疗计划系统由计算机工作站和Multiplan治疗计划软件组成。患者治疗前，先作X-ray定位，将定位影像传输到计算机内。医生先勾画出计划治疗的肿瘤和重要器官，然后设置中心点，最后选择准直器并给出肿瘤和重要器官的剂量要求，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。根据治疗的需要，医生可设计单次治疗，也可设计分次治疗。射波刀治疗计划系统不仅具有常规的正向治疗计划，而且还有任意形状逆向治疗计划。正向治疗计划是医生根据病灶的大小和形状，选择相应的准直器和照射方式逐步设计出一个和病灶形状几乎一样的照射形状，然后给出周边剂量和中心剂

量。逆向治疗计划是医生先勾画出计划照射的靶区以及给出靶区和重要器官的剂量要求，计算机自动设计一个满足设定条件的治疗计划。

（6）呼吸追踪系统：当治疗肺部肿瘤或受呼吸运动影响的肿瘤（肝癌、胰腺、肿瘤等）时，肿瘤随着患者的呼吸而上下左右运动。治疗这些体部肿瘤之前，需要向肿瘤内或周围放置金标（由黄金制成的，长5mm，直径0.8mm的圆柱体称为金标），金标放置5-7天后才能实施射波刀治疗。呼吸追踪是让患者穿上胸前带有发红光二极管的背心，呼吸追踪摄像机通过捕捉二极管的运动获得肺部的呼吸运动节律，计算机建立呼吸模型。治疗时，通过追踪金标的位置获得肿瘤的精确位置，同时计算机根据呼吸节律，自动微调机器人机械臂，让射线始终精确瞄准病灶。

（7）计算机网络集成与控制系统：射波刀拥有一个计算机工作站（SGI），SGI计算机通过网络控制机器人机械臂、控制直线加速器何时投射射线、治疗床的移动和治疗靶区位置的追踪。此外，治疗时获得的骨骼图像与定位图像的自动比对均在SGI计算机掌控下自动进行。

本项目射波刀型号未定，常见射波刀外形结构见图9-3。

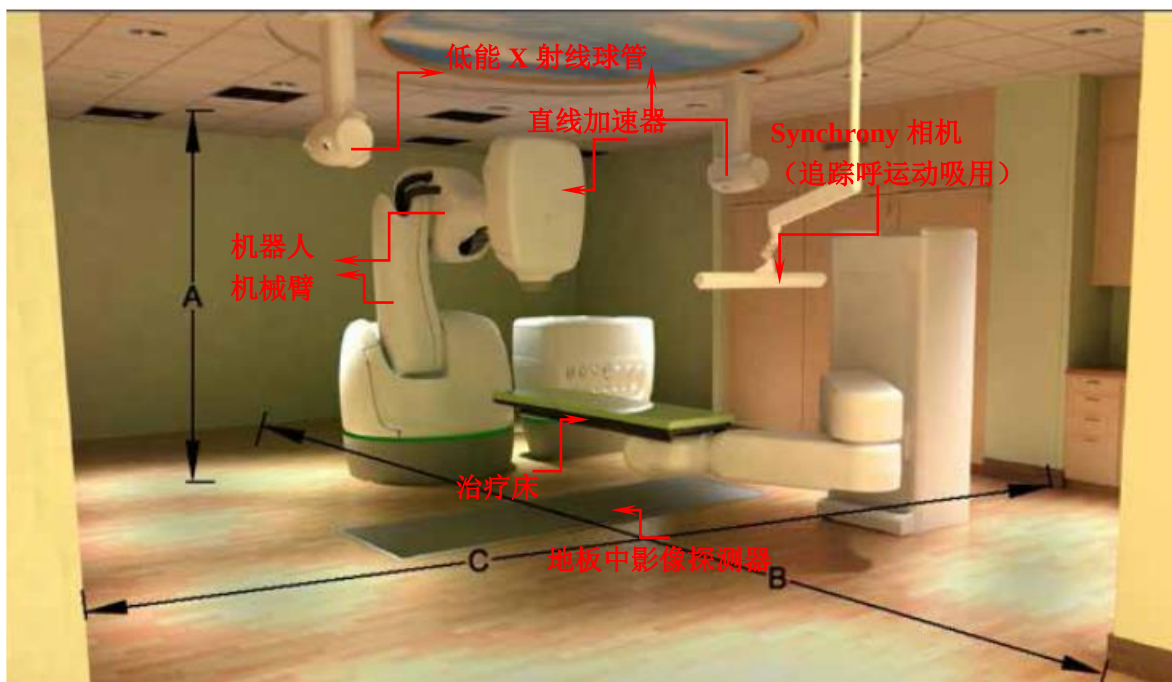


图9-3 常见射波刀外形结构图

2、设备技术参数

根据医院提供资料，射波刀内含 1 台治疗用直线加速器和两组诊断用 X 射线球管，直线加速器主要技术参数详见表 9-2，X 射线管最大管电压为 150kV、最大管电流为

640mA，两组 X 射线管组件不同时开机工作，X 射线管和直线加速器也不同同时开机工作。

表 9-2 射波刀内直线加速器的主要技术参数

参数名称	参数值
能量	X 线≤6MV
治疗中心处最大辐射剂量率	6MV 下 X 线剂量率最大：600Gy/h
靶点至治疗中心距离	800mm
等中心处最大照射野尺寸	2827.4mm ² （直径为 60mm 的圆）
泄漏 X 射线	<等中心处最大吸收剂量的 0.1%
等中心高度	≤100cm

3、工作方式

本项目射波刀拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与机房分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作射波刀开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.1.1.3 后装治疗机

1、项目所含设备组成

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在患者需要治疗的部位正确地放置施源器，然后采用自动或手动控制，将贮源器内放射源输入施源器内实施治疗的技术。

本项目后装机型号未定，常见后装机外形见图 9-4。



图 9-4 常见后装机外形图

2、设备技术参数

根据医院提供资料，本项目后装机拟使用 1 枚 ¹⁹²Ir 密封放射源，最大装源活度为 3.7×10¹¹Bq（10Ci），属于 III 类放射源。

3、工作方式

本项目后装机拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与机房分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作后装机开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.1.1.4 核医学

1、项目所含设备组成

(1) PET/CT

PET/CT 全称为正电子发射断层与计算机断层诊断技术，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，一次显像可获得全身各方位的断层图像，具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点，可一目了然的了解全身整体状况，达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。

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。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

CT 主要由扫描部分、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。

本项目 PET/CT 型号未定，常见 PET/CT 外形见图 9-5。



图 9-5 常见 PET/CT 外形图

(2) PET/MR

PET/MR 是正电子发射计算机断层显像仪 PET 和核磁共振成像术 MR 结合一体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，同时具有 PET 和 MR 的检查功能。PET 图像揭示人体内部的分子代谢活动，但是图像解剖结构不清楚，而 MR 可清晰的显示

人体组织的解剖结构，当 PET 图像与 MR 图像进行融合后，可以从根本上解决 PET 图像显示解剖结构不清楚的缺陷，将检测部位的生化信息、功能信息和解剖结构信息同时显示在一张图像上对比诊断，大大提高了 PET 显像的临床应用效果。PET/MR 显像仪解决的主要临床问题是 PET/CT 的有害放射损伤，并提供高质量的分子影像图像以及与组织分子结构、分子代谢和功能代谢相关的图像。

本项目 PET/MR 型号未定，拟使用放射性药物 ^{18}F 开展显像检查，常见 PET/MR 外形见图 9-6。



图 9-6 常见 PET/MR 外形图

(3) SPECT/CT

SPECT 即单光子发射型计算机断层显像，SPECT/CT 是单光子发射型计算机断层显像仪和 CT 一体化组合的影像诊断设备，将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像，是目前临床核医学最广泛应用的医学影像诊断设备。

本项目 SPECT/CT 型号未定，拟使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展显像检查，常见 SPECT/CT 外形见图 9-7。



图 9-7 常见 SPECT/CT 外形图

2、设备技术参数

根据医院提供资料，本项目拟购 PET/CT 及 SPECT/CT 设备中 CT 装置的最大管电压为 150kV、最大管电流为 1000mA，属于 III 类射线装置。

3、工作方式

本项目 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 均拟配套相应的机房和控制室，控制室与机房分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作设备开展放射诊断，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.1.1.5 ERCP 用 X 光机、介入科 DSA

1、项目所含设备组成

ERCP 是经内镜逆行胰胆管造影的英文首写字母 (Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography, ERCP)，是指将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后进行 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。在 ERCP 的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切开术 (EST)、内镜下鼻胆汁引流术 (ENBD)、内镜下胆汁内引流术 (ERBD) 等介入治疗。开展 ERCP 需要配备诸如电子十二指肠镜、ERCP 用 X 光机、造影导管及其附件、(非)离子造影剂、生命体征监护设备以及患者与操作医生的防护设备等，ERCP 用 X 光机一般采用大型数字减影血管造影机或移动式 C 臂 X 光机。

DSA 是数字减影血管造影的简称，是利用计算机处理数字化的影像信息，以消除骨骼和软组织影的减影技术，是新一代血管造影的成像技术，是影像医学、临床医学、计算机技术结合而发展起来的边缘科学技术。DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此

也称作 C 型臂 X 光机，DSA 设备主要由高压发生器、X 线管、探测器、计算机系统、导管床和专用机架等部件组成。

2、设备技术参数

本项目 ERCP 用 X 光机、DSA 型号未定，根据医院提供资料，拟采购的 X 光机和 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1250mA，属于 II 类射线装置。

3、工作方式

本项目 2 台 ERCP 用 X 光机、手术中心 6 台 DSA 均拟配套相应的机房和控制室，控制室与机房分开设置。

ERCP 用 X 光机、DSA 在进行曝光时可分为减影和透视两种情况，减影是操作技师采取隔室操作的方式，即操作技师在控制室内对患者进行曝光，医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况，并通过对讲系统与患者交流；透视是患者需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接的介入手术操作。

9.1.1.6 复合手术室

1、项目所含设备组成

本项目复合手术室为 DSA 复合 CT 手术室，通过 DSA 设备，医生在手术过程中可以清晰地获得人体血管立体图像，对观察血管病变等提供“透视眼”的功能；滑轨 CT 可以通过轨道从复合 CT 中腔滑行到手术室内手术床旁，完成对患者病变位置的检查，为医生提供全方位的辅助。复合手术室不但可以减少患者在术中移动的风险，更可以对手术的治疗情况进行实时评估，从而指导手术实施，提高手术成功率。

2、设备技术参数

本项目复合手术室 2 台 DSA 及 1 台 CT 型号未定，根据医院提供资料，本项目拟采购的 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置；拟采购的 CT 最大管电压为 150kV、最大管电流为 1300mA，属于 III 类射线装置。

3、工作方式

复合手术室 2 台 DSA 及 1 台移动 CT 均拟配套相应的机房和控制室，控制室与机房分开设置。

DSA 在进行曝光时可分为减影和透视两种情况，减影是操作技师采取隔室操作的方式，即操作技师在控制室内对患者进行曝光，医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察

机房内患者情况，并通过对讲系统与患者交流；透视是患者需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接的介入手术操作。

移动 CT 在曝光时，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作设备，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.1.2 工作原理

9.1.2.1 直线加速器

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。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些，便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗二种。前者剂量较大，照射较彻底，适用于较早期及部分晚期患者，以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者，多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量，以达改善症状，减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，它是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。本项目拟配置的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，其有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当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患者，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X 线治疗模式，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

9.1.2.2 射波刀

射波刀是一种新型立体定向放射治疗装置，根据医学影像设备提供的患者医学影像，由治疗计划系统制订放射治疗计划，根据治疗计划信息，控制各硬件子系统，通过图像引导定位系统进行患者摆位验证、修正摆位偏差后，控制直线加速器系统出束

照射，完成对患者的放射治疗。射波刀利用球体堆叠的原理，将直线加速器发射的辐射剂量分散至大量的射线中，并以不同的角度入射，在此情况下，单束的辐射剂量非常低，不会对非目标的组织造成伤害，另外将剂量分散至多束射线，也较方便调整剂量分布，对于治疗不规则的肿瘤能更精准有效的控制辐射分布形状，其出束治疗示意图见图 9-8。

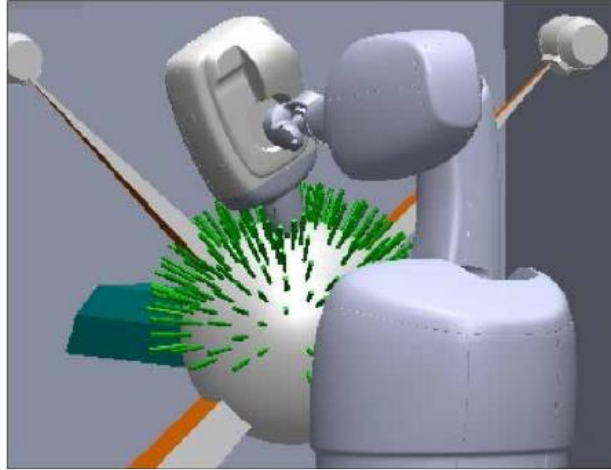


图 9-8 射波刀出束治疗示意图

9.1.2.3 后装治疗机

后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有放射源强度小、治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，如胰腺、胆管、膀胱癌、直肠癌及头颈部恶性肿瘤等。

9.1.2.4 核医学

1、PET诊断

PET/CT、PET/MR 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 PET/CT 和 PET/MR 结合应用高档多排 CT 或 MR 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 或 MR 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中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360° 排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面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、SPECT诊断

SPECT 显像原理是利用引入人体内的放射性核素发出的 γ 射线经碘化钠晶体产生闪光，闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用，产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的打拿极倍增放大后在光阳极形成电脉冲，其经过放大器放大成形，再经过位置计算电路形成 X、Y 位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号 Z。X、Y 信号经处理后加入显示器偏转极，Z 信号加入启挥极，从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法，借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像，由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。

3、甲亢治疗、甲癌治疗

I 是合成甲状腺激素的物质之一，放射性的 ^{131}I 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，其被摄取的速度和速度与甲状腺功能密切相关。将 ^{131}I 引入受检者体内，利用体外探测仪器测定甲状腺部位放射性计数的变化，可以了解 ^{131}I 被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能。

^{131}I 用于甲状腺方面疾病的治疗时，患者服用药物后 ^{131}I 能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢、甲癌患者的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高， ^{131}I 为 β^- 衰变， β 射线有效射程仅有 $0.5\sim 2$ 毫米，能选择性地破坏甲状腺腺泡上皮而不影响邻近组织。甲状腺组织能受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的结缔组织，达到治疗的目的。

9.1.2.5 ERCP 用 X 光机、DSA

ERCP 用 X 光机、DSA 的核心部件均为 X 射线发生器，成像基本原理是：将受

检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管（DSA）、胆管或胰管（ERCP）造影 X 射线荧光图像，经电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，最终获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管等影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 ERCP 用 X 光机或 DSA 处理的图像，使血管等的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

本项目拟采购的 ERCP 用 X 光机、DSA 属于平板探测器型，其成像原理为：①曝光前对非晶硒两面的偏置电极板预先施加 1~5000V 正向电压形成偏执电场，像素矩阵处于预置初始状态；②X 线曝光时在偏执电场作用下形成电流→垂直运动→电荷采集电极→给储存电容充电；③读取 TFT 储存电容内的电荷→放大→A/D 转换成数字信号→计算机运算→形成数字图像；④消除残存电荷，其系统结构示意图见图 9-9。

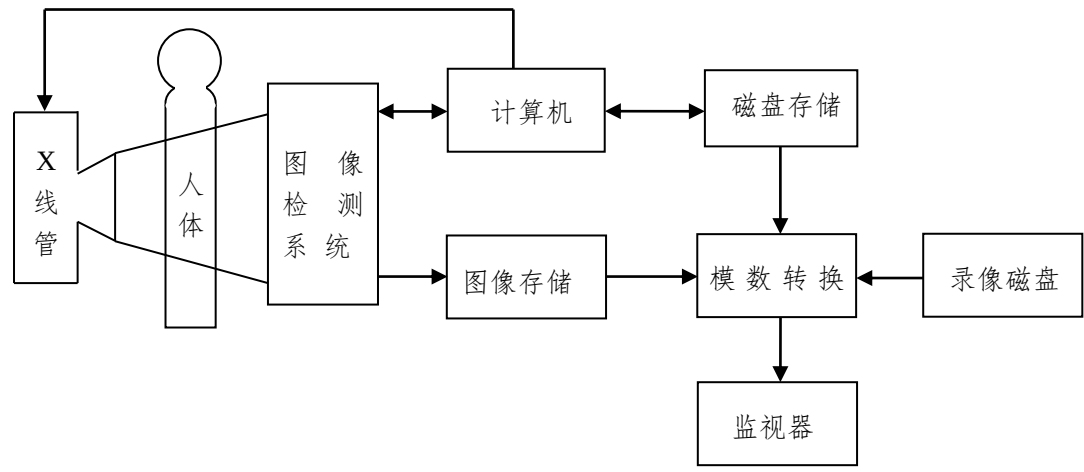


图 9-9 ERCP 用 X 光机、DSA 系统结构图

介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

9.1.2.5 CT

CT（Computed Tomography）即电子计算机断层扫描，它是利用 X 射线束对人体某部一定厚度的层面进行扫描，由探测器接收透过该层面的 X 射线，转变为可见光后，由光电转换变为电信号，再经模拟/数字转换器（analog/digital converter）转为数字，输入计算机处理。图像形成的处理有如对选定层面分成若干个体积相同的长方体，称之为体素（voxel）。扫描所得信息经计算而获得每个体素的 X 射线衰减系数或吸收系数，再排列成矩阵，即数字矩阵（digital matrix），数字矩阵可存贮于磁盘或光盘中。经数字/模拟转换器（digital/analog converter）把数字矩阵中的每个数字转为由黑到白

不等灰度的小方块，即像素（pixel），并按矩阵排列，即构成CT图像。

CT的工作程序是这样的：它根据人体不同组织对X线的吸收与透过率的不同，应用灵敏度极高的仪器对人体进行测量，然后将测量所获取的数据输入电子计算机，电子计算机对数据进行处理后，就可摄下人体被检查部位的断面或立体的图像，发现体内任何部位的细小病变。

9.1.3 工作流程

9.1.3.1 直线加速器

医用直线加速器进行肿瘤放射治疗的一般工作流程为：

(1) 制定治疗方案

放疗前，医师集体讨论每位患者的治疗方案，根据每位患者的临床特征、病理诊断、实验室和影像检查资料、一般情况等，制定合适的个体治疗方案，确定初步的放疗原则。

(2) 体位固定

确定初步的放疗原则后，由医生、物理师和技师根据患者具体情况选择和制作固定模具，保证每次放疗时体位的重复性，并尽量使患者感觉舒适，减少体位变动误差对精确放疗的影响。

(3) 影像学资料的获取

体位固定完成后，要由医生和技师共同完成患者影像学资料的获取工作，即放疗定位和扫描工作。本项目通常采用简单的 X 光透视拍片技术，即在 X 光透视下由医生确定肿瘤的中心和四周边界，拍摄定位 X 光片。也可采用 CT 定位扫描技术，对放疗区域行断层扫描，获取患者肿瘤及其周围器官组织详细的影像数据。CT 扫描完成后，即将影像数据传输至 TPS 计划系统，由物理师进行初步的影像数据处理。

(4) 放疗靶区的确定

影像数据经过初步的处理后，即由医师勾画放疗靶区和要保护的重要器官组织轮廓图，放疗靶区包括 GTV（CT 显示的肿瘤轮廓）、CTV（包括 GTV 和肿瘤可能侵犯的亚临床灶）、PTV（考虑了患者器官运动和摆位误差的 CTV）。

(5) 计划设计和评估优化

放疗靶区和重要器官组织轮廓勾画完成后，由物理师根据医师要求设计放疗计划。放疗计划设计完成后，要由医师和物理师进行评估优化，评估优化目标是在保证

肿瘤获得足够放疗剂量的同时，尽可能控制重要器官组织的照射剂量不超其耐受剂量，而保护重要器官组织的功能和患者生活质量。

(6) 挡块制作

放疗计划完成后，技师根据照射野形状，用切割机进行泡沫切割，在切割的泡沫基础上制作出与照射野形状一致的铅挡块，目的是遮挡住要保护的重要器官组织免受照射。

(7) 放疗计划验证

放疗计划验证包括三项流程：放疗中心位置验证（即复位）、射野验证和剂量验证。

放疗中心位置验证：依照计划系统给出的肿瘤中心位置，找出对应的体表标志作为放疗时摆位的依据。

射野验证：指在确定放疗中心位置后，利用模拟机拍摄 X 光片，或在直线加速器下使用电子射野验证系统（EPID）、锥形束 CT 系统进行拍摄验证片，核对中心位置、每个照射野形状、入射角度和射野大小等是否正确，可将位置误差控制在 2~3mm 以内。

剂量验证：物理师核实体内所接受的射线照射剂量与计划系统所设计的照射剂量是否一致。

(8) 放疗实施

上述准备工作全部完成且核对无误，才可实施真正的放射治疗。技师先在机房内进行摆位，按照标记线摆好患者，加入挡块、楔形板等辅助器材之后就可以离开机房，关闭迷道门后进入操作室输入放射治疗参数，开启直线加速器进行出束治疗，在治疗中通过患者监视系统和对讲系统，密切监视患者体位是否移动，如果发现患者体位移动或发出求助信息，应立即停止治疗并做相应处理，纠正后再行照射。

医用直线加速器放疗实施一般工作流程及产污环节示意图 9-10。

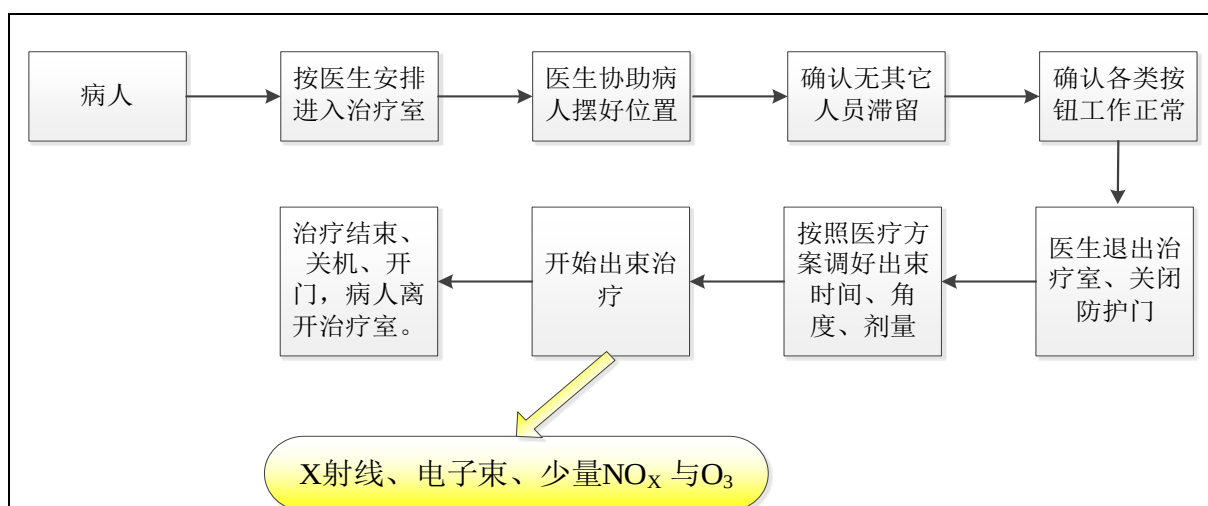


图 9-10 医用直线加速器放疗实施一般工作流程及产污环节示意图

9.1.3.2 射波刀

射波刀进行肿瘤放射治疗的一般工作流程为：

(1) 定位扫描

在 CT 机房内通过定位 CT 对病变部位进行扫描，用于确定肿瘤的精确位置。

(2) 治疗计划

根据之前定位 CT 图像等，主治医师勾画靶区，选择合适的追踪模式，选择准直器的大小、射线强度、靶区范围、剂量分布、治疗剂量和其它参数，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。治疗计划设计完毕，将治疗计划保存并传输到射波刀主控计算机。

(3) 靶区定位

患者进入射波刀机房，平卧并固定在治疗床上，其余人员撤离治疗室，关闭大门。影像系统采集靶区的实时影像，并与治疗计划系统的治疗影像进行比对，找到靶区方位误差。工作人员通过电脑操作，移动治疗床，使实时影像与治疗影像完全拟合。此时计算机获得了患者病灶的初步方位。

(4) 射线治疗

机械臂将直线加速器旋转到初始坐标位，然后按照程序将加速器围绕着患者旋转到预定节点。直线加速器每到一个节点，机械臂停止运动，此时靶区定位追踪系统立刻获得新的靶区影像，计算机确认目前的靶区影像与治疗开始时影像完全一致。如果患者靶区有轻微的移动，靶区定位追踪系统立刻计算出移动造成的偏差，并将此偏差传输到机器人机械臂，机械臂微调加速器的方位或射线的入射角度，最后加速器将所

需的剂量精确投射到病灶内。如果患者的移动超过计算机自动调整的范围，治疗会紧急暂停（E-stop）。加速器每到一个预定节点，将重复上述影像实时验证步骤。在治疗过程中，X 射线球管每 10 秒钟发射一次，靶区影像追踪系统获取一次影像信息。从摄像到调整数据只需要几秒钟，射波刀基本上做到了在治疗过程中实时跟踪治疗靶区。根据病情需要射波刀可将单次治疗变成多次分割治疗。

(5) 治疗结束

加速器完成治疗，机器人回到停车位。工作人员打开防护门，患者离开治疗室。射波刀放疗实施一般流程见图 9-11。

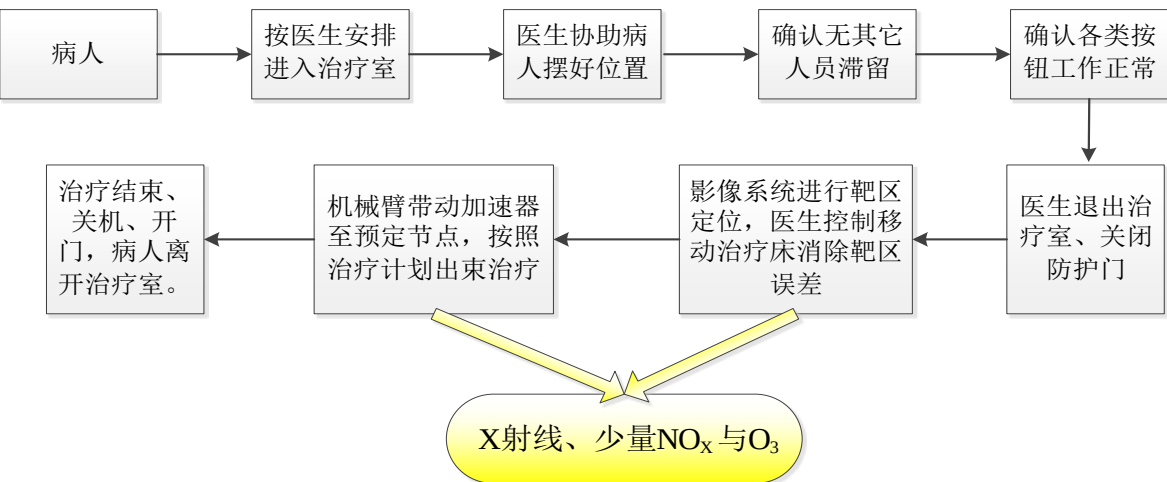


图9-11 射波刀放疗实施一般工作流程及产污环节示意图

9.1.3.3 后装治疗机

后装治疗工作流程为：

(1) 制定治疗方案

医生根据影像信息和 TPS（放射治疗计划系统）制定治疗计划，并反复优化出最佳治疗方案。

(2) 治疗准备

治疗前认真核对患者的科室、姓名、住院号及治疗计划，开机检查后装机、TPS 计划系统的各项参数，确保治疗设备处于正常工作状态。

(3) 治疗实施

将施源器与后装机相连接，放射治疗技术人员对患者进行正确摆位；放射治疗医师和医学物理师分别核对治疗计划，确认无误后进行放疗；治疗过程中技术人员密切注视控制系统的各项显示与患者情况，以便及时发现和排除异常情况。

(4) 放疗结束

放疗结束后，技术人员携带辐射测量设备进入治疗室，检测患者和后装机，验证放射源回到贮源器内后，将患者移出机房，按无菌要求取出施源器，并观察患者有无不适。

治疗完毕后，关闭后装机、TPS 计划系统，治疗结束。

后装机治疗实施一般工作流程及产污环节示意图 9-12。

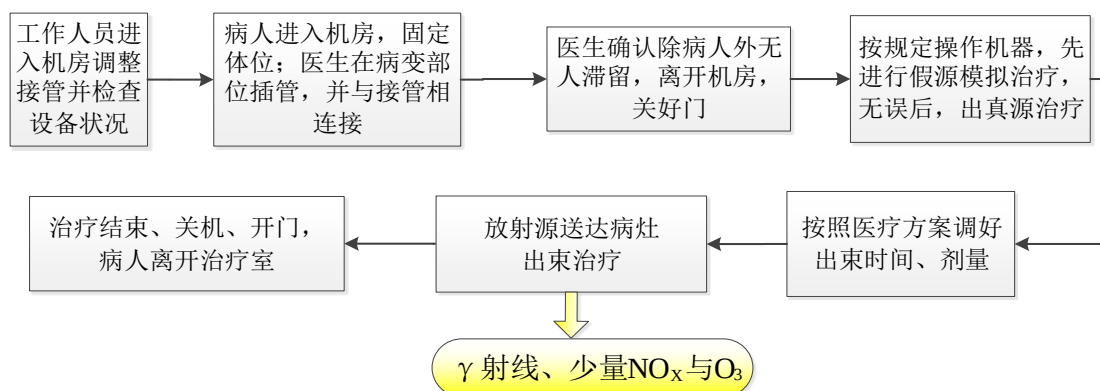


图 9-12 后装机治疗实施一般工作流程及产污环节示意图

9.1.3.4 核医学

1、PET 诊断

本项目 PET 放射诊断拟使用 ^{18}F 药品，均为外购成品，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，提前向有资质的公司订药，医药公司根据医院预约的时间和用量定时送药，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到 PET 分装注射室通风橱内，当天用完。 ^{18}F 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装（在通风橱内进行手动分装），每次最多到货 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ （放置于不低于 40mmPb 的铅罐内）。PET/CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-13。

(1) 医护人员告知预约检查的患者注意事项后，患者根据叫号从 PET 诊断区患者专用入口进入核医学科控制区；

(2) 医护人员提前在 PET 分装注射室通风橱内根据患者用药情况将药物分装至一次性注射器，测定活度，经校对无误后在注射器外设置 5mmPb 防护套，准备注射；

(3) 患者到 PET 分装注射室注射窗口前，医护人员将 ^{18}F 药物送入患者体内；

(4) 注射 ^{18}F 药物后患者进入 PET 注射后候诊室候诊，待药物代谢至靶器官；

(5) 患者根据叫号情况进入相应的 PET 机房，躺在扫描床上，经医护人员指导摆位后，接受 PET/CT 或 PET/MR 扫描检查；

(6) 扫描完成后，患者离开机房，进入 PET 留观室内留观约半小时，无碍后由患者专用出口离开。

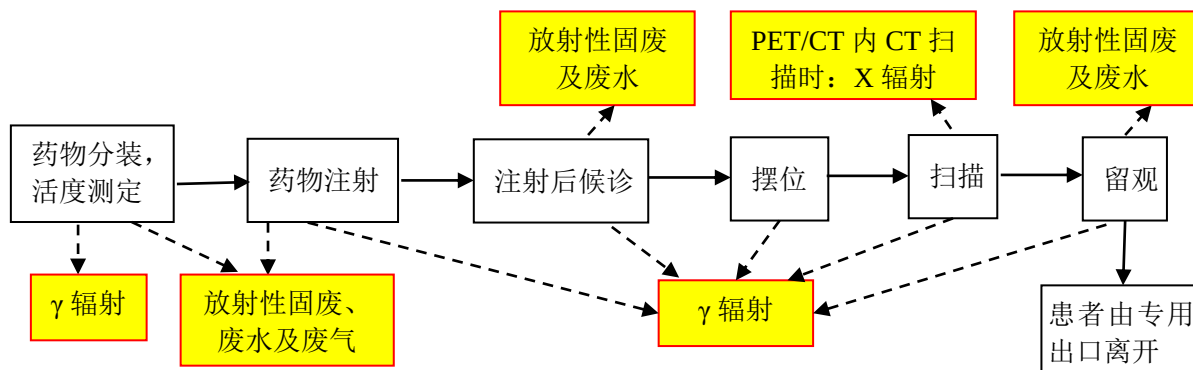


图9-13 PET放射诊断工作流程及产污环节示意图

2、SPECT 诊断

本项目 SPECT 诊断拟使用 ^{99m}Tc 药品，均为外购成品，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，提前向有资质的公司订药，医药公司根据医院预约的时间和用量定时送药，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到 SPECT 分装注射室通风橱内，当天用完。 ^{99m}Tc 药物到货时为分装好的针剂、无需分装。SPECT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-14。

(1) 医护人员告知预约检查的患者注意事项后，患者根据叫号从 SPECT 诊断区患者专用入口进入核医学科控制区；

(2) 医护人员在通风橱内用放射性活度测量仪测定相应注射器内药物活度，经校对无误后准备注射；

(3) 患者到 SPECT 分装注射室注射窗口前，医护人员将 ^{99m}Tc 药物送入患者体内；

(4) 注射 ^{99m}Tc 药物后患者进入 SPECT 注射后候诊室候诊，待药物代谢至靶器官；部分患者可能需要在运动负荷室内加强运动使心率达到一定水平、促使药物代谢至靶器官；

(5) 患者根据叫号情况进入相应的 SPECT 机房，躺在扫描床上，经医护人员指导摆位后，接受 SPECT/CT 扫描检查；

(6) 扫描完成后，患者离开机房，进入 SPECT 留观室内留观约半小时，无碍后由患者专用出口离开。

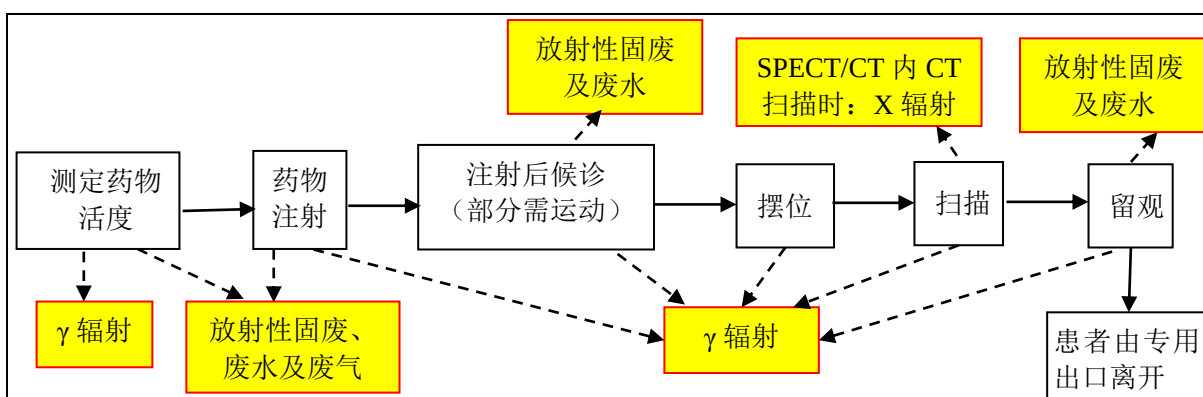


图 9-14 SPECT/CT 放射诊断工作流程及产污环节

3、甲亢治疗、甲癌治疗

患者在治疗前，需进行甲状腺功能测定，单名患者甲功测定用 ^{131}I 药物活度最大为 $2.22 \times 10^5 \text{Bq}$ ，小于 GB18871-2002 中 ^{131}I 豁免活度限值 ($1 \times 10^6 \text{Bq}$)，对环境辐射影响较小。甲功测定用 ^{131}I 药物暂存于 SPECT 注射分装室通风橱内，医护人员在通风橱内用滴管吸取相应量药物至药杯，供患者服用，患者服药后分别于 2h、4h、24h 后返回医院甲功室进行吸碘率测试，经测试确定各患者的用药量后，医院向有资质的公司预约定药。

医药公司根据医院预约的时间和用量定时送药，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到核素治疗区控制给药室通风橱内，当天用完。 ^{131}I 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装（在控制给药室全自动分装柜内进行自动分装），每次最多到货 $3.478 \times 10^{10} \text{Bq}$ （放置于不低于 40mmPb 的铅罐内）。

甲亢治疗工作流程如下：

（1）医护人员告知甲亢患者注意事项，与患者签署知情同意书，患者根据叫号从核素治疗区患者专用入口进入控制区；

（2）服药前，医护人员核对患者姓名、服药量等信息后，工作人员在控制给药室通过电脑控制全自动分装柜自动分装 ^{131}I 药物，分装柜西侧与服药窗口直接连接，建立给药通道；

（3）患者到控制给药室服药窗口前，医护人员通过监控和语音系统指导患者服药，甲亢患者将给药窗门打开后取药，关闭给药窗门后口服药物；

（4）患者服药后将一次性纸杯、擦拭纸放入服药窗口旁的废物铅桶内，经治疗区患者走廊离开核医学工作场所。

本项目单人治疗甲亢用药量一般为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 、最多不超过 400MBq，对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）7.2.1 中“接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射

性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。”的要求，本项目甲亢患者为门诊治疗，口服药物后即可离开医院。甲亢治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-15。

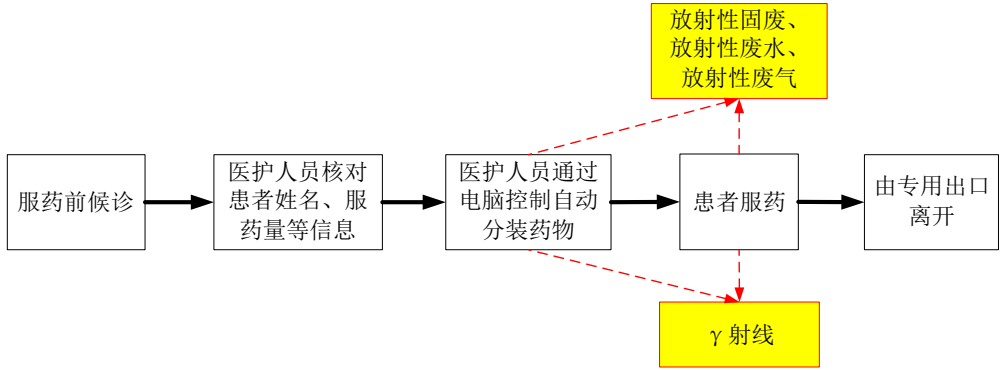


图 9-15 ^{131}I 甲亢治疗具体工艺流程及产污环节示意图

甲亢治疗工作流程如下：

- （1）医护人员告知甲亢患者注意事项，与患者签署知情同意书，患者根据叫号从核素治疗区患者专用入口进入核医学科控制区；
- （2）服药前，医护人员核对患者姓名、服药量等信息后，工作人员在控制给药室通过电脑控制全自动分装柜自动分装 ^{131}I 药物，分装柜西侧与服药窗口直接连接，建立给药通道；
- （3）患者到控制给药室服药窗口前，医护人员通过监控和语音系统指导患者服药，甲亢患者将给药窗门打开后取药，关闭给药窗门后口服药物；
- （4）患者服药后将一次性纸杯、擦拭纸放入服药窗口旁的废物铅桶内，然后进入各自病房，住院观察治疗。甲亢患者住院期间，保洁人员不对病房进行打扫，正常情况下，医护人员也不进入病房，通过视频及对讲进行查房等医疗活动；
- （5）待患者体内 ^{131}I 药物活度小于 400MBq 或患者 1m 处的周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 时，方可出院。

由于甲亢患者的甲状腺大部分或者全部切除，其对碘的摄取量非常少，大部分碘由大小便及汗液排出，因此，在核素半衰期及生物半排期同时作用下，患者体内的 ^{131}I 约一天后只剩一半（参考《分化型甲状腺癌患者的 ^{131}I 有效半衰期》），约住院 5 天后体内的 ^{131}I 药物活度将小于 400MBq。

同时，医院拟在核素治疗区患者出口走廊位置配备 1 台 ^{131}I 患者自助测量系统，测量患者体内活度、甲状腺辐射残留活度、甲状腺吸碘率、患者体表辐射剂量率等参

数，系统设置智能语音引导和身份识别，患者通过刷身份证自助完成测量，测量数据自动上传管理软件，自动生成患者测量档案，医护人员可以了解患者住院期间身体状况、治疗效果，并判断是否符合出院标准，当患者体内 ^{131}I 药物活度小于 400MBq 或患者 1m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 时方可出院，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中 7.2.1 的出院要求。

甲癌治疗具体工艺流程及产污环节见图 9-16。

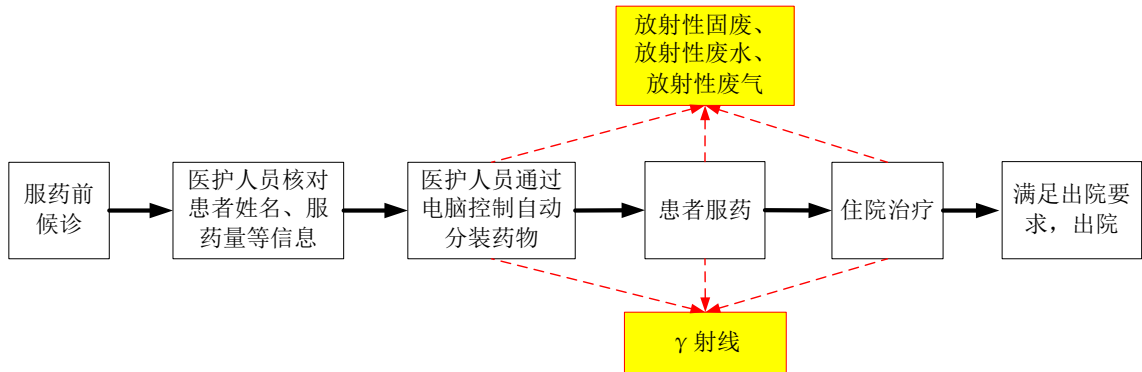


图 9-16 甲癌治疗具体工艺流程及产污环节示意图

9.1.3.5 ERCP、介入科 DSA

ERCP、介入科 DSA 工作流程及产污环节见图 9-17。

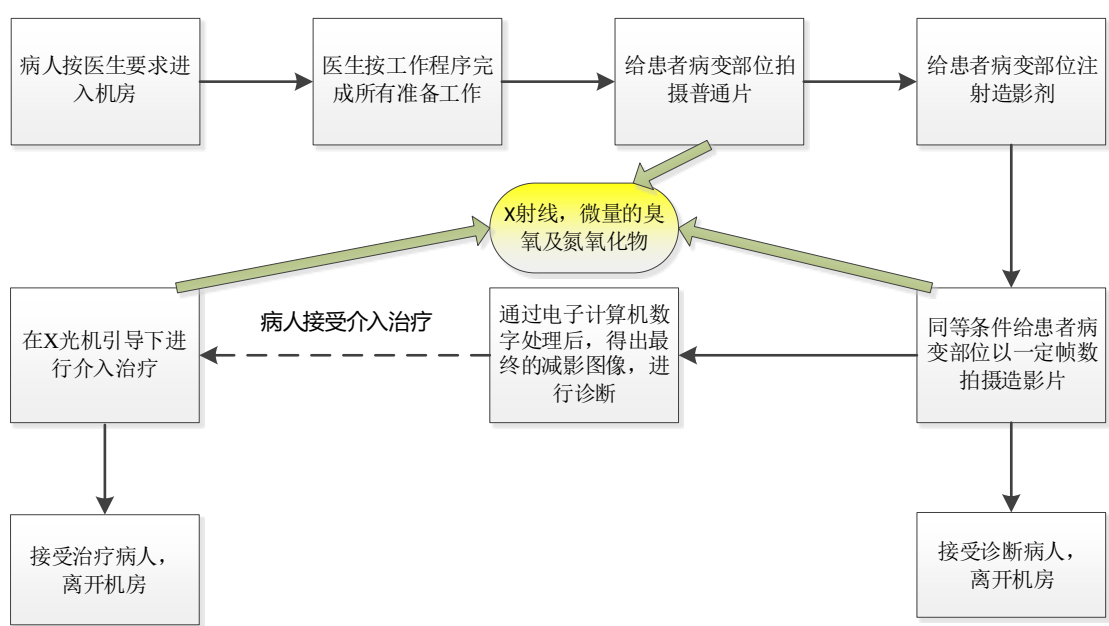


图 9-17 ERCP、介入科 DSA 工作流程及产污环节示意图

9.1.3.6 复合手术室

本项目手术中心 2 间复合手术室为 DSA 和 CT 复合手术室，通过智能化数字精控 CT 轨道，将 CT、DSA 两大设备“复合”在一起。操作人员在控制室内通过控制系统将 CT 机通过轨道滑行至手术床旁，操作人员在控制室内隔室操作，对患者进行 CT 检查，

检查完成之后，CT 通过轨道滑走；在 DSA 介入治疗的同时，可以通过 CT 实时判断病灶大小与数量等，从而在术中做出全面评估。CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图见图 9-18，DSA 工作流程及产污环节见图 9-17。

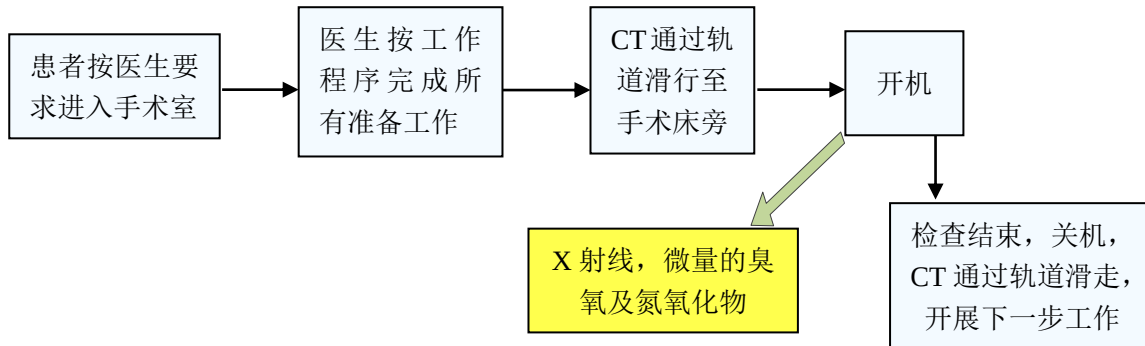


图 9-18 CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

9.1.4 人流、物流路径规划

9.1.4.1 直线加速器、射波刀、后装机

本项目 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房均设有迷道，迷道口均设有防护门，人流、物流路径均为从迷道门进出机房。

9.1.4.2 核医学

本项目核医学工作场所东部为门诊区，拟开展项目包括：PET 放射诊断、SPECT 放射诊断；西部为核素治疗区，拟开展项目包括：甲亢治疗、甲癌治疗。核医学工作场所控制区内医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，送药时间、放射性固废收集时间与患者就诊时间错开，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，核医学工作场所人流、物流路径合理。

1、医护人员路径规划

门诊区医护人员从核医学工作场所东侧入口进入，经注射前候诊区护士站旁入口进入缓冲区，PET、SPECT 设备操作人员直接进入控制廊，PET 药物分装、注射人员经北侧卫生通过间进入 PET 分装注射室，SPECT 药物分装、注射人员经南侧卫生通过间进入 SPECT 分装注射室。医护人员工作结束后原路返回。甲功室医护人员从甲功室南门进入甲功室，工作结束后从南门离开。

核素治疗区医护人员从核医学工作场所东侧入口进入，经注射前候诊区卫生间西侧入口进入通往核素治疗区走廊，进入核素治疗区后，¹³¹I 药物分装、给药人员经卫生通过间进入控制给药室，送餐人员经缓冲进入配餐间，医护人员将餐盒放置在配餐间传递窗前，并通过语音系统通知患者取餐，送餐人员离开后患者自行取餐，一般情况下，

甲癌患者住院期间，医护人员不进入病房，保洁人员也不进入病房内进行清扫。医护人员工作结束后原路返回。

2、患者路径规划

患者均从核医学工作场所东侧入口进入，在注射前等候区候诊，根据叫号，去相应场所接受显像检查或核素治疗。

接受PET显像检查的患者从门诊区PET患者专用入口进入控制区，经注射、候诊、扫描、留观后由患者专用出口离开核医学工作场所。

接受SPECT显像检查的患者从门诊区SPECT患者专用入口进入控制区，经注射、候诊、扫描、留观后由患者专用出口离开核医学工作场所。

甲功测定患者从甲功室南门进入甲功室，经医生问诊等后，从甲功室北门进入注射前室，服药后从甲功室北门进入、从南门离开，后遵医嘱于服药后不同时间点从甲功室南门进入甲功室，进行甲功测定后从南门离开。

甲亢治疗患者从注射前候诊区卫生间西侧入口进入通往核素治疗区走廊，进入核素治疗区后，从核素治疗患者专用入口进入控制区，在服药窗口服药后即由患者专用出口离开核医学工作场所。

甲癌住院患者从注射前候诊区卫生间西侧入口进入通往核素治疗区走廊，进入核素治疗区后，从核素治疗患者专用入口进入控制区，在服药窗口服药后进入甲癌病房住院，满足出院要求后，由患者专用出口离开核医学工作场所。

3、放射性药物路径规划

放射性药物均从核医学工作场所患者专用出口送入核医学科， ^{18}F 药物送至门诊区PET分装注射室通风橱内暂存， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物送至门诊区SPECT分装注射室通风橱内暂存，甲功测定用 ^{131}I 药物送至门诊区SPECT分装注射室通风橱内暂存，甲亢、甲癌治疗用 ^{131}I 药物送至核素治疗区控制给药室自动分装柜内暂存，送药时间与患者就诊时间错开。

4、放射性固废路径规划

分装注射室、注射后候诊室、留观室、控制给药室、服药窗口、甲癌病房等相应场所均拟设置放射性废物桶，放射性核素操作过程中产生的放射性固废先暂存于各场所放射性废物桶内，门诊区的放射性固废将于当天门诊下班后收集至门诊区放射性废物间内贮存衰变，核素治疗区的放射性固废将于甲癌住院患者出院后收集至治疗区放射性废物间内贮存衰变；通风系统内更换下来的废活性炭过滤吸附材料等放射性固废，将于更换后直接收集至废物袋内，并送至治疗区放射性废物间内贮存衰变。放射

性固废在废物间内贮存衰变至少十个半衰期，达到核素清洁解控推荐水平后，由医护人员于下班后将放射性固废从放射性废物间经 PET/MR 机房南侧的污梯运出核医学工作场所。

9.1.4.3 ERCP、介入科 DSA、手术中心复合手术室

本项目 2 间 ERCP 机房、6 间 DSA 机房、2 间复合手术室均设有独立的医护人员通道和患者通道。ERCP 医护人员经更衣、刷手后，通过医护走廊进入控制室，从医护人员防护门进出机房，患者经过患者走廊后从患者通道防护门进出机房；DSA 医护人员从走廊进入控制室，从医护人员防护门进出机房，患者经过走廊后从患者通道防护门进出机房；复合手术室医护人员通过洁净走道进入控制室，从医护人员防护门进出手术室，患者经过洁净走道后从患者通道防护门进出手术室；各机房内产生的污物均先暂存在机房内，当天工作结束后，由患者通道防护门运出机房。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所均未建，在建设阶段不产生辐射影响，本项目施工期主要包括：辐射工作场所的土建及防护装修，产生的环境影响主要是施工时产生的废气、噪声、固体废物以及废水等环境影响。施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，且随着施工期结束，固废及废水在施工期间内妥善处置，施工期产生的扬尘、噪声等方面的影响将随着施工结束会自行消除。

9.2.2 运行阶段的污染源项

9.2.2.1 正常工况

一、放射性污染源分析

1、医用直线加速器

本项目拟配备 2 台直线加速器，X 射线最大能量为 10MV，距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 1440Gy/h，放射性污染源主要包括：电子束、X 射线。

（1）电子束

当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患者。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。

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。

(2) X 射线

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。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、射波刀

本项目射波刀内含 1 台直线加速器（X 线能量≤6MV）和两组 X 射线管（最大管电压为 150kV、最大管电流为 640mA），两组 X 射线管不同时开机工作，X 射线管和直线加速器也不同同时开机工作。加速器距靶 0.8m 处 X 射线最大剂量率为 600Gy/h。

由射波刀工作流程可知，只有开启直线加速器或 X 射线管进行出束时，射波刀才会发出 X 射线。因此，射波刀在开机出束期间，X 射线是项目主要污染物。

3、后装机

(1) γ 射线

本项目后装机内 ¹⁹²Ir 放射源最大装源活度为 3.7×10¹¹Bq，后装机未使用时，放射源处于贮源器内，少量 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入治疗机房的人员及室外公众等产生外照射。

后装机在治疗过程中，¹⁹²Ir 放射源位于施源器内，放射源发射出的 γ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对治疗机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

¹⁹²Ir 放射性核素特性见表 9-3，衰变纲图见图 9-20。

表 9-3 ¹⁹²Ir 放射性核素特性表

核素	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 (%)	γ 射线能量均值 (MeV)	空气比释动能率常数 (μSv/(h·MBq))
¹⁹² Ir	74.0d	β ⁻ (95.13) ε (4.87)	538.3 (41.43) 675.1 (48.0) 258.7 (5.6)	316.5 (82.75) 468.1 (47.81) 308.5 (29.68) 296.0 (28.72) 604.4 (8.2)	0.37	0.111

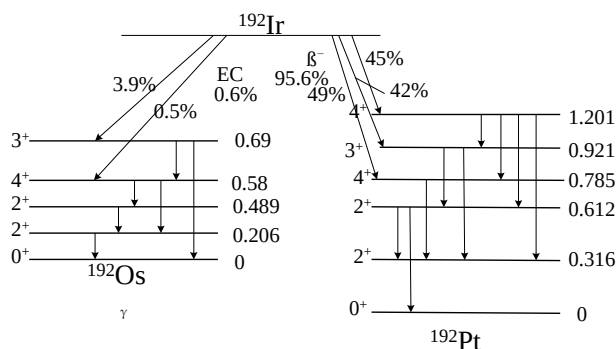


图 9-20 ^{192}Ir 衰变纲图

(2) 放射性废物

^{192}Ir 放射源使用到一定时间（约 180 天）后当强度低于使用要求时，必须重新购买新源，从而产生退役的放射源（即放射性废物），可能会对周围环境产生一定的危害。

3、核医学

(1) 辐射

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 放射性药物在分装、给药等过程中，以及给药后患者在候诊、扫描或住院等过程中，由于核素的持续衰变产生的 γ 射线，将会造成医务人员及公众的外照射。此外，PET/CT、SPECT/CT 在诊断过程中 CT 运行会产生 X 射线外照射。

^{18}F 核素自然衰变产生的 β^+ 粒子发生湮灭反应后产生的 γ 光子能量为 0.511MeV， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素自然衰变产生的 γ 射线平均能量分别为约 0.14MeV、0.365MeV，PET/CT、SPECT/CT 最大管电压均为 150kV、最大管电流为 1000mA。核医学拟使用放射性核素特性见表 9-4。

表 9-4 核医学拟使用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	周围剂量当量率常数（裸源） ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303
^{131}I	8.02d	β^-	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595

(2) 放射性固体废物

放射性核素操作过程中，会产生放射性固体废物，如一次性注射器、西林瓶、手套、擦拭废纸及患者使用的一次性杯子等沾有微量放射性核素的废物，以及核医学工

作场所、自动分装柜、通风橱通风系统内更换下来的废活性炭过滤吸附材料等带微量放射性核素的固体废弃物。

PET、SPECT 放射诊断日最大门诊量均为 60 人，年最大门诊量均为 15000 人，放射性固废预计日最大产生量均为约 3kg、年最大产生量均为约 750kg；甲亢治疗每天最多 10 人，每年最多 2500 人，放射性固废预计日最大产生量为约 1kg、年最大产生量为约 250kg；甲癌治疗每天最多 7 人，每周最多 7 人，每年最多 350 人，单人住院约 5 天，放射性固废预计日最大产生量为约 4kg、年最大产生量为约 1000kg；通风系统中更换下来的废活性炭过滤吸附材料年产生量预计为约 16kg。

(3) 放射性废水

放射性核素操作过程中，会产生放射性废水，包括：擦拭冲洗受放射性核素污染物品用水、操作人员进行放射性核素操作后洗手用水、用药患者的排泄物和冲洗水等。本项目放射性废水预计产生量见表 9-5。

表 9-5 放射性废水产生量

项目	核素名称	日最大门诊/住院量(人)	年门诊量(人)	单人住院天数(天)	单人单日产生量(L)	单日产生量(m ³)		年产生量(m ³)	
PET 放射诊断	¹⁸ F	60	15000	/	8	0.48	1.08	120	250.96
SPECT 放射诊断	^{99m} Tc	60	15000	/	8	0.48		120	
诊断场所每日产生的清洗废水保守按 40L 计，每年工作 250 天						0.04		10	
核素操作过程中发生泼洒等意外，人员淋浴产生的放射性废水保守按每次 40L 计，保守假设 PET 放射诊断、SPECT 放射诊断每月各发生 1 次意外，每年工作 12 个月						0.08		0.96	
甲亢治疗	¹³¹ I	10	2500	/	/	/	1.13	/	264.98
甲癌治疗	¹³¹ I	7	350	5 天	150	1.05		262.5	
治疗场所每周产生的清洗废水保守按 40L 计，每年工作 50 周						0.04		2	
核素操作过程中发生泼洒等意外，人员淋浴产生的放射性废水保守按每次 40L 计，保守假设治疗场所每月发生 1 次意外，每年工作 12 个月						0.04		0.48	

注：①核医学科使用节水型马桶，假设单名 PET、SPECT 患者注射药物后在候诊、扫描、留观过程中使用 1~2 次卫生间，马桶一次冲水量为 3~6L，估算时单名患者单日放射性废水产生量保守取 8L；甲亢患者服药后即离开核医学科，不产生放射性废水。

②根据 2003 年原国家环保总局发布的《医院污水处理技术指南》第 7 章，放射性废水产生量为 100~200L/床·d，估算时取平均值 150L/床·d。

(4) 放射性废气

放射性核素在分装过程中，由于自身挥发或由于空气的流动而“挥发”出的微量放

射性废气，被人员吸入可能会产生内照射影响。本项目放射性药物的分装均在带有通风装置的通风橱内进行，空气中挥发散逸的放射性核素几乎没有，放射性气溶胶非常少，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

4、ERCP、介入科 DSA、复合手术室（DSA、移动 CT）

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

二、非放射性污染源分析

1、医用直线加速器、射波刀

①废气

医用直线加速器项目运行期产生的废气主要为加速器运行时产生的 X 射线和电子线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

射波刀项目运行期产生的废气主要为射波刀内加速器或 X 射线管运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为加速器或射波刀运行过程中产生的定位体模、一次性床单等医疗废物和生活垃圾。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

2、后装机

①废气

项目运行期产生的废气主要为 ^{192}Ir 后装机运行时放射源发射出的 γ 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为后装治疗过程中产生的纱布、棉签、一次性床单等医疗废物和生活垃圾。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

3、核医学

①废气

项目运行期产生的废气主要为 PET/CT、SPECT/CT 内 CT 装置运行时发射出的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为生活垃圾。

③废水

项目运行期产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

4、ERCP、DSA、复合手术室

①废气

ERCP 项目运行期产生的废气主要为 ERCP 用 X 光机运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

DSA 项目运行期产生的废气主要为 DSA 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

复合手术室项目运行期产生的废气主要为 DSA 或移动 CT 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物和生活垃圾。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

9.2.2.2 事故工况

本项目可能发生的辐射事故如下：

1、直线加速器、射波刀

①辐射工作人员违反操作规程和误操作，造成意外照射；

②直线加速器或射波刀治疗期间工作人员或其他人员误留在机房内，致使其受到大剂量照射；

③由于加速器或射波刀安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入机房内受到误照射；

④加速器或射波刀维修调试过程中，因维修人员误操作导致加速器或射波刀出束，可能发生误照射；或维修人员维修结束时，未将加速器或射波刀调回初始状态，使之仍处强制出束的维修状态，若工作人员冒然使用，可能致患者过量照射。

2、后装机

①辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

②联锁装置失效或设备运行时人员误留机房，装置的运行可能对人员产生超剂量照射；

③后装机进行维修时，若发生联锁失效或强行出源等情况时，导致维修人员可能受到不必要的照射；

④后装机因工作人员操作不当或者出现设备故障，在设备安装、更换放射源或维修设备时，发生放射源跌落造成操作人员受到意外照射；

⑤后装机施源器发生故障，可能导致放射源被卡住，发生驻源事件，或者放射源从施源器脱漏，往往会对患者和工作人员造成过量照射；

⑥由于管理工作不到位导致后装机放射源发生被盗、丢失等事故，可能造成对公众的意外照射和环境放射性污染。

3、核医学

①门诊用药患者未按要求在相应房间等候、留观，甲癌治疗患者未按要求在甲癌病房内住院治疗，在规定房间以外的区域随意走动，导致公众受到照射；

②由于保管或管理工作不到位导致放射性药物丢失、被盗等情况导致公众受到大剂量照射；

③辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污；

④辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染；

⑤ PET/CT、SPECT/CT 正常工作时，非相关人员误留、误入机房，导致发生误照射。

4、ERCp、DSA、复合手术室

①辐射设备正常工作时，人员误留、误入机房或手术室，导致发生误照射；

②操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

③工作状态指示灯等辐射安全设施发生故障的状况下，人员误入辐射设备正在运行的机房或手术室，导致发生误照射。

事故工况下的辐射污染因子与正常工况下的污染因子一致。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 医用直线加速器、射波刀

10.1.1.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目直线加速器机房 1、加速器机房 2（不含迷路）净面积均为约 68m²，2 间机房与控制室等辅房均分开设置，控制室均位于机房南侧；机房均设有 L 型迷路，迷路口设有防护门，有用线束不向迷路照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射。

本项目射波刀机房内（不含迷路）净面积为约 59.4m²，射波刀机房与控制室等辅房分开设置，控制室位于机房南侧；机房设有 L 型迷路，迷路口设有防护门；依每个患者的病变区，射波刀治疗装置的准直束由 80 个~200 个不同的方向照射，射波刀机房的各墙体、防护门、顶棚均按有用束（ $U < 0.05$ ）屏蔽要求设计（底板下方为土层、无建筑）。

直线加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗设备控制室应与治疗机房分开设置”、“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”、“其他治疗机房均应设置迷路”等规定，布局合理。

(2) 工作场所分区

医院拟进行分区管理，拟将加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将控制室、辅助机房、水冷机房、准备室划为监督区，严格限制无关人员进入。该加速器、射波刀工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

10.1.1.2 辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的辐射防护设计图纸，加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房均拟采用密度不低于 2.35g/cm³ 混凝土浇筑，机房电缆线均拟采用地下“U”型穿墙管道，送风管道均拟从防护门上方横梁“丿”型穿墙，排风管道均拟从北墙“ㄣ”型穿墙，穿墙管道均避开主射线方向，射线经几次散射后，管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房各屏蔽墙、顶棚及防护门屏蔽参数见表 10-1。

表 10-1 加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房屏蔽设计参数

位置			屏蔽参数	
			屏蔽厚度	主屏蔽宽度
加速器机房 1	东墙	主屏蔽	300cm 砼	440cm
		次屏蔽	150cm 砼	/
	南墙	迷道内墙	140cm 砼	/
		迷道外墙	(90~140) cm 砼	/
	西墙	主屏蔽	300cm 砼	440cm
		次屏蔽	220cm 砼	/
	北墙		170cm 砼	/
	顶棚	主屏蔽墙	300cm 砼	400cm
		次屏蔽墙	140cm 砼	/
	防护门		10mm 铅当量	/
加速器机房 2	东墙	主屏蔽	330cm 砼	440cm
		次屏蔽	250cm 砼	/
	南墙	迷道内墙	140cm 砼	/
		迷道外墙	(90~140) cm 砼	/
	西墙	主屏蔽	300cm 砼	440cm
		次屏蔽	150cm 砼	/
	北墙		170cm 砼	/
	顶棚	主屏蔽墙	300cm 砼	400cm
		次屏蔽墙	140cm 砼	/
	防护门		10mm 铅当量	/
射波刀机房	东墙		230cm 砼	/
	南墙	迷道内墙	(126.6~210) cm 砼	/
		迷道外墙	(87.7~190) cm 砼	/

	西墙	(250~330) cm 砵	/
	北墙	210cm 砵	/
	顶棚	250cm 砵	/
	防护门	10mm 铅当量	/

注：防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防止射线泄漏。

10.1.1.3 辐射安全措施设计

为保障本项目医用直线加速器、射波刀安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，该院根据国家相关标准要求拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 钥匙控制

决定加速器或射波刀产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制。

(2) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房入口处均拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与机房内加速器或射波刀联锁，防止无关人员逗留和误入。

(3) 门机联锁装置

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房防护门均拟设置门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启加速器或射波刀，在设备出束状态下意外打开防护门，立即停止出束，关上门不能自动开始出束，同时防护门拟设置防挤压功能。

(4) 紧急停机按钮

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房内治疗床、机房内不同方向的墙面合适位置及机房迷道内，控制室的操作台上均拟设置急停开关，并在醒目处设置标签，标明使用方法，在人员误入机房或遭遇紧急情况时，按下紧急停机按钮能立即切断系统电源，防止误照射，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

(5) 监控及对讲系统

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房内均拟安装视频监控系统，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；控制室与治疗室之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

(6) 紧急开门按钮

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房迷道内人员易接触的位置均拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸。

（7）固定式辐射剂量监测系统

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房迷路内口处均拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

（8）通风系统

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房内均拟设置机械通风系统，包括新风和排风装置，室内排风口距地板高度设计为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置。加速器机房 1 设计排风量为 4140m³/h，加速器机房 2、射波刀机房设计排风量为 3810m³/h，加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房内有效容积（包含迷道容积）分别为约 363m³、363m³、308m³，可保证每间机房每小时通风次数不小于 4 次。

加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房拟设置的辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。

10.1.2 后装机

10.1.2.1 工作场所布局和分区

（1）工作场所布局

本项目涉及的后装治疗机房室内（不包括迷道）净面积为 25.2m²，机房与控制室等辅助用房分开设置，控制室位于机房南侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗设备控制室应与治疗机房分开设置”、“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”、“其他治疗机房均应设置迷路”等规定，布局合理。

（2）工作场所分区

医院拟进行分区管理，拟将后装治疗机房划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将控制室、准备室和设备房划为监督区，严格限制无关人员进入。该后装治疗工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB

18871-2002) 第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

10.1.2.2 工作场所辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的屏蔽设计图纸，后装治疗机房拟采用密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 混凝土浇筑，机房电缆线拟采用地下“U”型穿墙管道，送风管道、排风管道均拟从防护门上方横梁穿墙，穿墙管道均避开主射线方向，射线经几次散射后，管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

后装治疗机房各屏蔽墙、顶棚及防护门屏蔽参数见表 10-2。

表 10-2 后装治疗机房屏蔽参数

位置		屏蔽参数
东墙		150cm 砼
南墙	迷道内墙	60cm 砼
	迷道外墙	60cm 砼
西墙、北墙、顶棚		60cm 砼
防护门		8mm 铅当量

注：防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防止射线泄漏。

10.1.2.3 辐射安全措施设计

为保障 ^{192}Ir 后装机安全运行，避免在开机治疗期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，该项目拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯

后装机房入口处拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与后装机联锁，防止无关人员逗留和误入。

(2) 门机联锁装置

后装机房防护门设计安装门机联锁装置，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置；同时机房内拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设置防挤压功能。

(3) 紧急停机按钮（急停开关）

后装机控制室的操作台、后装机设备表面人员易触及位置以及后装机房内不同方向的墙面合适位置各拟设置一个急停开关，在发生紧急情况时，按下急停按钮放射源将自动回到后装机的安全位置，急停按钮按下后需要手动复位。

（4）监控与对讲装置

后装机房内拟安装视频监控系统，在治疗过程中医务人员可以在控制室内实时观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；控制室与治疗室之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

（5）固定式辐射剂量监测系统

后装机房迷道内拟设置 1 台具有报警功能的固定式辐射剂量监测仪，该系统数字显示装置安装在控制室内，可以实时读取机房内的空气吸收剂量率数据，用来监测放射源状态。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

（6）应急储存设施

后装治疗设施拟配备应急储源器。

（7）应急处理措施

在后装治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，拟采取手动回源的应急处理措施。

（8）通风系统

后装机房内均拟设置机械通风系统，包括新风和排风装置，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置。后装治疗机房设计排风量为 1000m³/h，后装治疗机房内有效容积（包含迷道容积）为约 140m³。可保证机房每小时通风次数不小于 4 次。

本项目后装治疗机房拟设置的辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

10.1.3 核医学

10.1.3.1 工作场所布局和分区

（1）工作场所布局

福建省童昌综合医院有限公司核医学科所拟开展 PET 放射诊断、SPECT 放射诊断、甲亢治疗、甲癌治疗项目，根据拟开展的项目，核医学工作场所从功能设置上分为诊断工作场所（PET 放射诊断、SPECT 放射诊断）和治疗工作场所（甲亢治疗、甲癌治疗），诊断场所位于东部，治疗场所位于西部。诊断场所和治疗场所共用给药前患者候诊区、患者出口，诊断场所设有单独的分装注射室、卫生通过间、注射后患者休息室（包括卫生间）、控制廊、机房、放射性固废暂存间等功能用房，治疗场所设有单独的控制给药

室、卫生通过间、治疗病房（包括卫生间）、值班室等功能用房，核医学工作场所拟设置污洗间、抢救室、护士站、卫生间等辅助用房。

本项目诊断区域与治疗区域分开布置；PET 放射诊断、SPECT 放射诊断、甲亢治疗、甲癌治疗基本能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少人员的流动性，有助于实施工作程序；控制区内医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线；药物分装、药物注射与扫描检查及住院病房等分开，注射后候诊室、留观室、住院病房内均设计有给药后患者专用卫生间，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于核医学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求。核医学科工作场所布局基本合理。

（2）工作场所分区

本项目核医学工作场所按其功能拟划分为控制区和监督区，并实施分区管理，控制区包括：分装注射室、注射前室、控制给药室、卫生通过间、注射后患者休息室（包括卫生间）、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT 机房、留观室、抢救室、运动负荷兼抢救室、甲癌住院病房、放射性固废暂存间、污被暂存间、污洗间、污水间、患者通道、放射性废水衰变室等，监督区包括：甲功室、诊断区医生入口缓冲区、PET 及 SPECT 放射诊断设备控制廊、医生休息室、甲癌病区送餐人员入口缓冲区、配餐间等。本项目拟采取的分区措施能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

10.1.3.2 辐射防护屏蔽设计

本项目核医学工作场所控制区的屏蔽防护设计参数见表 10-3。

表 10-3 核医学工作场所控制区的屏蔽防护设计参数一览表

场所	屏蔽参数
PET/CT 机房 1	东墙：120mm 实心砖墙+12mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 南墙、西墙、北墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb； 铅玻璃观察窗：10mmPb
PET/CT 机房 2、 PET/MR 机房	四周墙体：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb； 铅玻璃观察窗：10mmPb
PET/MR 机房东侧缓冲区	四周墙体：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼；

	防护门：10mmPb
PET 分装注射室	四周墙体：120mm 实心砖墙+12mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb； 注射窗：40mmPb
	室内通风橱：50mmPb
放射性废物库 1	东墙、南墙、西墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 北墙：120mm 实心砖墙+12mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb
PET 注射前室	四周墙体：120mm 实心砖墙+12mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 东防护门：18mmPb； 南防护门：10mmPb； 西门：普通门
PET 注射后休息室 1、 PET 注射后休息室 2	四周墙体：120mm 实心砖墙+12mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼+4mmPb 防护涂料； 入口防护门：10mmPb； 患者座椅之间采用 10mm 铅当量铅屏风分隔
PET 注射后休息室 3	四周墙体：120mm 实心砖墙+12mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 入口防护门：10mmPb； 病床之间采用 10mm 铅当量铅屏风分隔
PET VIP 注射后休息室 1	东墙：120mm 实心砖墙+12mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 南墙、西墙、北墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb
PET VIP 注射后休息室 2	四周墙体：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb
PET VIP 注射后休息室 3、 PET 抢救室	东墙、南墙、北墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 西墙：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb
PET 留观室 1、 PET 留观室 2	四周墙体：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb 患者座椅之间采用 10mm 铅当量铅屏风分隔
污水间 1	东墙：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 南墙、西墙、北墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm

	实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb
诊断区患者走道（北侧） （与各场所共用部分除外）	四周墙体：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：10mmPb
SPECT/CT 机房 1、 SPECT/CT 机房 2、 SPECT/CT 机房 3	四周墙体：120mm 实心砖墙+6mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：4mmPb； 铅玻璃观察窗：4mmPb
SPECT 分装注射室	四周墙体：120mm 实心砖墙+6mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：4mmPb； 注射窗：20mmPb
	室内通风橱：10mmPb
放射性废物库 2、 SPECT 注射前室、 SPECT 运动兼抢救室、 SPECT VIP 注射后患者休息 室 1~4、 污洗间 1、 SPECT 留观室、 诊断区患者走道（南侧）	四周墙体：120mm 实心砖墙+6mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：4mmPb
SPECT 注射后患者休息室 1、 SPECT 注射后患者休息室 2	四周墙体：120mm 实心砖墙+6mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：300mm 砼； 防护门：4mmPb； 患者座椅之间采用 4mm 铅当量铅屏风分隔
放射性废物库 3	东墙、南墙、北墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 西墙（与甲癌病房 7 共用部分）：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 西墙：（与污被暂存间共用部分）：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：10mmPb
污水间 2、污洗间 2	西墙：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 东墙、南墙、北墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：10mmPb
甲癌患者抢救室	四周墙体：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：12mmPb

控制给药室	四周墙体：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 北防护门：12mmPb； 南防护门：10mmPb； 服药窗：40mmPb
	室内自动分装柜：50mmPb
储源间	东墙、南墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 西墙、北墙：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：10mmPb
放射性废物库 4、 污被暂存间	东墙、南墙、西墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 北墙：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：10mmPb
污洗间 3	东墙、南墙、北墙：120mm 实心砖墙+8mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 西墙：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：10mmPb
甲癌治疗病房 1~7	四周墙体：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：10mmPb 甲癌治疗病房 1~6 外缓冲区防护门：8mmPb
治疗区患者走道	四周墙体：120mm 实心砖墙+15mmPb 防护涂料+120mm 实心砖墙； 顶棚和底板：350mm 砼； 防护门：15mmPb 与配餐间之间传递窗：40mmPb
放射性废水衰变室	四周墙体、顶棚和底板：300mm 砼 防护门：8mmPb

注：根据建设单位提供资料，混凝土密度为不低于 2.35g/cm^3 ，实心砖密度为不低于 1.65g/cm^3 。

10.1.3.3 辐射安全措施设计

核医学工作场所拟设置以下辐射安全和防护措施：

（1）电离辐射警告标志

核医学工作场所控制区入口和出口处、控制区内各场所入口、放射性废物桶表面、通风橱/自动分装柜表面拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

（2）工作状态指示灯及闭门装置

①2 间 PET/CT 机房、1 间 PET/MR 机房、3 间 SPECT/CT 机房门口均拟设置工作

状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，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；

②PET/CT 机房、SPECT/CT 机房医护人员进出门拟设置为平开门，拟设置闭门装置；PET/CT 机房、SPECT/CT 机房患者进出门拟设置为电动推拉门，拟设置防夹装置，门关闭后方开机曝光，避免射线装置开机时防护门未关闭造成门外人员受照；

③控制区内患者进出口门、放射性固体废物库、注射后休息室、留观室、污被暂存间、甲癌病房、PET/MR 机房及机房外缓冲区等防护门均拟设置闭门装置，确保防护门处于常闭状态，避免室外人员受到不必要的照射。

(3) 对控制区内带药患者的监督管理

①控制区内患者出入口拟设置带有门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，患者走廊与监督区相连的非出入口防护门拟设置门禁系统，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内，告知患者检查/治疗路线及注意事项，场所中相应位置拟设置明确的患者导向标识或导向提示，甲癌患者住院观察期间，不允许在病房外随意走动，防止其对其他患者或公众造成不必要照射；

②分装注射室与注射前室之间防护门均拟设置门禁系统，防止患者进入对医护人员造成不必要的照射；患者出口电梯一层门外拟设置醒目的电离辐射警告标志和警示标语，除核医学工作场所患者、核医学医护人员等相关人员外，其余无关人员不得乘坐电梯；

③各项目患者均实行预约制，医院将安排时间集中治疗或诊断，甲功测定与SPECT 患者不同时进入控制区服药，避免患者互相之间不必要的交叉照射；

④甲癌患者服药处拟安装监控探头，并设置对讲系统，监控显示器位于给药控制室内，用于监控和指导患者服药；核医学控制区患者通道、PET 机房、SPECT 机房、注射后患者休息室、留观室、甲癌病房内等处均拟设置监控探头和对讲装置，实行电脑叫号，监视器拟设置于核医学工作场所护士站和控制廊内，医护人员实时监视整个控制区内的情况，通过对讲装置和监控装置，实现患者互相之间不交叉照射；

⑤PET 注射后患者休息室 1、休息室 2、休息室 3、PET 留观室 1、留观室 2、SPECT 注射后患者休息室 1、休息室 2 均拟设置为多人间（至少 2 人），PET 患者座椅/病床之间拟设置 10mm 铅当量的铅屏风屏蔽，SPECT 患者座椅之间拟设置 4mm 铅当量的铅屏风屏蔽，同时告知患者在候诊、留观期间的辐射防护注意事项，尽量减少患者互相之间的交叉照射。

(4) 放射性物质的安全管理措施

本项目放射性药物为按需订购，医院指定专人负责药物的接收和登记， ^{18}F 药物暂存于 PET 分装注射室通风橱内， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物和甲功测定用 ^{131}I 药物暂存于 SPECT 分装注射室通风橱内， ^{131}I 药物暂存于控制给药室南侧储源室内，当天用完；医院建立放射性同位素使用登记制度，对购入的放射性药物的使用情况进行登记和跟踪记录，确保正确无误，帐物相符；分装注射室、储源室入口均拟设置门禁，非相关人员不得入内；室内拟设置监控探头，医护人员对放射性药物实行实时监控。

(5) 个人防护用品

核医学科拟配备至少 12 套不低于 0.5mmPb 的防护铅衣、防护铅围脖、铅眼镜、铅帽等个人防护用品。

(6) 其他

①严禁辐射工作人员在控制区内进食、饮水、吸烟、化妆，严禁进行无关工作及存放无关物件，防止含有微量放射性核素的空气被医务人员吸入体内造成内照射；

②医护人员离开分装注射室、控制给药室前进行洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施；

③从控制区取出任何物件都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；

④甲癌病房用过的被服先收集至污被暂存间暂存衰变，衰变至少一个半衰期后再进行清洗。

本项目核医学工作场所拟设置的辐射安全和防护措施在认真落实后，能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准中的相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

10.1.4 ERCP、介入科 DSA、复合手术室

10.1.4.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目 2 台 ERCP 用 X 光机、介入科 6 台 DSA、复合手术室 2 台 DSA 和 1 台移动 CT 均设有单独的机房，控制室位于机房外，机房满足拟用辐射设备的布局要求；各机房内最小使用面积、最小单边长度见表 10-4，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”等标准的相关要求，布局合理。

表 10-4 机房使用面积、单边长度一览表

机房名称	拟用设备	机房内最小有效使用面积 m ²		机房内最小单边长度 m		评价
		本项目	标准要求	本项目	标准要求	
ERCP 机房 1	ERCP 用 X 光机 (具体设备未定, 一般为大型数字减影血管造影机或移动式 C 臂 X 光机)	32.76	30	5.2	4.5	符合要求
ERCP 机房 2		28.13	30	4.85	4.5	符合要求
DSA 机房 1	DSA	62.7	30	7.76	4.5	符合要求
DSA 机房 2	DSA	63.67	30	7.88	4.5	符合要求
DSA 机房 3	DSA	67.87	30	8.08	4.5	符合要求
DSA 机房 4	DSA	59.83	30	7.71	4.5	符合要求
DSA 机房 5	DSA	60.75	30	7.71	4.5	符合要求
DSA 机房 6	DSA	64.76	30	7.71	4.5	符合要求
复合手术室 1、 复合手术室 2	DSA、移动 CT	89.1	30	8.25	4.5	符合要求

注：本项目 ERCP 用 X 光机、DSA 型号均未定，机房内使用面积及单边长度保守取《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 2 中的双管头或多管头 X 射线设备（含 C 形臂）的要求。

（2）工作场所分区

医院拟进行分区管理，拟将辐射工作场所划为控制区和监督区，具体分区情况见表 10-5。

表 10-5 辐射工作场所分区情况一览表

辐射设备	控制区	监督区
内镜中心 ERCP 用 X 光机	ERCP 机房 1、ERCP 机房 2	2 间机房之间控制室、控制室东侧医廊、刷手间、更衣间
介入科 DSA	DSA 机房 1~6	机房之间控制室
手术中心复合手术室 DSA 及移动 CT	复合手术室 1、复合手术室 2、 复合 CT 中腔	北侧控制室及设备间

本项目 ERCP 用 X 光机、介入科 DSA、手术中心复合手术室 DSA 及移动 CT 工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

10.1.4.2 辐射防护屏蔽设计

ERCP 机房 1、ERCP 机房 2、介入科 DSA 机房、手术中心复合手术室拟采取的屏蔽设计参数见表 10-6。

表 10-6 ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室屏蔽防护设计参数一览表

机房名称	四周墙壁	顶棚、底板	防护门	观察窗
ERCP 机房 1、2	240mm 实心砖墙 +3mmPb 防护涂料	250mm 砼	4mm 铅当量	4mm 铅当量
DSA 机房 1~6	龙骨隔墙+4mmPb 防护铅板	250mm 砼	4mm 铅当量	4mm 铅当量
复合手术室 1、2、 复合 CT 中腔	龙骨隔墙+4mmPb 防护铅板	250mm 砼	4mm 铅当量	4mm 铅当量

注：根据建设单位提供资料，混凝土密度为不低于 2.35g/cm^3 ，实心砖密度为不低于 1.65g/cm^3 ；防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防止射线泄漏。

10.1.4.3 辐射安全措施设计

为保障 ERCP 用 X 光机、DSA、复合手术室 DSA 及移动 CT 安全运行，避免在开机间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，该项目拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

（1）工作状态指示灯

ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室患者通道防护门上方均拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门拟设置门灯联锁装置，用于显示机房内设备运行状态。

（2）防夹和闭门装置

ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室、复合 CT 中腔平开防护门拟设置自动闭门装置，推拉式防护门拟设置曝光时关闭机房门的管理措施，电动推拉门拟设置防夹装置。

（3）电离辐射警告标志

ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室、复合 CT 中腔各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志，提醒无关人员勿靠近机房或在附近逗留。

（4）监控与对讲装置

ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室、复合 CT 中腔均设置有观察窗，同时拟设置实时监控装置和对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

（5）个人防护用品

医院拟为 ERCP、DSA、复合手术室辐射工作人员和受检者配备个人防护用品与辅助防护设施，具体配备情况见表 10-7。

表 10-7 ERCP、DSA、复合手术室辐射工作人员和受检者个人防护用品与辅助防护设施一览表

辐射设备	介入工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
内镜中心 ERCP 用 X 光机	配备至少 4 套不低于 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子，至少 4 副不低于 0.025mmPb 的介入防护手套	每间机房配备 1 套至少 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏	每间机房配备至少 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
介入科 DSA	配备至少 12 套不低于 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子，至少 12 副不低于 0.025mmPb 的介入防护手套	每间机房配备 1 套至少 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏	每间机房配备至少 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
复合手术室 DSA 及移动 CT	配备至少 4 套不低于 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子，至少 4 副不低于 0.025mmPb 的介入防护手套	每间机房配备 1 套至少 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏	每间机房配备至少 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—

（6）其他辐射安全措施

由于 ERCP 或 DSA 介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，X 射线球管工作时产生的散射线对机房内介入手术工作人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

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

◆一般说来，降低患者的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入手术工作人员的培训，包括辐射防护的培训，参与介入手术的工作人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入手术工作人员的剂量；

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

◆临床介入手术时，采用床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护

屏、床下帘、床侧帘等屏蔽防护措施，能够有效降低介入手术工作人员的吸收剂量。

本项目 ERCP、DSA、复合手术室拟设置的辐射安全和防护措施在认真落实后，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

10.2 三废的治理

10.2.1 放射性三废的治理

本项目后装机、核医学运行过程中会产生放射性三废，其余设备运行过程中不产生放射性三废。

1、后装机

^{192}Ir 放射源使用到一定时间（约 180 天）后当强度低于使用要求时，必须重新购买新源，从而产生退役的放射源，废源将由原生产厂家回收处理。

2、核医学

（1）放射性废水处理措施

医院拟在核医学工作场所北侧新建一个放射性废水衰变室，衰变室四周墙体、顶棚、底板均拟设计为 30cm 混凝土，并采取防水措施，防护门拟设置为 8mm 铅当量，室内拟配备 2 套间歇式放射性废水衰变系统，分别为显像检查区放射性废水衰变系统、核素治疗区放射性废水衰变系统，2 套衰变系统均拟采用不锈钢成品衰变池。本项目放射性废水管道拟采用含铅铸铁管，布设于核医学科底板下负二层吊顶上方，管道外拟包裹 5mm 的铅皮。

①PET、SPECT 放射诊断过程中产生的放射性废水处理措施

本项目 PET、SPECT 放射诊断过程中用药患者产生的含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的排泄物及冲洗水、工作人员的淋浴和清洗废水、诊断工作场所的清洗用水等，均由专用管道排至显像检查区放射性废水衰变系统，衰变至少十个半衰期后排至院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂。

显像检查区放射性废水衰变系统由 1 个多功能降解槽、3 个衰变池、1 个集水井组成，单个衰变池有效容积均为 8m^3 。降解槽和衰变池内均设有电缆浮球液位计，顶部设有检修口，检修口设有不锈钢盖板。

衰变系统采用间歇式进出水方式，具体工作流程为：PET、SPECT 放射诊断过程中产生的放射性废水首先由专用管道排至多功能降解槽，经沉降后将上清液先抽至

A#衰变池，当 A#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 A#衰变池的进水阀，同时打开 B#衰变池的进水阀，当 B#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 B#衰变池的进水阀，同时打开 C#衰变池的进水阀，当 C#衰变池中放射性废水储存到该衰变池容积的 80%时，电子控制系统自动打开 A#衰变池的排水阀，A#衰变池内废水排放至集水井，通过集水坑内提升泵将废水排至院内污水处理站，当 C#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 C#衰变池的进水阀，同时打开 A#衰变池的进水阀，3 个衰变池轮流使用。

②甲亢治疗、甲癌治疗过程中产生的放射性废水处理措施

本项目甲亢治疗患者服药后即离开核医学科，不产生放射性废水；甲癌治疗过程中用药患者产生的含有 ^{131}I 的排泄物及冲洗水，工作人员的淋浴和清洗废水，治疗工作场所的清洗用水等，均由专用管道排至核素治疗区放射性废水衰变系统，衰变至少十个半衰期后排至院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂。

核素治疗区放射性废水衰变系统由 1 个多功能降解槽、4 个衰变池、1 个集水井组成，1#~3#衰变池有效容积均为 60.75m^3 ，4#衰变池有效容积为 60m^3 。降解槽和衰变池内均设有电缆浮球液位计，顶部设有检修口，检修口设有不锈钢盖板。

衰变系统采用间歇式进出水方式，具体工作流程为：核素治疗过程中产生的放射性废水首先由专用管道排至多功能降解槽，经沉降后将上清液先抽至 1#衰变池，当 1#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 1#衰变池的进水阀，同时打开 2#衰变池的进水阀，当 2#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 2#衰变池的进水阀，同时打开 3#衰变池的进水阀，当 3#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 3#衰变池的进水阀，同时打开 4#衰变池的进水阀，当 4#衰变池中放射性废水储存到该衰变池容积的 80%时，电子控制系统自动打开 1#衰变池的排水阀，1#衰变池内废水排放至集水井，通过集水坑内提升泵将废水排至院内污水处理站，当 4#衰变池电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 4#衰变池的进水阀，同时打开 1#衰变池的进水阀，4 个衰变池轮流使用。

（2）放射性废气处理措施

本项目核医学工作场所拟设置单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。工作场所设计风速不小于 1.5m/s ，由单独的管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排出，排风口处拟设置活

性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目核医学工作场所内的通风橱和自动分装柜均拟设置独立的排风系统，风速不小于 1m/s，外排口均由专用管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排出，排风口处拟设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目核医学工作场所通风系统排风口处安装的活性炭过滤装置应不影响通风效率，活性炭吸附效率不低于 95%，并每季度更换一次活性炭，更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。

本项目核医学工作场所产生的放射性废气排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。

（3）放射性固体废物处理措施

本项目 PET、SPECT 放射诊断过程中产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，PET 放射性固废暂存在放射性废物库 1 和 3 内，SPECT 放射性固废暂存在放射性废物库 2 和 3 内，待衰变至少十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为医院普通医疗废物统一处理。

甲亢、甲癌治疗过程中产生的放射性固体废物暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，患者出院后统一收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库 3 和 4 内暂存，待衰变至少十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为医院普通医疗废物统一处理。

各工作场所更换的废活性炭放置在放射性废物库 3 内，待衰变至少十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为非放射性固体废物统一处理。

10.2.2 非放射性三废

1、废气

项目运行期产生的废气主要为：①医用直线加速器运行时产生的 X 射线和电子线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，②射波刀运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，③¹⁹²Ir 后装机运行时放射源发射出的 γ 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，④核医学 PET/CT、SPECT/CT 中 CT 装置运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物，⑤ ERCP 用 X 光机运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物，⑥介入科 DSA 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮

化物，⑦复合手术室 DSA 及移动 CT 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

（1）直线加速器、射波刀

本项目医用直线加速器、射波刀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，加速器束流越大，其产生量越高。其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀机房内设备。故治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

本项目加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房内均拟设置独立的机械通风系统，包括新风系统和排风系统，送风口位于天花板上，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口和排风口呈对角线布置，室外排风口拟设置于放疗机房北侧风机房内排风井上方（离地面约 3.4m）。加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房设计排风量分别为 4140m³/h、3810m³/h、3810m³/h，机房内有效容积（包含迷道容积）分别为约 363m³、363m³、308m³，本项目通风换气次数能够满足《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，少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中。

（2）后装机

后装治疗机房内的空气受到 γ 射线照射会产生少量的臭氧和氮氧化物，后装机治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。本项目后装治疗机房内拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，送风口位于天花板上，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口和排风口呈对角线布置，室外排风口拟设置于医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面。排风系统设计排风量为 1000m³/h，后装治疗机房内有效容积（包含迷道容积）为 140m³，能满足《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，臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中。后装机房通风系统布置示意图 11-4。

（3）核医学

核医学 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房内均拟设置机械通风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可由通风系统排出，弥散在大气环境中。

（4）ERCP、介入科 DSA、复合手术室

本项目 ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室内均拟设计动力排风系统，产生的微

量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出 DSA 机房，弥散在大气环境中。

2、固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾，根据《福建童昌医院项目环境影响报告书》及其批复文件，院内医疗废物将委托有资质单位进行清运处理，生活垃圾由当地环卫部门统一清运。

3、废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。根据《福建童昌医院项目环境影响报告书》及其批复文件，院内生活污水将经院区污水管道进入院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂。

4、噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声，项目拟优先选用噪声低、振动小的风机设备，安装风机时拟设置减振基础，通风管采用软性接头，排风口处安装消声器。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所均为新建建筑，机房土建、防护装修均未开展，项目建设施工时会产生噪声、固废、废水、废气等环境污染，具体土建和装修施工中的噪声、固废、废水、废气等防护措施按《福建童昌医院项目环境影响报告书》及批复文件执行。现就施工期间的环境影响和相应的污染预防治理措施进行分析：

(1) 废水：

施工期的废水主要为生产废水和施工人员的生活污水。生产废水主要包括：土建施工、施工机械设备洗涤等产生的废水，这部分废水含有一定量的油污和泥砂。生活污水包括洗涤废水和冲厕水，生活污水含有大量细菌和病原体。

上述废水水量不大，但如果不经处理或处理不当，同样会危害环境。所以，施工期废水不能随意直排。其防治措施主要有：

① 施工过程中尽量减少废水产生量，废水应进行必要的分类处理后集中处理。

② 水泥、黄砂、石灰类的建筑材料需集中堆放，并采取一定的防雨措施，及时清扫施工运输过程中抛洒的上述建筑材料，以免这些物质被雨水冲刷带入污水处理装置内。

③ 生活污水必须进入医院污水管网集中处理。

(2) 废气：

施工期废气主要为施工产生的粉尘以及施工场地扬尘等。主要防治措施有：

① 防物料抛洒泄漏。

② 建筑垃圾和生活垃圾及时清运，对干燥作业面适当洒水，以防二次扬尘。

(3) 噪声：

噪声是施工期主要的污染因子，施工过程中使用的运输车辆及各种施工机械，都是噪声的产生源。为了减轻施工噪声对周围环境的影响，在施工过程中应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如因工艺特殊情况要求，需在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

(4) 固体废物：

施工垃圾主要来自施工所产生的建筑垃圾和施工队伍的生活垃圾。对施工现场要及时进行清理，建筑垃圾要及时清运、加以利用，防止其因长期堆放而产生扬尘，生活垃圾要进行

专门收集，交由环卫部门收集处置，严禁乱堆乱扔，防止产生二次污染。

(5) 辐射影响：无。

公司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。本项目施工期较短，施工量远小于医院建设项目，根据《福建童昌医院项目环境影响报告书》及其批复文件，本项目施工阶段在按要求采取相应的污染防治措施后，施工期对医院周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放疗科直线加速器、射波刀、后装机

11.2.1.1 辐射环境影响评价

11.2.1.1.1 直线加速器

一、关注点选取

本项目 2 间加速器机房内均拟配备 1 台 X 射线最大能量为 10MV 的加速器，X 线能量 10MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 1440Gy/h，X 线能量 6MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 960Gy/h，考虑到射线能量和各能量下的最大剂量率，本报告对 10MV 运行工况下的辐射影响进行估算。

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，在本项目加速器机房 1、加速器机房 2 外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器以最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算，2 间加速器机房地下均为土壤层、无人员居留，不设定关注点。

二、有用线束主屏蔽区宽度符合性分析

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，计算公式如下：

$$Y_p=2[(a+SAD) \cdot \tan\theta+0.3] \quad \dots\dots (1)$$

式中：Y_p—机房有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ—治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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。

根据图 11-1，将各参数带入公式（1）得出本项目的主屏蔽宽度核算结果见表 11-1。

表 11-1 直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	加速器机房 1			加速器机房 2		
	东侧	西侧	屋顶	东侧	西侧	屋顶
SAD (m)	1	1	1	1	1	1
θ (°)	14	14	14	14	14	14
a (m)	6.575	4.375	5.8	4.375	6.575	5.8
Yp 计算值 (m)	2.19×2	1.64×2	1.996×2	1.64×2	2.19×2	1.996×2
Yp 设计值 (m)	2.2×2	2.2×2	2×2	2.2×2	2.2×2	2×2
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：a₁ 号东侧 = a₂ 号西侧 = 3.575 + 3 = 6.575m，a₁ 号西侧 = a₂ 号东侧 = 3.575 + 0.8 = 4.375m，a₁ 号屋顶 = a₂ 号屋顶 = 2.8 + 3 = 5.8m。

从表 11-1 可知，本项目加速器机房 1、加速器机房 2 主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关要求。

三、剂量率参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）

本项目加速器机房外各关注点剂量率参考控制水平见表 11-2。

表 11-2-1 加速器机房 1 墙体、顶棚、入口门外关注点剂量率参考控制水平

关注点	位置	居留因子 T	剂量率控制值 (μSv/h)
a	机房东墙主屏蔽区外 30cm 处， 为直线加速器机房 2	1/8	10
c ₁ (c ₂)	机房东墙次屏蔽区外 30cm 处， 为直线加速器机房 2	1/8	10
b	机房西墙主屏蔽区外 30cm 处， 为质子加速器机房	1/8	10
d ₁ (d ₂)	机房西墙次屏蔽区外 30cm 处， 为质子加速器机房	1/8	10
e	机房北墙外 30cm 处， 为土层和风机房	保守取风机 房处 1/40	10
f	机房南墙外 30cm 处， 为辅助机房和控制室	保守取控制 室处 1	2.5
k	机房南侧迷路外墙外 30cm 处，为楼梯间	1/40	10
l	机房顶部主屏蔽区外 30cm 处， 为土层（土层上方为绿化）	1/40	10
m ₁ (m ₂)	机房顶部次屏蔽区外 30cm 处， 为土层（土层上方为绿化）	1/40	10
g	机房迷路入口防护门外 30cm 处，为准备室	1/8	10

表 11-2-2 加速器机房 2 墙体、顶棚、入口门外关注点剂量率参考控制水平

关注点	位置	居留因子 T	剂量率控制值 (μSv/h)
A	机房东墙主屏蔽区外 30cm 处， 为射波刀机房	1/8	10
C ₁ (C ₂)	机房东墙次屏蔽区外 30cm 处， 为射波刀机房	1/8	10
B	机房西墙主屏蔽区外 30cm 处， 为直线加速器机房 1	1/8	10
D ₁ (D ₂)	机房西墙次屏蔽区外 30cm 处， 为直线加速器机房 1	1/8	10
E	机房北墙外 30cm 处，为风机房	1/40	10
F	机房南墙外 30cm 处，为控制室	1	2.5
K	机房南侧迷路外墙外 30cm 处， 为辅助机房	1/20	10
L	机房顶部主屏蔽区外 30cm 处， 为土层（土层上方为绿化）	1/40	10
M ₁ (M ₂)	机房顶部次屏蔽区外 30cm 处， 为土层（土层上方为绿化）	1/40	10
G	机房迷路入口防护门外 30cm 处，为准备室	1/8	10

四、屏蔽效果预测

1、主屏蔽区

射线路径（射线类型）：

机房 1：东墙：o₂→a（主射线），西墙：o₁→b（主射线），顶棚：o₃→l（主射线）

机房 2：东墙：O₂→A（主射线），西墙：O₁→B（主射线），顶棚：O₃→L（主射线）

根据 GBZ/T 201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定屏蔽物厚度 X（cm）时，首先按照公式（2）计算有效厚度 X_e（cm），按照公式（3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式（4）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \dots\dots (2)$$

式中，X-设计屏蔽厚度，cm；

θ-斜射角。

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

式中，TVL₁（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，查 GBZ/T 201.2 -2011 附录 B 表 B.1。

本项目中，相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-3。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots (4)$$

式中：

$\dot{H}_0$ — 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，X 线最大能量为 10MV 时最大为 $1.44\times 10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R— 靶点至参考点的距离，m，本项目参考点取屏蔽体外 30cm，其中顶棚上方依次为土壤层和院内绿化，参考点仍保守取顶棚屏蔽体外 30cm；

f— 对有用线束为 1，对泄漏辐射为 0.001。

将各参数代入模式计算，得到屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ），辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-3。

表 11-3 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房 1			机房 2		
	东墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	顶棚主屏蔽 (l 点)	东墙主屏蔽 (A 点)	西墙主屏蔽 (B 点)	顶棚主屏蔽 (L 点)
X (cm)	300 砼	300 砼	300 砼	330 砼	300 砼	300 砼
Xe (cm)	300	300	300	330	300	300
TVL (cm)	37	37	37	37	37	37
TVL ₁ (cm)	41	41	41	41	41	41
B	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}	1.55×10^{-9}	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}
R (m)	7.875	7.875	7.1	8.175	7.875	7.1
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
f	1	1	1	1	1	1
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.23	0.23	0.29	0.03	0.23	0.29
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	10	10	10	10	10	10
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：R_{1 东墙}=R_{1 西墙}=R_{2 西墙}=1+3.575+3+0.3=7.875m，R_{2 东墙}=1+3.575+3.3+0.3=8.175m，

R_{1 顶棚}=R_{2 顶棚}=1+2.8+3+0.3=7.1m。

2、侧屏蔽墙

加速器南墙、北墙主要考虑加速器泄漏辐射的辐射影响。

射线路径（射线类型）：

机房 1：南墙：o→f（漏射线），北墙：o→e（漏射线）

机房 2：南墙：O→F（漏射线），北墙：O→E（漏射线）

辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（4））。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参

数和计算结果见表 11-4。

表 11-4 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房 1	
	南墙侧屏蔽 (f 点)	北墙侧屏蔽 (e 点)
	机房 2	
	南墙侧屏蔽 (F 点)	北墙侧屏蔽 (E 点)
X (cm)	140+140 砧	170 砧
X _e (cm)	280	170
TVL (cm)	31	31
TVL ₁ (cm)	35	35
B	1.25×10^{-9}	4.42×10^{-6}
R (m)	9.1	6.57
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	2.17×10^{-5}	0.15
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	10
评价结果	满足	满足

注: $R_{\text{南墙}} = 4 + 1.4 + 2 + 1.4 + 0.3 = 9.1\text{m}$, $R_{\text{北墙}} = 4.57 + 1.7 + 0.3 = 6.57\text{m}$ 。

3、与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

(1) 射线路径 (射线类型)

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射, 射线照射路径如下:

散射射线路径:

机房 1: 东墙: $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$ (c_2), 西墙: $o_1 \rightarrow o \rightarrow d_1$ (d_2), 顶棚: $o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$ (m_2)

机房 2: 东墙: $O_2 \rightarrow O \rightarrow C_1$ (C_2), 西墙: $O_1 \rightarrow O \rightarrow D_1$ (D_2), 顶棚: $O_3 \rightarrow O \rightarrow M_1$ (M_2)

泄漏射线路径:

机房 1: 东墙: $o \rightarrow c_1$ (c_2), 西墙: $o \rightarrow d_1$ (d_2), 顶棚: $o \rightarrow m_1$ (m_2)

机房 2: 东墙: $O \rightarrow C_1$ (C_2), 西墙: $O \rightarrow D_1$ (D_2), 顶棚: $O \rightarrow M_1$ (M_2)

(2) 泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时, 为简化漏射线辐射计算, 通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量, 且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的

0.1%(即 f=0.001), 辐射防护预测模式与主射线估算相同(同公式(4))。

(3) 散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2-2011 第 5.2 章中推荐的估算公式:

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

式中: $\dot{H}_0$ 、 $\dot{H}_0$ 及 B 意义同前;

R_s^2 : 患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

F: 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积 (cm²), 取 (40×40) cm²;

α_{ph} : 400cm² 面积上的散射因子, 即患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距离其 1m 处(关注点方向)处的剂量比例。

各关注点处的泄漏辐射及散射辐射剂量率值计算参数和计算结果见表 11-5。

表 11-5 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点		机房 1			机房 2		
		东墙 (c ₁ /c ₂ 点)	西墙 (d ₁ /d ₂ 点)	顶棚 (m ₁ /m ₂ 点)	东墙 (C ₁ /C ₂ 点)	西墙 (D ₁ /D ₂ 点)	顶棚 (M ₁ /M ₂ 点)
$\dot{H}_0$ (μSv·m ² /h)		1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
X (cm)		150 砵	220 砵	140 砵	250 砵	150 砵	140 砵
θ (°)		保守取 30					
X _e (cm)		173.2	254	161.6	288.6	173.2	161.6
R/ R _s (m)		7.07	7.94	5.2	8.28	7.07	5.2
泄漏辐射	TVL (cm)	31	31	31	31	31	31
	TVL ₁ (cm)	35	35	35	35	35	35
	B	3.48×10 ⁻⁶	8.62×10 ⁻⁹	8.24×10 ⁻⁶	6.6×10 ⁻¹⁰	3.48×10 ⁻⁶	8.24×10 ⁻⁶
	f	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$ (μSv/h)	0.1	1.97×10 ⁻⁴	0.44	1.39×10 ⁻⁵	0.1	0.44
散射辐射	TVL (cm)	28	28	28	28	28	28
	B	6.52×10 ⁻⁷	8.48×10 ⁻¹⁰	1.69×10 ⁻⁶	4.93×10 ⁻¹¹	6.52×10 ⁻⁷	1.69×10 ⁻⁶
	α_{ph}	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³	3.18×10 ⁻³
	F (cm ²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ (μSv/h)	0.24	2.46×10 ⁻⁴	1.15	1.32×10 ⁻⁵	0.24	1.15
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 (μSv/h)		0.34	4.43×10⁻⁴	1.59	2.70×10⁻⁵	0.34	1.59
剂量率参考控制水		10	10	10	10	10	10

平均 $\dot{H}_e$ ($\mu\text{Sv/h}$)						
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注： $R_{1\text{东墙}} = R_{s1\text{东墙}} = R_{2\text{西墙}} = R_{s2\text{西墙}} = (3.575+0.75+1.5+0.3) / \cos 30^\circ = 7.07\text{m}$ ，
 $R_{1\text{西墙}} = R_{s1\text{西墙}} = (3.575+3+0.3) / \cos 30^\circ = 7.94\text{m}$ ，
 $R_{2\text{东墙}} = R_{s2\text{东墙}} = (3.575+0.8+2.5+0.3) / \cos 30^\circ = 8.28\text{m}$ ，
 $R_{1\text{顶棚}} = R_{s1\text{顶棚}} = R_{2\text{顶棚}} = R_{s2\text{顶棚}} = (2.8+1.4+0.3) / \cos 30^\circ = 5.2\text{m}$ 。

4、迷路外墙

加速器主射线不向迷道照射，加速器机房 1 内加速器机头位于 o_2 点时，南墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径（射线类型）： $o_2 \rightarrow k$ （漏射线）；

加速器机房 2 内加速器机头位于 O_2 点时，南墙 K 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径（射线类型）： $O_2 \rightarrow K$ （漏射线）。根据医院提供的设计图纸， o_2 至 k 的泄漏辐射斜射角为 24° ， O_2 至 K 的泄漏辐射斜射角为 9.9° ，估算时均保守取泄漏辐射斜射角为 0° 。

迷路外墙辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（4）），辐射水平预测结果见表 11-6。

表 11-6 迷路外墙辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	机房 1	机房 2
	迷路外墙（k 点）	迷路外墙（K 点）
X（cm）	140 砵	140 砵
θ （°）	保守取 0	保守取 0
Xe（cm）	140	140
TVL（cm）	31	31
TVL ₁ （cm）	35	35
B	4.10×10^{-5}	4.10×10^{-5}
R（m）	9.1	9.1
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）	1.44×10^9	1.44×10^9
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	0.71	0.71
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_e$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	10	10
评价结果	满足	满足

注： $R_1 = R_2 = 4+1.4+2+1.4+0.3=9.1\text{m}$ 。

5、机房入口防护门屏蔽效果预测

到达迷道入口的 X 射线成份比较复杂，但影响较大的射线主要由两部分组成，一部分是

加速器的泄漏辐射穿透迷路内墙到达迷路入口处的 X 射线，另一部分是人体受有用线束照射时，散射至 i (I) 点的辐射并经西墙（东墙）二次散射至 j (J) 点，后经迷道墙三次散射至 g (G) 点的散射辐射。

①泄漏辐射

射线路径：机房 1：o₁→g

机房 2：O₁→G

泄漏辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（4）），计算参数及计算结果见表 11-7。

表 11-7 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房 1 入口处（g 点）	机房 2 入口处（G 点）
X（cm）	140 砵	140 砵
X _e （cm）	143.4	143.4
TVL（cm）	31	31
TVL ₁ （cm）	35	35
B	3.19×10 ⁻⁵	3.19×10 ⁻⁵
R（m）	9.314	9.314
$\dot{H}_0$ （μSv·m ² /h）	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
f	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$ （μSv/h）	0.53	0.53
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_e$ （μSv/h）	2.5（10/4）	2.5（10/4）
评价结果	满足	满足

注：X_e、R 值直接从图中读出。

②散射辐射

射线路径：机房 1：o₁→o→i→j→g

机房 2：O₁→O→I→J→G

迷路入口 g (G) 点处的散射辐射剂量率按照公式（6）计算，具体计算参数和计算结果见表 11-8。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \dot{H}_0 \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_2}{R_3^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中， $\dot{H}_0$ 、F 意义同前文；

α_{ph} ：患者 400cm² 面积上的散射因子，计算时取 45°入射散射角的值；

α_2 、 α_3 ：砧墙入射的患者散射辐射的散射因子，取 i (I) 处的入射角为 45°、散射角为 0°，取 j (J) 处的入射角为 0°、散射角为 45°，取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A_1 、 A_2 — 散射点处的散射面积， m^2 ；

R_1 —等中心点到 i (I) 之间的距离，m；

R_2 —i (I) 到 j (J) 之间的距离，m；

R_3 —j (J) 到 g (G) 之间的距离，m

表 11-8 迷路入口 g (G) 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	机房 1 (g 点)	机房 2 (G 点)
$\dot{H}_0$ ($\mu Sv \cdot m^2/h$)	1.44×10^9	1.44×10^9
α_{ph}	1.35×10^{-3}	1.35×10^{-3}
α_2	22.0×10^{-3}	22.0×10^{-3}
α_3	15.0×10^{-3}	15.0×10^{-3}
F (cm^2)	1600	1600
R_1 (m)	7.752	7.752
R_2 (m)	8.7	8.7
R_3 (m)	3.013	3.013
A_1 (m^2)	12	12
A_2 (m^2)	11.8	11.8
辐射剂量率估算值 $\dot{H}_g$ ($\mu Sv/h$)	8.8	8.8

注：R 值直接从图中读出； A_1 取 $12m^2$ (3.014×4)， A_2 取 $11.8m^2$ (2.944×4)。

③加速器机房入口门外总辐射剂量率

加速器机房入口门外的总辐射剂量率按公式 (7) 计算，g (G) 处的散射辐射能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值约为 0.5cm，入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-9。

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

式中， $\dot{H}_g$ 、 $\dot{H}_{og}$ 意义同前文；

X—防护门铅屏蔽厚度，cm；

TVL —辐射在铅中的什值层，cm，取 0.5cm。

表 11-9 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	机房 1 入口门外 (g 点)	机房 2 入口门外 (G 点)
-----	-----------------	-----------------

$\dot{H}_g$ ($\mu\text{Sv/h}$)	8.8	8.8
X (cm)	1 铅	1 铅
TVL (cm)	0.5	0.5
$\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.53	0.53
防护门外 g 点总辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.62	0.62
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	10	10
评价结果	满足	满足

五、加速器电子线治疗时防护评价

本项目直线加速器电子束治疗时，最大电子束能量不会超过 22MeV。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，完全能够满足屏蔽电子束的要求。此外，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，即使电子束能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所要求的厚度也远低于对 MV X 射线的屏蔽要求。

11.2.1.1.2 射波刀

本项目射波刀内含 1 台直线加速器和两组 X 射线管组件，两组 X 射线管组件不同时开机工作，X 射线管和直线加速器也不同同时开机，每次仅开启 1 台直线加速器或一组 X 射线管。直线加速器 X 射线能量为 6MV，靶至等中心的距离为 80cm，在准直束中心轴上距靶 80cm 处的剂量率为 600Gy/h，泄漏辐射比率为 10^{-3} ；X 射线管管电压最大为 150kV、管电流最大为 640mA。直线加速器的能量远大于 X 射线管的能量，直线加速器的辐射影响远大于 X 射线管，机房屏蔽若能满足直线加速器的使用要求，也能满足 X 射线管的使用要求，故本项目选取直线加速器对机房屏蔽进行分析评价。

一、关注点选取

理论估算时，在本项目射波刀机房墙体、顶棚及防护门外 30cm 处设定关注点，从保守角度出发，在机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器以最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

二、剂量率参考控制水平 ($\dot{H}_c$)

本项目射波刀机房外各关注点剂量率参考控制水平见表 11-10。

表 11-10 射波刀机房墙体、顶棚、入口门外关注点剂量率参考控制水平

关注点	位置	居留因子 T	剂量率控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)
-----	----	--------	-----------------------------

a'	机房东墙外 30cm 处，为活动大厅	1/5	10
b'	机房南墙外 30cm 处，为准备室和控制室	保守取控制室处 1	2.5
c'	机房西墙外 30cm 处，为直线加速器机房 2	1/8	10
d'	机房北墙外 30cm 处，为风机房	1/40	10
k'	机房迷路外墙外 30cm 处，为辅助机房	1/20	10
m'	机房顶棚外 30cm 处，为土层（土层上方为绿化）	1/40	10
g'	机房迷路入口防护门外 30cm 处，为准备室	1/8	10

三、屏蔽效果预测

1、机房墙体及屋顶屏蔽效果预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 D.3，射波刀机房各面均按有用束（ $U < 0.05$ ）考虑机房屏蔽，因此本项目射波刀机房四周墙体、防护门和屋顶均按有用束（使用因子 $U < 0.05$ ）来估算法的屏蔽是否达标。

（1）射线路径

靶→O'→a'（东墙），靶→O'→b'（南墙），靶→O'→c'（西墙），靶→O'→d'（北墙），靶→O'→k'（迷路外墙），靶→O'→m'（屋顶）

（2）估算模式

根据 GBZ/T 201.2-2011 中有用线束的屏蔽估算公式进行估算，估算方法同直线加速器有用线束估算方法。

（3）估算结果

将各参数代入模式计算，得到射波刀机房四周墙体和屋顶外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ），辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-11。

表 11-11 射波刀机房外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	东墙 (a'点)	南墙 (b'点)	西墙 (c'点)	北墙 (d'点)	迷路外墙 (k'点)	顶棚 (m'点)
X (cm)	230 砵	迷路内墙： 126.6~210 砵 迷路外墙： 87.7~190 砵	250~330 砵	210 砵	87.7~190 砵	250 砵
X _e (cm)	230 砵	316.6 砵 (173.7+142.9)	260 砵	210 砵	209.3 砵	250 砵
TVL (cm)	33					
TVL ₁ (cm)	37					

B	1.42×10^{-7}	3.37×10^{-10}	1.75×10^{-8}	5.72×10^{-7}	6.01×10^{-7}	3.51×10^{-8}
$R^{①}$ (m)	6.35	9.51	6.814	6.16	10.474	5.8
$\dot{H}_0^{②}$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.84×10^8					
f	1					
关注点处辐射 剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.35	1.43×10^{-3}	0.14	5.79	2.10	0.40
剂量率参考 控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	10	2.5	10	10	10	10
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①R 值根据图中读出；

② $\dot{H}_0 = 600 \times 0.8^2 \times 10^6 = 3.84 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ 。

2、机房迷道及防护门屏蔽效果预测

机房防护门处的辐射，是来自迷道内墙的贯穿辐射与来自迷道的散射的叠加，具体估算方法同加速器机房迷路及防护门的估算方法。

(1) 贯穿辐射

射线路径： $O' \rightarrow g'$

迷道内墙的贯穿辐射在入口处造成的贯穿辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-12。

表 11-12 机房入口处贯穿辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	机房入口处 (g' 点)
X (cm)	126.6~210 砧
X_e (cm)	217.5
TVL (cm)	33
TVL ₁ (cm)	37
B	3.39×10^{-7}
R (m) ①	9.851
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.84×10^8
g 点泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_{og}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.34
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5 (10/4)
评价结果	满足

(2) 散射辐射

射线路径： $O' \rightarrow i' \rightarrow j' \rightarrow g'$ 。

射波刀机房入口处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-13。

表 11-13 机房入口处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	机房入口处 (g'点)
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.84×10^8
α_{ph}	1.39×10^{-3}
α_2	22×10^{-3}
α_3	15×10^{-3}
F (cm^2)	2827.4/100
R_1 (m)	7.752
R_2 (m)	7.5
R_3 (m)	2.97
A_1 (m^2)	12.6
A_2 (m^2)	11.8
g 点散射剂量率 $\dot{H}_{\text{g}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.06

注： A_1 保守取 12.6m^2 (3.15×4)， A_2 取 11.8m^2 (2.95×4)。

(3) 机房入口门外总辐射剂量率

机房入口处的散射辐射能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值约为 0.5cm，入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-14。

表 11-14 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参 数	机房入口门外 (g 点/ g'点)
$\dot{H}_{\text{g}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	0.06
X (cm)	1
TVL (cm)	0.5
$\dot{H}_{\text{og}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.34
防护门外 g 点总辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.34
剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{\text{c}}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	10
评价结果	满足

11.2.1.1.3 后装机

本项目后装机最大装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，治疗时 ^{192}Ir 放射源将被传至事先置入人体腔

道内的施源器中进行放射治疗。本项目主要考虑 ^{192}Ir 放射源发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射对机房入口处的照射。预测时采用《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）中推荐的后装机房的屏蔽计算方法。

一、关注点选取

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）的要求，在本项目后装机房墙体、顶棚、防护门外表面 30cm 处设定关注点。从保守角度出发，在后装机房设计的尺寸厚度基础上，以最大装源活度时，并针对关注点最不利的情况进行预测计算，对于不同关注点分别以最近距离进行保守预测，机房北侧和底板下均为土层，不设定关注点。

二、剂量率参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）

本项目后装治疗机房外各关注点剂量率参考控制水平见表 11-15。

表 11-15 后装治疗机房墙体、顶棚、入口门外关注点剂量率参考控制水平

关注点	位置	居留因子 T	剂量率控制值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
A'	机房东墙外 30cm 处， 为质子加速器机房	1/8	10
B'	机房南墙外 30cm 处， 为准备室和控制室	保守取控制 室处 1	2.5
C'	机房西墙外 30cm 处， 为排烟机房	1/8	10
M'	机房顶棚外 30cm 处， 为土层（土层上方为绿化）	1/40	10
G'	机房迷路入口防护门外 30cm 处，为准备室	1/8	10

1、机房外初级辐射屏蔽剂量估算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中使用的什值层（TVL）计算方法，预测后装机最大装载放射源活度时，放疗机房外各预测点的初始辐射剂量率水平。

根据公式（8），当 γ 射线以 θ 角斜射入厚度为 X （mm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （mm）：

$$X_e = \frac{X}{\cos\theta} = X \cdot \sec\theta \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中： θ 为斜射角，即入射与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

再根据公式（9）计算对于给定的屏蔽物质的有效屏蔽厚度 X_e （mm）相应的屏蔽透射因

子 B:

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

式中 TVL₁(mm)和 TVL(mm)分别为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL₁时，TVL₁=TVL。对于 ¹⁹²Ir 放射源，查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.1 可知，混凝土 TVL₁=TVL=152mm；铅 TVL₁=TVL=16mm。

最后根据公式（10）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h):

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (10)$$

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

R—辐射源到参考计算点的距离，m；

f—对有用束为 1。

放射源的体积相对于放疗室的体积非常小，因此可将放射源作为点源进行考虑，利用公式（11）计算活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率（μSv/h）。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_r \dots\dots\dots (11)$$

式中： A—为放射源的活度（MBq）；

K_r—放射源的空气比释动能率常数，单位 μSv/（h·MBq）；

根据公式（8）~（11）计算出后装治疗机房外各参考点的初始辐射剂量率水平。计算参数和计算结果见表 11-16。

表 11-16 后装治疗机房外初级辐射屏蔽剂量的计算参数及结果一览表

关注点	X _e (mm)	A (MBq)	K _r (μSv/ (h·MBq))	R (m)	f	TVL ₁ / TVL (mm)	$\dot{H}$ 估算值 (μSv/h)
东墙 A'	1500 混凝土	3.7×10 ⁵	0.111	3.2	1	152	5.43×10 ⁻⁷
南墙 B'	600 混凝土	3.7×10 ⁵	0.111	4.625	1	152	0.22
西墙 C'	600 混凝土	3.7×10 ⁵	0.111	2.3	1	152	0.88
顶棚外 M'	600 混凝土	3.7×10 ⁵	0.111	4	1	152	0.29
防护门外 G'	600 混凝土 +8 铅	3.7×10 ⁵	0.111	4.625	1	混凝土：152 铅：16	6.85×10 ⁻²

2、迷道入口处辐射水平预测

迷道入口处散射剂量率可按下式进行预测计算：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (12)$$

式中： H 、 A 、 K_γ 意义同前；

R_1 —辐射源至一次散射体中心点的距离，取 1.71m；

R_2 —一次散射体中心点至计算点的距离，取 5.71m；

α_w —散射体的散射因子，查 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.4， α_w 保守取 3.05×10^{-3} （0.25MeV 在 45° 入射辐射、 45° 反散射的散射因子）；

S_w —散射面积，取 1.18m^2 （ $0.289\text{m} \times 4.1\text{m}$ ）。

经计算得：初始射线经散射到达迷道入口处剂量率为 $1.55\mu\text{Sv/h}$ 。本项目迷道入口处拟设置 8mmPb 的防护门，散射至迷道入口处的次级射线能量为约 0.2MeV，其在铅中的 TVL 值为 5mm，根据公式（9）可估算出屏蔽透视因子 B 为 0.025，散射射线经铅防护门屏蔽后防护门外辐射水平为 $3.88 \times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 。

防护门外预测点 G' 的辐射剂量率为散射辐射和初级射线辐射之和，即为： $0.11\mu\text{Sv/h}$ （ $6.85 \times 10^{-2} + 3.88 \times 10^{-2}$ ）。

11.2.1.1.4 小结

本项目加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房、后装治疗机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-17。

表 11-17 放疗科加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置		关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
			X 线能量 10MV		
加速器 机房 1	东墙主屏蔽	a	0.23	10	满足
	东墙次屏蔽	c_1 (c_2)	0.34	10	满足
	西墙主屏蔽	b	0.23	10	满足
	西墙次屏蔽	d_1 (d_2)	4.43×10^{-4}	10	满足
	北墙侧屏蔽	e	0.15	10	满足
	南墙侧屏蔽	f	2.17×10^{-5}	2.5	满足
	迷道外墙	k	0.71	10	满足
	顶棚主屏蔽	l	0.29	10	满足
	顶棚次屏蔽	m_1 (m_2)	1.59	10	满足
	入口防护门	g	0.62	10	满足
位置		关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果

			X 线能量 10MV		
加速器 机房 2	东墙主屏蔽	A	0.03	10	满足
	东墙次屏蔽	C ₁ (C ₂)	2.70×10 ⁻⁵	10	满足
	西墙主屏蔽	B	0.23	10	满足
	西墙次屏蔽	D ₁ (D ₂)	0.34	10	满足
	北墙侧屏蔽	E	0.15	10	满足
	南墙侧屏蔽	F	2.17×10 ⁻⁵	2.5	满足
	迷道外墙	K	0.71	10	满足
	顶棚主屏蔽	L	0.29	10	满足
	顶棚次屏蔽	M ₁ (M ₂)	1.59	10	满足
	入口防护门	G	0.62	10	满足
位置		关注点	剂量率估算值 (μSv/h)	剂量率参考控制 水平 (μSv/h)	评价结果
			X 线能量 6MV		
射波刀 机房	东墙	a'	1.35	10	满足
	南墙	b'	1.43×10 ⁻³	2.5	满足
	西墙	c'	0.14	10	满足
	北墙	d'	5.79	10	满足
	迷路外墙	k'	2.10	10	满足
	顶棚	m'	0.40	10	满足
	入口防护门	g'	1.34	10	满足
位置		关注点	剂量率估算值 (μSv/h)	剂量率参考控制 水平 (μSv/h)	评价结果
			放射源活度 3.7×10 ¹¹ Bq		
后装治 疗机房	东墙	A'	5.43×10 ⁻⁷	10	满足
	南墙	B'	0.22	2.5	满足
	西墙	C'	0.88	10	满足
	顶棚	M'	0.29	10	满足
	防护门	G'	0.11	10	满足

根据表 11-17 可知:

(1) 加速器机房 1 以最大功率 (加速器 X 线能量为 10MV) 运行时, 机房墙、顶、门外

各关注点处剂量率估算值为 $(2.17 \times 10^{-5} \sim 1.59) \mu\text{Sv/h}$;

(2) 加速器机房 2 以最大功率 (加速器 X 线能量为 10MV) 运行时, 机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为 $(2.17 \times 10^{-5} \sim 1.59) \mu\text{Sv/h}$;

(3) 射波刀机房以最大功率 (治疗用 X 线能量为 6MV) 运行时, 机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为 $(1.43 \times 10^{-3} \sim 5.79) \mu\text{Sv/h}$;

(4) 后装治疗机房以最大功率 (治疗用 ^{192}Ir 放射源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$) 运行时, 机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为 $(5.43 \times 10^{-7} \sim 0.88) \mu\text{Sv/h}$ 。

以上估算结果均能够满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求: 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所, 机房墙、顶棚、入口门外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$; 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所, 机房墙、顶棚、入口门外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.1.1.5 放疗科加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房叠加影响分析

本项目 2 间加速器机房、1 间射波刀机房东西向并排设置, 从西向东依次为加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房, 后装治疗机房位于加速器机房 1 西侧, 中间间隔质子加速器机房, 考虑到机房布局和屏蔽情况, 在加速器机房 1 和加速器机房 2 南侧入口门处准备室、射波刀机房和加速器机房 2 南侧辅助机房和准备室、加速器机房 1 和射波刀机房中间加速器机房 2, 需考虑相邻两台设备同时开启时的叠加影响, 其余区域基本无叠加辐射影响。

对于加速器机房 1 和加速器机房 2 南侧入口门处准备室, 本项目保守取加速器机房 1 和加速器机房 2 防护门外关注点 g 点、G 点预测的最大剂量率进行叠加, 根据表 11-17 可知, g 点、G 点处的最大剂量率均为 $0.62 \mu\text{Sv/h}$, 叠加最大剂量率为 $1.24 \mu\text{Sv/h}$, 仍能满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求: 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所, 机房外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

对于射波刀机房和加速器机房 2 南侧辅助机房和准备室, 本项目保守取射波刀机房入口门外关注点 g' 和加速器机房 2 迷路外墙外关注点 K 点预测的最大剂量率进行叠加, 根据表 11-17 可知, g' 点、K 点处的最大剂量率分别为 $1.34 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.71 \mu\text{Sv/h}$, 叠加最大剂量率为 $2.05 \mu\text{Sv/h}$, 仍能满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求: 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所, 机房外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

对于加速器机房 1 和射波刀机房中间加速器机房 2, 本项目保守取加速器机房 1 东墙外预测的最大剂量率 (次屏蔽外 c_1 点)、射波刀机房西墙外预测的最大剂量率 (c' 点) 进行叠加, 根据表 11-17 可知, c_1 点、 c' 点处的最大剂量率分别为 $0.34 \mu\text{Sv/h}$ 、 $0.14 \mu\text{Sv/h}$, 叠加最大剂量率为 $0.48 \mu\text{Sv/h}$, 仍能满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求: 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的

场所，机房外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.1.2 辐射工作人员和公众年有效剂量预测与分析

工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算：

$$E = \dot{H} \cdot U \cdot T \cdot t \quad \dots\dots\dots (13)$$

上式中：E—人员年有效剂量， $\mu\text{Sv/a}$ ；

$\dot{H}$ —参考点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U—使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—照射时间，单位为 h/a。

根据医院提供资料，本项目单台直线加速器、射波刀、后装治疗机年治疗照射时间预计分别为 1000h、2000h、833h。本项目直线加速器、射波刀、后装治疗机的职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算结果见表 11-18~11-20。

表 11-18 直线加速器辐射工作人员及公众成员的年有效剂量估算一览表

关注点		场所类型	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	使用因子	年剂量估算值 (mSv/a)	保护目标
加速器机房 1	东墙主屏蔽	加速器机房 2	0.23	1/8	1/4	7.19×10^{-3}	辐射工作人员
	东墙次屏蔽		0.34		1	4.25×10^{-2}	
	西墙主屏蔽	质子加速器机房	0.23	1/8	1/4	7.19×10^{-3}	
	西墙次屏蔽		4.43×10^{-4}	1/8	1	5.54×10^{-5}	
	北墙侧屏蔽	土层和风机房	0.15	保守取风机房处 1/40	1	3.75×10^{-3}	公众
	南墙侧屏蔽	辅助机房和控制室	2.17×10^{-5}	保守取控制室处 1	1	2.17×10^{-5}	辐射工作人员
	迷道外墙	楼梯间	0.71	1/40	1	1.78×10^{-2}	公众
	顶棚主屏蔽	土层（土层上方为绿化）	0.29	1/40	1/4	1.81×10^{-3}	
	顶棚次屏蔽	土层（土层上方为绿化）	1.59	1/40	1	3.98×10^{-2}	
	入口防护门	准备室	0.62	1/8	1	7.75×10^{-2}	
加速器机房 2	东墙主屏蔽	射波刀机房	0.03	1/8	1/4	9.38×10^{-4}	辐射工作人员
	东墙次屏蔽		2.70×10^{-5}		1	3.38×10^{-6}	
	西墙主屏蔽	加速器机房 1	0.23	1/8	1/4	7.19×10^{-3}	辐射工作人员
	西墙次屏蔽		0.34		1	4.25×10^{-2}	
	北墙侧屏蔽	风机房	0.15	1/40	1	3.75×10^{-3}	公众

	南墙侧屏蔽	控制室	2.17×10^{-5}	1	1	2.17×10^{-5}	辐射工作人员
	迷道外墙	辅助机房	0.71	1/20	1	3.55×10^{-2}	
	顶棚主屏蔽	土层（土层上方为绿化）	0.29	1/40	1/4	1.81×10^{-3}	公众
	顶棚次屏蔽	土层（土层上方为绿化）	1.59	1/40	1	3.98×10^{-2}	
	入口防护门	准备室	0.62	1/8	1	7.75×10^{-2}	
2 台加速器的叠加影响		准备室	年剂量估算值： 0.16mSv/a ($7.75 \times 10^{-2} + 7.75 \times 10^{-2}$)				

表 11-19 射波刀辐射工作人员及公众成员的年有效剂量估算一览表

关注点		场所类型	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	使用因子	年剂量估算值 (mSv/a)	保护目标
射波刀机房	东墙	活动大厅	1.35	1/5	0.05	2.70×10^{-2}	辐射工作人员
	南墙	控制室	1.43×10^{-3}	1	0.05	1.43×10^{-4}	
	西墙	直线加速器机房 2	0.14	1/8	0.05	1.75×10^{-3}	
	北墙	风机房	5.79	1/40	0.05	1.45×10^{-2}	公众
	迷路外墙	辅助机房	2.10	1/20	0.05	1.05×10^{-2}	辐射工作人员
	顶棚	土层（土层上方为绿化）	0.40	1/40	0.05	1.00×10^{-3}	公众
	入口防护门	准备室	1.34	1/8	0.05	1.68×10^{-2}	
射波刀机房和加速器机房 2 的叠加影响		准备室、辅助机房	年剂量估算值: $5.23 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ($3.55 \times 10^{-2} + 1.68 \times 10^{-2}$)				辐射工作人员、公众
射波刀机房和加速器机房 1 的叠加影响		加速器机房 2	年剂量估算值: $4.42 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ($1.75 \times 10^{-3} + 4.25 \times 10^{-2}$)				辐射工作人员

表 11-20 后装机辐射工作人员及公众成员的年有效剂量估算一览表

关注点		场所类型	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	使用因子	年剂量估算值 (mSv/a)	保护目标
后装治疗机房	东墙	质子加速器机房	5.43×10^{-7}	1/8	1	5.65×10^{-8}	辐射工作人员
	南墙	控制室	0.22	1	1	0.18	
		准备室		1/8	1	2.29×10^{-2}	公众
	西墙	排烟机房	0.88	1/8	1	9.16×10^{-2}	
	顶棚	土层（土层上方为绿化）	0.29	1/40	1	6.04×10^{-3}	
	防护门	准备室	0.11	1/8	1	1.15×10^{-2}	

1、辐射工作人员

(1) 加速器机房 1 辐射工作人员

本项目加速器机房 1 内拟使用加速器 X 线最大能量为 10MV，辐射工作人员受照包括出束治疗状态。

由表 11-18 可知，本项目加速器运行后，加速器机房 1 辐射工作人员在控制室内或辅助机房内受到的年有效剂量最大为 $2.17 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，在治疗机房内从事摆位等工作时受到相邻加速器机房 2 的年有效剂量最大为 $4.25 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。

保守假设加速器机房 1 的辐射工作由 1 名辐射工作人员负责，在考虑了辐射工作人员在控制室或辅助机房内工作、在机房内从事摆位等工作时受到相邻机房的叠加辐射影响后，本项目加速器机房 1 辐射工作人员年有效剂量为 $4.25 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

(2) 加速器机房 2 辐射工作人员

本项目加速器机房 2 内拟使用加速器 X 线最大能量为 10MV，辐射工作人员受照包括出束治疗状态。

由表 11-18、11-19 可知，本项目加速器运行后，加速器机房 2 辐射工作人员在控制室内或辅助机房内受到的年有效剂量最大为 $3.55 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，在治疗机房内从事摆位等工作时受到相邻加速器机房 1 和射波刀机房的年有效剂量最大为 $4.42 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。

保守假设加速器机房 2 的辐射工作由 1 名辐射工作人员负责，在考虑了辐射工作人员在控制室或辅助机房内工作、在机房内从事摆位等工作时受到相邻机房的叠加辐射影响后，本项目加速器机房 2 辐射工作人员年有效剂量为 $7.97 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

(3) 射波刀机房辐射工作人员

由表 11-18、11-19 可知，本项目射波刀运行后，射波刀机房辐射工作人员在控制室或辅助机房内受到的年有效剂量最大为 $1.05 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，在治疗机房内从事摆位等工作时受到相邻加速器机房 2 的年有效剂量最大为 $9.38 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

保守假设射波刀机房的辐射工作由 1 名辐射工作人员负责，在考虑了辐射工作人员在控制室或辅助机房内工作、在机房内从事摆位等工作时受到相邻机房的叠加辐射影响后，本项目射波刀机房辐射工作人员年有效剂量为 $1.14 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

(4) 后装治疗机房辐射工作人员

本项目后装机内拟使用 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源，辐射工作人员受照包括摆位状态和出源治疗状态。

①摆位状态

根据医院提供的资料，后装机运行后预计每天接待治疗患者 20 人，每周工作 5 天，每年工作 50 周，治疗前工作人员进入机房摆位约 2min/人次，摆位人员年最大受照射时间为约 166.7h；工作人员摆位时一般距后装机机头至少 1m，参考《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中的要求，贮源器表面 100cm 泄漏辐射所致周围剂量当量率应不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ，本报告保守选取 $5\mu\text{Sv/h}$ 近似估算泄漏辐射对摆位人员造成的年有效剂量。经估算可得出，后装治疗机房内摆位人员因摆位工作受到的年受照剂量为 0.83mSv。

②出源治疗状态

由表 11-20 可知，本项目后装机运行后，后装治疗机房辐射工作人员在控制室内受到的年有效剂量最大为 0.18mSv。

保守假设后装治疗机房的辐射工作由 1 名辐射工作人员负责，在考虑了辐射工作人员在控制室内工作、在机房内从事摆位等工作受到的叠加辐射影响后，本项目后装治疗机房辐射工作人员年有效剂量为 1.01mSv。能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

2、直线加速器、射波刀、后装治疗机房周围公众

由表 11-18~11-20 可知，本项目直线加速器、射波刀、后装机运行后，机房周围公众年有效剂量最大为 0.16mSv，能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

11.2.2 核医学

11.2.2.1 辐射环境影响评价

一、放射性核素的辐射影响估算

1、估算模式选取

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法，根据式（I.1）可得出计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-x/TVL} \quad \dots\dots\dots (14)$$

上式中： $\dot{H}$ —参考点剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度（MBq）；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)，见表 9-4；

r —参考点与放射源间的距离 (m)；

x —屏蔽厚度 (mm)；

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度 (mm)。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 I 表 I.1，本项目放射性核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 对应铅、砖、混凝土的十分之一值层厚度见表 11-21。

表 11-21 本项目放射性核素屏蔽材料十分之一值层厚度 (单位: mm)

核素	铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$)
^{18}F	16.6	263	176
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	160	110
^{131}I	11	240	170

2、理论估算

本项目 PET 用 ^{18}F 每次最多到货 $7.4\times 10^9\text{Bq}$ (放置于不低于 40mmPb 的铅罐内)，医护人员需在通风橱内进行药物的手动分装，单人最大用药量为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ ，单只针剂外拟设置 5mmPb 防护套；SPECT 用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 到货时为分装好的针剂、无需分装，单支针剂最大量为 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ (放置于 2mmPb 防护套内)，每次最多到货 30 支；甲亢、甲癌治疗用 ^{131}I 每次最多到货 $3.478\times 10^{10}\text{Bq}$ (放置于不低于 40mmPb 的铅罐内)，医护人员操作控制系统进行药物的自动分装，有甲癌治疗时， ^{131}I 单次分装量最大为 $3.478\times 10^{10}\text{Bq}$ ，无甲癌治疗时，单次分装量最大为 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ (甲亢治疗单日最大用量)，甲亢治疗单人平均用药量为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ ，甲癌治疗单人平均用药量为 $4.44\times 10^9\text{Bq}$ 。

在开展核素诊断和治疗时，PET 注射后候诊室 1 和 2 每次最多 3 名患者同时候诊，PET 注射后候诊室 3 每次最多 2 名患者同时候诊，PET VIP 注射后候诊室 1~3 每次最多 1 名患者候诊，PET 留观室 1 每次最多 3 名患者同时候诊，PET 留观室 2 每次最多 2 名患者同时候诊；SPECT 注射后候诊室 1 和 2 每次最多 6 名患者同时候诊，SPECT VIP 注射后候诊室 1~4 每次最多 1 名患者候诊，SPECT 留观室每次最多 4 名患者同时候诊；甲亢治疗患者服药后即离开核医学科，无需留观；甲癌病房共有 7 间，均为单人间，每次最多 1 名患者住院治疗。

根据公式 (14)，可估算出核医学工作场所各参考点处的辐射水平，预测结果分别见表 11-22~11-24。

表 11-22 本项目 PET 放射诊断工作场所各参考点位辐射水平估算结果

参考点位			活度 A (MBq)	衰减距离 r (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水 平 (μGy/h)	备注	
PET 通风橱表面 5cm			7.4×10 ³ (每次最大送 药量)	0.25	50mmPb 通风橱	9.73×10 ⁻⁴	16.47	药物距离通风橱 0.2m	
核素 操作	PET 通风橱表面 30cm			0.5			370 (单名患者最大 用药量)		4.12
	PET 注射位		0.3	40mmPb 注射窗	3.89×10 ⁻³	2.29		保守不考虑注射器外 5mmPb 防护套的屏蔽	
PET 设备操作	PET/CT 机房 1、2 观察窗外 30cm		3.54	10mmPb	0.25	1.05		患者扫描时距离观察窗外表面 约 3.24m	
	PET/MR 机房观察窗外 30cm		5.04	10mmPb	0.25	0.52		患者扫描时距离观察窗外表面 约 4.74m	
摆位		机房内工作人员指导摆位处	1	0.5mmPb	0.93	49.36	摆位人员穿戴 0.5mmPb 铅服		
分装注 射室	控制区外	东墙外 30cm	7.4×10 ³ (每次最大送 药量)	0.74	50mmPb 通风橱 +240mm 实心砖 +12mmPb 防护涂料	2.25×10 ⁻⁵	4.35×10 ⁻²	保守假设通风橱靠墙, 估算时距 离保守取最小值	
	控制区内	南墙、西墙、北墙外 30cm		0.74			4.35×10 ⁻²		
		防护门外 30cm		1.5	50mmPb 通风橱 +10mmPb 门	2.43×10 ⁻⁴	0.11	通风橱离门至少 1m	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.4	50mmPb 通风橱 +300mm 砼	1.92×10 ⁻⁵	6.97×10 ⁻⁴	药物距离地面约 0.8m	
		底板下方		3.15			2.05×10 ⁻³		
注射前 室	控制区外	东墙外 30cm	370 (单名患者最大 用药量)	2.34	240mm 实心砖+ 12mmPb 防护涂料	2.32×10 ⁻²	0.22	患者注射位距离东墙、南墙、西 墙、北墙分别为约 1.8m、0.3m、 2.4m、5m, 注射时药物离地约 0.8m	
		北墙外 30cm		5.54			3.99×10 ⁻²		
	控制区内	南墙外 30cm		0.84			1.74		

		西墙外 30cm		2.94			0.14	
	控制区外	东门外 30cm		2.34	18mmPb	8.23×10^{-2}	0.80	
	控制区内	西门外 30cm		2.94	/	1	6.12	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.4	300mm 砼	1.97×10^{-2}	3.58×10^{-2}	
		底板下方		3.15			0.11	
PET 患者注射位(患者走道上)	控制区外	南门外 30cm	370 (单名患者最大用药量)	1.9	14mmPb	0.14	2.10	患者注射位距离南门约 1.6m
PET 注射后候诊室 1、2	控制区内外	候诊室 1 东墙外 30cm	370×3 (3 名患者同时候诊)	2.24	240mm 实心砖+ 12mmPb 防护涂料	2.32×10^{-2}	0.73	1、PET 注射后候诊室 1 和 2 均为三人间，为东西向对称布置，以候诊室 1 为例，患者距离东墙、南墙、西墙、北墙的最近距离为约 1.7m、2.4m、0.3m、1.5m，座椅高度约 0.6m； 2、保守不考虑患者之间 10mmPb 铅屏风隔断的屏蔽
	控制区内	候诊室 2 西墙外 30cm					0.73	
	控制区外	候诊室 1/2 南墙外 30cm		2.94			0.43	
	控制区内	候诊室 1 西墙/候诊室 2 东墙外 30cm		0.84			5.21	
		候诊室 1/2 北墙外 30cm		2.04			0.88	
		候诊室 1/2 北门外 30cm		2.04	10mmPb	0.25	9.53	
	控制区外	候诊室 1/2 顶棚外 30cm		5.6	300mm 砼+ 4mmPb 防护涂料	1.13×10^{-2}	5.74×10^{-2}	
		候诊室 1/2 底板下方		2.95			0.21	
PET 注射后候诊室 3	控制区内	东墙外 30cm	370×2 (2 名患者同时候诊)	2.54	240mm 实心砖+ 12mmPb 防护涂料	2.32×10^{-2}	0.38	1、PET 注射后候诊室 3 为两人间，患者距离东墙、南墙、西墙、北墙的最近距离为约 2m、1m、
	控制区外	南墙外 30cm		1.54			1.03	

	控制区内	西墙外 30cm		1.84			0.72	1.3m、3.3m，病床高度约 0.8m； 2、保守不考虑患者之间 10mmPb 铅屏风隔断的屏蔽
		北墙外 30cm		3.84			0.17	
		北门外 30cm		3.84		10mmPb	0.25	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.4	300mm 砵	1.97×10 ⁻²	7.17×10 ⁻²	
		底板下方		3.15			0.21	
PET VIP 注射后 候诊室 1、2、3	控制区内	候诊室 1 东墙外 30cm	370 (单人间)	1.84	240mm 实心砖+ 12mmPb 防护涂料	2.32×10 ⁻²	0.36	PET VIP 注射后候诊室 1、2、3 均为单人间，候诊室 1 和 3 布局 一致，与候诊室 2 为东西向对称 布置，以候诊室 1 为例，患者距 离东墙、南墙、西墙、北墙的距离 为约 1.3m、1.6m、4.8m、0.9m， 座椅高度约 0.6m
		候诊室 1/2 东墙/候诊室 2 西 墙外 30cm		1.84	240mm 实心砖+ 8mmPb 防护涂料	4.03×10 ⁻²	0.63	
		候诊室 1/2/3 南墙外 30cm		2.14			0.47	
		候诊室 1/2 西墙/候诊室 3 东 墙外 30cm		5.34			7.48×10 ⁻²	
	控制区外	候诊室 1/2/3 北墙外 30cm		1.44	10mmPb	0.25	1.03	
	控制区内	候诊室 1/2/3 南门外 30cm		2.14			2.89	
	控制区外	候诊室 1/2/3 顶棚外 30cm		5.6	300mm 砵	1.97×10 ⁻²	3.33×10 ⁻²	
		候诊室 1/2/3 底板下方		2.95			0.12	
PET/CT 机房 1、 2	控制区内	机房 1 东墙外 30cm	290	5.34	240mm 实心砖+ 12mmPb 防护涂料	2.32×10 ⁻²	3.37×10 ⁻²	1、患者注射药物后平均候诊时 间约 40min，考虑 ¹⁸ F 的衰减； 2、PET/CT 机房 1 和机房 2 布局 一致，患者距离东墙、南墙、西 墙、北墙的距离为约 4.8m、3m、 3.1m、3m，扫描床高度约 0.8m
	控制区外	机房 2 东墙外 30cm			240mm 实心砖+ 8mmPb 防护涂料	4.03×10 ⁻²	5.86×10 ⁻²	
	控制区内	南墙外 30cm		3.54			0.13	
	控制区外	机房 1 西墙外 30cm		3.64			0.13	

	控制区内外	机房 2 西墙外 30cm			10mmPb	0.25	0.13	
	控制区内	北墙外 30cm		3.54			0.13	
		北门外 30cm		3.54			0.83	
	控制区外	南门外 30cm		3.54			0.83	
		顶棚外 30cm		5.4	300mm 砵	1.97×10 ⁻²	2.81×10⁻²	
		底板下方		3.15			8.25×10⁻²	
PET/MR 机房	控制区内外	东墙外 30cm	290	5.04	240mm 实心砖+ 8mmPb 防护涂料	4.03×10 ⁻²	6.58×10⁻²	1、患者注射药物后平均候诊时间约 40min，考虑 ¹⁸ F 的衰减； 2、患者距离东墙、南墙、西墙、北墙的距离为约 4.5m、3m、4.5m、2.8m，扫描床高度约 0.8m
	控制区外	南墙外 30cm		3.54			0.13	
	控制区内	西墙外 30cm		5.04			6.58×10⁻²	
		北墙外 30cm		3.34			0.15	
		东门外 30cm		5.04	10mmPb	0.25	0.41	
		顶棚外 30cm		5.4	300mm 砵	1.97×10 ⁻²	2.81×10⁻²	
		底板下方		3.15			8.25×10⁻²	
PET 留 观室 1	控制区内	东墙外 30cm	250×3 (3 名患者同时 留观)	4.14	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	1.53×10 ⁻²	0.10	1、患者注射药物后在候诊室和 机房内共计停留时间约 1h 后进入 留观室留观，考虑 ¹⁸ F 的衰减； 2、PET 留观室 1 为三人间，患者 距离东墙、南墙、西墙、北墙的 最近距离为约 3.6m、2.3m、
		南墙外 30cm		2.84			0.20	
		西墙外 30cm		1.04			1.51	
	控制区外	北墙外 30cm		0.84			2.32	

	控制区内	南门外 30cm		2.84	10mmPb	0.25	3.32	0.5m、0.3m, 座椅高度约 0.6m; 3、保守不考虑患者之间 10mmPb 铅屏风隔断的屏蔽
	控制区外	顶棚外 30cm		5.6	300mm 砵	1.97×10^{-2}	6.75×10^{-2}	
		底板下方		2.95			0.24	
PET 留 观室 2	控制区内	东墙外 30cm	250×2 (2 名患者同时 留观)	0.84	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	1.53×10^{-2}	1.55	1、PET 留观室 2 为两人间, 患 者距离东墙、南墙、西墙、北墙 的最近距离为约 0.3m、0.7m、 2.7m、0.6m, 距离防护门的最近 距离为约 1.4m, 座椅高度约 0.6m; 2、保守不考虑患者之间 10mmPb 铅屏风隔断的屏蔽
		南墙外 30cm		1.24			0.71	
	控制区外	西墙外 30cm		3.24			0.10	
		北墙外 30cm		1.14			0.84	
	控制区内	南门外 30cm		1.94	10mmPb	0.25	4.75	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.6	300mm 砵	1.97×10^{-2}	4.50×10^{-2}	
		底板下方		2.95			0.16	
PET 抢 救室	控制区内	东墙外 30cm	370 (单名患者最 大用药量)	2.94	240mm 实心砖+ 8mmPb 防护涂料	4.03×10^{-2}	0.25	患者距离东墙、南墙、西墙、北 墙的最近距离为约 2.4m、1.4m、 1.2m、1.2m, 病床高度约 0.8m
		南墙外 30cm		1.94			0.57	
	控制区外	北墙外 30cm		1.74			0.70	
	控制区内	西墙外 30cm		1.74	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	1.53×10^{-2}	0.27	
	控制区内	南门外 30cm		1.94	10mmPb	0.25	3.51	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.4	300mm 砵	1.97×10^{-2}	3.58×10^{-2}	
		底板下方		3.15			0.11	

患者走道	控制区外	北墙外 30cm（气瓶间内）	210	1.84	240mm 实心砖+ 8mmPb 防护涂料	4.03×10 ⁻²	0.36	1、患者注射药物后在候诊室、 机房、留观室内共计停留时间约 1.5h 后从患者走道离开，考虑 ¹⁸ F 的衰减； 2、患者从患者走道离开时距离 各侧墙体约 1.3m，距离南门约 1.5m，药物离地高度取 1m
		东墙外 30cm（楼梯间等）		1.84			0.36	
		南墙外 30cm（放射医生办公 室等）		1.84			0.36	
	控制区内	西墙外 30cm（放射性废物库 4 等）		1.84			0.36	
	控制区外	西墙外 30cm（弱电、强电）		1.84			0.36	
	控制区内	西墙外 30cm（甲癌治疗控制 给药室）		1.84	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	1.53×10 ⁻²	0.14	
		控制区外		北门外 30cm（气瓶间旁缓冲 区）	1.84	10mmPb	0.25	
	南门外 30cm（医生办公室旁 缓冲区）			1.8	2.32			
	顶棚外 30cm			5.2	300mm 砼	1.97×10 ⁻²	2.19×10 ⁻²	
	底板下方			3.35			5.28×10 ⁻²	
叠加影响	控制区外	PET/MR 操作区	PET/MR 机房东侧屏蔽体外 0.52+PET/CT 机房 2 西侧屏蔽 体外 0.13				0.65	1、根据场所布局，保守考虑相 邻场所对控制区外的叠加影响； 2、保守取各场所相应侧外剂量 率估算最大值进行叠加
		PET 注射后候诊室 1 和 2 顶 棚外 30cm	5.74×10 ⁻² ×2				0.11	
		PET 注射后候诊室 1 和 2 底 板下方	0.21×2				0.42	
		PET VIP 注射后候诊室 2 和 3 北墙外 30cm	1.03×2				2.06	
		PET VIP 注射后候诊室 2 和 3 顶棚外 30cm	0.03×2				0.06	

		PET VIP 注射后候诊室 2 和 3 底板下方	0.12×2	0.24	
--	--	---------------------------	--------	------	--

注：①保守假设辐射源点对于关注点均为垂直照射，不考虑屏蔽体的等效屏蔽，衰减距离保守不考虑防护涂料的厚度；

②底板下方参考点取地下二层地面上方 1.7m；

③核医学工作场所层高约 5.9m，下方地下二层层高约 4.05m。

表 11-23 本项目 SPECT 放射诊断工作场所各参考点位辐射水平估算结果

参考点位			活度 A (MBq)	衰减距离 r (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水 平 (μGy/h)	备注
SPECT 通风橱表面 5cm			925×30 (每次最大 送药量)	0.25	10mmPb 通风橱	1×10 ⁻¹⁰	1.35×10 ⁻⁶	药物距离通风橱 0.2m
核素 操作	SPECT 通风橱表面 30cm			0.5			3.36×10 ⁻⁷	
		SPECT 注射位	925 (单名患者 最大用药 量)	0.3	20mmPb 注射窗	1.00×10 ⁻²⁰	3.11×10 ⁻¹⁸	保守不考虑注射器外 2mmPb 防护套的屏蔽
SPECT 设备操作		SPECT/CT 机房 1、2、3 观察 窗外 30cm		4.1	4mmPb 观察窗	1.00×10 ⁻⁴	1.67×10 ⁻⁴	患者扫描时距离观察窗约 3.8m
摆位		机房内工作人员指导摆位处		1	0.5mmPb	0.32	8.86	摆位人员穿戴 0.5mmPb 铅服
分装注射 室	控制区外	东墙外 30cm	925×30 (每次最大 送药量)	0.74	10mmPb 通风橱 +240mm 实心砖 +6mmPb 防护涂料	3.16×10 ⁻¹⁸	4.86×10⁻¹⁵	保守假设通风橱靠墙，估算时 距离保守取最小值，通风橱离 门至少 1m，药物离地面约 0.8m
	控制区内	南墙、西墙、北墙外 30cm		0.74			4.86×10 ⁻¹⁵	
				防护门外 30cm	1.5	10mmPb 通风橱 +4mmPb 门	1.00×10 ⁻¹⁴	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.4	10mmPb 通风橱 +300mm 砼	1.87×10 ⁻¹³	5.40×10⁻¹²	
		底板下方		3.15			1.59×10⁻¹¹	
注射前室	控制区外	东墙外 30cm	925 (单名患者 最大用药	2.34	240mm 实心砖+ 6mmPb 防护涂料	3.16×10 ⁻⁸	1.62×10⁻⁷	患者注射位距离东墙、南墙、 西墙分别为约 1.8m、3.4m、 2.4m，注射时药物离地约 0.8m
		南墙外 30cm		3.94			5.71×10⁻⁸	

		东门外 30cm	量)	2.34	4mmPb	1.00×10^{-4}	5.12×10^{-4}	
		南门外 30cm		3.94			1.81×10^{-4}	
	控制区内	西门外 30cm		2.94	/	1	3.24	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.4	300mm 砷	1.87×10^{-3}	1.80×10^{-3}	
		底板下方		3.15			5.29×10^{-3}	
SPECT 患者注射位 (患者走道上)	控制区外	北门外 30cm	925 (单名患者最大用药量)	1.9	4mmPb	1.00×10^{-4}	7.76×10^{-4}	患者注射位距离北门约 1.6m
SPECT 运动负荷兼抢救室	控制区外	东墙外 30cm	925 (单名患者最大用药量)	2.04	240mm 实心砖+ 6mmPb 防护涂料	3.16×10^{-8}	2.13×10^{-7}	患者距离东墙、南墙分别为约 1.5m、2.3m，药物离地高度取 0.8m
		南墙外 30cm		2.84			1.10×10^{-7}	
		顶棚外 30cm		5.4	300mm 砷	1.87×10^{-3}	1.80×10^{-3}	
		底板下方		3.15			5.29×10^{-3}	
SPECT 注射后候诊室 1、2	控制区内外	候诊室 1 东墙外 30cm	925×6 (6 名患者同时候诊)	0.84	240mm 实心砖+ 6mmPb 防护涂料	3.16×10^{-8}	7.54×10^{-6}	1、SPECT 注射后候诊室 1、2 均为 6 人间，为东西向对称布置，以候诊室 1 为例，患者距离东墙、南墙、西墙、北墙的最短距离为约 0.3m、0.5m、2.4m、2.4m，距离防护门约 1.2m，座椅高度约 0.6m； 2、保守不考虑患者之间 4mmPb 铅屏风隔断的屏蔽
	控制区外	候诊室 2 西墙外 30cm		0.84			7.54×10^{-6}	
		候诊室 1/2 北墙外 30cm		2.94			6.15×10^{-7}	
	控制区内	候诊室 1/2 南墙外 30cm		1.04			4.92×10^{-6}	
		候诊室 1/2 南门外 30cm		1.5	4mmPb	1.00×10^{-4}	7.47×10^{-3}	
	控制区外	候诊室 1/2 顶棚外 30cm		5.6	300mm 砷	1.87×10^{-3}	1.00×10^{-2}	

		候诊室 1/2 底板下方		2.95			3.62×10^{-2}	
SPECT VIP 注射 后候诊室 1、2、3、4	控制区外	南墙外 30cm	925 (单人间)	1.84	240mm 实心砖+ 6mmPb 防护涂料	3.16×10^{-8}	2.62×10^{-7}	PET VIP 注射后候诊室 1、2、 3 均为单人间，患者距离南墙 为约 1.3m，病床高度约 0.8m
		顶棚外 30cm		5.4	300mm 砵	1.87×10^{-3}	1.80×10^{-3}	
		底板下方		3.15			5.29×10^{-3}	
SPECT/CT 机房 1、2、 3	控制区外	机房 1、3 东墙外 30cm	925	3.84	240mm 实心砖+ 6mmPb 防护涂料	3.16×10^{-8}	6.01×10^{-8}	3 间机房布局一致，患者距离 东墙、西墙、北墙为约 3.3m、 3m、3.8m，距离防护门约 4.3m，扫描床高度约 0.8m
		机房 2、3 西墙外 30cm		3.54			7.07×10^{-8}	
		机房 1、2、3 北墙外 30cm		4.34			4.71×10^{-8}	
		北门外 30cm		4.6	4mmPb	1.00×10^{-4}	1.32×10^{-4}	
		顶棚外 30cm		5.4	300mm 砵	1.87×10^{-3}	1.80×10^{-3}	
		底板下方		3.15			5.29×10^{-3}	
SPECT 留 观室	控制区外	南墙外 30cm	925×4 (4 名患者 同时留观)	1.64	240mm 实心砖+ 6mmPb 防护涂料	3.16×10^{-8}	1.32×10^{-6}	留观室为 4 人间，患者距离南 墙、西墙的最远距离为约 1.1m、1m，病床高度约 0.8m
		西墙外 30cm		1.54			1.49×10^{-6}	
		顶棚外 30cm		5.4	300mm 砵	1.87×10^{-3}	7.20×10^{-3}	
		底板下方		3.15			2.12×10^{-2}	
患者走道	控制区外	北墙外 30cm (医生休息室、 配电间等)	925	1.74	240mm 实心砖+ 6mmPb 防护涂料	3.16×10^{-8}	2.93×10^{-7}	患者从患者走道离开时距离 南墙、北墙约 1.2m
		南墙外 30cm (医生办公室 等)		1.74			2.93×10^{-7}	
		南门外 30cm (医生办公室旁 缓冲区)		1.74	4mmPb	1.00×10^{-4}	9.26×10^{-4}	

		北门外 30cm (医生休息室、配电间等)	1.74			9.26×10^{-4}	
叠加影响	控制区外	SPECT 注射后候诊室 1 和 2 北墙外 30cm	$6.15 \times 10^{-7} \times 2$			1.23×10^{-6}	1、根据场所布局，保守考虑相邻两间注射后候诊室、相邻两间 VIP 候诊室对控制区外的叠加影响； 2、保守取各场所相应侧外剂量率估算最大值进行叠加
		SPECT 注射后候诊室 1 和 2 顶棚外 30cm	$1.00 \times 10^{-2} \times 2$			2.00×10^{-2}	
		SPECT 注射后候诊室 1 和 2 底板下方	$3.62 \times 10^{-2} \times 2$			7.24×10^{-2}	
		SPECT VIP 注射后候诊室 1 和 2 (3 和 4) 南墙外 30cm	$2.62 \times 10^{-7} \times 2$			5.24×10^{-7}	
		SPECT VIP 注射后候诊室 1 和 2 (3 和 4) 顶棚外 30cm	$1.80 \times 10^{-3} \times 2$			3.60×10^{-3}	
		SPECT VIP 注射后候诊室 1 和 2 (3 和 4) 底板下方	$5.29 \times 10^{-3} \times 2$			1.06×10^{-2}	
	医生休息室		SPECT/CT 机房 2 西墙外 7.07×10^{-8} + SPECT/CT 机房 3 东墙外 6.01×10^{-8}			1.31×10^{-7}	考虑医生休息室两侧扫描机房同时运行的叠加影响
	设备操作区		PET/CT 机房 1、2 南侧屏蔽体外 0.83 + SPECT/CT 机房 1~3 北侧屏蔽体外 1.67×10^{-4}			0.83	考虑设备操作区南北两侧扫描机房同时运行的叠加影响

注：①保守假设辐射源点对于关注点均为垂直照射，不考虑屏蔽体的等效屏蔽，衰减距离保守不考虑防护涂料的厚度；

②对于 SPECT 放射诊断场所内运动负荷兼抢救室、注射后候诊室 1 和 2、VIP 注射后候诊室 1~4、机房 1~3、留观室、患者走道，各场所四周屏蔽墙体、防护门屏蔽防护均相同，SPECT 注射后候诊室 1、2 内源强大于其余场所内源强，源强距离墙体或防护门的最近距离不小于其余场所，因此，选取 SPECT 注射后候诊室 1、2 为代表对控制区内剂量率进行估算；

③底板下方参考点取地下二层地面上方 1.7m；

④核医学工作场所层高约 5.9m，下方地下二层层高约 4.05m。

表 11-24 本项目甲亢、甲癌治疗工作场所各参考点位辐射水平估算结果

参考点位		活度 A (MBq)	衰减距离 r (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水 平 (μGy/h)	备注	
¹³¹ I 自动分装柜表面 5cm		3.478×10 ⁴ (有甲癌治疗)	0.25	50mmPb 通风橱	2.85×10 ⁻⁵	0.94	1、有甲癌治疗时，每次最大分装量为 3.478×10 ⁴ MBq；无甲癌治疗时，每次最大分装量为 3.7×10 ³ MBq； 2、药物距离自动分装柜 0.2m 3、医护人员自动分装操作位距离分装柜至少 2m	
		3.7×10 ³ (无甲癌治疗)				0.1		
核素操作	自动分装操作位	3.478×10 ⁴ (有甲癌治疗)	2.2			1.22×10 ⁻²		
		3.7×10 ³ (无甲癌治疗)				1.30×10 ⁻³		
送餐		甲癌病房 1 北墙外 30cm	4440 (单名甲癌患者平均用药量)	4.1	240mm 实心砖+15mmPb 防护涂料	4.33×10 ⁻³	6.80×10 ⁻²	考虑甲癌病房 1 内住院患者对送餐人员的辐射影响
		配餐传递窗外 30cm		1.3	40mmPb	2.31×10 ⁻⁴	3.61×10 ⁻²	假设甲癌患者距离传递窗 1m
控制给药室	控制区内	东墙外 30cm	3.478×10 ⁴ (有甲癌治疗)	7.44	50mmPb 通风橱+240mm 实心砖+15mmPb 防护涂料	1.23×10 ⁻⁷	4.61×10 ⁻⁶	1、控制给药室对控制区内的影响估算时，源强保守取有甲癌治疗时最大分装量；对控制区外的影响估算时，源强分别取有甲癌治疗时和无甲癌治疗时最大分装量； 2、通风橱靠西墙放置，药物距离东墙、南墙、西墙、北墙分别为约 6.9m、1.1m、0.2m、1.1m，距离南门、北门最近为约 3.6m、4.7m，离地面约 0.8m
		南墙外 30cm		1.64			9.49×10 ⁻⁵	
		西墙外 30cm		0.74			4.66×10 ⁻⁴	
		北墙外 30cm		1.64			9.49×10 ⁻⁵	
		给药窗口外 30cm		0.74	50mmPb 通风橱+40mmPb	6.58×10 ⁻⁹	2.49×10 ⁻⁵	
		北门外 30cm		5	50mmPb 通风橱+12mmPb	2.31×10 ⁻⁶	1.91×10 ⁻⁴	
		南门外 30cm		4.14	50mmPb 通风橱+10mmPb	3.51×10 ⁻⁶	4.24×10 ⁻⁴	
	控制区外	顶棚外 30cm		5.4	50mmPb 通风橱	2.49×10 ⁻⁷	1.77×10 ⁻⁵	

		底板下方	3.7×10 ³ (无甲癌治疗)	3.15	+350mm 砵	2.49×10 ⁻⁷	5.19×10 ⁻⁵	
		顶棚外 30cm		5.4	50mmPb 通风橱		1.88×10 ⁻⁶	
		底板下方		3.15	+350mm 砵		5.52×10 ⁻⁶	
抢救室	控制区内	东墙外 30cm	4440 (单名甲癌患者平均用药量)	2.1	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	4.33×10 ⁻³	0.26	患者抢救时距离东墙、南墙、西墙、北墙分别为约 1.4m、1.5m、3.8m、1.4m，药物离地约 0.8m
		南墙外 30cm		2.3			0.22	
		西墙外 30cm		4.6			5.40×10 ⁻²	
		西门外 30cm		4.6	12mmPb	8.11×10 ⁻²	1.01	
	控制区外	北门外 30cm		3.3			1.97	
		北墙外 30cm		2	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	4.33×10 ⁻³	0.29	
		顶棚外 30cm		5.4	350mm 砵	8.73×10 ⁻³	7.91×10 ⁻²	
		底板下方		3.15			0.23	
患者服药位及患者通道	控制区外	北门外 30cm	370 (单名甲亢患者平均用药量)	4.6	15mmPb	4.33×10 ⁻²	4.50×10 ⁻²	考虑甲亢、甲癌患者服药或甲癌患者从病房至配餐窗口取餐时的辐射影响，患者服药后，药物基本聚集在甲状腺，保守取药物离地约 1.3m；
			4440 (单名甲癌患者平均用药量)	4.6			0.54	
		南门外 30cm		4.8			0.50	
		顶棚外 30cm		4.9	350mm 砵	8.73×10 ⁻³	9.61×10 ⁻²	
		底板下方		3.65			0.17	

甲癌病房 1~7	控制区外	病房 1、4 西墙外 30cm	4440 (单名甲癌患者平均用药量)	0.84	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	4.33×10 ⁻³	1.62	1、患者在病房 1、4 内休息时离四周墙体最近为约 0.3m, 在病房 2、3 内休息时离西墙最近分别为约 0.5m、0.7m, 离防护门最近为约 2.2m, 保守取药物离地约 0.8m; 2、病房 1~7 内源强一致, 四周墙体、防护门屏蔽防护一致, 患者离四周墙体的最近距离一致、病房 1~6 内患者离防护门的距离小于病房 7, 因此以病房 6 为代表对病房外控制区内剂量率进行估算
		病房 2 西墙外 30cm		1.04			1.06	
		病房 3 西墙外 30cm		1.24			0.74	
		病房 1 北墙外 30cm		0.84			1.62	
		病房 4 南墙外 30cm		0.84			1.62	
		病房 1~7 顶棚外 30cm		5.4	350mm 砼	8.73×10 ⁻³	7.91×10 ⁻²	
		病房 1~7 底板下方		3.15			0.23	
	控制区内	病房 6 四周墙体外 30cm	4440 (单名甲癌患者平均用药量)	0.84	240mm 实心砖+ 15mmPb 防护涂料	4.33×10 ⁻³	1.62	
		病房 6 西门外 30cm		2.5	10mmPb		0.12	
叠加影响	控制区外	甲癌病房 2 和 3 西墙外 30cm	1.06+0.74				1.8	1、根据场所布局, 保守考虑相邻两间病房对控制区外的叠加影响; 2、保守取各场所相应侧外剂量率估算最大值进行叠加
		甲癌病房 2 和 3 (6 和 7) 顶棚外 30cm	7.91×10 ⁻² ×2				0.16	
		甲癌病房 2 和 3 (6 和 7) 底板下方	0.21×2				0.42	

注：①保守假设辐射源点对于关注点均为垂直照射，不考虑屏蔽体的等效屏蔽，衰减距离保守不考虑防护涂料的厚度；
②底板下方参考点取地下二层地面上方 1.7m；
③核医学工作场所层高约 5.9m，下方地下二层层高约 4.05m。

根据表 11-22~表 11-24 估算结果可知， ^{18}F 药物分装、注射、PET 设备操作位处辐射剂量率最大为 $4.12\mu\text{Sv/h}$ ，对工作人员有一定的辐射影响， ^{18}F 患者扫描前医护人员摆位处辐射剂量率为 $49.36\mu\text{Sv/h}$ ，对医护人员有较强的外照射影响； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射、SPECT 设备操作位处辐射剂量率最大为 $1.67\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ ，对工作人员的辐射影响较小， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者扫描前医护人员摆位处辐射剂量率为 $8.86\mu\text{Gy/h}$ ，对医护人员有较强的外照射影响； ^{131}I 药物分装给药处、送餐人员停留处辐射剂量率最大为 $0.1\mu\text{Sv/h}$ （送餐人员所受叠加影响），对工作人员的辐射影响较小。

本项目核医学工作场所通风橱和自动分装柜表面 5cm 处辐射剂量率最大为 $16.47\mu\text{Sv/h}$ ，满足不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的控制水平要求；控制区外表面 30cm 处及底板下方人员可达处辐射剂量率最大为 $2.32\mu\text{Gy/h}$ ，满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制水平要求；控制区内表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $9.53\mu\text{Gy/h}$ ，满足不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 、宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制水平要求。本项目核医学工作场所的屏蔽防护设计能够满足辐射防护要求。

此外，医院应加强用药患者的管理，用药患者应在对应的注射后候诊室内候诊、在对应的留观室内留观或在对应的病房内住院治疗，禁止用药患者在注射后候诊室、留观室、病房外随意走动。控制区内患者进、出口防护门均设置为单向门并安装门禁系统，患者走廊与监督区相连的非出入口防护门均设置门禁系统，使防护门始终处于常闭状态，保证患者单向流动，并防止其他人员误入。

二、PET/CT、SPECT/CT 中 CT 设备的辐射影响估算

本项目 PET/CT、SPECT/CT 在诊断过程中 CT 运行将产生 X 射线，CT 装置 X 射线球管的管电压最大为 150kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 的表 C.4-C.7 可知，本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房的屏蔽材料可折算成等效屏蔽铅当量，见表 11-25。

表 11-25 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽防护及等效屏蔽一览表

装置名称	屏蔽体	屏蔽参数	等效屏蔽效果
PET/CT 机房 1、2 （CT 最大管 电压 150kV）	东墙、南墙、西墙、北墙	24cm 实心砖+8mmPb 防护涂料	约 9.8mm 铅当量
	顶棚、底板	30cm 混凝土	约 3.8mm 铅当量
	防护门	10mmPb	10mm 铅当量
	观察窗	10mmPb	10mm 铅当量
SPECT/CT 机 房 1、2、3	东墙、南墙、西墙、北墙	24cm 实心砖+6mmPb 防护涂料	约 7.8mm 铅当量
	顶棚、底板	30cm 混凝土	约 3.8mm 铅当量

(CT 最大管电压 150kV)	防护门	4mmPb	4mm 铅当量
	观察窗	4mmPb	4mm 铅当量

根据表 11-25 可知，本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房各侧墙体、顶棚、底板、防护门及观察窗的铅当量均不小于 3.8mm，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房有用线束及非有用线束方向铅当量不小于 2.5mm 的要求。

根据表 11-22、11-23 估算结果， ^{18}F 对 PET/CT 机房屏蔽体外 30cm 处及底板下方人员可达处造成的辐射剂量率最大为 $0.83\mu\text{Sv/h}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 对 SPECT/CT 机房屏蔽体外 30cm 处及底板下方人员可达处造成的辐射剂量率最大为 $5.29\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，本项目 CT 设备属于 III 类射线装置，最大管电压为 150kV，低于 ^{18}F 光子能量（0.511MeV），略大于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 光子能量（0.140MeV），机房各侧屏蔽明显优于 2.5mm 铅当量，可推测 PET/CT、SPECT/CT 机房内 CT 运行对周围环境影响较小，放射性核素和 CT 对机房外的叠加影响能满足本项目控制水平要求。

11.2.2.2 辐射工作人员和公众年有效剂量预测与分析

辐射工作人员和公众的年有效剂量由公式（13）进行估算，年有效剂量估算结果见表 11-26。

表 11-26 核医学工作场所辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算结果

参考点位		参考点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)	受照时间 (h)	场所及居留因子	人员年有效剂量(mSv)	保护目标
核素操作	PET 通风橱表面 30cm	4.12	250 (^{18}F 药物单次分装过程约 1min, 每年约 15000 名患者)	分装注射 (给药) 人员, 1	1.03	辐射工作人员
	2 个 PET 注射位	2.29	62.5×2 (共 2 个注射位, ^{18}F 药物单次注射过程约 30s, 单个注射窗口每年注射约 7500 名患者)		0.29	
	SPECT 通风橱表面 30cm	3.36×10^{-7}	125 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物单次测量活度过程约 30s, 每年约 15000 名患者)		4.20×10^{-8}	
	2 个 SPECT 注射位	3.11×10^{-18}	62.5×2 (共 2 个注射位, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物单次注射过程约 30s, 单个注射窗口每年注射约 7500 名患者)		3.89×10^{-19}	
	^{131}I 自动分装操作位 (有甲癌治疗时)	1.22×10^{-2}	5.8 (^{131}I 药物单人自动分装过程约 1min, 每年 350 名甲癌患者)		7.08×10^{-5}	

	¹³¹ I 自动分装操作位 (无甲癌治疗时)	1.30×10 ⁻³	41.7 (¹³¹ I 药物单人自动分装过程约 1min, 每年 2500 名甲亢患者)		5.42×10 ⁻⁵	
分装注射（给药）人员年总有效剂量：1.32mSv						
PET、SPECT 设备操作	PET/CT 机房 1、2 观察窗外 30cm	1.05	1666.7 (¹⁸ F 患者单次扫描过程约 20min, 单间机房约 5000 名患者)	设备操作人员, 1	1.75	
	SPECT/CT 机房 1、2、3 观察窗外 30cm	1.67×10 ⁻⁴			2.78×10 ⁻⁴	
	PET/MR 机房观察窗外 30cm	0.52			0.87	
设备操作区的叠加影响	PET/CT 机房 1、2 南侧屏蔽体外 30cm	1.05	1666.7 (^{99m} Tc 患者单次扫描过程约 20min, 单间机房约 5000 名患者)		1.75	
	SPECT/CT 机房 1~3 北侧屏蔽体外 30cm	1.67×10 ⁻⁴				
	PET/MR 机房东侧屏蔽体外 30cm	0.52	1666.7 (¹⁸ F 患者单次扫描过程约 20min, 单间机房约 5000 名患者)		1.08	
	PET/CT 机房 2 西侧屏蔽体外 30cm	0.13				
单台 PET/CT、SPECT/CT 设备操作人员最大年总有效剂量：1.75mSv 单台 PET/MR 设备操作人员最大年总有效剂量：1.08mSv						
摆位	PET 机房内工作人员指导摆位处	49.36	83.3 (¹⁸ F 患者单次摆位过程约 1min, 单间机房约 5000 名患者)	摆位人员, 1	4.11	
	SPECT 机房内工作人员指导摆位处	8.86	83.3 (^{99m} Tc 患者单次摆位过程约 1min, 单间机房约 5000 名患者)		0.74	
2 台 PET/CT、1 台 PET/MR、3 台 SPECT/CT 摆位人员年总有效剂量：14.55mSv						
甲癌患者送餐	甲癌病房 1 北墙外 30cm	6.80×10 ⁻² /2*	25 (给患者送餐过程约 2min、每日送 3 次, 每年工作 250 天)	送餐人员, 1	8.50×10 ⁻⁴	
	配餐传递窗外 30cm	3.61×10 ⁻² /2*			4.51×10 ⁻⁴	
甲癌患者送餐人员年总有效剂量：1.30×10 ⁻³ mSv						
PET 分装注射室	东墙外 30cm	4.35×10 ⁻²	250 (¹⁸ F 药物单次分装过程约 1min, 每年约 15000 名患者)	注射前候诊区, 1/20	5.44×10 ⁻⁴	公众
	顶棚外 30cm	6.97×10 ⁻⁴		1	1.74×10 ⁻⁴	
	底板下方	2.05×10 ⁻³		1/40	1.28×10 ⁻⁵	
PET 注射前室	东墙外 30cm	0.22	62.5 (¹⁸ F 药物单次注射过程约 30s, 单个注射窗口每年注射约 7500 名患者)	注射前候诊区, 1/20	6.88×10 ⁻⁴	
	东门外 30cm	0.80			2.50×10 ⁻³	
	北墙外 30cm	3.99×10 ⁻²		通往核素治疗区走廊, 1/20	1.25×10 ⁻⁴	

	顶棚外 30cm	3.58×10^{-2}		1	2.24×10^{-3}	
	底板下方	0.11		1/40	1.72×10^{-4}	
PET 患者注射位(患者走道上)	南门外 30cm	2.10	911 (候诊室 1、2 均为三人间, 同时有 3 名患者在内候诊, 患者平均候诊时间约 40min, 单间候诊室内每年约 4100 名患者)	医护人员入口缓冲区, 1/40	3.28×10^{-3}	辐射工作人员
PET 注射后候诊室 1、2	候诊室 1 东墙外 30cm	0.73		设备操作区走廊, 1/5	1.66×10^{-2}	
	候诊室 1/2 南墙外 30cm	0.43		1	7.83×10^{-2}	公众
	候诊室 1/2 顶棚外 30cm	5.74×10^{-2}		1/40	5.23×10^{-2}	
	候诊室 1/2 底板下方	0.21			4.78×10^{-3}	
PET 注射后候诊室 3	南墙外 30cm	1.03	910 (候诊室 3 为两人间, 同时有 2 名患者在内候诊, 患者平均候诊时间约 40min, 候诊室内每年约 2730 名患者)	设备操作区走廊, 1/5	0.19	辐射工作人员
	顶棚外 30cm	7.17×10^{-2}		1	6.52×10^{-2}	公众
	底板下方	0.21		1/40	4.78×10^{-3}	
PET VIP 注射后候诊室 1、2、3	北墙外 30cm	1.03	910 (VIP 候诊室为单人间, 患者平均候诊时间约 40min, 候诊室内每年约 1365 名患者)	通往核素治疗区走廊, 1/20	4.69×10^{-2}	公众
	顶棚外 30cm	3.33×10^{-2}		1	3.03×10^{-2}	
	底板下方	0.12		1/40	2.73×10^{-3}	
PET/CT 机房 1、2	机房 2 东墙外 30cm	5.86×10^{-2}	1666.7 (^{18}F 患者单次扫描过程约 20min, 单间机房约 5000 名患者)	设备机房, 1/40	2.44×10^{-3}	辐射工作人员
	机房 1 西墙外 30cm	0.13			5.42×10^{-3}	公众
	顶棚外 30cm	2.81×10^{-2}		1	4.68×10^{-2}	
	底板下方	8.25×10^{-2}		1/40	3.44×10^{-3}	
PET/MR 机房	南墙外 30cm	0.13		设备机房, 1/40	5.42×10^{-3}	辐射工作人员
	顶棚外 30cm	2.81×10^{-2}		1	4.68×10^{-2}	公众
	底板下方	8.25×10^{-2}		1/40	3.44×10^{-3}	
PET 留观室 1	北墙外 30cm	2.32	1500 (留观室 1 为三人间, 患者平均留观时间约 30min, 室内每年约 9000 名患者)	通往核素治疗区走廊, 1/20	0.17	公众
	顶棚外 30cm	6.75×10^{-2}		1	0.10	
	底板下方	0.24		1/40	9.00×10^{-3}	
PET 留观室 2	西墙外 30cm	0.10	1500 (留观室 2 为两人间, 患者平均留观时间约 30min, 室	气瓶间, 1/40	3.75×10^{-3}	
	北墙外 30cm	0.84		通往核素	6.30×10^{-2}	

			内每年约 6000 名患者)	治疗区走廊, 1/20		
	顶棚外 30cm	4.50×10^{-2}		1	6.75×10^{-2}	
	底板下方	0.16		1/40	6.00×10^{-3}	
PET 抢救室	北墙外 30cm	0.70	50 (保守假设抢救室每周使用 1h, 每年工作 50 周)	通往核素治疗区走廊, 1/20	1.75×10^{-3}	
	顶棚外 30cm	3.58×10^{-2}		1	1.79×10^{-3}	
	底板下方	0.11		1/40	1.38×10^{-4}	
PET 患者走道	北墙外 30cm (气瓶间内)	0.36		气瓶间, 1/40	3.75×10^{-4}	
	东墙外 30cm (楼梯间等)	0.36		楼梯间、弱电间等, 1/40	3.75×10^{-5}	
	南墙外 30cm (放射医生办公室等)	0.36		放射医生办公室等, 1	1.50×10^{-2}	
	西墙外 30cm (弱电、强电)	0.36	41.7 (假设患者通过各关注点时间为 10s, 每年 15000 名患者)	弱电、强电, 1/40	3.75×10^{-4}	
	北门外 30cm (气瓶间旁缓冲区)	2.22		应急入口缓冲区, 1/40	2.31×10^{-3}	辐射工作人员
	南门外 30cm (医生办公室旁缓冲区)	2.32		应急入口缓冲区, 1/40	2.42×10^{-3}	
	顶棚外 30cm	2.19×10^{-2}		1	9.13×10^{-4}	
	底板下方	5.28×10^{-2}		1/40	5.50×10^{-5}	
SPECT 分装注射室	东墙外 30cm	4.86×10^{-15}	125 (^{99m}Tc 药物单次测量活度过程约 30s, 每年约 15000 名患者)	注射前候诊区, 1/20	3.04×10^{-17}	公众
	顶棚外 30cm	5.40×10^{-12}		1	6.75×10^{-13}	
	底板下方	1.59×10^{-11}		1/40	4.97×10^{-14}	
SPECT 注射前室	东墙外 30cm	1.62×10^{-7}		注射前候诊区, 1/20	5.06×10^{-10}	
	南墙外 30cm	5.71×10^{-8}		敷贴室, 1	3.57×10^{-9}	辐射工作人员
	南门外 30cm	1.81×10^{-4}		甲功测试室, 1	1.13×10^{-5}	
	东门外 30cm	5.12×10^{-4}	62.5 (^{99m}Tc 药物单次注射过程约 30s, 单个注射窗口每年注射约 7500 名患者)	注射前候诊区, 1/20	1.60×10^{-6}	公众
	顶棚外 30cm	1.80×10^{-3}		1	1.13×10^{-4}	
	底板下方	5.29×10^{-3}		1/40	8.27×10^{-6}	
SPECT 患者注射位 (患者走)	北门外 30cm	7.76×10^{-4}		医护人员入口缓冲区, 1/20	2.43×10^{-6}	辐射工作人员

道上)						
SPECT 运动负荷兼抢救室	东墙外 30cm	2.13×10^{-7}	500 (保守假设运动负荷兼抢救室每天使用 2h, 每年工作 250 天)	甲功测试室, 1	1.07×10^{-7}	公众
	南墙外 30cm	1.10×10^{-7}		医护走廊, 1/5	1.10×10^{-8}	
	顶棚外 30cm	1.80×10^{-3}		1	9.00×10^{-4}	
	底板下方	5.29×10^{-3}		1/40	6.61×10^{-5}	
SPECT 注射后候诊室 1、2	候诊室 1 东墙外 30cm	7.54×10^{-6}	666.7 (候诊室 1、2 均为六人间, 同时有 6 名患者在内候诊, 患者平均候诊时间约 40min, 单间候诊室内每年约 6000 名患者)	医护人员入口缓冲区, 1/20	2.51×10^{-7}	辐射工作人员
	候诊室 1/2 北墙外 30cm	6.15×10^{-7}		设备操作区走廊, 1/5	8.20×10^{-8}	
	候诊室 2 西墙外 30cm	7.54×10^{-6}		配电间, 1/40	1.26×10^{-7}	公众
	候诊室 1/2 顶棚外 30cm	1.00×10^{-2}		1	6.67×10^{-3}	
	候诊室 1/2 底板下方	3.62×10^{-2}		1/40	6.03×10^{-4}	
SPECT VIP 注射后候诊室 1、2、3、4	南墙外 30cm	2.62×10^{-7}	500 (VIP 候诊室均为单人间, 患者平均候诊时间约 40min, 单间候诊室内每年约 750 名患者)	医护走廊, 1/5	2.62×10^{-8}	公众
	顶棚外 30cm	1.80×10^{-3}		1	9.00×10^{-4}	
	底板下方	5.29×10^{-3}		1/40	6.61×10^{-5}	
SPECT/CT 机房 1、2、3	机房 1 东墙外 30cm	6.01×10^{-8}	1666.7 (^{99m}Tc 患者单次扫描过程约 20min, 单机房约 5000 名患者)	配电间, 1/40	2.50×10^{-9}	辐射工作人员
	机房 3 东墙外 30cm	6.01×10^{-8}		医生休息室, 1/5	2.00×10^{-8}	
	机房 2 西墙外 30cm	7.07×10^{-8}		合用前室、楼梯间, 1/40	2.95×10^{-9}	公众
	机房 3 西墙外 30cm	7.07×10^{-8}		1	3.00×10^{-3}	
	顶棚外 30cm	1.80×10^{-3}		1/40	2.20×10^{-4}	
	底板下方	5.29×10^{-3}				
SPECT 留观室	南墙外 30cm	1.32×10^{-6}	1875 (留观室为四人间, 同时有 4 名患者在内留观, 患者平均留观时间约 30min, 每年 15000 名患者)	医护走廊, 1/5	4.95×10^{-7}	公众
	西墙外 30cm	1.49×10^{-6}		女更、医护人员卫生间, 1/5	5.59×10^{-7}	
	顶棚外 30cm	7.20×10^{-3}		1	1.35×10^{-2}	
	底板下方	2.12×10^{-2}		1/40	9.94×10^{-4}	
SPECT 患者走道	北墙外 30cm (医生休息室、配电间等)	2.93×10^{-7}	41.7 (假设患者通过各关注点时间为 10s, 每年 15000 名患者)	医生休息室、配电间等, 1	1.22×10^{-8}	辐射工作人员
	北门外 30cm (医生休息室、配电间等)	9.26×10^{-4}		医生休息室、配电间	3.86×10^{-5}	

				等, 1		
	南门外 30cm（医生 办公室旁缓冲区）	9.26×10 ⁻⁴		应急入口 缓冲区, 1/40	9.65×10 ⁻⁷	
	南墙外 30cm（医生 办公室等）	2.93×10 ⁻⁷		医生办公 室等, 1	1.22×10 ⁻⁸	
甲癌控制 给药室	顶棚外 30cm（有甲 癌治疗时）	1.77×10 ⁻⁵	5.8 （ ¹³¹ I 药物单人自动分装过 程约 1min, 每年 350 名甲癌 患者）	1	1.03×10 ⁻⁷	公众
	底板下方（有甲癌治 疗时）	5.19×10 ⁻⁵		1/40	7.53×10 ⁻⁹	
	顶棚外 30cm（无甲 癌治疗时）	1.88×10 ⁻⁶	41.7 （ ¹³¹ I 药物单人自动分装过 程约 1min, 每年 2500 名甲 亢患者）	1	7.84×10 ⁻⁸	
	底板下方（无甲癌治 疗时）	5.52×10 ⁻⁶		1/40	5.75×10 ⁻⁹	
	顶棚外 30cm（叠加 值）	1.03×10 ⁻⁷ +7.84×10 ⁻⁸			1.81×10 ⁻⁷	
	底板下方（叠加值）	7.53×10 ⁻⁹ +5.75×10 ⁻⁹			1.33×10 ⁻⁸	
甲癌抢救 室	北门外 30cm	1.97	50 （保守假设抢救室每周使用 1h, 每年工作 50 周）	医护走廊, 1/5	1.97×10 ⁻²	辐射 工作 人员
	北墙外 30cm	0.29			2.90×10 ⁻³	
	顶棚外 30cm	7.91×10 ⁻²		1	3.96×10 ⁻³	公众
	底板下方	0.23		1/40	2.88×10 ⁻⁴	
甲癌患者 服药位及 患者通道	北门外 30cm（甲亢 患者）	4.50×10 ⁻²	20.8 （单名甲亢治疗患者服药 过程约 30 秒, 每年 2500 名 患者）	核素治疗 区走廊, 1/5	1.87×10 ⁻⁴	辐射 工作 人员
	北门外 30cm（甲癌 患者）	0.54/2*	177.9 （单名甲癌治疗患者服药 过程约 30 秒, 每年 350 名 患者, 每名患者每天取餐三 次, 每次约 2min, 每名患者 住院 5 天）		9.61×10 ⁻³	
	北门外 30cm（叠加 值）	1.87×10 ⁻⁴ +9.61×10 ⁻³			9.80×10 ⁻³	
	顶棚外 30cm	9.61×10 ⁻² /2*	198.7 （保守取甲癌及甲亢患者 叠加照射时间）	1	9.55×10 ⁻³	
	底板下方	0.17/2*		1/40	4.22×10 ⁻⁴	
	甲癌病房 1~7	病房 1、4 西墙外 30cm	1.62/2*	2000 （甲癌病房均为单人间, 单 名患者住院 5 天, 单天取 8 小时, 每年 50 周）	设备区走 廊, 1/20	8.10×10 ⁻²
病房 2 西墙外 30cm		1.06/2*	5.30×10 ⁻²			
病房 3 西墙外 30cm		0.74/2*	3.70×10 ⁻²			
病房 4 南墙外 30cm		1.62/2*	患者出口 走廊, 1/40		4.05×10 ⁻²	
病房 1~7 顶棚外 30cm		7.91×10 ⁻² /2*	1		7.91×10 ⁻²	

	病房 1~7 底板下方	0.23/2*		1/40	5.75×10^{-3}	
叠加影响	PET 注射后候诊室 1 和 2 顶棚外 30cm	$5.23 \times 10^{-2} \times 2$			0.10	公众
	PET 注射后候诊室 1 和 2 底板下方	$4.78 \times 10^{-3} \times 2$			9.56×10^{-3}	
	PET VIP 注射后候诊室 2 和 3 北墙外 30cm	$4.69 \times 10^{-2} \times 2$			9.38×10^{-2}	
	PET VIP 注射后候诊室 2 和 3 顶棚外 30cm	$2.73 \times 10^{-2} \times 2$			5.46×10^{-2}	
	PET VIP 注射后候诊室 2 和 3 底板下方	$2.73 \times 10^{-3} \times 2$			5.46×10^{-3}	
	SPECT 注射后候诊室 1 和 2 顶棚外 30cm	$6.67 \times 10^{-3} \times 2$			1.33×10^{-2}	
	SPECT 注射后候诊室 1 和 2 底板下方	$6.03 \times 10^{-4} \times 2$			1.21×10^{-3}	
	SPECT VIP 注射后候诊室 1 和 2(3 和 4) 南墙外 30cm	$2.62 \times 10^{-8} \times 2$			5.24×10^{-8}	
	SPECT VIP 注射后候诊室 1 和 2(3 和 4) 顶棚外 30cm	$9.00 \times 10^{-4} \times 2$			1.80×10^{-3}	
	SPECT VIP 注射后候诊室 1 和 2(3 和 4) 底板下方	$6.61 \times 10^{-5} \times 2$			1.32×10^{-4}	
	SPECT/CT 机房 2 西墙外和 SPECT/CT 机房 3 东墙外	$2.36 \times 10^{-8} + 2.00 \times 10^{-8}$			4.36×10^{-8}	辐射工作人员
	甲癌病房 2 和 3 西墙外 30cm	$5.30 \times 10^{-2} + 3.70 \times 10^{-2}$			9.00×10^{-2}	公众
	甲癌病房 2 和 3 (6 和 7) 顶棚外 30cm	$7.91 \times 10^{-2} \times 2$			0.16	
	甲癌病房 2 和 3 (6 和 7) 底板下方	$5.75 \times 10^{-3} \times 2$			1.15×10^{-2}	

注：① ^{131}I 被患者口服后，在核素半衰期和人体生物半排期的综合作用下，体内剩余核素活度不断减少，因此，服药患者的体表辐射剂量率也是随之减小的。由于甲癌住院时间相较 ^{131}I 的有效半衰期时间要长的多，这里保守按服药后最大瞬时辐射剂量率值的一半作为住院期间甲癌患者体表平均辐射剂量率值；

②核医学工作场所楼上为体检区和康复理疗区，居留因子保守取 1；楼下为地下车库，居留因子取 1/40。

根据表 11-26 估算结果可知，核医学工作场所分装注射（给药）人员年总有效剂量为 1.32mSv，单台 PET/CT、SPECT/CT 设备操作人员最大年总有效剂量为 1.75mSv，单台 PET/MR 设备操作人员最大年总有效剂量为 1.08mSv，2 台 PET/CT、1 台 PET/MR、3 台 SPECT/CT 摆位人员年总有效剂量为 14.55mSv，甲癌患者送餐人员年总有效剂量为 $1.30 \times 10^{-3}\text{mSv}$ ，本项目拟配备至少 14 名辐射工作人员，包括至少 5 名护士、6 名技师和 3 名医师，护士主要负责药物分装注射（给药），技师主要负责设备操作和摆位，医师主要负责摆位，各岗位人员平均分担辐射工作，则可以估算得出，单名护士、技师和医师年有效剂量分别为约 0.26mSv、

3.26mSv、1.62mSv；根据表 11-26 结果可进一步估算得出，核医学工作场所候诊室等对辐射工作人员造成的总年有效剂量为约 0.34mSv。保守将以上两部分剂量叠加后可知，单名护士、技师和医师年有效剂量分别为约 0.6mSv、3.6mSv、1.96mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目目标管理值要求：**职业人员年有效剂量不超过 5mSv。**

根据表 11-26 估算结果可知，核医学工作场所周围公众最大年有效剂量为 0.17mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：**公众年有效剂量不超过 0.25mSv。**

11.2.3 内镜中心 ERCP 用 X 光机、介入科 DSA、复合手术室 DSA 及移动 CT

11.2.3.1 机房屏蔽符合性分析

本项目拟在内镜中心配备 2 台 ERCP 用 X 光机，拟在介入科配备 6 台 DSA，拟在手术中心复合手术室配备 2 台 DSA 和 1 台移动 CT，本项目 ERCP 用 X 光机、DSA 最大管电压均为 125kV，CT 最大管电压为 150kV。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C，各机房采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11-27。

表 11-27 ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室屏蔽符合性分析

项目		防护参数	等效屏蔽 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	符合性
ERCP 机房（2 间） （使用 ERCP 用 X 光机）	四周墙体	240mm 实心砖 +3mmPb 防护涂料	约 5.3	2.0	符合
	顶棚、底板	250mm 混凝土	约 3.4		符合
	防护门	4mm 铅当量	4.0		符合
	观察窗	4mm 铅当量	4.0		符合
DSA 机房（6 间） （使用 DSA）	四周墙体	龙骨隔墙+4mmPb 防护铅板	4.0	2.0	符合
	顶棚、底板	250mm 混凝土	约 3.4		符合
	防护门	4mm 铅当量	4.0		符合
	观察窗	4mm 铅当量	4.0		符合
复合手术室（2 间） （使用 DSA）	四周墙体	龙骨隔墙+4mmPb 防护铅板	4.0	2.0	符合
	顶棚、底板	250mm 混凝土	约 3.4		符合
	防护门	4mm 铅当量	4.0		符合
	观察窗	4mm 铅当量	4.0		符合
复合手术室（2 间） （共用 1 间复合 CT 中腔） （使用 CT）	四周墙体	龙骨隔墙+4mmPb 防护铅板	4.0	2.5	符合
	顶棚、底板	250mm 混凝土	约 3.0		符合

	防护门	4mm 铅当量	4.0		符合
	观察窗	4mm 铅当量	4.0		符合

从表 11-27 可知，本项目 2 间 ERCP 机房、6 间 DSA 机房、2 间复合手术室（共用 1 间复合 CT 中腔）的屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关要求，即 C 型臂 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2mm 铅当量、CT 机房有用线束及非有用线束方向铅当量不小于 2.5mm 的要求。

11.2.3.2 运行阶段辐射影响分析

本项目移动 CT 属于 III 类射线装置，复合手术室（2 间）（共用 1 间复合 CT 中腔）屏蔽满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关要求，CT 运行对周围环境影响较小。本报告主要对内镜中心 ERCP 用 X 光机、介入科 DSA、复合手术室 DSA 的环境影响进行分析评价。

根据《辐射防护手册》（第三分册），对于透视 X 线机，只要对次级 X 线进行屏蔽，因此本项目 ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室各侧屏蔽体主要考虑泄漏辐射和散射辐射的影响。

ERCP 用 X 光机、DSA 单次减影时间极短、为 ms 级别，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 B 中“介入放射学设备按透视条件进行检测”，对机房进行辐射影响理论估算时，主要考虑透视时的辐射影响。

根据医院提供资料，本项目 2 台 ERCP 用 X 光机、8 台 DSA 在透视模式下正常使用的最大管电压均为 80kV，最大管电流均为 20mA。

根据医院提供资料，本项目 ERCP 用 X 光机、DSA 靶点至相应机房外关注点的最近距离见表 11-28。

表 11-28 ERCP 用 X 光机、DSA 靶点至相应机房外关注点的距离

项目		靶点至机房外关注点的最近距离(m)
ERCP 机房（2 间） （使用 ERCP 用 X 光机）	四周墙体	2.8
	顶棚	3.85
	底板下方	3.25
	防护门	4.3
	观察窗	2.8
DSA 机房（6 间） （使用 DSA）	四周墙体	3.7
	顶棚	4.1

	底板	3.35
	防护门	5.3
	观察窗	4.1
复合手术室（2 间） （使用 DSA）	四周墙体	5.0
	顶棚	4.05
	底板	3.6
	防护门	5.2
	观察窗	5.0

注：关注点取四周墙体、顶棚、防护门、观察窗外 30cm，底板下方楼层地面上 1.7m。

（1）泄漏辐射预测

①泄漏辐射空气比释动能率计算公式

泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{R^2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

H_i ——距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；

R ——靶点至关注点的距离，m；

B ——屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式（16）。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

B ——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α 、 β 、 γ ——铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据 GBZ 130-2020 表 C.2 中与 80kV 邻近的 70kV、90kV、100kV 等管电压数据，采用 Excel 曲线拟合方法分别制作 α 、 β 、 γ 拟合曲线，由拟合曲线查取 80kV 管电压相应的 α 、 β 、 γ 数值， α 、 β 、 γ 取值分别为 3.722、21.356、0.699。

X ——铅厚度。

②泄漏辐射空气比释动能率计算结果

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距

离源 1m 处不超过 100cm²的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm² 面积上进行平均测量), 以及《医用电气设备 第 1 部分: 安全通用要求 三.并列标准 诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》(GB9706.12-1997) 中 29.204.3 的相应要求, 取本项目 ERCP 用 X 光机、DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

将有关参数代入公式 (15)、(16), 计算机房四周屏蔽体、顶棚及底板外关注点的泄漏辐射空气比释动能率, 计算结果见表 11-29。

表 11-29-1 ERCP 机房外关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_i (mGy/h)	等效铅当 量(mmPb)	R (m)	α	β	γ	B 估算结果	$\dot{H}_L$ 估算结果 (μGy/h)
四周墙体外 30cm	1	约 5.3	2.8	3.722	21.356	0.699	1.77×10^{-10}	2.26×10^{-8}
顶棚外 30cm	1	约 3.4	3.85				2.08×10^{-7}	1.41×10^{-5}
底板下方	1	约 3.4	3.25				2.08×10^{-7}	1.97×10^{-5}
防护门外 30cm	1	4.0	4.3				2.23×10^{-8}	1.21×10^{-6}
观察窗外 30cm	1	4.0	2.8				2.23×10^{-8}	2.85×10^{-6}

表 11-29-2 DSA 机房外关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_i (mGy/h)	等效铅当 量(mmPb)	R (m)	α	β	γ	B 估算结果	$\dot{H}_L$ 估算结果 (μGy/h)
四周墙体外 30cm	1	4.0	3.7	3.722	21.356	0.699	2.23×10^{-8}	1.63×10^{-6}
顶棚外 30cm	1	约 3.4	4.1				2.08×10^{-7}	1.24×10^{-5}
底板下方	1	约 3.4	3.35				2.08×10^{-7}	1.86×10^{-5}
防护门外 30cm	1	4.0	5.3				2.23×10^{-8}	7.95×10^{-7}
观察窗外 30cm	1	4.0	4.1				2.23×10^{-8}	1.33×10^{-6}

表 11-29-3 复合手术室外关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_i (mGy/h)	等效铅当 量(mmPb)	R (m)	α	β	γ	B 估算结果	$\dot{H}_L$ 估算结果 (μGy/h)
四周墙体外 30cm	1	4.0	5.0	3.722	21.356	0.699	2.23×10^{-8}	8.93×10^{-7}
顶棚外 30cm	1	约 3.4	4.05				2.08×10^{-7}	1.27×10^{-5}
底板下方	1	约 3.4	3.6				2.08×10^{-7}	1.61×10^{-5}
防护门外 30cm	1	4.0	5.2				2.23×10^{-8}	8.26×10^{-7}
观察窗外 30cm	1	4.0	5.0				2.23×10^{-8}	8.93×10^{-7}

(2) 散射辐射预测

①散射辐射空气比释动能率计算公式

由《辐射防护手册》（第一分册）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）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

H_0 ——距靶点 1m 处的最大剂量率， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；本项目设备型号未定，根据 ICRP 33 号报告第 79 段关于“总过滤不得小于 2.5 mm 铝”的要求，本项目 ERCP 用 X 光机、DSA 过滤板保守取 2.5mmAl，透视模式下正常使用的最大管电压均为 80kV，运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和设备的 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，为 $5\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

a ——人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比，查《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1，对于本项目设备正常工作使用电压最大为 80kV 时的 a 查取值为 0.0008（根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 中管电压为 70kV、100kV、125kV 对应散射角为 90° 的 a 值绘制拟合曲线，从曲线查取 80kV 对应的 a 值）；

S ——主束在患者体上的散射面积，考虑手术需要的最大照射面积，本项目取 100cm^2 ；

d_0 ——源至受照点的距离，本项目设备型号未定， d_0 保守取常用 ERCP 用 X 光机、DSA 型号的较小值 0.38m（符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求）；

d_s ——受照体至关注点的距离，m；

B_s ——屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式（16）。

②关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

将有关参数代入公式（16）、（17），计算机房四周屏蔽体、顶棚及底板外关注点处的散射辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-30。

表 11-30-1 ERCP 机房外关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_0 ($\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	I (mA)	a	S (cm^2)	B_s	d_0 (m)	d_s (m)	H_s ($\mu\text{Gy/h}$)
四周墙体外 30cm	5	20	0.0008	100	1.77×10^{-10}	0.38	2.8	1.87×10^{-7}
顶棚外 30cm	5	20	0.0008	100	2.08×10^{-7}	0.38	3.47	1.44×10^{-4}

底板下方	5	20	0.0008	100	2.08×10^{-7}	0.38	3.63	1.31×10^{-4}
防护门外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	4.3	1.00×10^{-5}
观察窗外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	2.8	2.37×10^{-5}

表 11-30-2 DSA 机房外关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_0 ($\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	I (mA)	a	S (cm^2)	Bs	d_0 (m)	ds (m)	Hs ($\mu\text{Gy/h}$)
四周墙体外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	3.7	1.36×10^{-5}
顶棚外 30cm	5	20	0.0008	100	2.08×10^{-7}	0.38	3.72	1.25×10^{-4}
底板下方	5	20	0.0008	100	2.08×10^{-7}	0.38	3.73	1.24×10^{-4}
防护门外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	5.3	6.61×10^{-6}
观察窗外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	4.1	1.10×10^{-5}

表 11-30-3 复合手术室外关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_0 ($\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	I (mA)	a	S (cm^2)	Bs	d_0 (m)	ds (m)	Hs ($\mu\text{Gy/h}$)
四周墙体外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	5	7.42×10^{-6}
顶棚外 30cm	5	20	0.0008	100	2.08×10^{-7}	0.38	3.67	1.29×10^{-4}
底板下方	5	20	0.0008	100	2.08×10^{-7}	0.38	3.98	1.09×10^{-4}
防护门外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	5.2	6.86×10^{-6}
观察窗外 30cm	5	20	0.0008	100	2.23×10^{-8}	0.38	5	7.42×10^{-6}

(3) 泄漏辐射和散射辐射的叠加剂量

根据表 11-29 和 11-30 估算结果可得出, 机房四周屏蔽体、顶棚及底板外关注点处的泄漏辐射和散射辐射的叠加空气比释动能率, 计算结果见表 11-31。

表 11-31-1 ERCP 机房外关注点处泄漏辐射和散射辐射的叠加空气比释动能率计算结果

关注点位置	泄漏辐射 估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射 估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	叠加辐射估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)
四周墙体外 30cm	2.26×10^{-8}	1.87×10^{-7}	2.10×10^{-7}
顶棚外 30cm	1.41×10^{-5}	1.44×10^{-4}	1.58×10^{-4}
底板下方	1.97×10^{-5}	1.31×10^{-4}	1.51×10^{-4}
防护门外 30cm	1.21×10^{-6}	1.00×10^{-5}	1.12×10^{-5}
观察窗外 30cm	2.85×10^{-6}	2.37×10^{-5}	2.65×10^{-5}

表 11-31-2 DSA 机房外关注点处泄漏辐射和散射辐射的叠加空气比释动能率计算结果

关注点位置	泄漏辐射 估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射 估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	叠加辐射估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)
四周墙体外 30cm	1.63×10^{-6}	1.36×10^{-5}	1.52×10^{-5}
顶棚外 30cm	1.24×10^{-5}	1.25×10^{-4}	1.38×10^{-4}
底板下方	1.86×10^{-5}	1.24×10^{-4}	1.43×10^{-4}
防护门外 30cm	7.95×10^{-7}	6.61×10^{-6}	7.40×10^{-6}
观察窗外 30cm	1.33×10^{-6}	1.10×10^{-5}	1.24×10^{-5}

表 11-31-3 复合手术室外关注点处泄漏辐射和散射辐射的叠加空气比释动能率计算结果

关注点位置	泄漏辐射 估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射 估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	叠加辐射估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)
四周墙体外 30cm	8.93×10^{-7}	7.42×10^{-6}	8.32×10^{-6}
顶棚外 30cm	1.27×10^{-5}	1.29×10^{-4}	1.41×10^{-4}
底板下方	1.61×10^{-5}	1.09×10^{-4}	1.25×10^{-4}
防护门外 30cm	8.26×10^{-7}	6.86×10^{-6}	7.69×10^{-6}
观察窗外 30cm	8.93×10^{-7}	7.42×10^{-6}	8.32×10^{-6}

(4) 小结

根据表 11-31 估算结果可知，本项目 ERCP 用 X 光机在透视模式下，ERCP 机房外辐射剂量率最大为 $1.58 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ （近似取 $1 \mu\text{Gy/h} = 1 \mu\text{Sv/h}$ ）；DSA 在透视模式下，DSA 机房外辐射剂量率最大为 $1.43 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，复合手术室外辐射剂量率最大为 $1.41 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求，即机房屏蔽体外表面 30cm 处及周围人员可居留处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(5) 机房叠加影响分析

本项目内镜中心 2 间 ERCP 机房南北向并排布置，中间间隔控制室，2 台 ERCP 用 X 光机靶点相距约 8.4m；介入科 DSA 机房 1~3、机房 4~6 东西向并排布置，机房 1~3 与 4~6 南北向并排布置、中间间隔控制室，相邻 2 台 DSA 靶点相距最近约 8.3m；手术中心 2 间复合手术室东西向并排布置，中间间隔复合 CT 中腔，2 台 DSA 靶点相距约 16.9m。根据表 11-31 估算结果，并根据辐射剂量率与距离平方成反比可知，本项目相邻 ERCP 用 X 光机或 DSA 同时运行时，对相邻机房外关注点基本无叠加辐射影响。

11.2.3.3 保护目标剂量评价

(1) 辐射工作人员年有效剂量评价

①介入工作人员年有效剂量评价

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的要求，每名介入工作人员需佩戴 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口处，1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。医院应为介入手术医生配备 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴在铅围裙外领口处，1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。

本项目 ERCP、DSA 介入手术医生年有效剂量可根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中公式进行估算，估算方法如下：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：E—有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

α —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79；

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

β —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051；

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

$$H_u = \dot{H}_u \cdot T \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中： $\dot{H}_u$ —铅围裙外腰部附近的辐射水平，本项目 $\dot{H}_u$ 保守取 400 μ Sv/h（参考《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）附录 B）；

T—每名介入手术医生年透视受照时间，根据医院提供资料，项目运行后，预计每名介入手术医生每天最多安排 2 台手术，每年最多安排 250 台手术，平均每台手术透视时间约为 20min，则每名介入手术医生年透视受照时间为约 83h；

η —透射比，即屏蔽透射因子，根据公式（16）计算得出，根据 GBZ130-2020，对于铅围裙的铅当量取 0.5mmPb，可估算得出 η 为 1.48×10^{-2} 。

$$H_o = \dot{H}_o \cdot T \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：T 意义同前；

$\dot{H}_o$ —铅围裙外锁骨对应的衣领附近的辐射水平，取值同 $\dot{H}_u$ 。

换算系数取 1.20Sv/Gy。

将相关参数分别代入公式（16）、（19）、（20）可得， $H_u=0.59$ mSv、 $H_o=39.84$ mSv，再代入公式（18）可得，本项目 DSA 介入手术医生年有效剂量 $E=2.5$ mSv。

②控制室内辐射工作人员年有效剂量评价

根据表 11-31 理论估算结果和公式（13），可估算得出 ERCP、DSA、复合手术室控制

室内辐射工作人员的年有效剂量，见表 11-32。

表 11-32 控制室内辐射工作人员的年有效剂量估算一览表

居留场所	T (h)	居留 因子	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 H_{Er} (mSv/a)
ERCP 控制室内	333.3	1	2.65×10^{-5}	8.83×10^{-6}
DSA 控制室内	333.3	1	1.52×10^{-5}	5.07×10^{-6}
复合手术室控制 室内	333.3	1	8.32×10^{-6}	2.77×10^{-6}

注：控制室内辐射工作人员年受照时间保守取各设备年总出束时间，辐射剂量率保守取各机房外在控制室内关注点的最大估算值。

综上所述，根据理论估算结果可知，本项目 ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室辐射工作人员年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

但在实际手术时，因不同的手术，其曝光或透视的管电压管电流不同，投照方位根据需要而变化，且投照出束时间不同，难以准确估算介入手术工作人员受到的准确照射剂量，只能依靠其佩戴的个人剂量计进行跟踪性监测。因此，医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

（2）周围公众年有效剂量评价

根据表 11-31 和公式（13）可估算得出，ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室周围公众年有效剂量最大分别为 $5.27 \times 10^{-5} \text{mSv}$ 、 $4.77 \times 10^{-5} \text{mSv}$ 、 $4.7 \times 10^{-5} \text{mSv}$ （辐射剂量率保守取表 11-31 中各机房外估算最大值，年照射时间保守取各设备年总出束时间，居留因子保守取 1），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

11.2.4 三废治理措施评价

11.2.4.1 放射性三废治理措施评价

本项目后装机、核医学运行过程中会产生放射性三废，其余设备运行过程中不产生放射性三废。

1、后装机

^{192}Ir 后装机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，放射源随设备存放。当使用到一定期限后，放射源活度不能满足治疗要求时必须更换放射源，从而产生退役废源。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》等法律法规的规定，业主不得私自保管、转让退役后的放射源，而应及时返回原供源单位，福建省童昌综合医院有限公司已承诺后装机内 ^{192}Ir 放射源达到使用年限退役后，废源将由原生产厂家回收处置，按此落实将符合相关法律法规的要求。

更换放射源时，福建省童昌综合医院有限公司应按有关要求在环境保护主管部门的监督下进行，并请有资质的单位和专业人员操作，不得擅自进行换源。

2、核医学

(1) 放射性废水处理措施评价

医院拟在核医学工作场所北侧新建一个放射性废水衰变室，衰变室四周墙体、顶棚、底板均拟设计为 30cm 混凝土，并采取防水措施，防护门拟设置为 8mm 铅当量，室内拟配备 2 套间歇式放射性废水衰变系统，分别为显像检查区放射性废水衰变系统、核素治疗区放射性废水衰变系统，2 套衰变系统均拟采用不锈钢成品衰变池。放射性废水管道拟布置于核医学底板下，废水管道拟采用含铅铸铁管，布设于核医学底板下地下二层吊顶上方，管道外拟包裹 5mm 的铅皮。衰变室和放射性废水衰变系统结构设计合理，满足防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的要求。2 套间歇式放射性废水衰变系统均设有 1 个多功能降解槽，槽内设置切割式潜污泵，可将固体杂质粉碎成小颗粒排出，基本不会产生沉积污泥。

①衰变系统容积符合性分析评价

本项目 PET、SPECT 放射诊断过程中产生的含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废水由专用管道排至显像检查区放射性废水衰变系统，核素治疗过程中产生的含有 ^{131}I 的放射性废水由专用管道排至核素治疗区放射性废水衰变系统，放射性废水在衰变系统内衰变至少十个半衰期后通过集水井内提升泵排至院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂。

本项目显像检查区放射性废水衰变系统由 1 个多功能降解槽、3 个衰变池、1 个集水井组成，单个衰变池有效容积均为 8m^3 ，PET、SPECT 放射诊断过程中放射性废水日产生量为 1.08m^3 ，单个衰变池可接纳约 7.4 天产生的放射性废水，根据 10.2.1 章节叙述的放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在衰变系统中暂存衰变至少 13.3 天（约 319.2h）。而 PET、SPECT 放射诊断过程中使用的放射性核素半衰期最长的为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，其半衰期为 6.02h，故本项目显像检查区放射性废水衰变系统可使放射性废水在该衰变系统中暂存至少 53 个半衰期，满足放射性废水存放至少十个半衰期的要求。

本项目核素治疗区放射性废水衰变系统由 1 个多功能降解槽、4 个衰变池、1 个集水井

组成，1#~3#衰变池有效容积均为 60.75m³，4#衰变池有效容积为 60m³，核素治疗过程中放射性废水日产生量为 1.13m³，单个衰变池可接纳约 53 天产生的放射性废水，根据 10.2.1 章节叙述的放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在衰变系统中暂存衰变至少 148.4 天。而核素治疗过程中使用的放射性核素 ¹³¹I 的半衰期为 8.04d，故本项目核素治疗区放射性废水衰变系统可使放射性废水在该衰变系统中暂存至少 18 个半衰期，满足放射性废水存放至少十个半衰期的要求。

放射性废水在衰变系统内经暂存衰变至少十个半衰期后，衰变系统排放口能满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中“总 β≤10Bq/L”的要求。

②衰变室屏蔽分析评价

本项目放射性废水衰变室为地上式结构，需考虑放射性废水暂存衰变时对衰变室外的辐射影响。

根据 2003 年原国家环保总局发布的《医院污水处理技术指南》中第七章，医院放射性废水浓度范围为 3.7×10²Bq/L~3.7×10⁵Bq/L，属于低放废水，考虑到本项目放射性废水中所含核素半衰期较短，且核素一直处于衰变状态，理论估算时，放射性废水浓度保守取 3.7×10⁴Bq/L。

本项目 PET、SPECT 放射诊断过程中产生的放射性废水内含放射性核素 ¹⁸F、^{99m}Tc，核素治疗过程中产生的放射性废水内含放射性核素 ¹³¹I，理论估算时，放射诊断项目废水量保守取一天内产生的废水量（约 1.08m³）（包括 PET 放射诊断、SPECT 放射诊断各发生 1 次意外产生的人员淋浴水量），核素治疗项目废水量保守取一周内产生的废水量（约 5.33m³）（包括发生 1 次意外产生的人员淋浴水量），可估算得出显像检查区、核素治疗区放射性废水衰变系统内放射性核素活度分别为 39.96MBq、197.21MBq；假设废水为点源，位于衰变池中心，根据公式（14）可估算得出衰变室外的辐射水平，具体见表 11-33。

表 11-33 放射性废水衰变室外辐射水平估算结果

参考点位		活度 A (MBq)	衰减距离 r (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平 (μGy/h)
衰变室东墙 外 30cm	显像检查区	¹⁸ F: 39.96	5.1	30cm 砼	1.97×10 ⁻²	4.34×10 ⁻³
	核素治疗区	¹³¹ I: 197.21	2.85		1.72×10 ⁻²	2.48×10 ⁻²
衰变室南墙 外 30cm	显像检查区	¹⁸ F: 39.96	12.2		1.97×10 ⁻²	7.58×10 ⁻⁴
	核素治疗区	¹³¹ I: 197.21	2.85		1.72×10 ⁻²	2.48×10 ⁻²
衰变室北墙	显像检查区	¹⁸ F: 39.96	2.9		1.97×10 ⁻²	1.34×10 ⁻²

外 30cm	核素治疗区	^{131}I : 197.21	12.25		1.72×10^{-2}	1.34×10^{-3}
衰变室顶棚 外 30cm	显像检查区	^{18}F : 39.96	5.2		1.97×10^{-2}	4.17×10^{-3}
	核素治疗区	^{131}I : 197.21	4.7		1.72×10^{-2}	9.13×10^{-3}
衰变室底板 下方（地下二 层地面上方 1.7m）	显像检查区	^{18}F : 39.96	3.35		1.97×10^{-2}	1.01×10^{-2}
	核素治疗区	^{131}I : 197.21	3.85		1.72×10^{-2}	1.36×10^{-2}
衰变室防护 门外 30cm	显像检查区	^{18}F : 39.96	4	8mmPb	0.33	0.12
	核素治疗区	^{131}I : 197.21	12.25		0.19	1.47×10^{-2}

注：①衰变室西侧为土层，无人员居留，西墙外不设定关注点；

② ^{18}F 的辐射影响比 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 大得多，保守假设显像检查区内均为 ^{18}F 废水。

根据表 11-33 可知，放射诊断项目一天内产生的放射性废水在暂存室内暂存衰变时，衰变室外辐射剂量率最大为 $0.12\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足辐射防护要求。显像检查区放射性废水衰变系统第二天接收新的放射性废水时，前一天的放射性废水已至少衰变 14h，其所致衰变室表面的辐射剂量率可忽略不计。

根据表 11-33 可知，核素治疗项目一周内产生的放射性废水在暂存室内暂存衰变时，衰变室外辐射剂量率最大为 $2.48\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足辐射防护要求。保守不考虑 1 周内 2 天不接收放射性废水、放射性废水在 2 天内的衰变过程，根据核素衰变公式可估算得出，核素治疗项目十个半衰期（即约 12 周）内产生的放射性废水在暂存室内暂存衰变时，衰变室东墙、南墙、北墙、顶棚外 30cm、底板下方、防护门外 30cm 处辐射剂量率分别为 $5.47\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $5.47\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $2.96\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ 、 $2.01\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $3\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $3.24\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ ；保守叠加放射诊断项目产生的放射性废水对衰变室外的辐射影响后可得出，衰变室东墙、南墙、北墙、顶棚外 30cm、底板下方、防护门外 30cm 处最大辐射剂量率分别为 $5.9\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $5.55\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $1.64\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $2.43\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $4.01\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}$ 、 $0.15\mu\text{Sv/h}$ 。

根据公式（13）可进一步估算得出衰变室周围人员的年有效剂量，具体见表 11-34。

表 11-34 放射性废水衰变池周围人员年有效剂量估算结果

关注点	场所类型	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年工作时间 (h)	年剂量估算值 (mSv/a)	保护目标
东墙	设备区走廊	5.9×10^{-2}	1/20	2000 (人员每天工作 8h, 每年工作 250d)	5.90×10^{-3}	公众
南墙	核素治疗区护士站等	5.55×10^{-2}	1		0.11	辐射工作人员
北墙	楼梯间及前室	1.64×10^{-2}	1/40		8.20×10^{-4}	公众
顶棚	体检区超声室等	2.43×10^{-2}	1		4.86×10^{-2}	公众

底板	防化通信值班室、 地下车库	4.01×10^{-2}	1		8.02×10^{-2}	公众
防护门	楼梯间前室	0.15	1/40		7.50×10^{-3}	公众

根据表 11-34 估算结果可知，放射性废水衰变室周围公众最大年有效剂量为 $8.02 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，周围辐射工作人员（南侧核医学工作场所辐射工作人员）最大年有效剂量为 0.11mSv ，根据 11.2.2.2 章节，核医学工作场所单名辐射工作人员最大年有效剂量率为 3.6mSv ，将两部分剂量保守叠加后可知，辐射工作人员最大年有效剂量为 3.71mSv ，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对辐射工作人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：**辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.25mSv 。**

为保障放射性废水衰变系统的长期可靠运行，单位还应采取以下辐射安全和管理措施：

①在衰变室入口醒目处设置电离辐射警告标志及警示说明，将衰变室划为辐射防护控制区，禁止无关人员进入；

②定期对衰变室周围环境辐射水平进行监测，监测数据存档备查。

（2）放射性废气处理措施评价

本项目核医学工作场所拟设置单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。工作场所设计风速不小于 1.5m/s ，由单独的管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排出，排风口处拟设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目核医学工作场所内的通风橱和自动分装柜均拟设置独立的排风系统，风速不小于 1m/s ，外排口均由专用管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排出，排风口处拟设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。

本项目核医学工作场所通风系统排风口处安装的活性炭过滤装置应不影响通风效率，活性炭吸附效率不低于 95%，并每季度更换一次活性炭，更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。

本项目核医学工作场所产生的放射性废气排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。核医学正常运行过程中挥发的含有微量放射性核素的气体经排风系统外排并经活性炭过滤吸附后，对周围环境影响很小。

（3）放射性固体废物处理措施评价

本项目 PET、SPECT 放射诊断过程中产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，PET 放射性固废暂存在放射性废物库 1 和 3 内，SPECT 放射性固废暂存在放射性废物库 2 和 3 内，待衰变至少十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为医院普通医疗废物统一处理。

核素治疗过程中产生的放射性固体废物暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，患者出院后统一收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库 3 和 4 内暂存，待衰变至少十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为医院普通医疗废物统一处理。

各工作场所更换的废活性炭放置在放射性废物库 3 内，待衰变至少十个半衰期并达到清洁解控水平推荐值后，作为非放射性固体废物统一处理。

放射性固废在收集、临时贮存、处理过程中以及在管理过程中，医院应注意严格按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中第 8 条要求落实，确保放射性固废收集、临时贮存、处理及管理措施安全有效可行，避免放射性固废对工作人员和公众造成不必要的照射。

以上措施认真落实后，本项目核医学放射性固废处置措施能够符合相关环保要求。

11.2.4.2 非放射性三废

一、废气

项目运行期产生的废气主要为：①医用直线加速器运行时产生的 X 射线和电子线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，②射波刀运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，③¹⁹²Ir 后装机运行时放射源发射出的 γ 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，④核医学 PET/CT、SPECT/CT 中 CT 装置运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物，⑤ERCP 用 X 光机运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物，⑥介入科 DSA 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物，⑦复合手术室 DSA 及移动 CT 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

1、直线加速器、射波刀

本项目 2 间加速器机房、1 间射波刀机房内均设有独立的机械通风系统，包括新风系统和排风系统，室内送风口位于天花板上，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口和排风口呈对角线布置，能够有效促进室内气体流动，室外排风口拟设置于放疗机房北侧风机房内

排风井上方（离地面约 3.4m）。加速器机房 1、加速器机房 2、射波刀机房设计排风量分别为 4140m³/h、3810m³/h、3810m³/h，机房内有效容积（包含迷道容积）分别为约 363m³、363m³、308m³，本项目通风换气次数能够满足《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。

（1）直线加速器

①臭氧对环境的影响

直线加速器的 X 射线和电子束是扩展辐射束，依据 IAEA188《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14，2，P101，1994），加速器辐射所致 O₃ 的产额估算方法如下：

1）有用线束的 O₃ 产额

$$P = 2.43D_0(1 - \cos\theta)RG \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中：P—O₃ 的产额，mg/h；

D₀—辐射有用束在靶 1m 处的输出量，本项目加速器 1 和 2 均取 24Gy·m²/min；

R—靶到屏蔽物（墙）的距离，均保守取靶到机房主屏蔽的最大距离，加速器机房 1 和 2 均取 3.575m；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数（一般为 6-10，为保守考虑取 10）；

θ—有用束的半张角，本项目为 14°；

根据上式计算得，加速器机房 1 和 2 有用线束的 O₃ 产额均为 61.9mg/h。

2）泄漏辐射的 O₃ 产额

将泄漏辐射看为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%，O₃ 的产额 P（mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{1/3} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：V—加速器机房的体积，m³（机房 1 和 2 均取 363m³，含迷道）；

根据上式计算得，加速器机房 1 和 2 泄漏辐射的 O₃ 产额均为 5.7mg/h。

3）O₃ 的产生量

经估算可知，加速器机房 1 和 2 有用线束和泄漏辐射的 O₃ 产额均为 67.6mg/h。本项目单台加速器年最大出束时间为 1000h，可进一步估算得出，加速器机房 1 和 2 的 O₃ 年产生量均为 67.6g，2 间机房的 O₃ 年总产生量为 135.2g。

4）O₃ 的浓度

辐射所致有害气体以 O₃ 为主，在考虑通风的情况下，空气中的 O₃ 平衡浓度由下式估算：

$$Q = \frac{P \times T}{V} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中：Q—加速器治疗室内 O₃ 平衡浓度，mg/m³；

P—O₃ 的辐射产额，mg/h；

T—有效清洗时间，h；

V—治疗室体积，m³。

其中，有效清洗时间 T 由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：T_v—换气一次所需时间，h；

T_d—O₃ 的有效分解时间，取 0.83h。

根据上述计算公式得出不同换气次数时的 O₃ 平衡浓度见表 11-35。

表 11-35 加速器机房不同换气次数时的臭氧浓度

参数		换气 4 次/h	换气 5 次/h	换气 6 次/h
机房 1、 机房 2	P (mg/h)	67.6		
	V (m ³)	363		
	T _v (h)	0.25	0.20	0.17
	T(h)	0.19	0.16	0.14
	Q(mg/m ³)	3.5×10 ⁻²	3.0×10 ⁻²	2.6×10 ⁻²

根据表 11-35 估算结果可知，加速器机房 1 和 2 室内通风换气次数不低于 4 次/h 时，室内 O₃ 平衡浓度最大为 3.5×10⁻²mg/m³，低于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中“工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m³”的要求。室内臭氧通过排风系统排入外环境，臭氧室外浓度将低于《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）中“臭氧 1 小时平均二级浓度限值 200μg/m³”的要求。

②氮氧化物对环境的影响

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，即 2 间加速器机房的氮氧化物年总产生量为约 67.6g，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而工作场所中 O₃ 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》

要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

医院在工作中应保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体不会对人员和设备产生危害。机房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

（2）射波刀

①臭氧对环境的影响

1) O₃ 产额

射波刀一般配有 12 个准直器，准直器直径从 5mm 到 60mm，有用束向水平、地面方向照射的使用因子 $U < 0.05$ ，向顶照射的使用因子更小，机房内 O₃ 产额按照公式（27）进行估算， D_0 取 $10\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ ， V 取 308m^3 ，经估算可得，射波刀机房的 O₃ 产额为 2.2mg/h 。

2) O₃ 的产生量

本项目射波刀年最大出束时间为 2000h，可进一步估算得出，射波刀机房的 O₃ 年产生量为 4.4g 。

3) O₃ 的浓度

根据公式（23）、（24）得出不同换气次数时的 O₃ 平衡浓度见表 11-36。

表 11-36 射波刀机房不同换气次数时的臭氧浓度

参数		换气 4 次/h	换气 5 次/h	换气 6 次/h
射波刀机房	P (mg/h)	2.2		
	V (m ³)	308		
	T _v (h)	0.25	0.20	0.17
	T(h)	0.19	0.16	0.14
	Q(mg/m ³)	1.36×10^{-3}	1.14×10^{-3}	1.00×10^{-3}

根据表 11-36 估算结果可知，射波刀机房室内通风换气次数不低于 4 次/h 时，室内 O₃ 平衡浓度最大为 $1.36\times 10^{-3}\text{mg/m}^3$ ，本项目射波刀机房与 2 间加速器机房共用一个室外排气口，根据表 11-35、11-36 可知，即使是射波刀和 2 台加速器同时工作时，其排气口最高浓度也不超过 $3.5\times 10^{-2}\text{mg/m}^3$ ，低于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中“工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m^3 ”的要求。室内臭氧通过排风系统排入外环境，臭氧室外浓度将低于《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）中“臭氧 1 小时平均二级浓度限值 $200\mu\text{g/m}^3$ ”的要求。

②氮氧化物对环境的影响

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，即射波刀机房的氮氧化物年总产生量为约 2.2g，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而工作场所中 O₃ 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

医院在工作中应保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。机房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

2、后装机

本项目后装治疗机房内设有独立的机械通风系统，包括新风系统和排风系统，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置，能够有效促进室内气体流动，室外排风口拟设置于医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面。排风系统设计排风量为 1000m³/h，后装治疗机房内有效容积（包含迷道容积）为 140m³，能满足《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。

①臭氧对环境的影响

1) O₃ 产额

后装机内含一枚 ¹⁹²Ir，根据《辐射所致臭氧的估算与分析》，放射源辐射所致 O₃ 的产额估算方法如下：

$$P = 3.02AK_{\gamma}GV^{1/3} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中，P、G、V 意义同公式（26）。

A—放射源的活度（TBq），本项目 ¹⁹²Ir 为 0.37TBq；

K_γ—放射源的空气比释动能率常数（Gy·m²/min·TBq），本项目 ¹⁹²Ir 为 1.85×10⁻³Gy·m²/min。

根据上式计算并考虑机房壁的散射线使室内的 O₃ 增加 10%可得，后装治疗机房的 O₃ 产额为 0.12mg/h。

2) O₃ 的产生量

本项目后装机年最大出束时间为 833h，可进一步估算得出，后装治疗机房的 O₃ 年产生量为 0.1g。

3) O₃ 的浓度

根据公式（23）、（24）得出不同换气次数时的 O₃ 平衡浓度见表 11-37。

表 11-37 后装治疗机房不同换气次数时的臭氧浓度

参数		换气 4 次/h	换气 5 次/h	换气 6 次/h
后装治疗 机房	P (mg/h)	0.12		
	V (m ³)	140		
	T _v (h)	0.25	0.20	0.17
	T(h)	0.19	0.16	0.14
	Q(mg/m ³)	1.63×10 ⁻⁴	1.37×10 ⁻⁴	1.20×10 ⁻⁴

根据表 11-37 估算结果可知，后装治疗机房室内通风换气次数不低于 4 次/h 时，室内 O₃ 平衡浓度最大为 1.63×10⁻⁴mg/m³，低于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中“工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m³”的要求。室内臭氧通过排风系统排入外环境，臭氧室外浓度将低于《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）中“臭氧 1 小时平均二级浓度限值 200μg/m³”的要求。

②氮氧化物对环境的影响

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，即后装治疗机房的氮氧化物年总产生量为约 0.05g，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而工作场所中 O₃ 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

医院在工作中应保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体不会对人员和设备产生危害。机房内产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

3、其余射线装置

本项目核医学 PET/CT 及 SPECT/CT 机房、内镜中心 ERCP 机房、介入科 DSA 机房、手术中心复合手术室内均拟设计动力排风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

二、固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾，院内医疗废物将委托有资质单位进行清运处理，生活垃圾由当地环卫部门统一清运，对环境影响较小。

三、废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水，院内生活污水将经院区污水管道进入院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水

处理厂，对环境影响较小。

四、噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声，项目拟优先选用噪声低、振动小的风机设备，安装风机时拟设置减振基础，通风管采用软性接头，排风口处安装消声器，项目经采取一系列减震隔声措施及距离衰减后，对周围声环境的影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故风险危害识别分析

一、直线加速器、射波刀可能发生的辐射事故

本项目直线加速器、射波刀属于射线装置，只有当设备开机并处于出束状态时才会产生 X 射线，设备关机时不会产生 X 射线；因此，辐射事故多为人员误留或误入机房产生的误照射事故，主要有：

①辐射工作人员违反操作规程和误操作，造成意外照射；

②直线加速器或射波刀治疗期间工作人员或其他人员误留在机房内，致使其受到大剂量照射；

③由于加速器或射波刀安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入机房内受到误照射；

④加速器或射波刀维修调试过程中，因维修人员误操作导致加速器或射波刀出束，可能发生误照射；或维修人员维修结束时，未将加速器或射波刀调回初始状态，使之仍处强制出束的维修状态，若工作人员冒然使用，可能致患者过量照射。

二、后装机可能发生的辐射事故

①辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

②联锁装置失效或设备运行时人员误留机房，装置的运行可能对人员产生超剂量照射；

③后装机进行维修时，若发生联锁失效或强行出源等情况时，导致维修人员可能受到不必要的照射；

④后装机因工作人员操作不当或者出现设备故障，在设备安装、更换放射源或维修设备时，发生放射源跌落造成操作人员受到意外照射；

⑤后装机施源器发生故障，可能导致放射源被卡住，发生驻源事件，或者放射源从施源器脱漏，往往会对患者和工作人员造成过量照射；

⑥由于管理工作不到位导致后装机放射源发生被盗、丢失等事故，可能造成对公众的

意外照射和环境放射性污染。

三、核医学可能发生的辐射事故

①门诊用药患者未按要求在相应房间等候、留观，甲癌治疗患者未按要求在甲癌病房内住院治疗，在规定房间以外的区域随意走动，导致公众受到照射；

②由于保管或管理工作不到位导致放射性药物丢失、被盗等情况导致公众受到大剂量照射；

③辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污；

④辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染；

⑤ PET/CT、SPECT/CT 正常工作时，非相关人员误留、误入机房，导致发生误照射。

四、ERCP 用 X 光机、DSA、复合手术室 DSA 及移动 CT 可能发生的辐射事故

①辐射设备正常工作时，人员误留、误入机房或手术室，导致发生误照射；

②操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

③工作状态指示灯等辐射安全设施发生故障的状况下，人员误入辐射设备正在运行的机房或手术室，导致发生误照射。

11.3.2 辐射事故应急措施

（1）事故报告程序

一旦发生辐射事故，辐射工作人员立即封闭现场，通讯员负责联络事故应急处理领导小组和应急处理专业队伍。根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，在事故发生后 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，还应同时向当地卫生健康部门报告。

（2）辐射事故应急措施

辐射事故类别及处理措施详见表 11-38：

表 11-38 事故类别及处理措施

辐射设备	风险识别	应急措施
直线加速器、射波刀、 ERCP 用 X 光机、DSA、复合手术室 DSA 及移动 CT (II、III 类射线装置)	误照事故， 超剂量照射	①一旦发现有人误入或误留机房，工作人员应立刻切断电源，确保射线装置停止工作； ②误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内； ③对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治； ④发现上述事故者应立即报告医院辐射事故应急小组，由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门； ⑤事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。
核医学 (乙级非密封放射性物质工作场所、III 类射线装置)	误照事故， 超剂量照射	①一旦发现用药后患者在核医学工作场所内随意走动，不在规定的区域内停留，工作人员应立刻通过语音系统告知，使患者回到规定的区域内。 ②如发生 PET/CT、SPECT/CT 误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作。 ③误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内。 ④对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治； ⑤发现上述事故者应立即报告医院辐射事故应急小组，由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门； ⑥事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治。
	辐射污染	①当放射性药物管理不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，防止污染扩散。 ②当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α-β 表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。 ③事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治。

	放射性药物被盗、丢失	①马上启动应急措施，封锁现场，工作场所外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止相关人员入内； ②及时将事故情况上报当地生态环境部门和公安部门，积极配合调查。
后装机 (Ⅲ类放射源)	误照事故，超剂量照射	①一旦发现有人员误入或误留机房，工作人员应立即利用最近的应急开关，使放射源迅速返回贮源器； ②误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短人员的受照时间。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内； ③对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查或在指定的医疗机构救治； ④发现上述事故者应立即报告医院辐射事故应急小组，由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门； ⑤事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。
	卡源、脱源事故，超剂量照射	①一旦发现卡源事故，工作人员应立即按下应急按钮，使放射源迅速自动返回贮源器； ②若自动回源装置功能失效或发生放射源脱源事故时，工作人员应疏导正在治疗的患者在最短的时间内撤离机房，尽量缩短人员的受照时间。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内，待故障排除后才能重新投入使用。通知辐射事故应急小组进行处理； ③辐射事故应急小组接到通知后，应安排辐射工作人员采取手动回源的应急处理措施，人员应穿戴铅衣、铅帽、铅眼镜，佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪迅速进入治疗室，采用手摇柄手动将放射源旋回工作贮源器；若为脱源事故，则携带应急储源器进入治疗室，用长柄镊子将源放入储源器并锁紧，请有资质的单位和专业人员进行装源操作； ④对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查或在指定的医疗机构救治； ⑤发现上述事故者应由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门； ⑥事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。
	放射源被盗、丢失	①马上启动应急措施，封锁现场，机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止相关人员入内； ②及时将事故情况上报当地生态环境部门和公安部门，积极配合调查。
事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：		

① 确定现场的辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围，防止外照射的危害。

② 根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间。

③ 现场处置任务的工作人员应佩带防护用具及个人剂量计和剂量报警仪。

④ 应尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

⑤ 事故处理后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

⑥ 医院应定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练。

（3）事故预防措施

① 建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

② 加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；

③ 辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查各辐射工作场所和设备的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中规定：使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院拟设置专门的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，并以文件形式明确各成员管理职责，专职管理机构的主要职责应包括：

- (1) 贯彻执行国家辐射安全与环境保护各项法规相关文件精神；
- (2) 负责本项目辐射安全与环境保护管理；
- (3) 组织制定本项目辐射安全与环境保护管理办法，做好管理工作；
- (4) 组织人员参加辐射事故应急演练；
- (5) 安排从事辐射工作的辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习和考核；
- (6) 定期检查辐射安全设施，开展辐射安全环保监测，对本项目安全与防护情况进行年度评估；
- (7) 监督辐射工作人员的职业健康检查，个人剂量监测，并做好相应资料的档案管理工作；
- (8) 定期向生态环境和主管部门报告安全工作，接受生态环境监督、监测部门的检查指导。

12.2 辐射安全与防护培训

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，使用射线装置、密封源、非密封放射性物质操作人员与辐射防护负责人应进行辐射安全培训，并持证上岗。

本项目为新建项目，医院正在建设阶段，辐射工作人员配备到位后，医院应尽快安排辐射工作人员和辐射防护负责人在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习本项目相关知识，并在辐射安全与防护培训平台上网络报名参加本项目相关考核，考核合格，取得培训合格证书，持证上岗；2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。在今后的工作中医院还应不断加强对职业人员的有关技能和辐射安全防护知识的再教育或培训，进一步提高对专业技能和放射防护工作重要性的认识。环

评建议医院配备部分有相关工作经验的辐射工作人员以老带新，防止出现辐射事故。

12.3 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》中的有关要求，使用放射性同位素和射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

福建省童昌综合医院有限公司应针对本项目具体情况制定相关辐射安全管理规章制度，同时在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对各项制度的要点提出以下建议：

操作规程：针对拟开展的核技术利用项目，制定详细的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。

岗位职责：明确辐射工作人员的岗位责任，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，并层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况制定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辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护，并建立个人剂量档案；③指定专人负责放射性药物的交接工作，防止放射性药物被盗、丢失；④做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

设备检修维护制度：制定设备检修维护制度，明确辐射安全与防护设施以及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，确保辐射安全与防护设施以及剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目放射性同位素、射线装置，制定使用登记制度，规范放射性同位素、射线装置购买台帐和使用登记记录，对购入的放射性同位素、射线装置的使用情况进行登记和跟踪记录，确保正确无误，帐物相符。

人员培训计划：制定人员培训计划，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。

个人剂量监测方案：制定个人剂量监测方案，明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，医院明确个人剂量计的佩

戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，医院建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：制定辐射环境监测方案，针对本项目辐射监测需要，购置辐射巡测仪、表面沾污仪等监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果应妥善保存并记录档案，同时应定期上报生态环境主管部门。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，使用射线装置和放射源的单位，应当对本单位的射线装置和放射源的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前提交上一年度的评估报告。

放射性三废管理制度：针对本项目可能产生的放射性三废，制定放射性三废管理制度，重点是：①应针对放射性固废，制定废物档案与出入登记管理制度；②明确核医学放射性三废的收集、暂存、处理等应严格按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等相关要求进行。

事故应急预案：针对本项目可能产生的辐射污染情况，医院应制定事故应急预案，该制度要明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证及时上报、渠道畅通，并附上各联系部门及联系人的联系方式。同时根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故/事件情景；演练参与人员等。

12.4 辐射监测

12.4.1 监测设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用 II 类、III 类射线装置使用 III 类放射源、使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所）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。

福建省童昌综合医院有限公司拟配备 1 台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所及周围公众活动区域的定期自行检测；核医学工作场所拟配备 3 台表面沾污仪，用于检测辐射工作场所表面污染水平；2 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房、核医学工作场所、2 间 ERCP 机房、6 间 DSA 机房、2 间复合手术室均拟配备 2 台个人剂量报警仪（共 30 台个人剂量报警仪），用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警；本项目辐射工作人员均拟配备个人剂量计，用于辐射工作过程中累积剂量的监测。

以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

12.4.2 监测方案

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关标准和规范的要求，医院应制定相应的辐射监测计划，包括：

- ① 项目竣工后3个月内委托有资质的单位对项目周围环境辐射水平进行验收监测；
 - ② 委托有资质的单位定期对项目周围环境辐射水平进行监测，周期为1~2次/年，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。
 - ③ 医院定期（1~2次/季度）自行对全院辐射工作场所周围环境辐射水平进行监测，并作好监测记录；
 - ④ 所有辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，并定期（每3个月1次）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案；
 - ⑤ 所有辐射工作人员上岗前均应进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，应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。
- 本项目辐射监测计划表见表12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测对象	监测因子	监测项目	监测频次	监测点位	控制要求
直线加速器	X-γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	①机房防护门外 30cm，测门表面和门缝四周； ②机房四周墙体外 30cm，包括主屏蔽体、次屏蔽体、迷道外墙等； ③机房顶棚外 30cm 进行巡测； ④控制室内人员操作位、项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。	人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所，剂量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ； 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所，剂量率 $\leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。
		年度监测	1~2 次/年		
		自主监测	1~2 次/季度		
射波刀	X-γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	①机房防护门外 30cm，测门表面和门缝四周； ②机房四周墙体外 30cm； ③机房顶棚外 30cm 进行巡测； ④控制室内人员操作位、项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。	
		年度监测	1~2 次/年		
		自主监测	1~2 次/季度		
后装机	X-γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	（1）机房内非工作状态：后装机贮源器表面 5cm、100cm。 （2）机房外： ①机房防护门外 30cm，测门表	
		年度监测	1~2 次/年		（1）机房内非工作状态：满足 WS262-2017 表 1 中相应要求。 （2）机房外：人

		自主监测	1~2 次/季度	面和门缝四周； ②机房四周墙体外 30cm； ③机房顶棚外 30cm 进行巡测； ④控制室内人员操作位、项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。	员居留因子 $T>1/2$ 的场所，剂量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ； 人员居留因子 $T\leq 1/2$ 的场所，剂 量 率 $\leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。
核医学	X- γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	①分装人员工作位、注射给药人员工作位、PET 及 SPECT 设备操作人员工作位等辐射工作人员工作处； ②核素治疗区控制给药室内全自动分装柜、PET 及 SPECT 放射诊断区分装注射室内通风橱外表面 5cm； ③控制区内屏蔽体外表面 30cm； ④控制区外屏蔽体外表面 30cm 及底板下方人员可达处； ⑤项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。	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不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核素治疗区控制给药室内全自动分装柜、PET 及 SPECT 放射诊断区分装注射室内通风橱外表面 5cm 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。
		年度监测	1~2 次/年		
		自主监测	2 周一次		
	表面沾污	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	①工作场所控制区及监督区内工作台、设备、墙壁和地面； ②辐射工作人员离开非密封放射性物质工作场所控制区前进行的监测点位主要包括：工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、内衣、工作袜。	满 足 GB18871-2002 中工作场所放射性表面污染控制水平要求。
		年度监测	1~2 次/年		
		自主监测	4 周一次		
ERCP 用 X 光机、介入科 DSA、手术中心复合手术室 DSA 及移动 CT	X- γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	①机房内第一术者位、第二术者位； ②机房四周墙体、顶外 30cm，机房底板下房间内； ③各防护门外 30cm，测门表面和门缝四周； ④控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置。	剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$
年度监测	1~2 次/年				
自主监测	1~2 次/季度				

此外，根据《建设项目环境保护管理条例》，本项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收报告，“三同时”验收清单见表 12-2。

表 12-2 “三同时”验收一览表

项目		“三同时”验收内容	验收要求
防护措施		各设备机房、核医学工作场所控制区均采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告内表 10-1、10-2、10-3、10-6。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目管理目标要求。
安全措施	直线加速器、射波刀	①钥匙控制 ②电离辐射警告标志和工作状态指示灯 ③门机联锁装置 ④紧急停机按钮 ⑤监控及对讲系统 ⑥紧急开门按钮 ⑦固定式辐射剂量监测系统 ⑧通风系统	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。
	后装机	①电离辐射警告标志和工作状态指示灯 ②门机联锁装置 ③紧急停机按钮（急停开关） ④监控与对讲装置 ⑤固定式辐射剂量监测系统 ⑥应急储存设施 ⑦应急处理措施 ⑧通风系统	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
	核医学	①电离辐射警告标志 ②工作状态指示灯及闭门装置 ③对控制区内带药患者的监督管理 ④放射性物质的安全管理措施 ⑤个人防护用品	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准中的相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
	ERCP 用 X 光机、介入科 DSA、复合手术室 DSA 及移动 CT	①工作状态指示灯 ②防夹和闭门装置 ③电离辐射警告标志 ④监控与对讲装置 ⑤个人防护用品	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
通风措施	直线加速器、射波刀、后装机	机房内设置机械通风系统，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置，通风换气次数均不低于 4 次/h。	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关通风要求。
	核医学	工作场所设置单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。工作场所设计风速不小于 1.5m/s，由单独的管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排出，排风口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关通风要求。

		工作场所内的通风橱和自动分装柜均设置独立的排风系统，风速不小于 1m/s，外排口均由专用管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排出，排风口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。	
	ERCP 用 X 光机、介入科 DSA、复合手术室 DSA 及移动 CT	机房内设置动力排风系统。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关通风要求。
	后装机	后装机内 ^{192}Ir 放射源达到使用年限退役后，废源由原生产厂家回收处置。	满足《中华人民共和国放射性污染防治法》等法律法规的规定。
放射性固废处理	核医学	①PET、SPECT 放射诊断场所产生的放射性固废暂存于分装注射室、注射后候诊室、留观室等场所内的废物铅桶中，每天下班后分类收集放置在核医学科放射性废物库中，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理。 ②核素治疗场所产生的放射性固废暂存于控制给药室、病房等场所内的废物铅桶中，每周治疗结束后集中收集放置在核医学科放射性废物库中，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理。 ③核医学非密封放射性物质工作场所更换下来的废活性炭集中收集放置在核医学科放射性废物库，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为非放射性固体废物处理。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于放射性固体废物处理的要求。
放射性废水处理	核医学	在核医学工作场所北侧新建一个放射性废水衰变室，室内配备 2 套间歇式放射性废水衰变系统，分别为显像检查区放射性废水衰变系统、核素治疗区放射性废水衰变系统，PET、SPECT 放射诊断场所产生的放射性废水经专用管道排至显像检查区放射性废水衰变系统，核素治疗场所产生的放射性废水经专用管道排至核素治疗区放射性废水衰变系统，在衰变系统中自然衰变至少十个半衰期，符合排放标准后排放至院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于放射性废水处理的要求。
放射性废气处理	核医学	经专用通风管道延伸至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排放，排风口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于放射性废气处理的要求。
人员配备		所有辐射工作人员均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中人员培训要求。
		所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过 3 个月）送有资质部门进行监测，医	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理

		院建立个人累积剂量档案。	办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
		所有辐射工作人员均定期（不超过 1 次/2 年）进行职业健康体检，医院建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中职业健康体检的要求。
监测仪器和防护用品		医院配备 1 台环境辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中 监测仪器和防护用品配备的要求。
		核医学工作场所配备 3 台表面沾污仪。	
		2 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房、核医学工作场所、2 间 ERCP 机房、6 间 DSA 机房、2 间复合手术室均配备 2 台个人剂量报警仪（共 30 台个人剂量报警仪）。	
		各场所配备足够的个人防护用品。	
管理措施	管理机构	成立专门的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，并以文件形式明确各成员管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求。
	管理制度	针对本项目具体情况制定辐射安全管理制度，制度主要应包括：操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素、射线装置使用登记制度、人员培训计划、个人剂量监测方案、辐射环境监测方案、放射性三废管理制度、事故应急预案。其还应在之后的实际工作中不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善。	

12.5 辐射事故应急

福建省童昌综合医院有限公司拟新建医院，项目目前处于建设阶段，暂未制定辐射事故应急方案，针对本项目可能发生的事故风险，该单位应根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，根据《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》等要求，制定辐射事故应急方案，根据要求，公司应成立单位负责人为领导的放射性事故应急领导小组，并明确小组成员及相关职责；明确应急报告程序和详细的联络报告电话；针对项目具体情况，制定应急处置程序和措施；明确应急物资、设备的型号（名称）、存放地点；明确预案内部培训的频次、修订间隔、应急演练的频次要求等。

公司每年应至少开展 1 次辐射事故应急演练，辐射安全专职管理人员、辐射设备及核素操作人员等关键岗位人员须根据各自职责参与演练，并使用文字、图片、视频记录演练过程，总结演练情况，提升应急能力。

根据原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告

制度的通知》，以及《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》的要求，在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，并按规程处理和控制辐射事故，尽量把影响控制在最小范围，最大限度减少对人员安全和周围环境的影响，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，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 可行性分析结论

一、项目概况介绍

为满足患者的就医需求，福建省童昌综合医院有限公司拟在医院地下室负一层放疗科新建 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房，开展放射治疗项目；拟在医院地下室负一层核医学科新建核医学工作场所，开展 PET 放射诊断、SPECT 放射诊断、甲亢治疗和甲癌治疗项目；拟在医疗综合楼三层内镜中心新建 2 间 ERCP 机房，在四层介入科新建 6 间 DSA 机房，在五层手术中心新建 2 间复合手术室，开展放射诊断和介入治疗。

本项目放疗科拟使用 2 台直线加速器、1 台射波刀和 1 台后装机（使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源），其中 2 台加速器 X 射线最大能量为 10MV、电子线最大能量为 22MeV，射波刀治疗用 X 射线能量为 6MV，成像系统 X 射线管电压为 150kV、管电流为 640mA， ^{192}Ir 放射源最大活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，直线加速器、射波刀属于 II 类射线装置， ^{192}Ir 属于 III 类放射源；核医学 PET 放射诊断拟使用放射性核素 ^{18}F 、2 台 PET/CT 和 1 台 PET/MR，SPECT 放射诊断拟使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、3 台 SPECT/CT，甲亢治疗和甲癌治疗拟使用放射性核素 ^{131}I ，核医学工作场所日等效最大操作量为 $3.56\times 10^9\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所，PET/CT、SPECT/CT 最大管电压为 150kV、最大管电流为 1000mA，属于 III 类射线装置；内镜中心 2 台 ERCP 用 X 光机、介入科 6 台 DSA、手术中心复合手术室 2 台 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1250mA，属于 II 类射线装置，手术中心复合手术室 1 台移动 CT 最大管电压为 150kV、最大管电流为 1300mA，属于 III 类射线装置。

二、产业政策符合性分析

经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目直线加速器、射波刀、后装机、核医学科放射诊断和治疗项目属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，ERCP、DSA、复合手术室项目属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 5 款中“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备”，符合国家产业发展政策。

三、代价利益分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊疗服务，方便群众就医，具有良好的社会效益和经济效益。本项目总投资 30000 万元，其中环保投资 4500 万元，占总投资的 15%，与同类项目环保投资指标相比，本项目环保投资比例合理、适当，可保证环保措施的落实。根据下文分析，本项目经辐射防护屏蔽和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满足项目管理目标要求。

因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设符合《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、选址、布局合理性评价

本项目直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房、核医学工作场所、ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，各场所所处位置相对独立，各设备均设有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开，核医学工作场所不与产科、儿科、食堂等部门邻接。根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，因此，项目选址基本合理。

2 间直线加速器机房与控制室等辅房均分开设置，控制室均位于机房南侧；机房均设有 L 型迷路，迷路口设有防护门，有用线束不向迷路照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；射波刀机房与控制室等辅房分开设置，控制室位于机房南侧，机房设有 L 型迷路，迷路口设有防护门。加速器机房和射波刀机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定，布局合理。

后装治疗机房与控制室等辅房分开设置，控制室位于机房南侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定，布局合理。

核医学工作场所诊断区域与治疗区域分开布置；PET 放射诊断、SPECT 放射诊断、甲亢治疗、甲癌治疗基本能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少人员的流动性，有助于实施工作程序；控制区内医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线；药物分装、药物注射与扫描检查及住院病房等分开，注射后候诊室、留观室、住院病房内均设计有给药后患者专用卫生间，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于核医学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求。核医学科工作场所布局基本合理。

内镜中心 2 台 ERCP 用 X 光机、介入科 6 台 DSA、复合手术室 2 台 DSA 和 1 台

移动 CT 均设有单独的机房，控制室位于机房外，机房满足拟用辐射设备的布局要求，布局合理。

13.1.2 辐射安全与防护结论

一、辐射防护措施评价

本项目 2 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房均拟采用密度为 2.35g/cm^3 混凝土浇筑，拟采用含铅防护门。根据理论预测可知，本项目 2 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房的辐射防护设计能满足辐射防护要求。

核医学工作场所控制区拟采取实体屏蔽方式，墙体采取实心砖加防护涂料，顶棚和底板主要采取混凝土（部分场所增加防护涂料），防护门采取含铅门，观察窗、注射给药窗口、送餐窗口采取铅玻璃观察窗，分装室内拟配备铅通风橱，控制给药室内拟配备铅自动分装柜。根据理论估算分析结果，核医学工作场所控制区拟采取的辐射防护措施能够满足辐射防护要求。

2 间 ERCP 机房四周墙体均拟采取实心砖加防护涂料，6 间 DSA 机房和 2 间复合手术室（共用 1 间复合 CT 中腔）四周墙体均拟采取龙骨隔墙加铅板，顶棚和底板均拟采用混凝土，防护门和观察窗均拟设置为 4mm 铅当量。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、理论估算可知，本项目 2 间 ERCP 机房、6 间 DSA 机房、2 间复合手术室的辐射防护设计能够满足辐射防护要求。

二、辐射安全措施评价

为确保辐射安全，保障各项目安全运行，该院加速器和射波刀项目拟设计以下辐射安全措施：钥匙控制、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、通风系统，后装机项目拟设计以下辐射安全措施：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮（急停开关）、监控与对讲装置、固定式辐射剂量监测系统、手动开门装置、应急储存设施、通风系统，核医学项目拟设计以下辐射安全措施：电离辐射警告标志、工作状态指示灯及闭门装置、对控制区内带药患者的监督管理、放射性物质的安全管理措施、个人防护用品，ERCP、DSA、复合手术室项目拟设计以下辐射安全措施：工作状态指示灯、防夹和闭门装置、电离辐射警告标志、监控与对讲装置、个人防护用品。

项目设计的辐射安全措施能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《核医学放射防护要

求》（GBZ120-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准的辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

三、辐射安全管理评价

公司拟成立专门的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，并以文件形式明确各成员管理职责；拟制定项目相关的辐射管理制度及辐射事故应急预案，在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善；本项目辐射防护负责人和所有辐射工作人员上岗前均应参加辐射安全和防护专业知识的培训，考核合格后上岗；同时，辐射工作人员应进行个人剂量监测和职业健康体检，医院建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

福建省童昌综合医院有限公司在切实做好以上措施后，本项目将能够符合相关辐射防护及辐射安全管理措施的要求。

四、辐射防护监测仪器

医院拟配备 1 台环境辐射巡测仪，核医学工作场所拟配备 3 台表面沾污仪，2 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机房、核医学工作场所、2 间 ERCP 机房、6 间 DSA 机房、2 间复合手术室均配备 2 台个人剂量报警仪（共 30 台个人剂量报警仪），本项目辐射工作人员均拟按要求配备个人剂量计。以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

13.1.3 环境影响分析结论

一、辐射环境影响预测

理论预测结果表明，本项目加速器机房、射波刀机房、后装治疗机房、核医学工作场所控制区的屏蔽防护均能够满足拟开展的核技术利用项目的防护要求；根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、理论估算，本项目 ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室的屏蔽防护能够满足拟配置的辐射设备的防护要求。项目运行后辐射工作人员及项目周围公众的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求，项目投入运行后对周围环境辐射影响较小。

二、三废处理措施评价

1、放射性废物处理措施评价

(1) 后装机

^{192}Ir 后装机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，放射源随设备存放。当使用到一定期限后，放射源活度不能满足治疗要求时必须更换放射源，从而产生退役废源，医院已承诺 ^{192}Ir 放射源达到使用年限退役后，废源将由原生产厂家回收处置，落实后将符合相关法律法规的要求。

(2) 核医学

①放射性固废

核医学 PET、SPECT 放射诊断场所产生的放射性固废拟暂存于分装注射室、注射后候诊室、留观室等场所内的废物铅桶中，每天下班后分类收集放置在核医学科放射性废物库中，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理。

核素治疗场所产生的放射性固废拟暂存于控制给药室、病房等场所内的废物铅桶中，每周治疗结束后集中收集放置在核医学科放射性废物库中，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理。

核医学工作场所更换下来的废活性炭拟集中收集放置在核医学科放射性废物库，自然衰变十个半衰期、达到清洁解控水平推荐值后作为非放射性固体废物处理。

②放射性废水

公司拟在核医学工作场所北侧新建一个放射性废水衰变室，室内配备 2 套间歇式放射性废水衰变系统，分别为显像检查区放射性废水衰变系统、核素治疗区放射性废水衰变系统，PET、SPECT 放射诊断场所产生的放射性废水经专用管道排至显像检查区放射性废水衰变系统，核素治疗场所产生的放射性废水经专用管道排至核素治疗区放射性废水衰变系统，在衰变系统中自然衰变至少十个半衰期，符合排放标准后排放至院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂。

③放射性废气

核医学工作场所拟设置单独的通风系统，监督区为正压通风，控制区为微负压通风，保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动，设计风速不小于 1.5m/s；工作场所内的通风橱和自动分装柜均拟设置独立的排风系统，风速不小于 1m/s。放射性废气通过专用管道至医疗综合楼北部 23 层裙楼屋面排出，排风口处拟设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中排气

口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。

本项目放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合环境保护要求。

2、非放射性三废处理措施评价

①废气

本项目加速器机房、射波刀机房、后装机房内均设计机械通风系统，通风换气次数均不低于 4 次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中通风次数要求；核医学科 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房内拟设置通风系统，ERCP 机房、DSA 机房、复合手术室内拟设计动力排风系统。本项目运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境的影响较小。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾，院内医疗废物将委托有资质单位进行清运处理，生活垃圾由当地环卫部门统一清运，对环境的影响较小。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水，院内生活污水将经院区污水管道进入院内污水处理站，经预处理满足接管要求后通过市政污水管网排入南安市北翼污水处理厂，对环境的影响较小。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声，项目拟优先选用噪声低、振动小的风机设备，安装风机时拟设置减振基础，通风管采用软性接头，排风口处安装消声器，项目经采取一系列减震隔声措施及距离衰减后，对周围声环境的影响较小。

综上所述，福建省童昌综合医院有限公司核技术利用项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和安全管理措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备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符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

(1) 项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告表中提出的安全防护措施和相关管理要求。

(2) 所有设备资料、放射性同位素台帐和监测资料等均应妥善保管，存档备案。

(3) 项目运行过程中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，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，使对环境的影响降到最低。

(4) 环境影响评价文件审批完成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

(5) 针对放射性同位素的转让活动，应根据有关规定办理放射性同位素转让审批手续。

(6) 建设项目竣工后，公司应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序 and 标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：		
公 章		
经办人	年	月 日
审批意见：		
公 章		
经办人	年	月 日