

核技术利用建设项目  
宁德市医院新建医用直线加速器、后装机  
及核医学科利用项目  
环境影响报告表

宁德市医院

二〇一九年十二月

环境保护部监制

## 目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	23
表 3 非密封放射性物质.....	23
表 4 射线装置 .....	24
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	25
表 6 评价依据 .....	26
表 7 保护目标与评价标准.....	28
表 8 环境质量和辐射现状.....	37
表 9 项目工程分析与源项.....	40
表 10 辐射安全与防护.....	51
表 11 环境影响分析.....	84
表 12 辐射安全管理.....	116
表 13 结论与建议.....	125
表 14 审批.....	128

### 附件:

附件 1 委托书

附件 2 辐射安全许可证

附件 3 原有环评批复

附件 4 成立放射卫生管理委员会通知

附件 5 关于印发宁德市医院放射卫生防护管理相关制度的通知

附件 6 放疗科管理规章制度

附件 7 核医学科系列规章制度

附件 8 个人剂量监测报告

附件 9 职业健康体检报告

附件 10 应急预案

附件 11 现有核技术委托验收合同

附件 12 危废处置协议

附件 13 辐射安全培训合格证书（部分）

附件 14 监测报告

附件 15 关于放射工作人员职业健康检查的说明

附件 16 关于占增平个人剂量监测偏高的说明

附件 17 医院法人代表变更依据

### 附表:

建设项目环评审批基础信息表

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目			
建设单位		宁德市医院			
法人代表	吴光辉	联系人	刘杰	联系电话	13509559610
注册地址		宁德市蕉城区蕉城北路 7 号			
项目建设地点		宁德市东侨经济技术开发区闽东东路 13 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	46800	项目环保 投资(万 元)	358.2	投资比例(环 保投资/总投 资)	0.77%
项目性质		√新建 □改建 □扩建 □其它		占地面积 (m <sup>2</sup> )	—
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 建设单位概况**

宁德市医院创建于 1972 年，前身为宁德地区第二医院，现已发展成为一所集医疗护理，教学科研，保健康复，急救任务等于一体的三级甲等综合医院。医院分两个院区，分别为蕉城院区（老院区）和东侨院区（新院区），其中东侨院区分三期建设，一期工程已建成投入使用，二期、三期工程均未建设。一期工程包含门诊楼、住院楼（含急诊）、医技楼及后勤楼，共设床位 900 张，日门诊量 5000 人次，于 2014 年 12 月全面投入使用，并于 2019 年 1 月 6 日通过自主环保验收。

本项目属于宁德市医院东侨院区二期工程内容，宁德市发展和改革委员会于 2018

年8月7日对宁德市医院迁建（二期）工程项目可行性研究报告作出批复，随着中心城区建设快速推进，各重大项目也相继落地带来人口迅速增长，床位日趋紧张。宁德市医院迁建（二期）的建成将极大地改善医院基础设施条件，能有效解决医院现状床位紧张、住院困难、医疗用房面积偏小等问题，同时能满足中心城区随人口迅速增长带来的日益增长的多层次多样化医疗保障需求，促进全市卫生事业发展，提高群众健康保障水平，推进社会主义和谐社会建设。

宁德市医院迁建（二期）工程项目环评于2019年2月3日通过宁德市生态环境局东侨分局审批（东侨环[2019]2号），目前二期用地现状为空地。

## 1.2 建设目的及规模

为落实国家新医改政策，主动服务基层人民群众，满足人民群众对优质医疗资源迫切需求，宁德市医院拟建二期工程新建使用1台医用直线加速器、1台后装机及核医学科，核医学部分包括2台SPECT-CT、1台PET-CT，使用碘-131核素用于甲亢、甲癌治疗，使用氟-18、锝-99m核素用于显像诊断。以上设备均为新购。

因此，此次评价内容为：1台医用直线加速器、1台后装机（含1枚Ⅲ类放射源<sup>192Ir</sup>）及核医学科（拟开展<sup>131I</sup>甲亢和甲癌治疗、<sup>99mTc</sup>显像诊断——配套购置2台SPECT-CT、<sup>18F</sup>显像诊断——配套购置1台PET-CT和3枚<sup>68Ge</sup>校准源）的环境影响评价。

该项目核技术应用情况详见表1-1。

表1-1 该项目核技术应用情况一览表

放射源								
序号	放射源名称	数量	单枚/套活度(Bq)	放射源类别	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	铯-192	1	3.7×10 <sup>11</sup> (10Ci)	Ⅲ	东侨院区二期地下一层放疗中心	拟购	此次环评	后装机
2	锝-68	2	4.63×10 <sup>7</sup>	V	东侨院区二期住院楼二层核医学科	拟购	此次环评	校准源
3	锝-68	1	9.25×10 <sup>7</sup>	V		拟购	此次环评	校准源
非密封放射性物质								
序号	工作场所等级	核素名称	拟申请的日等效最大操作量(Bq)		工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	乙级	碘-131	1.78×10 <sup>8</sup>		东侨院区二	拟购	此次环评	甲亢治疗

2			3.7×10 <sup>9</sup>	期住院楼二 层核医学科	拟购		甲癌治疗		
3	氟-18	3.33×10 <sup>6</sup>	拟购		显像诊断				
4	锝-99m	1.665×10 <sup>7</sup>	拟购		显像诊断				
<b>射线装置</b>									
序号	射线装置名称	数量	管电压 (kV)	管电流 (mA)	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	SPECT-CT	2	≤150	≤1000	III	东侨院区二期住院楼二层核医学科	拟购	此次环评	显像诊断
2	PET-CT	1	≤150	≤1000	III	东侨院区二期住院楼二层核医学科	拟购	此次环评	显像诊断
序号	射线装置名称	数量	电子线 (MeV)	X 射线 (MeV)	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
3	医用直线加速器	1	6、8、10、12、15、18、20MeV	6MV、10MV	II	东侨院区二期住院楼地下一层放疗中心	拟购	此次环评	肿瘤治疗

### 1.3 任务由来

本项目用房为宁德市医院迁建（二期）项目主体工程的组成部分，其施工期环境影响分析、运营期非辐射环境影响评价已纳入《宁德市妇幼保健院（含儿童医院）、宁德市医院迁建（二期）工程项目环境影响报告书》（以下简称《报告书》）之中。该项目于2019年2月3日取得宁德市生态环境局东侨分局的批复，批复文号为东侨环〔2019〕2号。根据环评及批复要求项目涉及核技术应用需另行履行环评手续。

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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订本）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年修订）等国家环境管理相关法律法规的规定，应对建设项目进行环境影响评价。医用直线加速器属于II类射线装置，后装机属于III类放射源，使用的非密封性核素为乙级工作场所，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，本项目辐射工作的种类和范围为使用II类射线装置、III类放射源、乙级非密封放射性物质工作场所，需编制环境影响报告表。因此，宁德市医院于2019年9月核工业二七〇研究所委托对宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目进行环境影响评价工作。

### 1.4 地理位置及周边环境概况

### 1.4.1 项目地理位置

宁德市医院迁建（二期）位于宁德市医院东侨院区。东侨院区位于宁德市闽东东路13号，院区东侧紧邻尚德路，尚德路以东为东头居民区及在建金禾雅居小区，院区南侧隔闽东大道为空地及华庭小区，西侧隔华庭路为碧城云庭住宅小区，北侧隔天山路为空地，西北角为中心血站。项目所在地理位置图详见图1.4-1。

本项目所在的二期工程位于宁德市医院东侨院区中北部，用地范围东侧为院区一期已建气体机房及三期工程规划用地，南侧约50m为东侨院区一期住院楼，西侧约25m为碧城云庭住宅小区，北侧为院区三期工程规划用地（现状为空地），西北侧约90m为中心血站。

### 1.4.2 辐射工作场所及周边关系

本项目涉及的放疗中心（医用直线加速器、后装机）位于二期拟建住院楼地下一层西侧，楼上为地面，直线加速器机房东侧为水冷机组房，南侧为控制室及电源间，西侧为地下一层汽车1#坡道，北侧为工具间及车库。后装机房东侧为控制室及设备间，南侧为消防水池，西侧为土壤层，北侧为汽车1#坡道下方。

项目涉及的核医学科位于住院楼二层，东侧为楼外三期预留用地，南侧为楼外院区道路，西侧为病案、档案区，北侧为住院楼楼外绿化用地，楼下为MR、CT机房及感染科病房，楼上为屋顶花园及B超影像中心。

该项目在院区的分布情况及周边关系详见图1.4-2~图1.4-6（项目所在楼层及上下楼层平面布置图）。项目环境现状图详见下图：





西侧碧城云庭住宅小区



西北侧中心血站及空地



东侧在建金禾雅居小区



图 1.4-1 项目地理位置图



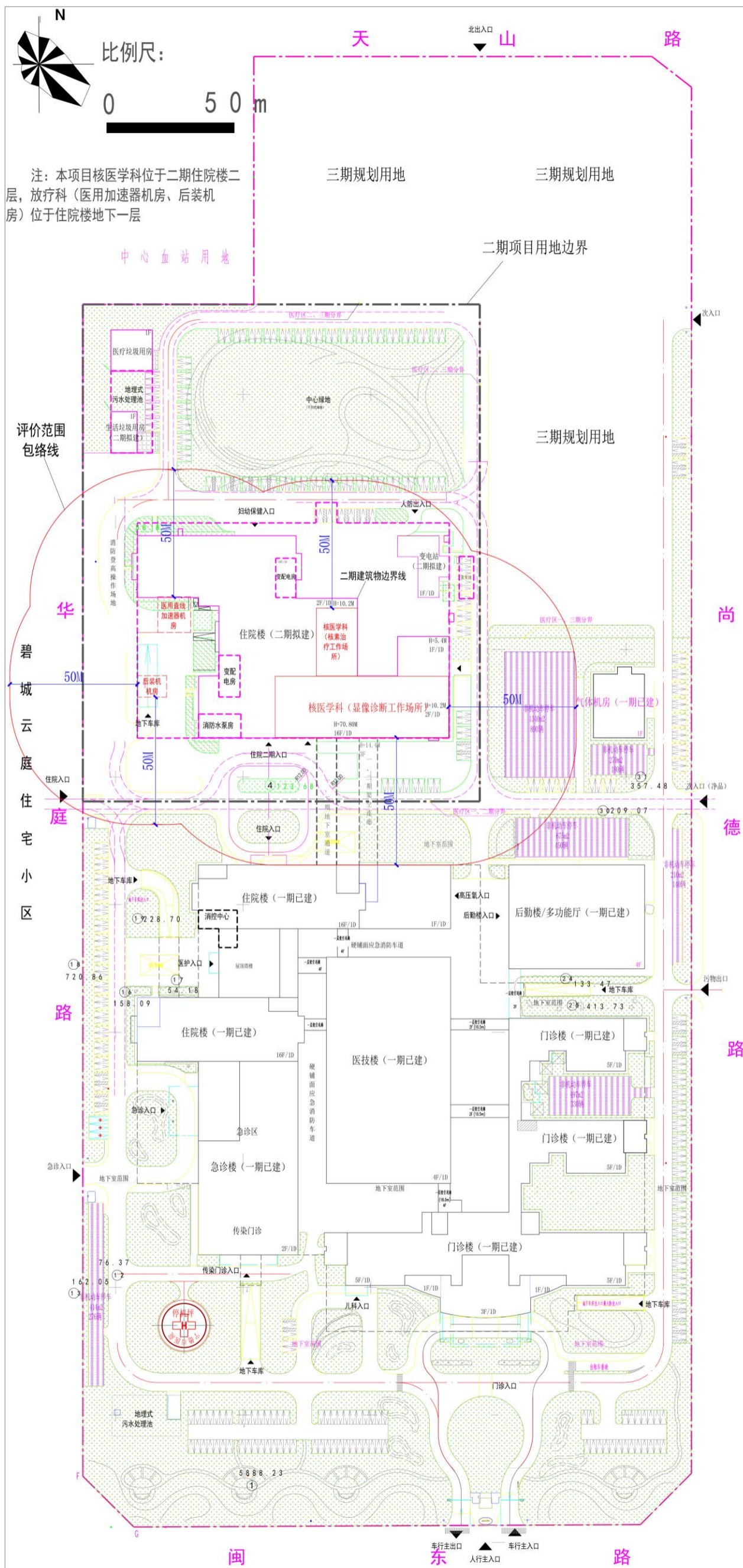


图 1.4-2 项目院区平面布置图及评价范围包络线图



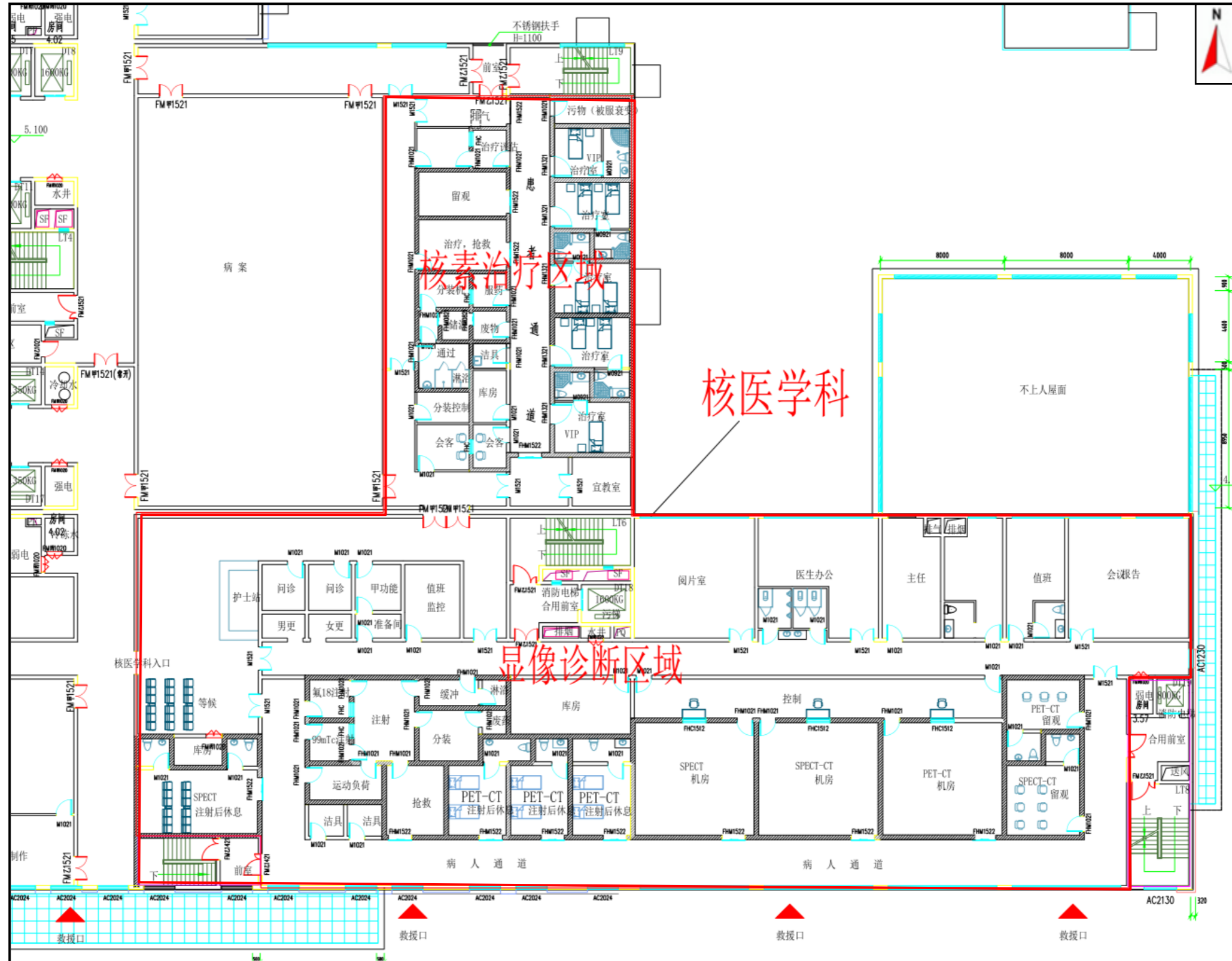


图 1.4-4 项目核医学科平面布置图（二楼）

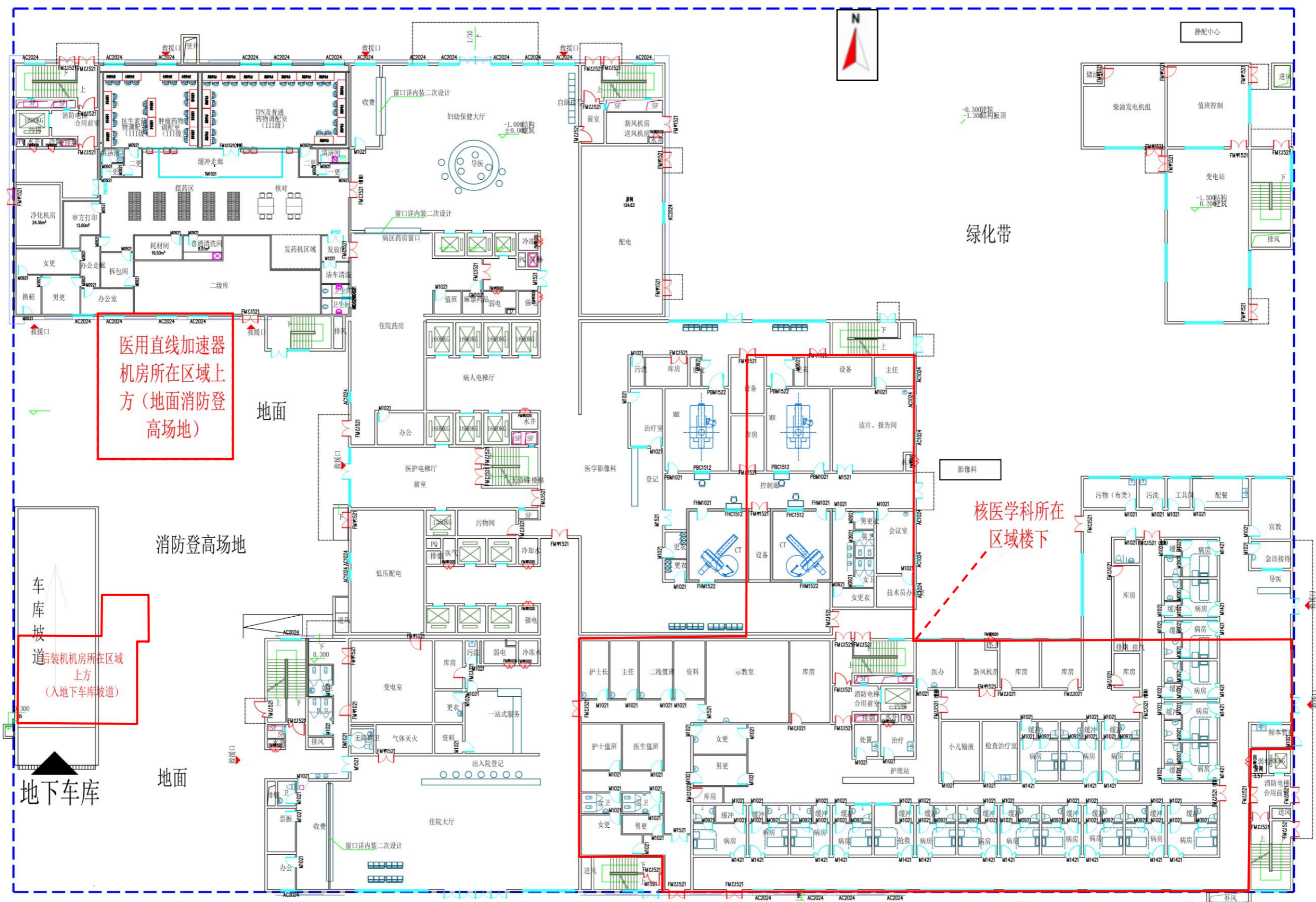


图 1.4-5 项目放疗科楼上、核医学科楼下区域平面布置图（一楼）

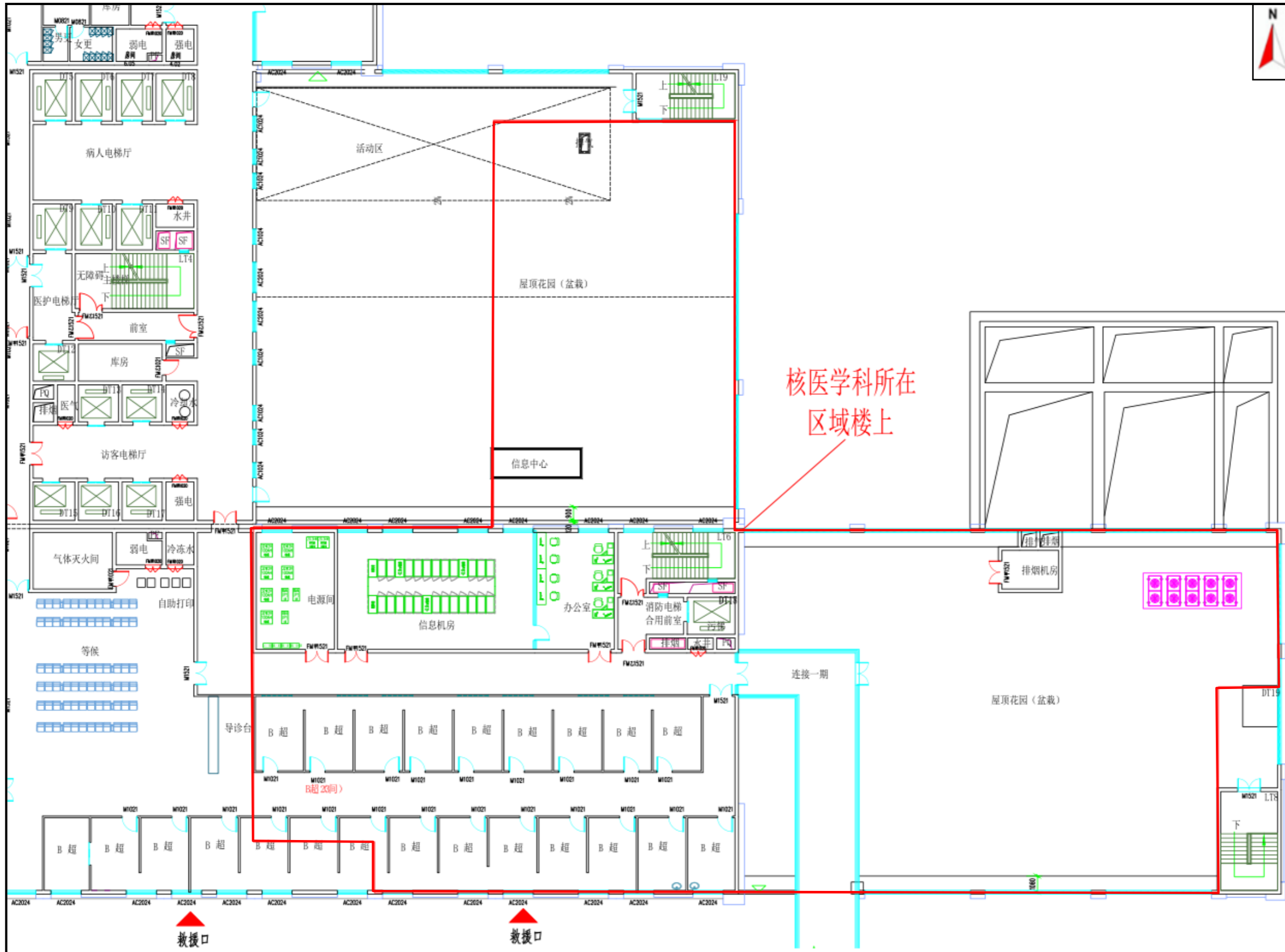


图 1.4-6 项目核医学科区域楼上平面布置图(三楼)

## 1.5 原有核技术利用项目许可情况

宁德市医院已办理辐射安全许可证，编号为闽环辐证[00135]，许可种类和范围为使用Ⅲ类放射源，使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所。详见附件 2。

宁德市医院现有 23 台射线装置（1 台医用直线加速器、2 台 DSA、1 台模拟定位机、15 台 X 射线机、3 台 CT 机、1 台 ECT）、1 个乙级非密封物质工作场所及 1 枚出厂活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的Ⅲ类放射源  $^{192}\text{Ir}$ 。上述核技术利用项目均已履行环境影响评价手续，但未进行竣工环保验收。宁德市医院于 2019 年 10 月份与陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司签订合同，委托其开展医院现有Ⅱ类射线装置、Ⅲ类放射源及乙级非密封放射性物质工作场所核技术利用项目竣工环保验收工作（Ⅲ类射线装置不需验收），目前验收报告处于编制阶段。

宁德市原有核技术应用现状具体情况详见表 1-2。

表 1-2 宁德市医院原有核技术应用情况一览表

放射源							
序号	工作场所等级	核素名称	批准的日等效最大操作量 (Bq)	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	Ⅲ	$^{192}\text{Ir}$	$3.7 \times 10^{11}$	蕉城院区放疗科机房	在用	已环评，已许可，验收正在开展	/
非密封放射性物质							
序号	工作场所等级	核素名称	批准的日等效最大操作量 (Bq)	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	备注
1	乙级	铊-99m	$7.4 \times 10^7$	蕉城院区核医学科	在用	已环评、已许可，验收正在开展	显像诊断
2		氟-18	$1.85 \times 10^7$		在用		显像诊断
3		碘-131	$7.4 \times 10^8$		在用		甲亢治疗
4		碘-125	$2.5 \times 10^4$		在用		外放免分析
5		锶-89	$1.5 \times 10^5$		在用		骨转移癌治疗
6		钷-15	$2.5 \times 10^5$		在用		/
7		碳-14	$1.2 \times 10^3$		在用		/
8		磷-32	$1.2 \times 10^6$		暂未使用		/

9		碘-125 籽粒	3.22×10 <sup>6</sup>			在用		籽粒植入		
<b>射线装置</b>										
序号	射线装置名称	数量	管电压 (kV)	管电流 (mA)	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评、许可及验收情况	型号	
1	医用直线加速器	1	X线: 6MV、15MV 电子线: 6MeV、9MeV、12MeV、15MeV、18MeV、22 MeV		II	蕉城院区放疗中心一层	在用	已环评、已许可, 验收正在开展	Infinity	
2	模拟定位机	1	150	1000	III		在用		SL-IE	
3	数字化 X 射线摄影机 (DR)	1	150	500	III		在用		DirectView DR3500	
4	数字化 X 射线摄影机 (DR)	1	150	800	III		在用		Digital Diagnost	
5	X 射线计算机断层摄影机 (64 排 CT)	1	140	500	III		蕉城院区放射科二层		在用	Brilliance
6	ECT	1	120-140	1.0-2.5	III		蕉城院区核医学科机房		在用	InfiniaVC Hawkey4
7	高端多排螺旋 CT	1	140	800	III		东侨院区医技楼一楼 CT 室 1		在用	SOMATOM Definition Flash
8	X 射线计算机断层摄影机 (16 排 CT)	1	130	340	III		东侨院区医技楼一楼 CT 室 3		在用	Somatom Emotion
9	数字化乳腺 X 线机	1	150	25	III		东侨院区医技		在用	MannoDiagnost DR

宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目

						楼普放室			
10	体检 DR	1	150	1000	III	东侨院区 医技楼一 楼普放室 6	在用		DRX-evolution
11	数字化 X 射线摄影 机	1	150	800	III	东侨院 区医技 楼普放 室 7	在用		DRX evolution
12	数字平板 胃肠机	1	125	800	III	东侨院区 医技楼一 楼普放室	在用		AXIOM LuminosDRF
13	全身型双 能 X 线骨 密度仪	1	140	2	III	东侨院区 医技楼一 楼普放室 8	在用		Explorer 010-1547
14	口腔数字 化体层 X 射线摄影 系统	1	60	7	III	东侨院区 门诊四楼 口腔门诊	在用		CS2100
15	牙科 CT 机	1	85	8	III	东侨院区 门诊四楼 口腔门诊	在用		CS9300
16	体外震波 碎石机	1	104	6.5	III	东侨院区 门诊一楼 泌尿外科	在用		CS-2012 型-3
17	数字减影 血管造影 机(DSA)	1	150	1000	II	东侨院区 住院部三 楼导管室	在用	已环评、已许 可，验收正在 开展	Bransistsist-Safire HC9
18	血管造影 X 射线系 统(DSA)	1	125	800	II		在用		Allura Xper PD20
19	C 形臂 X 线机	1	110	5	III	东侨院区 医技楼 3 层手术室 (14)	在用	已环评、已许 可，不需验收	SIREMOBIL compactL
20	C 形臂 X 线机	1	110	8	III	东侨院区 医技楼 3 层手术室 (19)	在用		OEC Fluoroatar
21	全景牙科 机	1	77	16	III	东侨院区 医技楼一	停用		OP100+OC100



						楼普放室		
22	透视机	1	150	900	III	蕉城院区	停用	OmniDiag nost
23	移动X射线机	1	125	300	III	放射科一层	停用	ImE-100L

根据本次现场调查可知，原有核技术利用项目环保执行情况如下：

### 1.5.1 关于辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 修正版）的要求，宁德市医院已根据医院核技术应用现状，于 2017 年 8 月 1 日成立放射卫生防护管理委员会，组长由王小勇担任，包括 2 名副组长、10 名成员，负责全院辐射安全与防护监督管理工作，领导小组的职责明确，能有效保障辐射工作人员、社会公众的健康与安全。该领导小组的组成涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，在框架上基本符合要求。

### 1.5.2 关于辐射安全与防护培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 修正版）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）的要求，宁德市医院为提高辐射工作人员的专业技能和放射防护工作重要性的认识，一直积极组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，医院现有辐射工作人员 85 名（其中援非 1 人，在岗 84 人），其中候琿、郑添秀、雷杜晶培训期间休产假，许舒国培训期在外出差，邢培秋援非不在院内工作，刘中田为 2019 年新进员工，因此以上人员未参加辐射安全与防护培训，其他 79 名辐射工作人员均取得了培训合格证，部分辐射安全与防护培训证书详见附件 13。

医院应暂停候琿、郑添秀、雷杜晶、许舒国、刘中田从事辐射工作，尽快安排其参加辐射安全培训并取得培训合格证后上岗。

### 1.5.3 关于监测计划和监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 修正版）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）的要求，宁德市医院为对辐射工作人员所受剂量进行控制，委托宁德市疾病预防控制中心进行个人剂量监测，目前医院现有 85 名辐射工作人员，有 2 名辐射工作人（1 人援非 1 人外出学习）未进行个人剂量检测，其他人均进行了个人剂量监测。宁德市医院 2018 年 6 月~2019 年 6 月的个人剂量计送检结果详见附件 8。

从宁德市医院 2018 年 6 月~2019 年 6 月的个人剂量计送检结果表明：医院辐射工作人员年累积剂量在 0.09mSv~1.645mSv 范围内，现有射线装置的辐射工作人员所受累积剂量均不会超过项目剂量约束限值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业人员的剂量限值（20mSv）的要求。

目前，医院为对辐射工作场所及周围辐射水平进行控制，已配置了 1 台 X-γ 辐射剂量仪、1 台表面污染仪，医院还及时对上述监测仪器进行送检，及时开展日常监测工作。

#### 1.5.4 关于职业健康体检

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 修正版）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）的要求，宁德市医院制定了《放射工作人员职业健康管理体检制度》，制度规定对放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年。医院现有 85 名辐射工作人员，其中 66 名辐射工作人员具有职业健康体检报告，体检时间为 2018 年 5~12 月，体检结论均为可继续原放射工作；剩余 19 名辐射工作人员无职业健康体检报告（其中 1 名人员（侯珺）援疆；1 名人员（邢培秋）援非，4 名工作人员（雷杜晶、郑添秀、汪海燕、陈青）怀孕或休产假，1 名护士（汤秋平）属于 2018 年由其他科室新转入导管室，1 名新进人员（刘中田），1 名人员在院外规培（尤梦翔），其余 10 人员进行了职业健康体检但检查项目不全，不符合要求）。医院应建立辐射工作人员职业健康制度，并对未出具体检报告的工作人员尽快安排体检。辐射工作人员职业健康体检报告详见附件 9。

辐射工作人员个人剂量、体检、培训情况详见表 1-3:

表 1-3 辐射工作人员个人剂量、体检、培训情况表

序号	姓名	从事工作类别	各季度个人剂量值 (mSv)				年累计剂量 mSv/a	辐射安全培 训证书编号	职业健康 体检日期	是否继续从 事辐射工作 (体检结果)	备注
			2018.6~2018.9	2018.9~2018.12	2018.12~2019.3	2019.3~2019.6					
1	魏鼎泰	放射诊断	1/2MD (1/2MDL)	1/2MDL (1/2MDL)	0.067 (0.13)	1/2MDL	0.135	FJ1904086	2018.12	是	在岗
2	袁涛	放射诊断	1/2MDL	0.121	1/2MDL	0.085	0.251	FJ1904087	2018.12	是	在岗
3	余燕武	放射诊断	1/2MDL	0.072	1/2MDL	0.103	0.220	FJ1904088	2018.12	是	在岗
4	程庆华	放射诊断	0.048	0.054	1/2MDL	0.049	0.174	FJ1904089	2018.12	是	在岗
5	阮晓甦	放射诊断	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.090	FJ1904090	2018.12	是	在岗
6	王致卿	放射诊断	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.090	FJ1904091	2018.12	是	在岗
7	林熙	放射诊断	/	/	/	/	未检测	FJ1904092	2018.12	是	在岗
8	彭晓澜	放射诊断	1/2MDL	0.051	1/2MDL	0.051	0.147	FJ1904093	2018.12	是	在岗
9	江敏	放射诊断	0.066	0.128	1/2MDL	1/2MDL	0.239	FJ1904094	2018.12	是	在岗
10	邢培秋	放射诊断	/	/	/	/	未检测	无(援非)	未体检	/	援非
11	陈秋雁	放射诊断	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.090	FJ1904095	2018.12	是	在岗
12	包陈坚	放射诊断	1/2MDL	0.064	1/2MDL	0.166	0.275	FJ1904096	2018.12	是	在岗
13	吴富淋	放射诊断	1/2MDL	0.12	1/2MDL	0.116	0.281	FJ1904097	2018.12	是	在岗
14	侯珺	放射诊断	1/2MDL	0.0225	0.059	0.089	0.193	无(产假)	未体检	/	在岗
15	林倩	放射诊断	0.103	/	0.151	0.085	0.339	FJ1904098	2018.12	是	在岗
16	雷杜晶	放射诊断	0.072	0.138	0.064	0.082	0.356	无(产假)	2018.12	是	在岗
17	魏定福	放射诊断	0.079	0.159	0.0225	0.077	0.338	FJ1904099	2018.12	是	在岗
18	林凤珠	放射诊断	1/2MDL	0.194	0.074	0.082	0.373	FJ1804174	2018.12	是	在岗
19	王晓慧	放射诊断	1/2MDL	0.149	0.059	1/2MDL	0.253	FJ1804176	2018.12	是	在岗
20	郑添秀	放射诊断	/	/	/	1/2MDL	0.023	无(产假)	未体检	/	在岗
21	陈谢春	放射技术	1/2MDL	0.067	1/2MDL	0.074	0.186	FJ1904100	2018.12	是	在岗

宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目

22	崔小巍	放射技术	1/2MDL	0.057	1/2MDL	0.057	0.159	FJ1904101	2018.12	是	在岗
23	何玉娣	放射技术	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.090	FJ1904102	2018.12	是	在岗
24	陈婷婷	放射技术	1/2MDL	0.062	/	0.162	0.247	FJ1904103	2018.12	是	在岗
25	叶灵	放射技术	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.090	FJ1904104	2018.12	是	在岗
26	余波	放射技术	1/2MDL	0.049	0.084	1/2MDL	0.178	FJ1904105	2018.12	是	在岗
27	谢聿娟	放射技术	1/2MDL	0.12	1/2MDL	0.189	0.354	FJ1904106	2018.12	是	在岗
28	吴海辉	放射技术	1/2MDL	0.054	0.203	0.113	0.393	FJ1904107	2018.12	是	在岗
29	余养信	放射技术	1/2MDL	0.0225	1/2MDL	0.162	0.230	FJ1904108	2018.12	是	在岗
30	陈志健	放射技术	1/2MDL	0.087	1/2MDL	0.089	0.221	FJ1904109	2018.12	是	在岗
31	张德健	放射技术	1/2MDL	0.056	1/2MDL	0.054	0.155	FJ1904110	2018.12	是	在岗
32	张丽	放射技术	1/2MDL	0.075	0.107	0.071	0.276	FJ1904111	2018.12	是	在岗
33	陈敏兰	放射技术	0.052	0.113	1/2MDL	0.092	0.280	FJ1904112	2018.12	是	在岗
34	黄世林	放射技术	1/2MDL	0.066	1/2MDL	0.108	0.219	FJ1904113	2018.12	是	在岗
35	杜雅星	放射技术	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.108	0.176	FJ1904114	2018.12	是	在岗
36	叶珍	放射技术	1/2MDL	0.074	1/2MDL	0.067	0.186	FJ1904115	2018.12	是	在岗
37	吴婷婷	放射技术	/	0.049	1/2MDL	1/2MDL	0.094	FJ1904116	2018.12	是	在岗
38	林巧	放射技术	0.069	1/2MDL	0.074	0.064	0.230	FJ1904117	2018.12	是	在岗
39	王如锋	放射技术	0.077	0.172	0.0225	0.087	0.359	FJ1804175	2018.12	是	在岗
40	刘中田	放射技术	/	/	/	1/2MDL	0.023	无(2019 新进 人员)	未体检	/	在岗
41	于红玲	放射护理	1/2MDL	0.062	1/2MDL	0.159	0.266	FJ1904118	2018.12	是	在岗
42	李春丽	放射护理	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.090	FJ1904119	2018.12	是	在岗
43	汪海燕	放射护理	0.046	1/2MDL	1/2MDL	0.115	0.206	FJ1904120	未体检	/	在岗
44	杨春丽	放射护理	1/2MDL	0.202	1/2MDL	0.171	0.418	FJ1904121	2018.12	是	在岗
45	卓敏	放射窗口	1/2MDL	0.102	1/2MDL	0.107	0.254	FJ1904122	2018.12	是	在岗
46	陈 汎	放射窗口	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL	0.090	FJ1904123	2018.12	是	在岗

宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目

47	周宇喜	放射窗口	0.089	0.167	0.084	0.092	0.432	FJ1904124	2018.12	是	在岗
48	林月华	放射窗口	1/2MDL	0.102	0.052	1/2MDL	0.199	FJ1904125	2018.12	是	在岗
49	叶建安	介入技术	1/2MDL (1/2MDL)	1/2MDL (0.216)	0.157 (0.177)	1/2MDL (1/2MDL)	1/2MDL (1/2MDL)	FJ1904126	2018.12	是	在岗
50	方子榕	介入技术	1/2MDL	1/2MDL (0.136)	0.139 (0.284)	1/2MDL (1/2MDL)	0.207	FJ1904127	2018.12	是	在岗
51	苏泉妹	介入护士	1/2MDL	1/2MDL	0.138	1/2MDL (1/2MDL)	0.206	FJ1904128	2018.12	是	在岗
52	方慧	介入护士	1/2MDL	1/2MDL	1/2MDL (0.136)	1/2MDL (0.09)	0.158	FJ1904129	2018.12	是	在岗
53	孙秀芳	介入护士	1/2MDL	1/2MDL	0.279	0.046 (0.048)	0.370	FJ1409130	2018.12	是	在岗
54	朱萍萍	介入护士	1/2MDL (0.08)	1/2MDL	0.105 (0.256)	1/2MDL (1/2MDL)	0.230	FJ1904131	2018.12	是	在岗
55	汤秋平	介入护士	/	/	/	/	未检测	FJ1904132	未体检	/	在岗
56	林益匡	放射治疗	0.09	0.062	1/2MDL	1/2MDL	0.197	FJ1904133	未体检	/	在岗
57	林高美	放射治疗	1/2MDL	0.131	0.084	1/2MDL	0.260	FJ1904134	未体检	/	在岗
58	缪龙华	放射治疗	0.077	0.072	0.0225	0.084	0.256	FJ1904135	2018.12	是	在岗
59	赖红华	放射治疗	0.12	0.148	0.2	0.11	0.578	FJ1904136	未体检	/	在岗
60	黄传钱	放射治疗	0.182	0.22	0.12	0.167	0.689	FJ1904137	2018.12	是	在岗
61	张忠金	放射治疗	0.074	0.157	1/2MDL	0.149	0.403	FJ1904138	未体检	/	在岗
62	徐宜武	放射治疗	0.156	0.166	1/2MDL	0.251	0.596	FJ1904139	2018.12	是	在岗
63	倪晓晓	放射治疗	0.095	0.3	0.125	1.125	1.645	FJ1904140	2018.12	是	在岗
64	郑方静	放射治疗	1/2MDL	0.125	1/2MDL	0.202	0.372	FJ1904141	2018.12	是	在岗
65	林建芳	放射治疗	0.057	0.105	1/2MDL	0.198	0.383	FJ1904142	2018.12	是	在岗
66	武文娟	放射治疗	1/2MDL	0.105	0.056	0.249	0.433	FJ1904143	未体检	/	在岗
67	李萍	放射治疗	/	/	/	0.243	0.243	FJ1904144	2018.12	是	在岗
68	刘建雄	介入放射学	1/2MDL	1/2MDL	0.248 (0.335)	0.071 (0.249)	0.364	FJ1904145	未体检	/	在岗
69	崔元生	介入放射学	1/2MDL	1/2MDL (0.105)	0.431 (0.481)	1/2MDL (0.303)	0.499	FJ1904146	2018.12	是	在岗

宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目

70	尚祥	介入放射学	1/2MDL	1/2MDL	0.115	1/2MDL	0.183	FJ1904147	2018.12	是	在岗
71	许舒国	介入放射学	1/2MDL	1/2MDL	0.075	1/2MDL	0.143	无(出差)	未体检	/	在岗
72	汪永红	核医学	0.149 (0.19)	0.069 (0.458)	0.121 (0.21)	0.313 (0.41)	0.652	FJ1904148	2018.12	是	在岗
73	缪绍维	核医学	0.226 (0.235)	0.202 (0.31)	0.125 (0.366)	0.116 (0.356)	0.669	FJ1904149	2018.12	是	在岗
74	陈青	核医学	0.1 (0.244)	0.164 (1.333)	0.256 (0.362)	0.312 (0.522)	0.832	FJ1904150	未体检	/	在岗
75	卢婷婷	核医学	0.202 (0.279)	0.089 (0.312)	0.249 (0.339)	0.256 (0.413)	0.796	FJ1904151	2018.12	是	在岗
76	尤梦翔	核医学	0	0	0	0.285	0.285	FJ1904152	未体检	/	在岗
77	占增平	核医学	0.185 (0.19)	0.41 (22.489)	0.182 (0.22)	1/2MDL (0.315)	0.800	FJ1804177	2018.12	是	在岗
78	柳美玲	牙科放射学	1/2MDL	0.426	0.154	0.302	0.905	FJ1904153	2018.12	是	在岗
79	林施峰	介入放射学	1/2MDL (1/2MDL)	1/2MDL (0.098)	0.071 (0.221)	1/2MDL (1/2MDL)	0.139	FJ1904154	未体检	/	在岗
80	罗瑞英	介入放射学	1/2MDL (1/2MDL)	1/2MDL (0.049)	0.171 (0.233)	1/2MDL (1/2MDL)	0.239	FJ1904155	2018.12	是	在岗
81	林基表	介入放射学	1/2MDL (1/2MDL)	1/2MDL (1/2MDL)	0.066 (0.071)	1/2MDL (1/2MDL)	0.139	FJ1904156	未体检	/	在岗
82	占德进	介入放射学	1/2MDL	1/2MDL (1/2MDL)	0.177 (0.482)	1/2MDL (1/2MDL)	0.245	FJ1904157	2018.12	是	在岗
83	李世阁	介入放射学	1/2MDL	1/2MDL (0.074)	0.084 (0.533)	1/2MDL (1/2MDL)	0.601	FJ1904158	未体检	/	在岗
84	杨尚磊	介入放射学	1/2MDL (1/2MDL)	1/2MDL (0.131)	0.11 (0.239)	1/2MDL (0.066)	0.178	FJ1904160	未体检	/	在岗
85	吴周源	放射治疗(体外碎石)	0.11	0.29	1/2MDL	0.312	0.735	FJ1904162	未体检	/	在岗
86	夏巧清	放射治疗	0.123	0.264	0.103	0	0.490	无(转岗)	未体检	/	转岗
87	曾信琴	放射治疗	0.097	0.197	0.087 (0.154)	0	0.381	无(转岗)	未体检	/	转岗
88	黄丽琴	介入放射学	1/2MDL	1/2MDL	0.154	0	0.199	无(转岗)	未体检	/	转岗
89	余英清	放射治疗	0	0	0	0.089	0.089	无(已退休)	2018.12	是	已退休

注：1、部分辐射工作人员佩戴双剂量计（里外各一枚），括号外为内剂量片剂量值，括号内为外剂量片剂量值。

2、“1/2MDL”表示未探测出，最低探测水平（MDL）为0.045mSv，在计算累计剂量时，未探测出的剂量值按1/2MDL计。

### 1.5.5 关于年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 修正版）（国家环境保护部令第 3 号）的要求，宁德市医院于 2019 年 1 月 31 日前已填报了 2018 年年度评估报告。

### 1.5.6 关于操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫等制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 修正版），宁德市医院已经制定了《宁德市医院辐射事故/事件应急预案》、《宁德市医院关于重新调整放射卫生防护管理委员会的通知》、《宁德市医院放射源安全管理制度》、《核医学科的主要管理制度》、《放疗室放射诊疗防护组织人员及职责》、《放疗室负责人岗位职责》、《放疗物理师岗位职责》、《宁德市医院放射防护负责人职责与授权制度》、《制模室人员岗位职责》、《核医学科各级人员的岗位职责》、《后装机操作规程》、《直线加速器操作规程》《放射源返回和退役规定》、《放射治疗基本规范》、《核医学科操作规程》等一系列规章制度，基本能满足医院现有核技术应用项目的管理需要，但尚存在一些问题和需整改的内容。医院辐射安全与防护管理领导小组应牵头对现有的辐射安全与防护相关制度进行系统修订（修订建议详见表 1-4），提高制度的可操作性，做到所有辐射工作都有章可循，有制度保障。

表 1-4 规章制度修订建议

序号	制度名称	存在的问题	修订建议
1	个人剂量监测制度	缺失，个人剂量计佩戴管理不规范，存在少数辐射工作人员个人剂量未监测情况	补充个人剂量计佩戴及监测管理制度，强化佩戴要求，所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，并进行监测
2	辐射工作人员培训计划	缺失，少数辐射工作人员未进行培训	明确外部辐射安全与防护培训计划，明确培训对象、周期和要求，做到每个辐射工作人员经培训持证上岗，并明确提出经培训考核不合格的不得上岗的要求
3	职业健康体检制度	缺失，存在部分辐射工作人员未进行职业健康体检	补充制定职业健康体检制度，需明确体检对象、体检周期和指标等内容，未体检的及时安排体检

### 1.6 国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 年修正）》（中华人民共和国

国国家发展和改革委员会令第 21 号), 本项目属于“鼓励类”中“三十六、教育、文化、卫生、体育服务业”中的“29、医疗卫生服务设施建设”项目, 因此本次宁德市医院扩建核技术利用项目符合国家产业政策。



**表 2 放射源**

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚(套)数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	铯-192	3.7×10 <sup>11</sup> ×1枚	III	使用	肿瘤治疗	东侨院区二期住院楼 地下一层放疗中心 后装机机房	密封安装在后装机 密封储源器内	/
2	锶-68	4.63×10 <sup>7</sup> ×2枚	V		用于PET-CT校准	东侨院区二期住院楼 二层核医学科	核医学科储源室	/
		9.25×10 <sup>7</sup> ×1枚	V					/
以下空白								

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

**表 3 非密封放射性物质**

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	碘-131	液态	使用	1.78×10 <sup>9</sup>	1.78×10 <sup>8</sup>	1.11×10 <sup>11</sup>	甲亢治疗	稀释口服	东侨院区 二期住院 楼二层核 医学科	按需定药不 贮存
				3.7×10 <sup>10</sup>	3.7×10 <sup>9</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	甲癌治疗			
2	氟-18	液态	使用	3.33×10 <sup>9</sup>	3.33×10 <sup>6</sup>	6.66×10 <sup>11</sup>	显像诊断	注射		
3	锝-99m	液态	使用	1.665 ×10 <sup>10</sup>	1.665×10 <sup>7</sup>	3.33×10 <sup>12</sup>	显像诊断	注射		
以下空白										

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/min）	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X线：≤10MeV 电子线：≤20MeV	X线：≤24Gy/min 电子线：≤10Gy/min	肿瘤治疗	地下一层放疗中心加速器机房	

（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	SPECT-CT	III	2	待定	≤150	≤1000	显像诊断	住院楼二层核医学科	
2	PET-CT	III	1	待定	≤150	≤1000	显像诊断		

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

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
含放射性核素的废水	液态	<sup>131</sup> I、 <sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc	—	—	1097m <sup>3</sup>	总 β 放射性 ≤10Bq/L	衰变池	接入医院污水处理站
放射性废水	液态	<sup>15</sup> O、 <sup>15</sup> N	—	少量	少量	最低浓度	—	冷却水循环使用、不外排
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭纸、纱布、废活性炭	固体	<sup>131</sup> I、 <sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc	—	—	—	—	固体废物包扎好注明日期后贮存在铅污物桶中	贮存 10 个半衰期后作为医疗废物处理。
直线加速器退役期照射头、辅助过滤装置等感生放射性部件	固体	—	—	—	—	—	—	送至福建省放射性废物库贮存
废弃放射源	固体	<sup>68</sup> Ge、 <sup>192</sup> Ir	—	—	—	—	核医学科废物间	由生产厂家回收
含放射性核素的气溶胶	气态	<sup>131</sup> I、 <sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc	—	—	微量	微量	—	经专用排气管道引至高于本建筑屋顶排放。
臭氧氮氧化物	气态	—	—	少量	少量	—	不暂存	通过排风系统排入外环境

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议于 2014 年 4 月 24 日修订通过, 2015 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日修订;</p> <p>3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》2019 年 3 月 2 日修订;</p> <p>5) 《建设项目环境保护管理条例》中华人民共和国国务院令第 682 号, 自 2017 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 年 8 月 22 日生态环境部令第 7 号《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第三次修正;</p> <p>7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 中华人民共和国环境保护部第 18 号令, 2011 年 5 月 1 日起施行;</p> <p>8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》, 环境保护部令第 44 号; 《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》, 环境保护部令第 1 号, 自 2018 年 4 月 28 日起施行;</p> <p>9) 关于发布《射线装置分类》的公告, 环境保护部、国家卫生和计划生育委员会, 公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日起实施;</p> <p>10) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》, 原国家环保总局, 环发[2006]145 号;</p> <p>11) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》, 中华人民共和国卫生部令第 55 号, 2007 年 3 月 23 日经卫生部部务会议讨论通过, 自 2007 年 11 月 1 日起施行;</p> <p>12) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》, 环办函 [2006] 629 号, 2006 年 9 月 28 日印发;</p> <p>13) 福建省环保厅关于印发《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲》(试行) 的通知 (闽环保辐射〔2013〕10 号)。</p>
------	--

<p>技术标准</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)《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);</li> <li>2)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)。</li> <li>3)《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);</li> <li>4)《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);</li> <li>5)《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);</li> <li>6)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</li> <li>7)《医疗照射放射防护基本要求》(GBZ179-2006);</li> <li>8)《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011);</li> <li>9)《后装γ源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017);</li> <li>10)《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010);</li> <li>11)《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006);</li> <li>12)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</li> <li>13)《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)。</li> </ol>
<p>其他</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)《福建省环保厅关于批复宁德市医院核医学科项目环境影响报告表的函》(闽环辐评〔2012〕33号);</li> <li>2)《宁德市医院迁建一期工程2台DSA及24台III类X射线机环境影响报告表》及批复;</li> <li>3)宁德市生态环境局东桥分局关于宁德市妇幼保健院(含儿童医院)、宁德市医院迁建(二期)工程项目环境影响报告书及环评批复;</li> <li>4)医院放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量检测报告等相关资料。</li> <li>5)宁德市医院辐射安全许可证;</li> <li>6)辐射工作人员培训合格证书;</li> <li>7)宁德市医院核提供的其他相关材料。</li> </ol>

**表 7 保护目标与评价标准**

**7.1 评价范围**

根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016）的规定，“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。”本项目非密封放射性工作场所等级为乙级，并使用放射源和射线装置，因此，本项目评价范围为各核技术应用场所各屏蔽体外 50m 范围，其中后装机房评价范围内有碧城云庭住宅小区，直线加速器及核医学科评价范围内均不涉及医院外敏感目标。

**7.2 保护目标**

本项目后装机房评价范围内有碧城云庭住宅小区，直线加速器及核医学科评价范围内均不涉及医院外敏感目标。目标区域内的辐射剂量必须满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的剂量管理约束限值要求和本项目剂量约束值要求。保护目标详见表 7-1：

**表 7-1 环境保护目标一览表**

场所名称	位置描述	环境保护目标	距离 (m)	规模	环境要素
直线加速器机房	东侧水冷机组房	其他工作人员	毗邻	约 1 人	电离辐射
	东侧过道	辐射工作人员、病人及病人家属	毗邻	约 10 人	
	南侧控制室	辐射工作人员	毗邻	约 3 人	
	南侧电源间	检修人员	毗邻	约 1 人	
	西侧地下车库坡道	医护人员、病人及病人家属	毗邻	流动人群	
	北侧地下车库	医护人员、病人及病人家属	毗邻	流动人群	
	楼上地面流动人员	医护人员、病人及病人家属	毗邻	流动人群	
后装机房	东侧控制室	辐射工作人员	毗邻	约 2 人	
	东侧过道	医护人员、病人及病人家属	毗邻	约 5 人	
	南侧消防水池	检修人员	毗邻	约 1 人	
	楼上地面流动人员	医护人员、病人及病人家属	毗邻	流动人群	
	西侧碧城云庭住宅小区	公众成员	47~50	约 100 人	
显像诊断工作场所	南侧一期住院楼	医护人员、病人及病人家属	49~50	约 200 人	
	北侧护士站及医生办公室	医护人员、病人及病人家属	毗邻	约 40 人	
	西侧过道及档案室	医护人员、病人及病人家属	毗邻	流动人群	

核素治疗工作场所	楼上 B 超室	医护人员、病人及病人家属	毗邻	约 80 人
	楼下感染科病房	医护人员、病人及病人家属	毗邻	约 40 人
	南侧护士站及医生办公室	医护人员、病人及病人家属	毗邻	约 40 人
	西侧病案房	医护人员	毗邻	约 3 人
	楼下 MR、CT 机房	医护人员、病人及病人家属	毗邻	约 20 人
	楼下医护人员办公室、会议室、读片、报告间	医护人员	毗邻	约 10 人

### 7.3 评价标准

#### 7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

##### 1、剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 B 规定:

##### B1.1 职业照射

###### B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制,使之不超过下述限值:

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv; b) 任何一年中的有效剂量, 50mSv; c) 眼晶体的年当量剂量, 150mSv; d) 四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量, 500mSv。

本项目取 20mSv 的 1/4 即 5mSv 作为职业工作人员的年剂量管理值。

##### B1.2 公众照射

###### B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

a) 年有效剂量, 1mSv; b) 特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv; c) 眼晶体的年当量剂量, 15mSv; d) 皮肤的年当量剂量, 50mSv。

本项目取 1mSv 的 1/4 即 0.25mSv 作为公众工作人员的年剂量管理值。

##### 2、表面污染控制水平

表 7-2 附录 B2 表面污染控制水平

表面类型		$\alpha$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )		$\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙	控制区*	4	4×10	4×10

壁、地面	监督区	$4 \times 10^{-1}$	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	$4 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-1}$	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-1}$

\*该区内的高污染子区除外

### 3、非密封源工作场所分类

表 7-3 附录 C1 非密封源工作场所分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

### 4、放射性废液向环境排放的控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

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

注： $ALI_{\min}$  是相应职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其数值可按照 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得，结果见表 7-4。

表 7-4 放射性废液排放限值

核素名称	$ALI_{\text{吸入}}$	$ALI_{\text{食入}}$	$ALI_{\min}$	月排放限值	单次排放限值
$^{131}\text{I}$	$1.08 \times 10^6$	$9.08 \times 10^5$	$9.08 \times 10^5$	$9.08 \times 10^6$	$9.08 \times 10^5$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$3.12 \times 10^8$	$11.4 \times 10^9$	$3.12 \times 10^8$	$3.12 \times 10^9$	$3.12 \times 10^8$
$^{18}\text{F}$	$5.38 \times 10^7$	$1.02 \times 10^8$	$5.38 \times 10^7$	$5.38 \times 10^8$	$5.38 \times 10^7$

### 7.3.2 《医疗照射放射防护基本要求》(GBZ179-2006)

### 7.3.3 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)

依据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011) 中针对加速器机房防护设施的技术要求 (6.1 治疗室的防护要求)，具体如下：

(1) 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB 18871 的要求，保障职业场所



和周围环境安全。

(2) 有用线束直接投照的防护墙包括天棚按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求。

(3) 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

(4) 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

(5) X 射线能量超过 10MV 的加速器屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

(6) 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

(7) 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m<sup>2</sup>。

(8) 治疗室人口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

(9) 相关位置例如治疗室人口处上方等应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。

(10) 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

### 7.3.4 《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)

宽束辐射有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下列式确定：

$$Y_p=2\{(a+SAD)\cdot\tan\theta+0.3\}$$

式中：Y<sub>p</sub>—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ—治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

### 7.3.5 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)，第 4.2.1，治疗机房外关注点的剂量率参考控制水平：

①由周剂量参考控制水平 H<sub>c</sub> 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 H<sub>c,d</sub>

( $\mu\text{Sv/h}$ ):

放射治疗机房外控制区工作人员:  $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ; 放射治疗机房外非控制区人员:  $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

③有上述①中的导出剂量率参考水平  $H_{c,d}$  和②中的最高剂量率参考水平  $H_{c,\max}$ , 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平  $H_c$ 。

④治疗室房顶的剂量控制:  $H_{c,\max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

### 7.3.6 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)

(1) 应从源头控制, 减少放射性废物的产生, 防止污染扩散;

(2) 应分类收储废物, 采取有效方法尽可能进行减容或再利用, 努力实现废物最小化。

(3) 应做好废物产生、处理、处置(包括排放)的记录, 建档保存;

(4) 不得将放射性废液排入普通下水道; 不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品;

(5) 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器, 除了其材质应不易吸附放射性物质外, 还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时, 废液收集地点应有外照射防护措施。

(6) 经过处理的废液在向环境排放前, 应先送往监测槽逐槽分析, 符合排放标准后方可排放。

(7) 使用少量或短寿命放射性核素的单位, 可设立采取衰变方式进行放射性废液处理系统, 该系统应有足够的防渗漏能力。

(8) 对于半衰期短的废物可用放置衰变的方法, 待放射性废物衰变到清洁解控水平后作普通废物处理, 以尽量减少放射性废物的数量。

### 7.3.7 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)

合成和操作放射性药物所用的通风柜, 工作中应有足够风速(一般风速不小于  $1\text{m/s}$ ), 排放口应高于本建筑屋脊, 并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置, 排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

### 7.3.8 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)

本标准适用于医学实践中所产生的含有放射性核素或被放射性核素所污染且不再利用的废弃物即医用放射性废物（以下简称放射性废物）的管理。

### 1、放射性废液

①使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于  $2 \times 10^7 \text{Bq}$  的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，微底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施；②经审管部门确认的下列低放废液可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度或每一次排放活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲先，每次排放应做记录并存档。

### 2、注射或服用过放射性药物的患者排泄物

①使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位。应为住院患者治疗提供有防护标志的专用厕所，对患者排泄物实施统一收集和管理。规定患者住院治疗期间不得使用其他厕所；

②专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁；

③专用化粪池内排泄物在贮存衰变后，经审管部门核准方可排入下水道系统。池内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理后再排入下水道系统；

④对不可设置专用厕所和专用化粪池的单位，应为注射或服用放射性药物（如  $^{131}\text{I}$  等）的住院治疗患者提供具有辐射防护性能的尿液、粪便收集器和呕吐物收集器。收集器内的排泄物在贮存衰变后，经审管部门批准可作免管废物处理；

⑤收集含  $^{131}\text{I}$  排泄物时，应同时加入 NaOH 或 10%KI 溶液后密闭存放待处理；

⑥对含有放射性核素的实验动物排泄物，如本单位不具备专用化粪池，可以按照④处理；

⑦对同时含有病原体的患者排泄物应使用专用容器单独收集，在贮放衰变、杀菌和消毒处理后，经审管部门批准可排入下水道系统；

⑧符合下列条件之一的病人排泄物不需要统一管理：

a) 注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物； b)符合出院条件的病人排泄物。

### 3、固体废物的管理

①按第 42 条放射性废物分类和废物的可燃与不可燃，可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物；

②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。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域；

③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，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存；

④每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不极过 20kg。

#### 4、气载废物的管理

操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时，应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风柜内进行。

### 7.3.9 《后装 $\gamma$ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）

（1）治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于20m<sup>2</sup>，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合GB18871规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入GBZ121-2017控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。

（2）治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于4次。

（3）治疗室入口应采用迷路形式，安装防护门并设置门-机联锁，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。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关.按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

（4）治疗室防护门应设置手动开门装置。

（5）在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。

（6）设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。

（7）应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

（8）治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外30cm处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过2.5uSv·h<sup>-1</sup>。

(9) 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。

(10) 治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

(11) 治疗室内合适的地方应张贴应急指示。

### 7.3.10 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

1、对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-5 要求：

表 7-5 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	机房内最小单边长度 (m)
CT 机房	30	4.5

不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护不应小于表 7-6 要求：

表 7-6 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机房	2 (一般工作量)	
	2.5 (较大工作量)	

2、在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

CT 机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h；其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

3、机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态。

4、机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

5、机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

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

7、每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-7 基本种类要求的工

作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要。

**表 7-7 个人防护用品和辅助防护设施配置要求**

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	—	—	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或 方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—

**表 8 环境质量和辐射现状**

**8.1 项目地理和场所位置**

宁德市医院东侨院区位于宁德市东侨经济技术开发区闽东东路 13 号。

项目涉及的放疗中心（医用直线加速器、后装机）位于二期拟建住院楼地下一层西侧，楼上为地面，直线加速器机房东侧为水冷机组房，南侧为控制室及电源间，西侧为地下一层汽车 1#坡道，北侧为工具间及车库。后装机房东侧为控制室及设备间，南侧为消防水池，西侧为土壤层，北侧为汽车 1#坡道下方。

项目涉及的核医学科位于住院楼二层，东侧为楼外三期预留用地，南侧为楼外院区道路，西侧为病案、档案区，北侧为住院楼楼外绿化用地，楼下为 MR、CT 机房及感染科病房，楼上为屋顶花园及 B 超影像中心。

**8.2 环境质量和辐射现状**

核工业二七〇研究所 2019 年 9 月 2 日接受委托，开展宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目环境影响评价工作，并于 2019 年 10 月 29 日对该项目应用场所及周边环境进行辐射环境现状监测，采用 X、 $\gamma$  辐射剂量当量率仪；监测结果详见表 8-1，监测报告详见附件。

**监测方案：**

监测布点：在宁德市医院东侨院区二期工程拟建地块东、南、西、北以及场址处及西侧的碧城云庭住宅小区进行布点，辐射环境监测共布设 6 个点位，监测布点详见图 8.2-1。



图 8-1 现状监测布点图

监测因子：X- $\gamma$  辐射剂量率。

监测工况：环境背景值。

监测仪器：

监测仪器主要技术参数详见表 8-1。



**表 8-1 监测仪器主要技术参数一览表**

仪器名称	X、 $\gamma$ 辐射剂量当量率仪
仪器型号/规格	AT1123
出厂编号	54504
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书编号	2019H21-20-1872690003
有效日期	2019.6.24~2020.6.23

**质量保证措施:**

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

**监测结果:**

**表 8-2 辐射环境质量现状监测结果**

编号	监测点描述	测量结果 (nSv/h)
1	宁德市医院东侨院区二期工程拟建地块中央	185
2	宁德市医院东侨院区二期工程地块靠东	178
3	宁德市医院东侨院区二期工程地块靠南	180
4	宁德市医院东侨院区二期工程地块靠西	174
5	宁德市医院东侨院区二期工程地块靠北	175
6	西侧碧城云庭住宅小区	170

监测结果表明：宁德市医院二期工程拟建地块及周围环境敏感点辐射环境质量现状本底在 170~185nSv/h 范围内（监测因子为 X- $\gamma$  辐射剂量率，辐射权重因子取 1，1nSv/h=1nGy/h 即 170~185nGy/h），根据《中国环境天然放射性水平》中的数据：福建省辐射环境本底范围值为：原野  $\gamma$  剂量率 25.9~334.3nGy/h；室内  $\gamma$  剂量率 70.9~351.7nGy/h，可见，该项目拟建区域及周边辐射背景水平未见异常。

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 医用直线加速器

放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变(靶区)内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。随着科学技术的发展，放疗经历了常规放疗、三维立体适形放疗、调强适形放疗的发展阶段。

#### 9.1.1.1 设备组成与工作原理

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270 度偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270 度后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器示意图及内部结构图见图 9.1-1 和图 9.1-2。

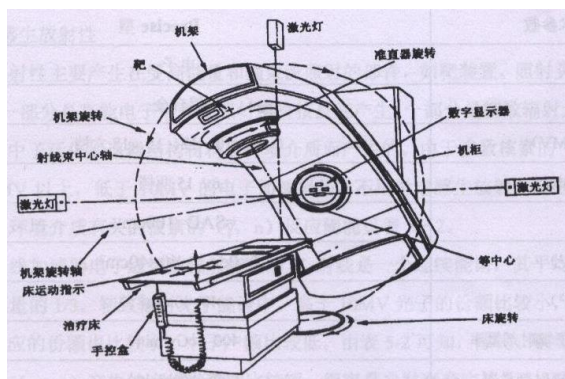


图 9.1-1 典型医用直线加速器示意图

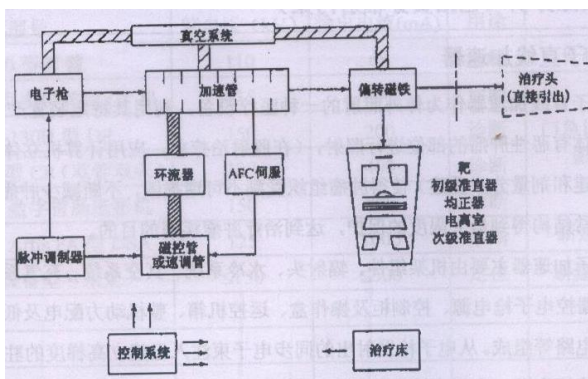


图 9.1-2 典型医用直线加速器结构图

本项目新增直线加速器 1 台，尚未采购，型号未定，根据医院的意见，明确加速器机房采购最大 X 线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 20\text{MeV}$ 的直线加速器。

项目拟购直线加速器主要技术参数详见表 9.1-1。

表 9.1-1 拟购直线加速器主要技术参数一览表

序号	参数项目	电子直线加速器治疗室
1	型号	招标后待定
2	数量	1 台
3	射线类型	X 射线, 电子线
4	射线类别	II 类射线装置
5	X 射线能量	6MV、10MV
6	电子线能量	6、8、10、12、15、18、20MeV
7	正常治疗距离	1000mm
8	治疗角度	0°~360°
9	最大剂量率 (1m 处)	常规模式: $6\text{Gy}\cdot\text{min}^{-1}$ 高剂量率模式 (FFF 模式): $24\text{Gy}\cdot\text{min}^{-1}$
10	等中心高度	1295mm
11	最大照射野 (SSD=100cm)	$40\times 40\text{cm}^2$
12	X 射线泄露率	$\leq 0.1\%$
13	每天治疗人数	20 人次, 平均每个病人 5 野, 每野: 1.5min
14	每周工作天数	5
15	每年工作周数	52

### 9.1.1.2 操作流程及产污环节

**操作流程:** 医生根据患者所患肿瘤的种类和部位确定治疗剂量和照射时间, 然后进行 X 射线或 MRI 模拟定位。接着病人在候诊室候诊, 然后到医用电子直线加速器机房进行治疗, 治疗完毕后离开治疗机房。本项目医用电子直线加速器就是用 X 射线对患者进行治疗, 同时也可利用电子束, 用于浅表皮肤肿瘤治疗, 如皮肤癌、乳腺癌胸壁型、头颈部肿瘤等用电子束治疗, 射线出射方向朝北。

**产污环节:** 医院使用的直线加速器能量为 10MV, 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.12001) 和《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ1262011), X 射线能量低于 10MV (含 10MV) 的加速器, 无需考虑中子辐射及中子俘获  $\gamma$  射线。因此, 在开机期间, X 射线成为加速器污染环境的主要因子, 其次为感生放射性、臭氧和氮氧化合物。

医用电子直线加速器工作基本流程及产污环节如下图 9.1-3 所示:

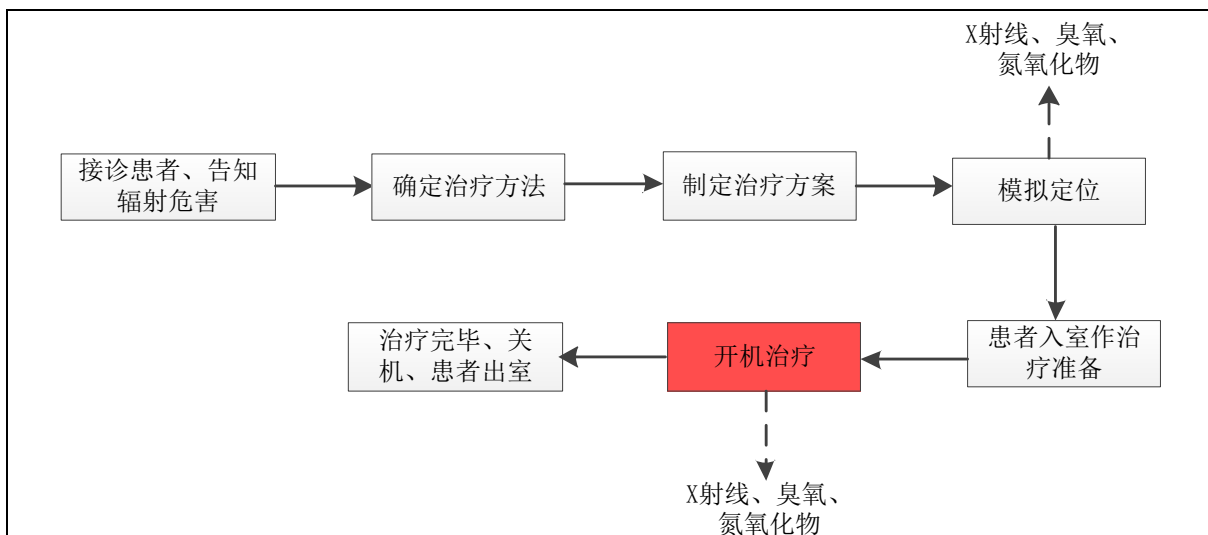


图 9.1-3 医用直线加速器工艺流程及产污位置示意图

## 9.1.2 后装机

### 9.1.2.1 工作原理

后装机属近距离放射治疗，为给肿瘤以足够的辐射剂量，采用不同途径，紧挨肿瘤植入一个小的放射源，即将密封放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体各种腔道周围的肿瘤，因所选取核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

### 9.1.2.2 设备组成

后装机使用的放射源是 Ir-192。依据患者诊断数据，由计算机制定治疗计划并实施对后装机的操作控制。根据“先插管后装源”的技术原理，由电脑选择 18 个输源管和施源器中最合适的一组，插入需要治疗的腔道并进行靶区定位，通过分度头的引导控制，将放射源送达治疗区域，按计划实施治疗。

### 9.1.2.3 治疗流程

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在病人需要治疗的部位正确地放置施源器，然后采用自动或手动控制，将贮源器内放射源输入施源器内实施治疗的技术。后装治疗属近距离放疗，主要用于腔内、组织间等放射治疗。治疗时依照临床要求，使  $\gamma$  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。后装机治疗一般工作流程见图 9.1-4：

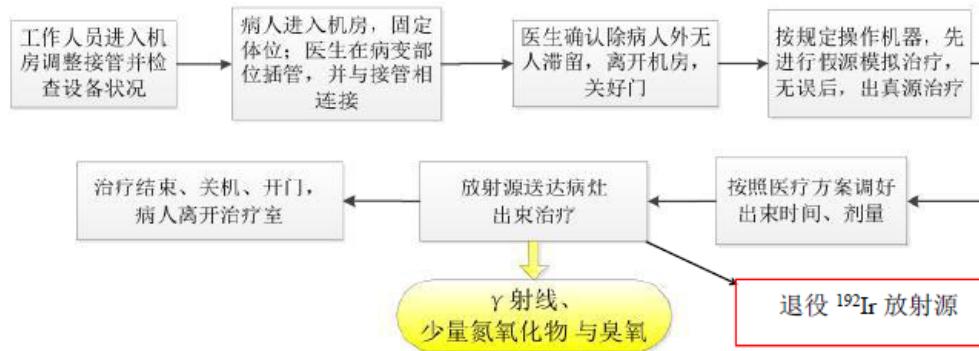


图 9.1-4 后装机治疗一般工作流程及产污环节图

### 9.1.3 核医学科

#### 9.1.3.1 碘-131 甲亢工作原理及工作流程

##### (1) 碘-131 甲亢工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取 I-131 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。I-131 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。在患者服用  $^{131}\text{I}$  后，90% 以上的 I-131 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 I-131 随代谢排出体外。I-131 衰变时主要发射  $\beta$ -粒子，且射程短，仅约 2~3mm，对周围正常组织一般无影响。因此，I-131 治疗可使部分甲状腺组织受到  $\beta$  射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

##### (2) 碘-131 甲亢工作流程

治疗流程：若患者需要进行口服 I-131（每天最多治疗 8 人次，每人 6mCi 的量）进行治疗，则病人将在专用甲亢给药室服药，待 I-131 治疗操作人员通过自动分装给药装置将病人所需剂量分装、给药完毕后，患者即可直接服用，此过程采用一次性塑料杯盛装药物；分装室与甲亢给药室之间通过一个 30cm×30cm 的墙孔连接，墙体厚度为 370mm 黏土实心砖，由于分装室与甲亢给药室通过墙孔相连，且分药仪为全自动分装给药机，因此治疗过程工作人员可通过墙体、铅体隔离，从而避免遭受放射性污染。甲亢病人通过患者专用通道离开工作场所，甲亢治疗流程图见 9.1-5：

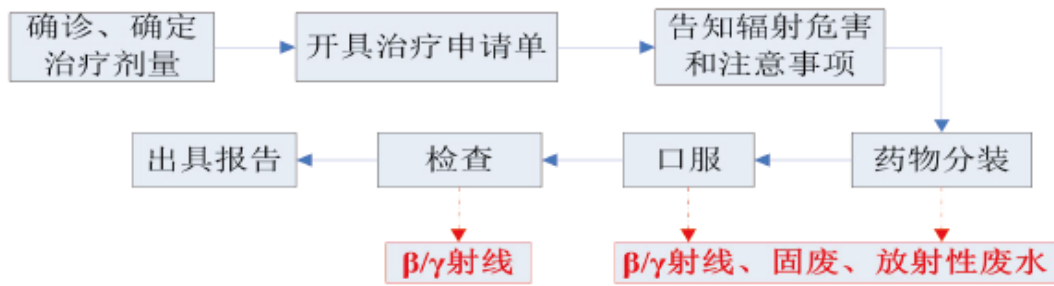


图 9.1-5 碘-131 甲亢一般工作流程及产污环节图

### 9.1.3.2 碘-131 甲癌工作原理及诊治流程

#### (1) 碘-131 甲癌工作原理

碘-131 是一种带有放射性的碘，摄入体内主要聚集在有甲状腺和其他摄取碘的组织里。由于分化型甲状腺癌细胞分化较好，因此具备部分摄取碘的能力，但通常比甲状腺组织弱很多，当正常甲状腺组织被去除后，分化好的甲状腺癌组织能够摄取一定量的 I-131，利用 I-131 衰变发出的 β 射线破坏肿瘤细胞，达到治疗的目的。因此，也被称为“体内放疗”。

#### (2) 碘-131 甲癌工作流程

治疗流程：若患者需要进行口服 I-131 进行治疗，则病人将在专用 I-131 给药室服药，待 I-131 治疗操作人员通过自动分装给药装置将病人所需剂量分装、给药完毕后（每人 125 mCi 的量），患者即可直接服用，此过程采用一次性塑料杯盛装药物；分装室与 I-131 给药室之间通过一个 30cm×30cm 的墙孔连接，墙体厚度为 370mm 黏土实心砖，由于分装室与 I-131 给药室通过墙孔相连，且分药仪为全自动分装给药机，因此治疗过程工作人员可通过墙体、铅体隔离，从而避免遭受放射性污染。甲癌患者直接进入 <sup>131</sup>I 病房隔离住院 3-7 天后，直到体内 <sup>131</sup>I 活度降低到 400MBq 以下，方可出院。甲癌治疗流程图见 9.1-6：

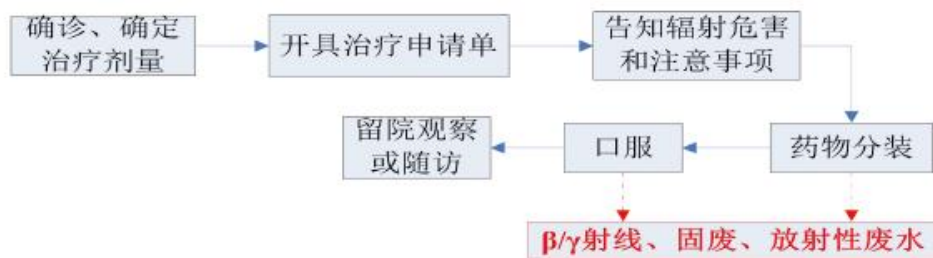


图 9.1-6 碘-131 甲癌工作流程及产污环节图

### 9.1.3.3 显像诊断

### (1) SPECT-CT 工作原理及工作流程

#### ①SPECT-CT 工作原理

SPECT-CT 即单光子发射断层显像。SPECT-CT 方法通常使用的放射性核素为锝 ( $^{99m}\text{Tc}$ )放射性药物,  $^{99m}\text{Tc}$  半衰期约 6.02h, 其衰变方式属同核异能跃迁, 单纯发射  $\gamma$  射线, 主要  $\gamma$  射线能量约为 140.5keV。

#### ②SPECT-CT 工作流程

本项目采取预约制度, 患者提前预约, 院方按需购药, 在分装室内自动分装仪分装后, 在注射室注射后, 根据患者情况的差异, SPECT-CT 注射后休息室候诊时间 0-3h 不等。注射后休息区则可以同时容纳 12 个注射后的患者, 而后逐个通过语音提示进入 SPECT-CT 扫描间进行扫描。检查完成后。患者在 SPECT-CT 留观室等待医护人员确认图像无误后, 患者通过专用通道离开核医学科区域。SPECT-CT 工作流程及产污位置见下图 9.1-7。

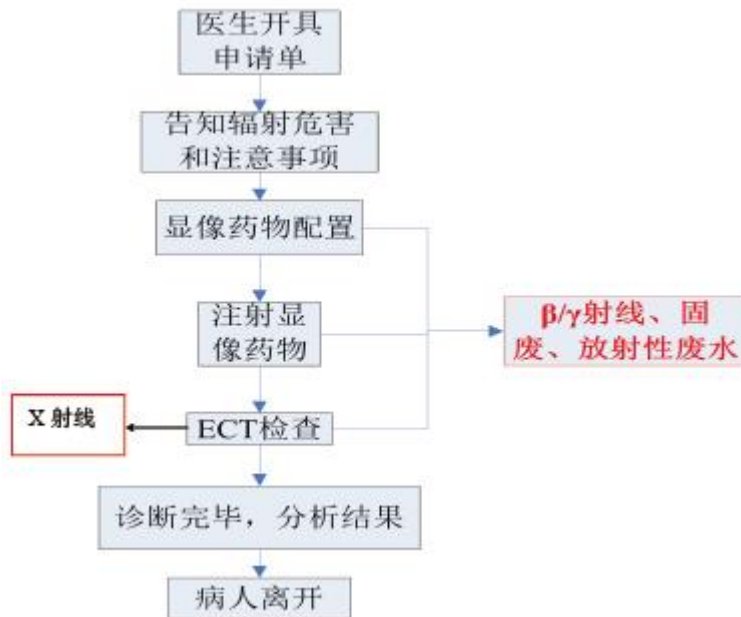


图 9.1-7 SPECT-CT 工程流程及产污环节图

### (2) PET-CT 工作原理及工作流程

#### ①PET-CT 工作原理

PET-CT 显像过程为：将发射正电子的放射性核素 (F-18) 标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物上, 将标有带正电子化合物的放射性核素注射到受检者体内。让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射核素发射出的正电子在体内移动大约 1mm 后与组织中的负电子结合发生湮灭辐射。产生两个能量相等(511

KeV) 方向相反的  $\gamma$  光子。由于两个光子在体内的路径不同, 到达两个探测器的时间也有一定差别, 如果在规定的时间内 (一般为 0~15 us), 探头系统探测到两个互成 180 度 (± 0.25 度) 的光子时。即为一个符合事件, 探测器便分别送出一个时间脉冲, 脉冲处理器将脉冲变为方波, 符合电路对其进行数据分类后, 送入工作站进行图像重建。便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。同时结合应用 CT 技术进行精确定位, 可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息, 并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床影像, 大大提高临床使用价值。氟-18 的原子核中有 9 个中子和 9 个质子, 原子核不稳定, 容易发生核反应, 具有较强的放射性。氟-18 可以在较短的时间内衰变为氧-18, 同时产生正电子和中微子, 而正电子会继续与周围的负电子作用湮灭, 产生一对光子, 以  $\gamma$  射线的形式放出能

### ②PET-CT 工作流程

本项目采取预约制度, 患者提前预约, 院方按需购药 (射性核素氟-18), 氟-18 经分装室内自动分装仪分装后, 在注射室注射后, 根据患者情况的差异, 注射后休息室候诊。而后逐个通过语音提示进入 PET-CT 扫描间进行扫描, 检查完成后。患者在留观室等待医护人员确认图像无误后, 患者通过专用通道离开核医学科区域。PET-CT 工作流程及产污位置图同 SPECT-CT, 详见图 9.1-7。

## 9.2 污染源描述

### 9.2.1 正常工况

#### 9.2.1.1 医用直线加速器

##### 1) 放射性污染

##### ①X 射线

由加速器的工作原理可知, 医用直线加速器用于 X 线治疗时, 电子枪产生的电子经过加速后, 高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能 X 射线, 1m 处最大输出量为每分钟 2400cGy, 其可能对工作人员和公众造成危害。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

##### ②电子线

加速器用电子束 ( $\leq 20\text{MeV}$ ) 治疗时, 最大束流强度为每分钟 1000cGy。电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线, 故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑, 但由于电子束的强度高, 若发生人员意外照射, 会造成伤害。



### ③感生放射性固体废物

本项目运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在使用一定年限（一般约4-5年）或退役时产生的加速器废靶、辅助过滤装置。

### ④废水

直线加速器运营时不产生医疗废水，会产生微量放射性废水，放射性废水浓度极低，主要为冷却水循环使用，不外排。

## 2) 非放射性污染

### ①废气

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

### ②固废

本项目固废主要为工作人员产生的少量生活垃圾。生活垃圾分类收集后，定期交由环卫部门处置。

## 9.2.1.2 后装机

### 1) $\gamma$ 射线

$^{192}\text{Ir}$  后装机主要环境影响来自于  $^{192}\text{Ir}$  放射源发射的  $\gamma$  射线。由于放射源为密封源，正常情况下源活性物质不会发生泄露，因此在正常情况下，主要的影响因子是  $^{192}\text{Ir}$  放射源衰变发射的射线。衰变产污中负电子被密封源包壳屏蔽，而发射的 X 射线能量低于  $\gamma$  射线，因此本项目主要影响因子是  $^{192}\text{Ir}$  放射源发射的  $\gamma$  射线对周围环境产生的外照射，

### 2) 固废

放射源使用到一定年限会产生退役的放射源，一般约半年更换一次，废源由放射源供应厂家负责调换、运输、处置，医院负责日常安全管理。医院应与放射源生产厂家签订放射源更换和退役放射源回收协议。

### 3) 废气

后装机机房内的空气受到  $\gamma$  射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。项目后装机房通风换气满足每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

### 9.2.1.3 核医学科

#### (1) I-131 治疗甲亢和甲状腺癌

I-131 发生  $\beta$  衰变时伴随发射 0.364MeV 的  $\gamma$  射线，物理半衰期 8 天。主要的辐射源项为  $\gamma$  射线、 $\beta$  表面污染、放射性废液、废水和固体废弃物、病人排泄物以及携带的 I-131 对他人的影响。

#### (2) 显像诊断

$^{99m}\text{Tc}$  的主要衰变方式是同质异能跃迁，同时发射  $\gamma$  射线。由于  $^{99}\text{Tc}$  的半衰期长达  $2.13 \times 10^5$  年，远远大于  $^{99}\text{Mo}$  和  $^{99m}\text{Tc}$  的半衰期，产生  $^{99}\text{Tc}$  的相对活度量极小，经估算，如 1Ci ( $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ )  $^{99m}\text{Tc}$  99% 衰变成  $^{99}\text{Tc}$ ， $^{99}\text{Tc}$  的活度仅为 120Bq，因此， $^{99}\text{Tc}$  的放射性可以忽略不计。

$^{99m}\text{Tc}$  为非挥发性物质，洗脱过程在密闭发生器中负压条件下进行，洗脱一次的时间仅需 5 分钟左右，无放射性气体污染，但是放射性药物的分装、取药可能存在洒出污染危险，为安全起见，洗脱操作通常都在通风柜内进行。

SPECT-CT 显像诊断主要辐射源项为  $^{99m}\text{Tc}$  衰变产生的  $\gamma$  射线和 CT 工作产生的 X 射线，操作放射性核素过程中对工作台面、地面等造成表面污染，以及产生放射性废液、废水和固体废弃物、病人排泄物。更换的废  $^{99m}\text{Tc}$  由供源厂家回收，不会进入环境。

$^{18}\text{F}$  的衰变方式为  $\beta^+$  (97.1%) 和 EC ( $2.9 \pm 2\%$ )，半衰期为 109.7min， $\beta^+$  衰变发射正电子的最大能量为 635keV，平均能量为 203keV，发生湮灭反应发射  $\gamma$  射线，能量为 0.511MeV。

PET-CT 以锞-68 作为校准源， $^{68}\text{Ge}$  衰变方式为 EC (100%)，半衰期为 280d，主要发射光子能量为 0.009~0.010MeV，衰变产物为  $^{68}\text{Ga}$  (半衰期为 68min)。

PET-CT 显像诊断主要辐射源项为  $^{18}\text{F}$  衰变产生的  $\gamma$  射线、 $^{68}\text{Ge}$  衰变产生的  $\gamma$  射线和 CT 工作产生的 X 射线，操作放射性核素过程中对台面、地面等造成表面污染，以及产生放射性废液、废水和固体废弃物、病人排泄物。旧的锞-68 校准源由供源厂家回收，不会进入环境。

## 9.2.2 事故工况

### 9.2.2.1 医用直线加速器

本项目辐射工作场所可能发生的辐射事故为：

①工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。

②安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室，造成额外的照射。

③工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，对工作人员造成辐射伤害。

④加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。

⑤加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

通过对可能发生的辐射事故分析，在事故工况下 X 射线及电子束是本项目主要污染因子。

从理论上讲，发生上述这种事故的几率极小，为防止事故的发生，在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平，使用过程中要经常定期检查和维护联锁系统及安全保障系统，仪器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能进行开机运行。

#### **9.2.2.2 后装机**

1) 因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

2) 设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维修人员产生很强的辐射照射。

3) 治疗机处于运行状态时，因故障，发生门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的治疗室机房，受到不必要的辐射照射。

4) 后装机换装放射源后产生的报废源，因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

#### **9.2.2.3 核医学科**

1) 操作人员违反操作规程或操作不慎打翻药物，产生了较多的放射性废物；

2) 操作台面或仪器设备受到放射性沾污；

3) 储源分装室内通风柜通风设备失效，导致放射性废气在储源分装室聚集，工作人员吸入后，造成内照射；

4) 放射性核素被盗、丢失等，并可能通过食物链转移或伤口造成人体内照射危害。

事故工况下的污染因子与正常工况下基本相同，主要为：表面污染、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线、X 射线、放射性废液、废水、废气、固体废弃物。

**表 10 辐射安全与防护**

**10.1 辐射安全防护设施**

**10.1.1 工作场所布局和分区**

**10.1.1.1 放疗科工作场所布局和分区**

(1) 布局

项目涉及的放疗中心（医用直线加速器、后装机）位于二期拟建住院楼地下一层西侧，楼上正上方为地面（消防登高场地）；直线加速器机房东侧为水冷机组房，南侧为控制室及电源间，西侧为地下一层汽车 1#坡道，北侧为工具间及立体停车位。后装治疗机房位于模拟定位机西南角，东侧为控制室及设备间，南侧为消防水池，西侧为土壤层，北侧为汽车 1#坡道下方。

医用电子直线加速器治疗室四周、正上方无敏感区域，治疗室面积 94.05m<sup>2</sup>，符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中规定新建治疗室不小于 45m<sup>2</sup> 的要求。后装机治疗室四周、正上方无敏感区域，治疗室面积 53.47m<sup>2</sup>，符合《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中规定治疗室内有效使用面积不小于 20m<sup>2</sup> 的要求。

(2) 分区

本环评对放疗科直线加速器机房及后装机机房控制区和监督区进行划分。

控制区：直线加速器机房、后装机机房；

监督区：与控制区相连的控制室、电源间和水冷机房为监督区。在监督区和控制区门口设置明显的放射性警告标识，在出入口处安装射线装置工作状态指示灯。控制区内只有工作人员可以进入，以避免不必要的照射；监督区内严格限制无关人员进入。

本项目直线加速器机房、后装机房与医院其他各单元间分隔明确，不相互穿插、干扰。机房设置了迷路和防护门，设备有用线束方向均为东侧、西侧及上方，有用线束不朝向防护门照射，辐射场所通过辐射工作场所屏蔽实体的有效屏蔽，不会对外环境人员造成影响。从满足安全诊疗和辐射安全与防护的角度来看，本项目辐射工作场所的平面布局和分区是合理的。放疗科分区情况详见表 10.1-1 及图 10.1-1。

表 10.1-1 放疗科分区情况一览表

项目	控制区	监督区
直线加速器	直线加速器机房	控制室、水冷机组房、电源间及通道
后装机	后装机机房	控制室、消防水池、病人通道

### 10.1.1.2 核医学科工作场所布局和分区

#### (1) 布局

核医学科位于二期拟建住院楼二层东南侧，主要分三个工作场所，包括 SPECT-CT、PET-CT 工作场所（显像诊断场所）、核素治疗工作场所。其中 SPECT-CT、PET-CT 工作场所位于核医学科东南部，核素治疗区域布置于核医学科中北部。SPECT-CT、PET-CT 工作场所使用  $^{99m}\text{Tc}$  和  $^{18}\text{F}$  核素，核素治疗区域使用核素  $^{131}\text{I}$ ，主要治疗甲癌及甲亢病人；SPECT-CT、PET-CT 工作场所东侧为大楼外绿化用地，南侧为大楼外院区道路，西侧为病案库房，北侧为 I-131 核素治疗区；核素治疗工作场所东侧为楼外空地，南侧为核医学科 SPECT-CT、PET-CT 工作场所，西侧为病案库房，北侧为楼外绿化带。

其中 SPECT-CT、PET-CT 工作场所包括注射室、分装室、SPECT-CT 候诊室、PET-CT 候诊室、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、留观室，控制室及医生办公室等区域；核素治疗工作场所包括储源室、分装控制室、分装室、服碘室、治疗评估室、甲亢留观室、甲癌病房、治疗抢救室、放射性废物暂存间等区域。

#### (2) 分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定，为了便于辐射防护管理和职业照射控制，控制正常工作条件下的正常照射，防止污染扩散，预防潜在照射，将辐射工作场所分为控制区和监督区。

**控制区：**SPECT-CT、PET-CT 工作场所的、分装室、注射室、注射后休息室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、运动负荷、抢救室、留观室及核素治疗工作场所的储源室、分装控制室、分装室、库房、治疗评估室、抢救室、服碘室、甲癌病房、甲亢留观室、废物存储间、会客室等区域划分为控制区。

**监督区：**与控制区域相邻的区域，包括前室、控制室、设备间、值班室、医护通道、护士站相邻、走廊及楼上、楼下等区域。

核医学科分区情况详见表 10.1-2 及图 10.1-2：

表 10.1-2 核医学科分区情况一览表

项目	控制区	监督区
SPECT-CT 工作场所、PET-CT 工作场所	分装室、注射室、注射后休息室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、运动负荷、抢救室、留观室	前室、等候大厅、问诊室、值班监控室、护士站、医生通道、阅片室、医生办公室、主任办公室、值班室、会议报告室、库房、控制室
核素治疗工作场所	储源室、分装控制室、分装室、库房、治疗评估室、抢救室、服碘室、甲癌病房、甲亢留观室、废物存储间、会客室	排风机房、前室、楼梯间、医生通道、宣教室

(3) 人流、物流通道

① 医护人员通道

各工作场所均设置了医护人员通道和卫生通过间，医护人员经卫生通过间直接进入分装质控室和注射室，避免出现交叉情况。

② 患者通道

各工作场所均设置了患者专用通道，患者经该通道进入诊疗区域接受注射或口服药物后，直接进入注射后候诊室或病房，接受检查或治疗后通过患者专用离开通道离开工作场所。诊疗流程连贯不与医护人员通道交叉。

③ 物流通道

PET-CT 和 SPECT-CT 工作场所设置了专用运源通道，放射性核素药物经核医学科中部污梯入口后，经医护人员通道进入分装室。放射性药品由供应商每天 8 点开诊前运至，从西北角入口直行到分装室，在入口处设锁，由质检人员核对放射性药物名称、活度等与供应商办理交接手续并存档，质检人员将药物通过药物通道送至注射室通风橱内暂存。

核素治疗工作场所未设置放射性药物专用通道，放射性核素药物经核医学科中部入口后，经医护工作人员通道进入分装质控室。药物在规定的时间内运送，避免与医务人员和患者出现交叉，每次运源后对药物通过的区域进行辐射监测，确保无药物溅洒和泄漏后，再开展放射性诊疗活动。

放疗科、核医学科人流走向图详见图 10.1-3、图 10.1-4。



图 10.1-1 放疗科工作场所分区图





图 10.1-2 核医学科工作场所分区图

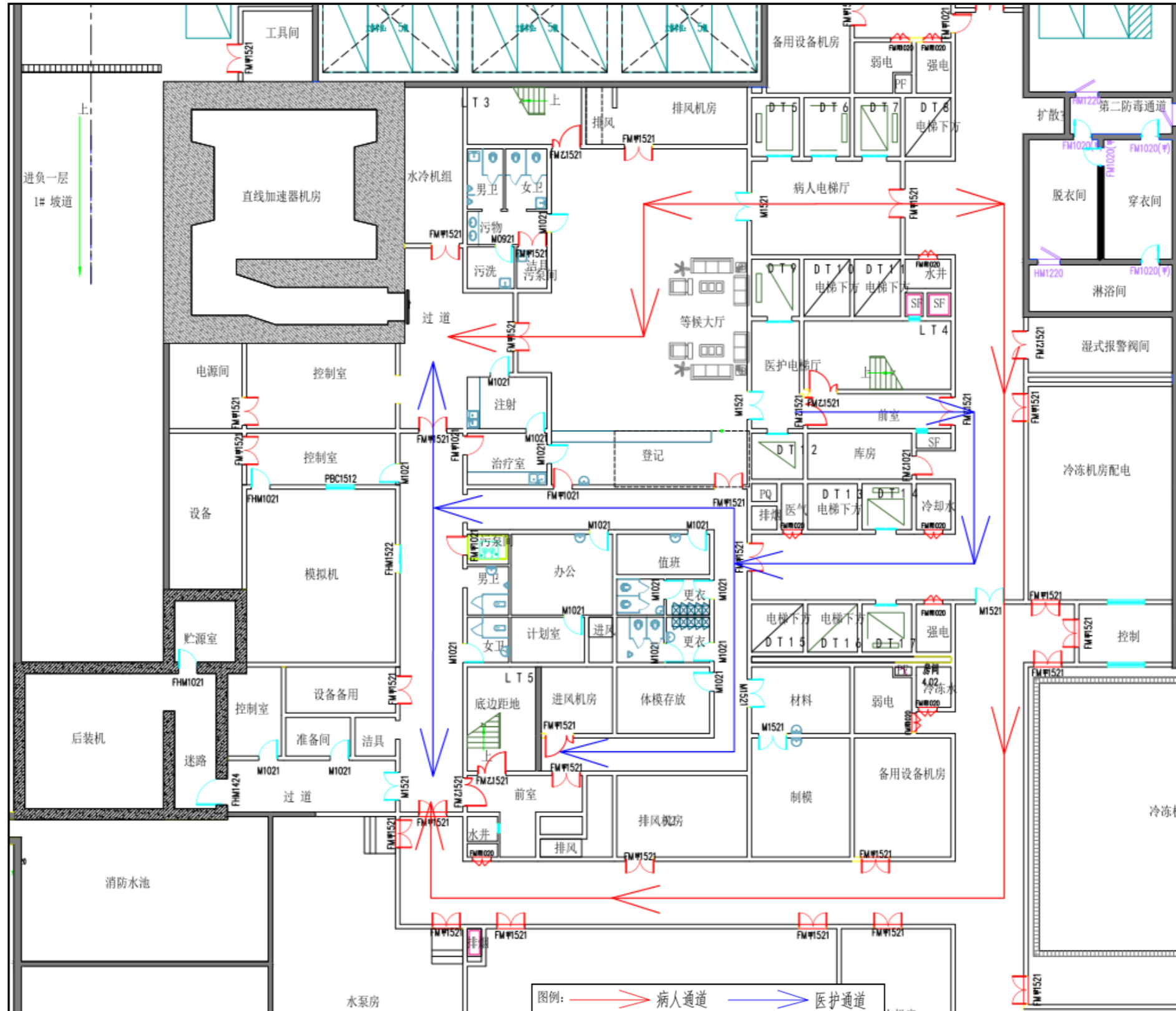


图 10.1-3 放疗科人流走向图

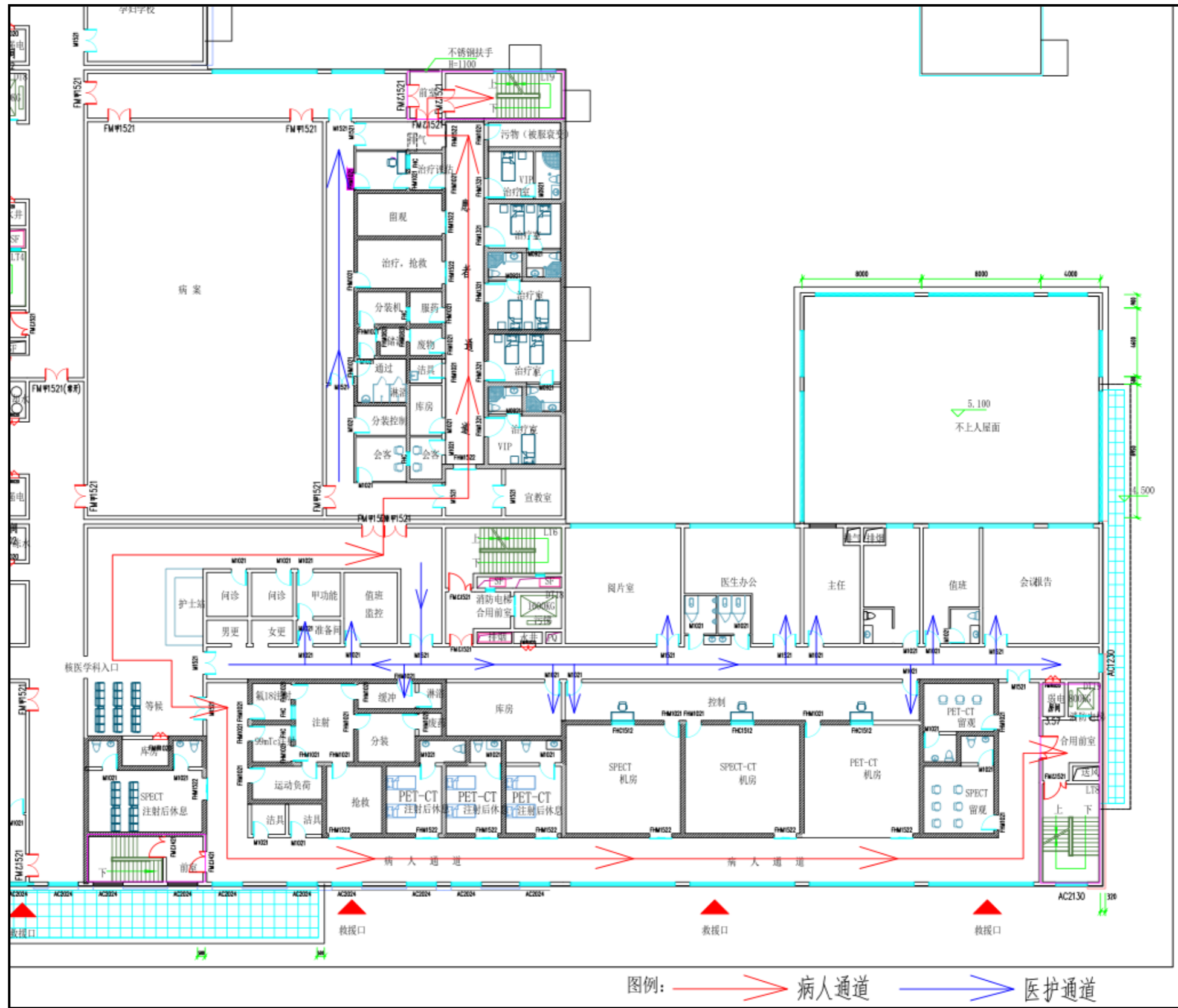


图 10.1-4 核医学科人流走向图

## 10.1.2 工作场所辐射安全与防护

### 10.1.2.1 放疗科辐射安全与防护

#### (1) 直线加速器机房结构及屏蔽情况

本项目直线加速器东西方向为主线束方向。治疗室（不含迷路）东西内径长 7.5m（主屏蔽墙之间的距离），南北内径长 8m，高 3.25m，使用面积 60m<sup>2</sup>。

治疗室（含迷路）东西内径 7.5m（主屏蔽墙之间的距离），南北长 11m，机房占地面积 166.6m<sup>2</sup>。机房排风口位于治疗室东北角，排风口距地 30cm，风量为 5000m<sup>3</sup>/h；机房内设置独立恒温湿空调，室内工作温度：21 摄氏度，湿度 50%，无冷凝水。

直线加速器机房的屏蔽防护设计详见表 10.1-3。机房平面图见图 10.1-5，机房剖面图见图 10.1-6。

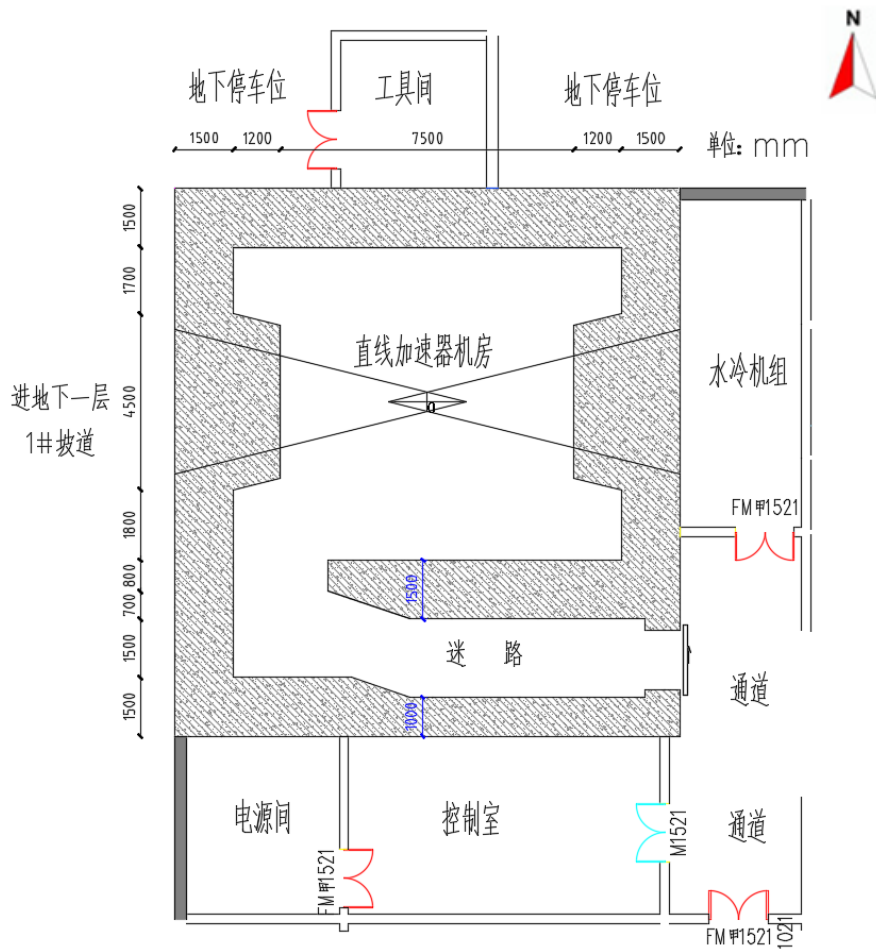


图 10.1-5 直线加速器机房平面布置图

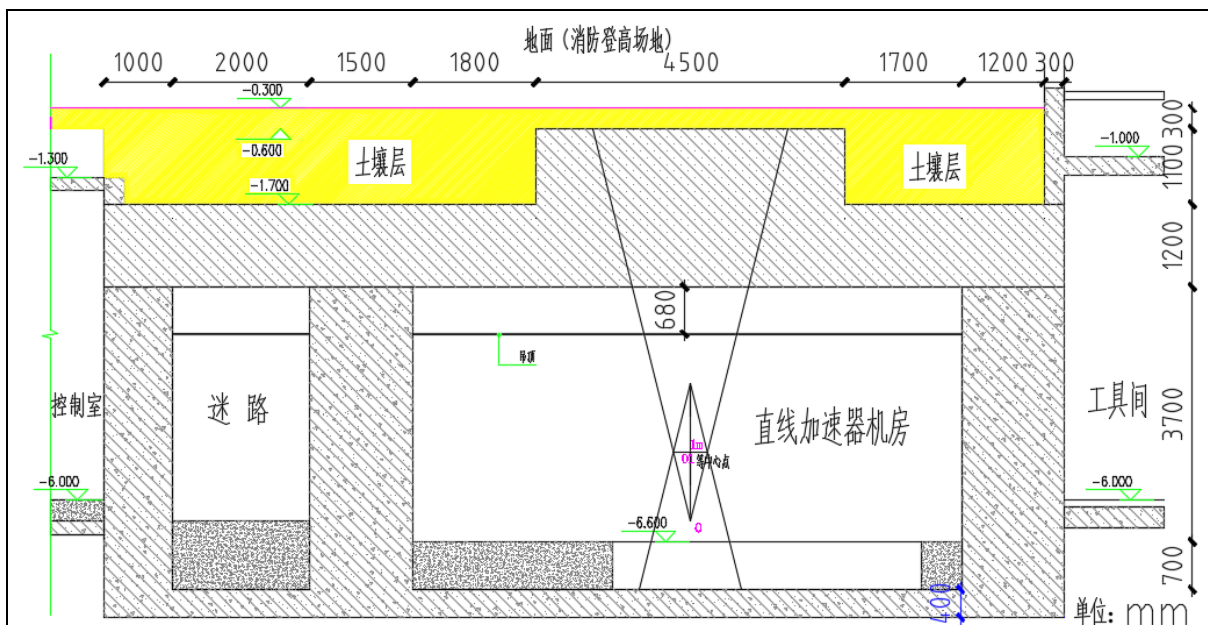


图 10.1-6 直线加速器机房剖面图

表 10.1-3 直线加速器机房的辐射防护屏蔽设计一览表

位置		屏蔽防护设计	机房尺寸
顶棚	主屏蔽墙	2300mm 重晶石混凝土+300mm 土壤层	治疗室（不含迷路） 东西内径长 7.5m（主屏蔽墙之间的距离）， 南北内径长 8m； 治疗室（含迷路）东 西内径 7.5m（主屏蔽 墙之间的距离），南北 长 11m
	次屏蔽墙	1200mm 重晶石混凝土+1400mm 土壤层	
东侧墙	主屏蔽墙	2700mm 混凝土	
	次屏蔽墙	1500mm 混凝土	
西侧墙	主屏蔽墙	2700mm 混凝土	
	次屏蔽墙	1500mm 混凝土	
南侧墙（迷路外墙）		1000mm 混凝土	
南侧墙（迷路内墙）		1500mm 混凝土	
北侧墙		1500mm 混凝土	
防护门		20mm 铅当量+90mm 厚含硼聚乙烯	

注：重晶石混凝土密度不低于  $3.0\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度不低于  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。

依据初始束（等中心线）至屏蔽墙的宽度估算原则，主射束屏蔽宽度应为最大射野对角线长度再在每边各增加 30cm。本项目医用直线加速器半张角为  $14^\circ$ ，经计算，项目加速器东、西主屏蔽墙宽度应大于 3.57m，顶棚主屏蔽宽度应大于 3.44m，本项目东、西主屏及顶棚主屏蔽墙宽度均为 4.5m，因此可满足机房主屏蔽墙及主防护顶宽度设计要求。

### (2) 后装机机房结构及屏蔽情况

本项目后装机南北方向为主线束方向。治疗室（不含迷路）东西内径长 7.4m，南

北内径长 7.225m，高 4.7m，使用面积 53.47m<sup>2</sup>。治疗室（含迷路）东西长 10.225m，南北长 7.225m，机房占地面积 73.88m<sup>2</sup>。机房排风口位于治疗室西北角，排风口距地 30cm，风量为 4500m<sup>3</sup>/h；机房内设置独立恒温湿空调，室内工作温度：21 摄氏度，湿度 50%，无冷凝水。

后装机机房的屏蔽防护设计详见表 10.1-4。后装机机房平面图见 10.1-7，机房剖面图见图 10.1-8。

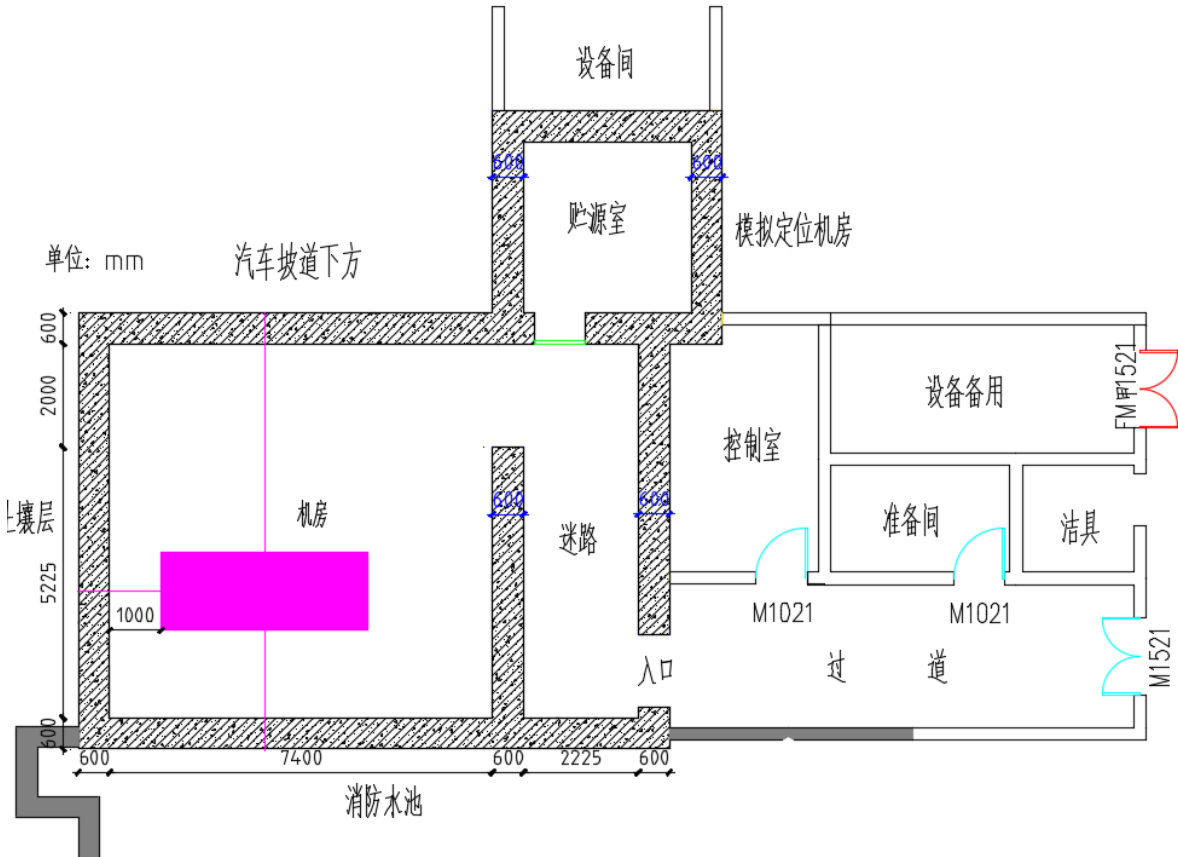


图 10.1-7 后装机房平面布置图

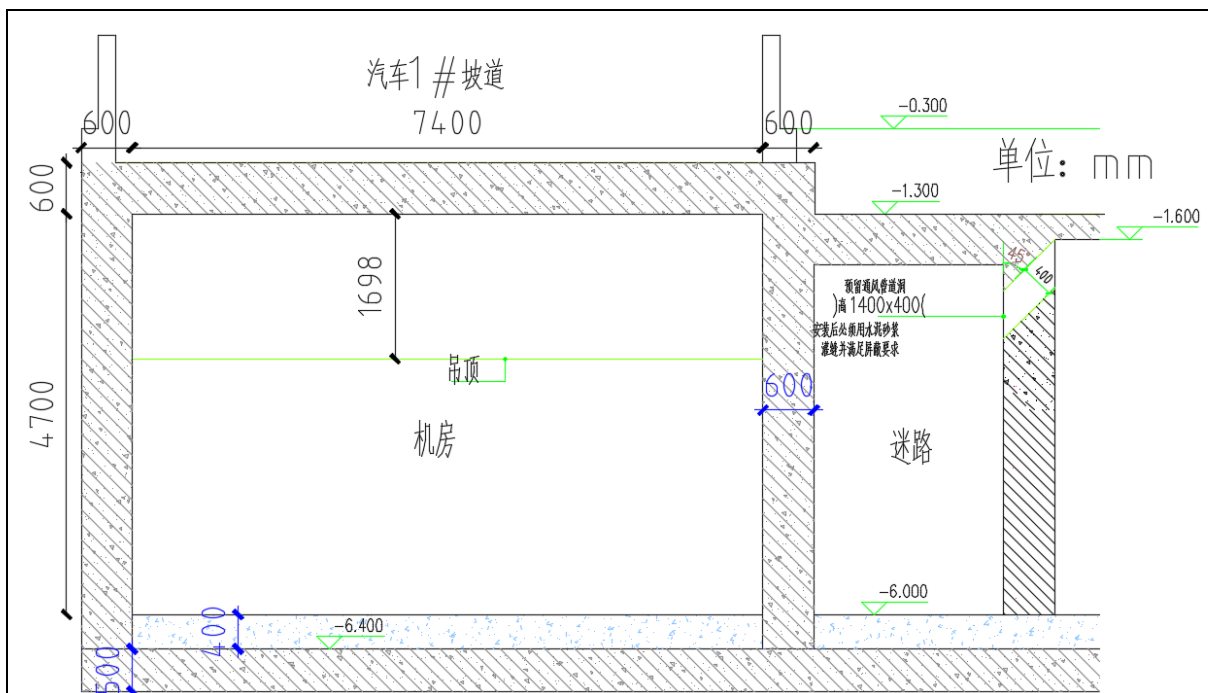


图 10.1-8 后装机机房剖面图

表 10.1-4 后装机房的辐射防护屏蔽设计一览表

位置		屏蔽防护设计	机房尺寸
顶棚屏蔽墙		600mm 混凝土	治疗室（不含迷路）东西内径长 7.4m，南北内径长 7.225m，高 4.7m；治疗室（含迷路）东西长 10.225m，南北长 7.225m
东侧屏蔽墙	迷路内墙	600mm 混凝土	
	迷路外墙	600mm 混凝土	
西侧屏蔽墙		600mm 混凝土	
南侧屏蔽墙		600mm 混凝土	
北侧屏蔽墙		600mm 混凝土	
防护门		8mmPb 当量	

### (3) 直线加速器辐射安全防护措施

#### ① 警示标志

直线加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯，直线加速器开机使用时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；在防护门外拟张贴电离辐射警示标识并附中文说明。

#### ② 联动装置

机房拟设置门-灯联动装置、门-机联动装置，只有在防护门关闭状态下且警示灯亮时才可进行照射，设备在出束过程中若防护门打开，设备自动停止出束。

#### ③ 紧急停机装置

机房内拟安装紧急停机开关，分别设置于治疗室墙面、迷路墙面及控制室内操作位，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束，安装高度约为 1.2m。

#### ④视频监控系统

机房内拟安装视频监控系统，便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路内病人及医护人员的情况。

#### ⑤对讲装置

机房控制室与治疗室之间拟安装语音对讲装置，便于控制室与机房内人员沟通。

#### ⑥报警装置

拟安装 1 台固定式剂量报警仪，探头安装于迷路口，显示器安装于控制室内，同时拟配备 2 台个人剂量报警仪。剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值，当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值时进行报警。

#### ⑦监测装置

医院拟配备 1 台辐射监测仪，用于医院辐射工作场所日常监测。辐射工作人员现均配备个人剂量计。

#### ⑧通风系统

机房管道设计机房内设置了排风和新风装置，机房内送风口设置在机房东侧，排风口设置在机房东北角，排风风管管道尺寸为 630mm×320mm，排风口距地面 300mm，排风引至楼层集中排风井，风量为 5000m<sup>3</sup>/h；送风系统管道尺寸为 400mm×250mm，送风口位于吊顶内进风量可达 2000m<sup>3</sup>/h。机房内的管道包括送风排风管道、空调管道等，所有管道均拟采用“U”型管道进入治疗室，并在施工时进行预留。直线加速器机房通风管道穿墙布置见图 10.1-9。加速器机房通风系统管道布置见图 10.1-11。



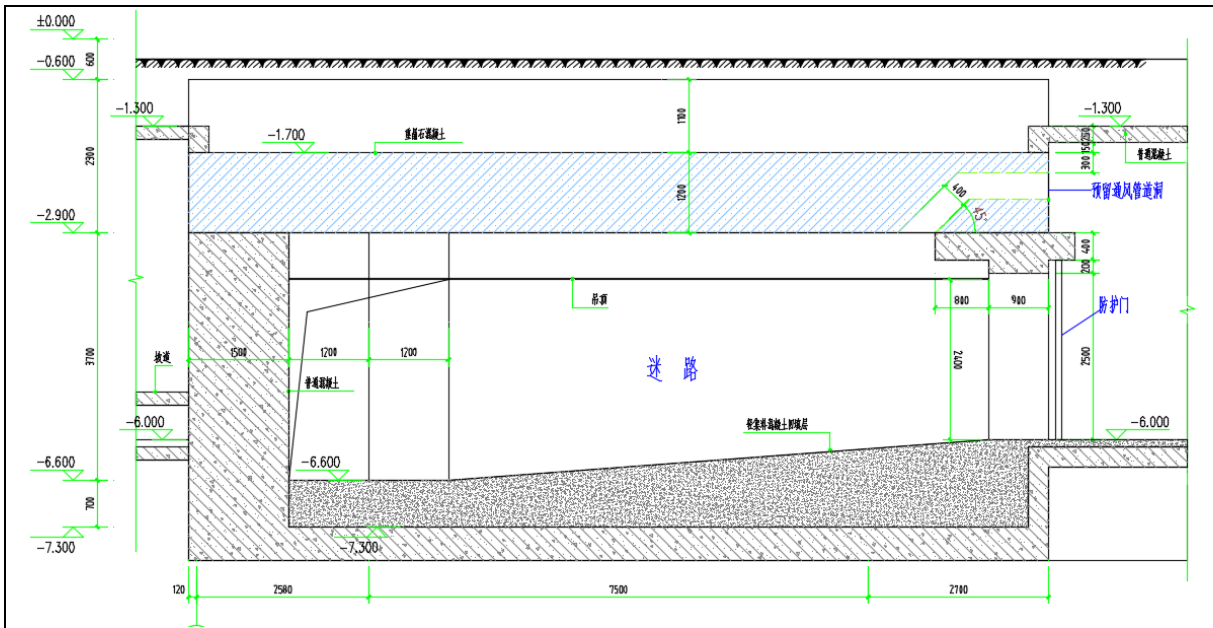


图 10.1-9 直线加速器机房通风管道穿墙图

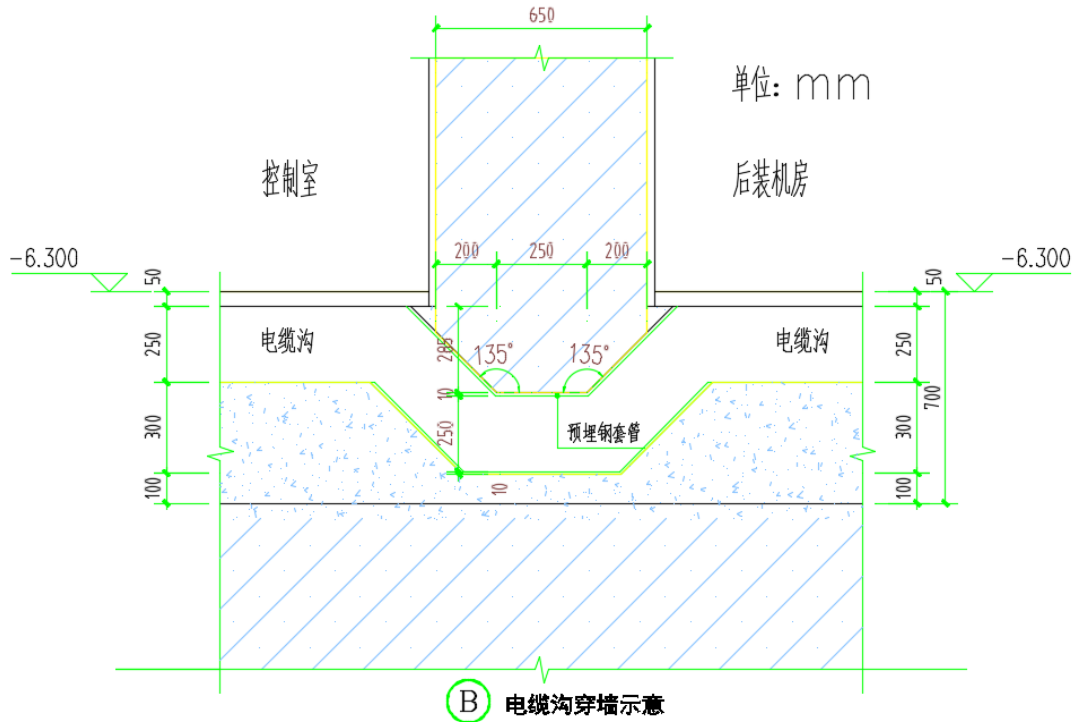
⑨人员防护措施

控制室内操作人员采取隔室操作方式，辐射工作人员及机房周边的其他人员通过控制室与各机房之间的墙体、铅门等屏蔽射线。同时为辐射工作人员配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙等辐射防护用品各 1 套。

(4) 后装机辐射安全防护措施

①治疗室与准备室、控制室分开设置。治疗室有效使用面积为 53.47m<sup>2</sup>，满足不小于 20m<sup>2</sup> 的要求，将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的辐射警告标志，非相关人员不得进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，并定期对这些区域进行监督和评价。

②治疗室拟设置机械通风装置，机房管道设计机房内设置了排风和新风装置，机房内送风口设置在机房东南角，排风口设置在机房西北角，排风管管道尺寸为 500mm×320mm，排风口距地面 300mm，排风引至楼层集中排风井，风量为 4500m<sup>3</sup>/h。在迷路西侧增加送风系统，管道尺寸为 400mm×200mm，进风量可达 2000m<sup>3</sup>/h。电缆沟穿墙布置图详见图 10.1-10，后装机机房通风系统管道布置见图 10.1-11。



10.1-10 后装机机房电缆沟穿墙布置图

③治疗室入口采用迷路形式，安装防护门设置门-机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下如开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方设置工作状态显示。治疗室内置应急开关，按下急停开关能使放射源自动返回贮源器；并设置放射源监测器。

④治疗室防护门设置手动开门装置，并设置声、光报警装置。

⑤在治疗室和控制室之间设置监视与对讲设施。

⑥设备控制台的设置能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。

⑦配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

⑧治疗室墙壁及防护门进行有效屏蔽，屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不超过  $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

⑨在治疗室迷道出、入口设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能，显示单元设置在控制室内或机房门附近。

⑩放射源安全管理：后装机使用的铯-137 为 III 类密封源，存在密封源失控的潜在危险。宁德市医院应建立放射源台帐，强化了安全保卫措施，防止放射源丢失。设备定期更换的铯-137 放射源拟由生产厂家委托有放射性物质运输资质的单位负责将铯

-192 运至宁德市医院，并委派安装调试人员前往医院负责安装调试，废源也将由生产厂家负责回收。

**(5) 辐射防护措施符合性分析**

**① 直线加速器**

本项目直线加速器机房辐射防护措施与《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 中要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10.1-5。

**表 10.1-5 直线加速器机房辐射防护措施符合性分析**

标准防护要求	本项目设计方案	符合性
治疗室选址、场所布局和防护方案设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。	本项目直线加速器机房位于二期拟建住院楼地下一层，直线加速器主射线方向避开了控制室方向，机房由专业设计单位进行了设计。	符合
有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙体按次级辐射屏蔽要求设计。辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。	本项目机房有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙体按次级辐射屏蔽要求设计。辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。	符合
在加速器迷宫门外、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率宜不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。	理论估算结果表明，医用直线加速器运行后，机房周边墙外 30cm 处的剂量率，低于标准 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求。	符合
穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	加速器机房在控制室侧墙体设有空调水管、风管，位置均避开了控制室操作台，出口处无人员长期停留。管道采用下穿方式穿越迷路侧屏蔽墙体，不影响其屏蔽防护效果。管道沟剖面图见图 10.1-10。	符合
治疗室与控制室之间应安装监视和对讲设备。	治疗室和控制室之间安装监视和对讲设备。	符合
治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不得小于 45m <sup>2</sup> 。	本项目直线加速器机房治疗室面积为 60m <sup>2</sup> 。	符合
治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。	治疗室入口处设置防护门和迷路，防护门与加速器设置安全联锁装置。	符合
相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的指示灯及辐射标志。	机房防护门外将设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	排风机排风量为 5000m <sup>3</sup> /h，通风换气次数大于 4 次/h。	符合

**② 后装机**

本项目后装机房辐射防护措施与《后装  $\gamma$  源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ 121-2017) 中要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10.1-6。

**表 10.1-6 后装机房辐射防护措施符合性分析**

标准防护要求	本项目设计方案	符合性
治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20m <sup>2</sup> ，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。	机房由专业设计单位进行了设计，治疗室与准备室和控制室分开设置，治疗室有效使用面积为 53.47m <sup>2</sup>	符合
治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次。	治疗室设置机械通风装置，排风机排风量为 4500m <sup>3</sup> /h，本项目后装机房通风换气次数大于 4 次/h。	符合
治疗室入口应采用迷路形式，安装防护门并设置门-机联锁，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。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。	治疗室采用迷路设计，并设置门机联锁，在治疗室门上设置声、光报警；治疗室内设置应急开关，按下急停开关应能使放射源自动返回贮源器；并设置放射源监测器	符合
治疗室防护门应设置手动开门装置。	治疗室防护门设置手动开门装置。	符合
在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。	控制室与治疗室之间设置监视与对讲设施，未设置观察窗	符合
设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。	设置控制台与通向治疗室	符合
应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。	配备便携式测量设备，并具有报警功能。	符合
治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5uSv·h <sup>-1</sup> 。	由预测结果可知，在医院预测的工作负荷情况且在正常工作状态下，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5uSv·h <sup>-1</sup> ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。	符合
在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。	治疗室迷道出、入口处设置具有报警功能的固定式辐射剂量监测仪，显示单元设置在控制室内	符合
治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。	治疗室内配置储源容器、长柄镊子	符合
治疗室内合适的地方应张贴应急指示。	治疗室内张贴应急指示	符合

### 10.1.2.2 核医学科辐射安全与防护

#### (1) 核医学科结构及屏蔽情况

核医学科位于二期拟建住院楼二层东南侧，主要分三个工作场所，包括 SPECT-CT、PET-CT 工作场所、核素治疗工作场所：其中 SPECT-CT、PET-CT 工作场所包括注射室、分装室、SPECT-CT 候诊室、PET-CT 候诊室、SPECT-CT 机房、PET-CT

机房、留观室，控制室及医生办公室等区域；核素治疗工作场所包括分装控制室、服碘室、甲亢留观室、甲癌病房、治疗抢救室、放射性废物暂存间等区域。

核医学科防护屏蔽情况详见表 10.1-7、表 10.1-8：

**表 10.1-7 SPECT-CT、PET-CT 工作场所防护屏蔽措施一览表**

场所名称	屏蔽体	采取屏蔽防护设计
抢救室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb
分装室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb
	通风柜	50mmPb
<b>PET-CT 诊断工作区</b>		
PET-CT 机房	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb
	观察窗	8mmPb
注射室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb
	注射窗口	40mmPb 铅玻璃
PET-CT 注射后候 诊室（3 间）	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb
PET-CT 留观室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb
<b>SPECT-CT 诊断工作区</b>		
SPECT-CT 机房	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	3mmPb
	观察窗	8mmPb 铅玻璃
注射室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	3mmPb
	注射窗口	8mmPb 铅玻璃
SPECT-CT 注射后 候诊室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	3mmPb

SPECT-CT 留观室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	3mmPb
运动负荷室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	3mmPb

**表 10.1-8 核素治疗工作场所防护屏蔽措施一览表**

场所名称	屏蔽体	采取屏蔽防护设计
服药室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	4mmPb
	服碘窗口	10mmPb
分装室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	14mmPb
储源室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb
废物间	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	6mmPb
抢救室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	西侧防护门	6mmPb
	东侧防护门	14mmPb
被服衰变间	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	6mmPb
治疗评估室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	西侧防护门	6mmPb
	隔墙防护门	9mmPb
	东侧防护门	2mmPb
留观室	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	6mmPb
患者走廊	四侧墙体	37cm 黏土实心砖
	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	进出防护门	14mmPb
甲癌病房	四侧墙体	37cm 实心砖+2cm 硫酸钡涂料

	顶棚、地坪	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb

**(2) 核医学辐射安全防护措施**

①核医学科工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日最大等效操作量计算方法,可以计算得出放射性核素的日等效最大操作量。

**表 10.1-9 放射性核素毒性组别修正因子**

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

**表 10.1-10 操作方式与放射源状态修正因子**

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体, 溶液 和悬浮液	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

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}}$$

**表 10.1-11 非密封放射性核素使用情况**

核素名称	物理、化学性状	实际操作量	操作方式	贮存方式与地点
<sup>131</sup> I	液态 碘化钠	甲癌每人每次平均用量 125mCi, 年治疗 300 人次, 每周开展 2 次, 一天最多治疗 8 人次	电脑分装 稀释、口服 (简单)	病人付费后订购, 药到即用, 最长暂存 15 小时, 临时贮存在核医学科的储源室
		甲亢每人每次用量 6mCi, 年治疗 500 人次, 每周开展 2 次, 一天最多治疗 8 人次	电脑分装 稀释、口服 (简单)	
<sup>18</sup> F	液态 <sup>18</sup> F-FDG	每人每次用量 6mCi, 年诊断 3000 人次, 一天最多 15 人次	注射 (很简单)	
<sup>99m</sup> Tc	液态 高锝酸钠	每人每次用量 15mCi, 年诊断 6000 人次, 每周开展五次, 一天最多 30 人次	分装、注射 (很简单)	贮存在核医学科的储源室

**表 10.1-12 非密封放射性核素日等效操作量核算**

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组别	核素毒性组别修正因子	操作方式	操作状态	操作方式及状态修正因子	日最大等效操作量 (Bq)
<sup>131</sup> I	1.78×10 <sup>9</sup>	中毒	0.1	简单	液态	1	1.78×10 <sup>8</sup> (甲亢)
	3.7×10 <sup>10</sup>	中毒	0.1	简单	液态	1	3.7×10 <sup>9</sup> (甲癌)
<sup>18</sup> F	3.33×10 <sup>9</sup>	低毒	0.01	很简单	液态	10	3.33×10 <sup>6</sup>
<sup>99m</sup> Tc	1.665×10 <sup>10</sup>	低毒	0.01	很简单	液态	10	1.665×10 <sup>7</sup>
合计							3.90×10 <sup>9</sup>

注：医院直接购买 <sup>99m</sup>Tc，不设钼铯发生器。

所有非密封放射性同位素操作集中在核医学科，可视为同一工作场所，日最大等效操作量为 3.90×10<sup>9</sup>Bq，属于乙级非密封源工作场所。

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中的相关要求，为了便于操作和管理，针对核医学科实践的具体情况，依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，又把工作场所分为 I、II、III 等三类，具体分类见表 10.1-13。

**表 10.1-13 核医学科工作场所具体分类**

工作场所	实际日操作量 (Bq)	核素的毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	场所具体分类
<sup>131</sup> I (甲亢)	1.78×10 <sup>9</sup>	100	1	178000	I
<sup>131</sup> I (甲癌)	3.7×10 <sup>10</sup>	100	1	3700000	I
<sup>18</sup> F	3.33×10 <sup>9</sup>	1	10	333	II
<sup>99m</sup> Tc	1.665×10 <sup>10</sup>	1	10	1665	II

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）对临床核医学工作场所具体分类办法，核医学科工作场所 PET-CT、SPECT-CT 机房属于 II 类核医学工作场所，核素治疗区域属于 I 类核医学工作场所，此类工作场所表面及装备结构安全防护见表 10.1-14。

**表 10.1-14 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求**

场所名称	场所分类	地面	表面	通风柜	室内通风	管道	清洗及去污设备
核素治疗区域	I 类	地面与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求	需要
PET-CT、SPECT-CT 工作场所	II 类	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要

医院核医学科地面拟采用易清洗材料的 PVC 地胶，地面与墙面过度高度地面



12-15cm，缝隙采用热熔焊接，地板与墙壁作无缝隙处理。放射性污水管道均位于地面下降板内，汇集至衰变池，水流管道位于地下并拟作标记。

②在分装质控室、储源室、注射台、服药间、注射后候诊处、各扫描室机房、留观室、污物间、病人专用卫生间和核医学科出入口等工作场所均设置电离辐射警告标志；注射分装室内铅药品罐、铅废物桶、通风柜表面设置电离辐射标志。

③SPECT-CT 机房、PET-CT 机房设置观察窗和对讲装置，受检者出入口防护门上方设置工作指示灯；

④各质控分装室设置通风柜。通风柜工作中有足够的风速（不小于 1m/s），排气口高于所在建筑楼屋脊，并设有活性炭等专用过滤装置。

⑤储源室、污物间内设置视频监控系统，并设置门锁，实行双人双锁管理；

⑥注射区和服药间均配置移动铅防护屏风、铅注射套、铅注射盒、移动防护注射车、铅废物桶等防护用具。另外，为防止表面污染以及放射性气溶胶由呼吸道进入人体，医院拟为相关人员配备铅防护服、铅防护眼镜、铅围脖、铅橡胶手套、铅橡胶帽子等个人防护用品，拟配置的个人防护用品数量应能够满足相关人员的放射防护需求。

⑦在核医学科患者通道和患者离开通道内的多处防护门设置门禁，防止给药后患者进入非放射工作区，以及防止无关人员进入放射性工作区。

⑧拟配备热释光个人剂量片（按工作人员配备）、1 台  $\beta$  表面污染监测仪和 1 台 x- $\gamma$  剂量监测仪。

⑨核医学科设置专用卫生间，给药后的病人使用具有防护标志的专用卫生间，专用卫生间下水道通往衰变池；

⑩PET-CT 和 SPECT-CT 工作场所共用放射性衰变池 1 座，由 3 个并联的衰变池组成，容量均为 5m<sup>3</sup>；核素治疗区域工作场所设计了放射性衰变池 1 座，由 3 个并联衰变池组成，容量均为 120m<sup>3</sup>。

⑪在通风橱，若有药品不慎滴漏，马上进行擦拭、清洗，进行表面污染测量，直至达到安全水平；

⑫医院严格建立完善的放射源管理台账，做到交接账目清楚、账物相符；

⑬医院应做好清洁用品的管理工作，清洁用品分区使用，防止污染；

⑭放射性药品运输由有资质的放射性药品运输单位负责。本项目外购放射性药品

的运输应满足国家标准《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)的要求,确保运输安全。

⑮各放射性场所应设置通风设备。项目应由有资质的单位设计施工,设计施工应符合放射卫生防护法规和标准要求,保障周围环境安全。

⑯根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定,接受<sup>131</sup>I治疗的患者,其体内放射性活度降至低于400MBq(约11mCi)前不得出院。医院设置5间甲癌病房(共8个床位),其中普通病房3间(共6个床位),VIP病房2间(共2个床位),住院时间为5~7d,医院预计年治疗患者300人,床位可满足需要。

综上所述,核医学科严格按照相关规范设计机房防护、衰变池容量、通往衰变池的排水管道、核医学科排气系统等,同时严格监理施工,保证施工按照各项设计和要求完成。

### (3) 核医学科辐射防护措施符合性分析

本项目核医学科辐射防护措施合理性分析采用《临床核医学科放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)进行分析,符合防护措施符合性分析情况见表10.1-15。

表 10.1-15 核医学科辐射防护措施符合性分析

标准防护要求	本项目设计方案	符合性
合成和操作放射性药物所用的通风柜,工作中应有足够风速(一般不小于1m/s),排风口应高于本建筑屋脊,并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置,排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。	在通风柜中进行分装、稀释放射性药物,操作时间短,放射性废气经排风系统在二期住院楼楼顶排放。	符合
凡I类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池,以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放,废源液和高污染的放射性废液应专门收集存档。	医院拟在变电站东侧设置衰变池,用于收集处理核医学科区域产生的放射性废水,PET-CT和SPECT-CT工作场所共用放射性衰变池1座,由3个独立的衰变池组成,容量均为5m <sup>3</sup> ;核素治疗区域工作场所设计了放射性衰变池1座,由3个独立的衰变池组成,容量均为120m <sup>3</sup> 。放射性废水经衰变池处理后,依托医院自有污水处理站处理后接入城市污水管网。	符合
临床核医学科工作场所应备有收集放射性废物的容器,容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集,并给予适当屏蔽。固体废物如无用的针头、注射器等应贮存于不泄露、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。放射性废物应及时按GBZ133进行处理。	本项目校准使用的放射源 <sup>68</sup> Ge,当活度达不到校准要求时,由厂家更换后回收,其他放射性固废,暂存在放射废物间内放射性废物桶,储存超过10个半衰期后,经有资质的单位检测达到排放水平,由环保主管部门批准后,方可作为医疗废物处理。	符合
临床核医学诊断机治疗用工作场所(包括	由工作场所分区分析可知,本项目布局基	符合

通道)应注意合理安排和布局。其布局应有助于实施工作程序,如一端为放射性物质贮存室,依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等,并且避免无关人员通过。	本合理。	
临床核医学诊断用给药室与检查室分开,如必须在检查室给药,应具备相应的放射防护设备。	本项目给药室和检查室为单独用房。	符合
临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室,宜有受检者专用厕所。	本项目核医学科设有患者专用卫生间。	符合

### 10.1.3 其他辐射安全防护设施

- (1) 成立放射卫生防护管理委员会,并发布《宁德市医院辐射事故/事件应急预案》。
- (2) 放疗科、核医学科操作人员均配置个人剂量报警仪,操作人员进入控制区前需确保佩戴个人剂量报警仪。核医学科控制区内设 x-γ 辐射剂量巡测仪、β 表面污染监测。
- (3) 每个科室均制定了严格的安全管理制度,拟制度上墙并认真贯彻执行,做好防盗、防水、防火、防丢失等工作,院区有 24 小时的保安巡逻;
- (4) 监控:为防止核医学科室中核素的丢失、被盗和被抢,核医学科分装室和废源间设置有门禁和监控系统;
- (5) 消防安全:直线加速器机房、SPECT-CT 机房、PET-CT 机房均设备有消防设施,建筑物耐火等级按 2 级设计;
- (6) 防恐怖分子破坏或袭击:院区拟建设监视系统和报警系统,加强制度管理,使不法分子或恐怖分子的破坏或袭击不能得逞;
- (7) 辐射屏蔽措施:本项目碘-131 核素集中设置于专用全自动分装仪内,自动分装仪外设置有外屏蔽,工作人员在隔室进行操作,几乎不直接接触放射性药物。
- (8) 核医学科衰变池分别用于收集显像诊断区域以及核素治疗区域的放射性废水,衰变池经过防渗防漏处理,出水口设置取样点进行监测,达标后方可进入院区污水管网。

### 10.1.4 人员的辐射安全与防护

- (1) 时间防护
 

无论医务人员和公众都要尽可能的减少与辐射源的接触时间,如对辐射工作人员限定工作时间,轮岗工作,降低在辐射场所的停留时间,减少不必要的辐射照射。
- (2) 配备防护用品

医院为从事辐射工作人员及患者配备个人防护用品，如铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙、铅眼镜、剂量报警仪等。

## 10.2 “三废”的治理

### 10.2.1 直线加速器加速器

#### 1、放射性废气

本项目医用直线加速器运行过程中会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，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。本项目加速器机房内设有送排风系统，排风口距地板高度为 30cm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置。送风管和排风管道均采用迷宫式预埋套管穿过屏蔽墙，未破坏加速器机房的实体屏蔽。排风机排风量为 5000m<sup>3</sup>/h，送风机送风量为 2000m<sup>3</sup>/h，通风换气次数能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。医院在工作中要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。

#### 2、放射性固废

本项目医用直线加速器靶、辅助过滤器等部件，可能带有长寿命的感生放射性核素，退役时，这些部件应作为放射性固废处置，交有资质单位处理。

#### 3、放射性废水

本项目直线加速器不产生医疗废水，只会产生微量放射性废水和少量生活污水，放射性废水浓度极低，主要为冷却水循环使用，不外排；生活污水依托医院污水处理设施处置。

### 10.2.2 后装机

后装机机房内的空气受到  $\gamma$  射线照射会产生一定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。本项目后装机机房内设有送排风系统，排风机排风量为 4500m<sup>3</sup>/h，送风机送风量为 2000m<sup>3</sup>/h，机房内通风换气次数能满足《后装  $\gamma$  源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017) 中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。医院在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前

提下后装机机房臭氧和氮氧化物等有害气体不会对人员和设备产生危害。

放射源使用到一定年限会产生退役的放射源，一般约半年更换一次，废源由放射源供应厂家负责调换、运输、处置，医院负责日常安全管理。

### 10.2.3 核医学科

#### 1、放射性废气

开放型放射性液态  $^{131}\text{I}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{18}\text{F}$  等在分装过程中，自然挥发，松散的表面放射性污染物再悬浮转移至空气中可转变为放射性气体和气溶胶。为了防止工作人员内照射，该核医学科设置 2 间分装室（显像诊断工作场所一个，核素治疗工作场所 1 个），分装室内均设置分装柜，具有独立排风系统，可保证药物分装过程中的负压，且风速将达到 1m/s 以上，分装柜安装到位后，管道连接至该预留管道，排风口位于所在大楼的楼顶，设有活性炭过滤器，高出屋顶排放。

核医学科设置独立排风系统，显像诊断工作场所设 2 套排风系统，其中注射室、分装室、候诊室、扫描机房、留观室等含放射性物质废气单独设置 1 套排风系统，问诊室、值班室等不含放射性物质单独设置 1 套；核素治疗工作场所设 2 套排风系统，其中医生淋浴间单独设 1 套，其他区域可能含放射性物质单独设置 1 套。

#### 2、放射性废水

PET-CT 和 SPECT-CT 工作场所共用放射性衰变池 1 座，由 3 个并联的衰变池组成，每个衰变池容量为  $5\text{m}^3$ 。核医学科显像诊断区域每天最多接待病人 45 人次，病人每人产生废水量按照 15L 计算，显像诊断区域医务人员预计 8 人，工作人员每人每天产生放射性废水按 40L 计算，则日均产生放射性废水量约为  $0.975\text{m}^3$ ，以  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  半衰期（6.02h）代替  $^{18}\text{F}$  半衰期（1.83h）核算，十个半衰期为 2.5 天，则十个半衰期废水产生量约为  $2.44\text{m}^3$ 。显像诊断衰变池总有效容积为  $15\text{m}^3$ ，放射性废水依次排入 3 个并联的衰变池：排满第 1 池后封存，废水再进入第 2 池，第 2 池排满后封存，废水再进入第 3 池，第 3 池排满后封存，当第 3 池排满后，第 1 池已经封闭约 10d，超过 10 个半衰期（2.5d），将第 1 池排空后，废水再排入第 1 个衰变池，满足储存衰变要求。

核医学科核素治疗场所设放射性衰变池 1 座，由 3 个并联的衰变池组成，每个衰变池容量为  $120\text{m}^3$ ；甲亢患者服药后即离开工作场所，不在工作场所逗留，不考虑其产生的放射性废水；甲癌病房病人需要住院，产生废水较多，甲癌病房满负荷可承受

8 名病人，每位病人注射后患者排泄及冲洗废水等约 250L/人，医务人员 10 名，每人每天产生放射性废水量按 40L 计算，则核素治疗场所日均产生放射性废水量约为 2.4m<sup>3</sup>，<sup>131</sup>I 半衰期为 8.04d，十个半衰期为 80.4 天，废水产生量为 192.96m<sup>3</sup>。

核素治疗场所衰变池总容积为 360m<sup>3</sup>，放射性废水依次排入 3 个并联的衰变池：排满第 1 池后封存，废水再进入第 2 池，第 2 池排满后封存，废水再进入第 3 池，第 3 池排满后封存，当第 3 池排满后，第 1 池已经封闭约 100d，超过 10 个半衰期(80.4d)，将第 1 池排空后，废水再排入第 1 个衰变池，衰变池设计满足储存衰变要求。

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009) 5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10<sup>7</sup>Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

在正常情况下，经衰变池处理后的放射性废水为连续排放，因此，应对月排放量控制。根据北京市疾病预防控制中心放射卫生防护所王时进 2009 年国家放射防护职业评价培训课件：甲癌患者用药后的前 5 天 <sup>131</sup>I 随尿排出量约 85%。因此，该项目放射性核素进入废水均保守按 95% 进行分析，结果见表 10.2-1。

表 10.2-1 放射性废水中放射性核素排放达标分析

分类	核素名称	年使用量 (Bq)	月使用量 (Bq)	月产生量 (Bq)	月排放限值 (Bq)	所需衰变时间 (d)
显像诊断	<sup>99m</sup> Tc	3.33×10 <sup>12</sup>	2.78×10 <sup>11</sup>	2.64×10 <sup>11</sup>	3.12×10 <sup>9</sup>	1.6
	<sup>18</sup> F	6.66×10 <sup>11</sup>	5.55×10 <sup>10</sup>	5.27×10 <sup>10</sup>	5.38×10 <sup>8</sup>	0.5
核素治疗	<sup>131</sup> I	3.81×10 <sup>12</sup>	3.18×10 <sup>11</sup>	3.02×10 <sup>11</sup>	9.08×10 <sup>6</sup>	120.2

根据分析结果可知：在医院预计的工作负荷且正常工作状态下，衰变池的设计容积能确保核医学科放射性废水中放射性核素排放量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于“放射性废液排放限值”的要求。

衰变池位于二期住院楼外东北侧绿化草坪内，为地理式，衰变池地面均为草坪，人员极少活动，地势开阔，相对周边地形要高，不易积水，位置设置合理。衰变池采用钢混结构，并联式，非动力流动。池壁四周做好防腐防水，且在每个池子的顶部预留检修孔。

放射性废水在排放之前应经过监测低于国家排放管理限值后（总放射性为 10Bq/L），排至医院医疗污水管网，经医院污水处理站再行处理，处理达标后流入市政污水管网，放射性核素产生的辐射影响较小。

核医学科衰变池平面、剖面图详见图 10.1-12~13，核医学科废水管网图详见图 0.1-14~15。

### 3、放射性固废

本项目核医学科运行过程中报废的放射性药剂及药瓶由供货商厂家回收。

本项目放射性固废主要包括擦拭的棉球、纱布、一次性垫纸、吸水纸、注射器活性炭过滤装置更换的废活性炭等带有微量放射性的医疗固体废物，其产生量约为 250kg/a，收集入铅废物桶内暂存，铅废物桶由 2cm 厚的铅构成，收集满的的铅废物桶则贮存于废源间内，经过 10 个半衰期后再按照普通医疗废物处理，环境影响轻微。

#### 事故预防措施：

医务人员必须严格按照操作程序进行，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射，工作人员每次上班时首先要检查防护措施是否正常，若存在安全隐患，应立即修理，恢复正常。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局环发【2006】145号文件之规定，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，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

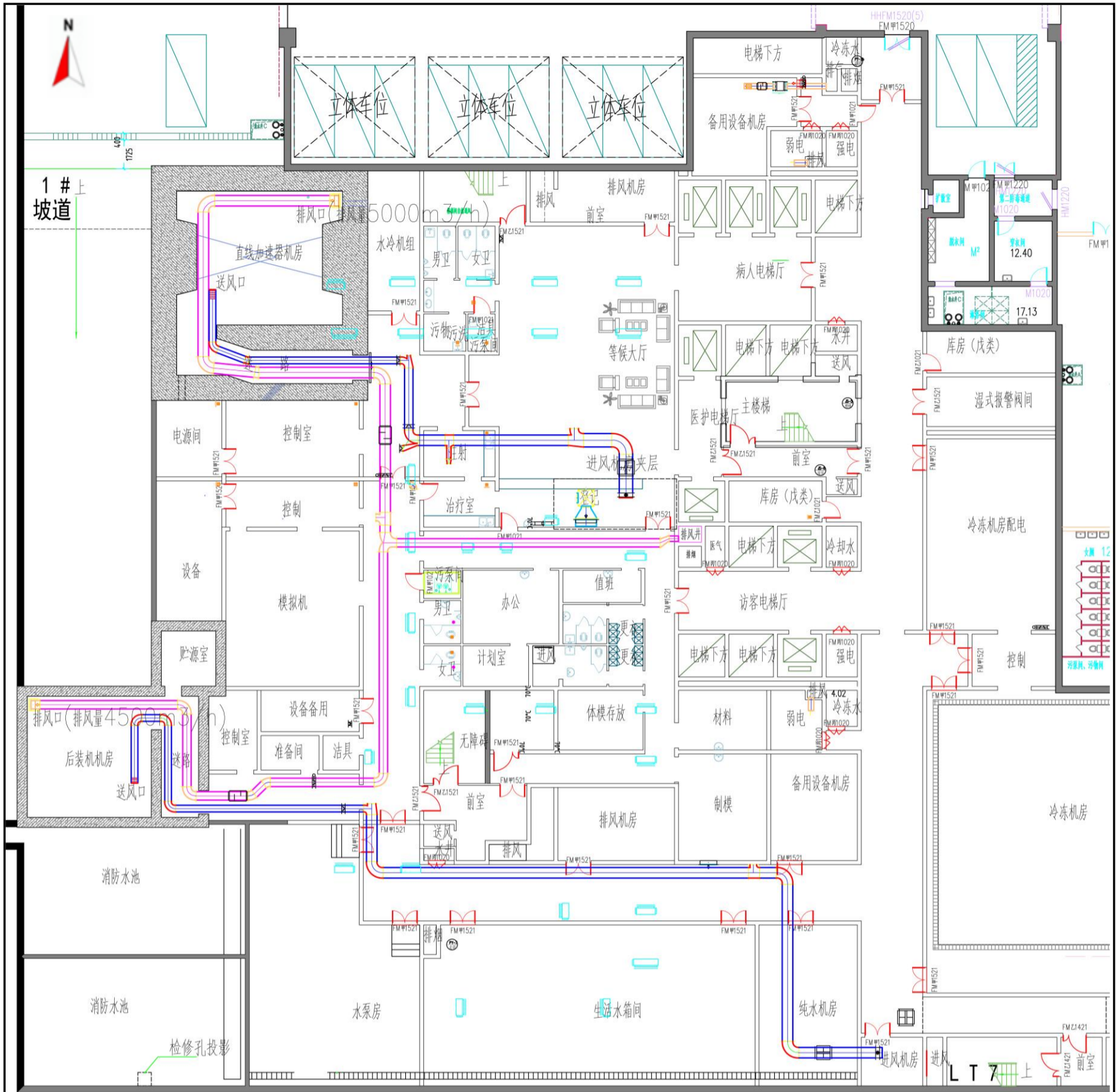


图 10.1-11 放疗科送风、排风管道图



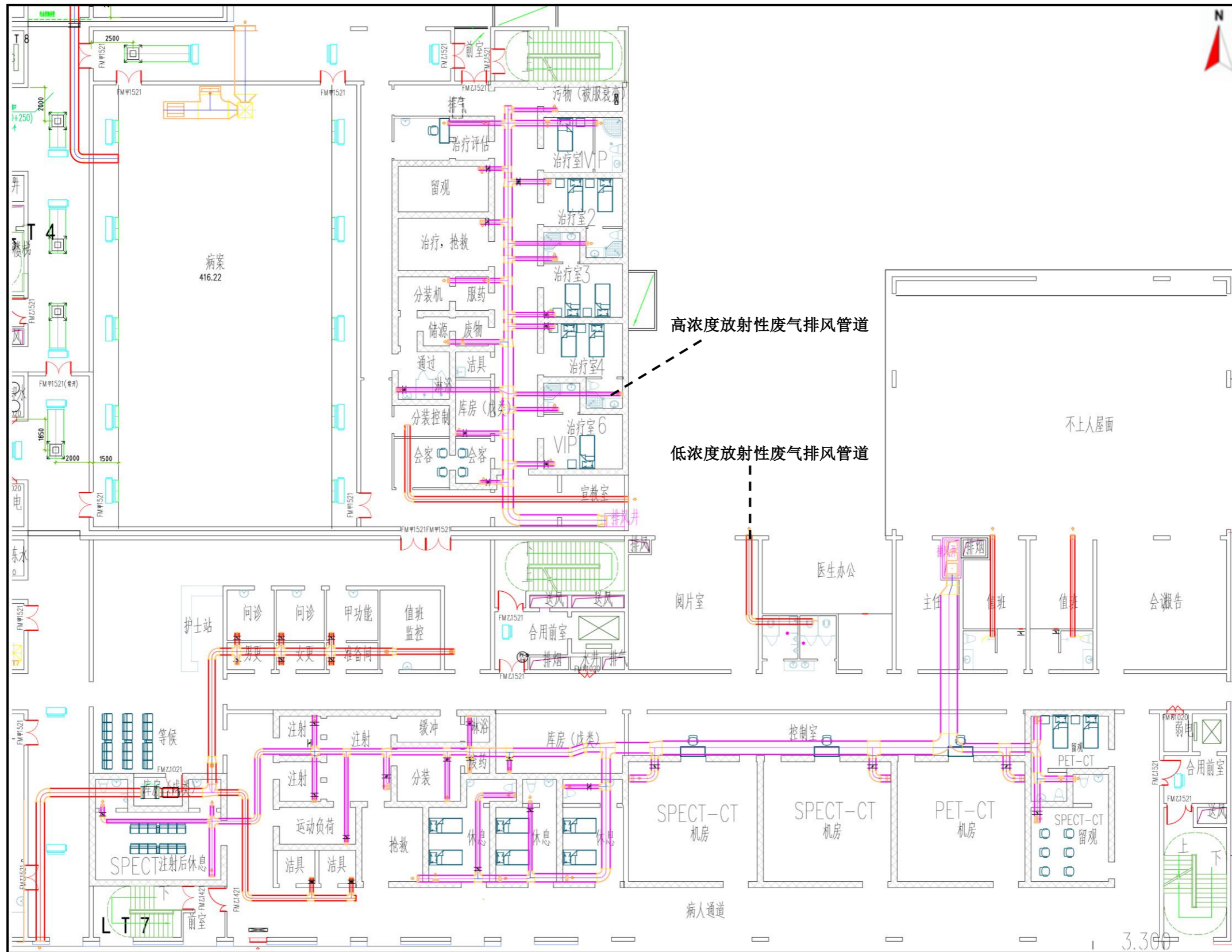


图 10.1-12 核医学科排风管道图

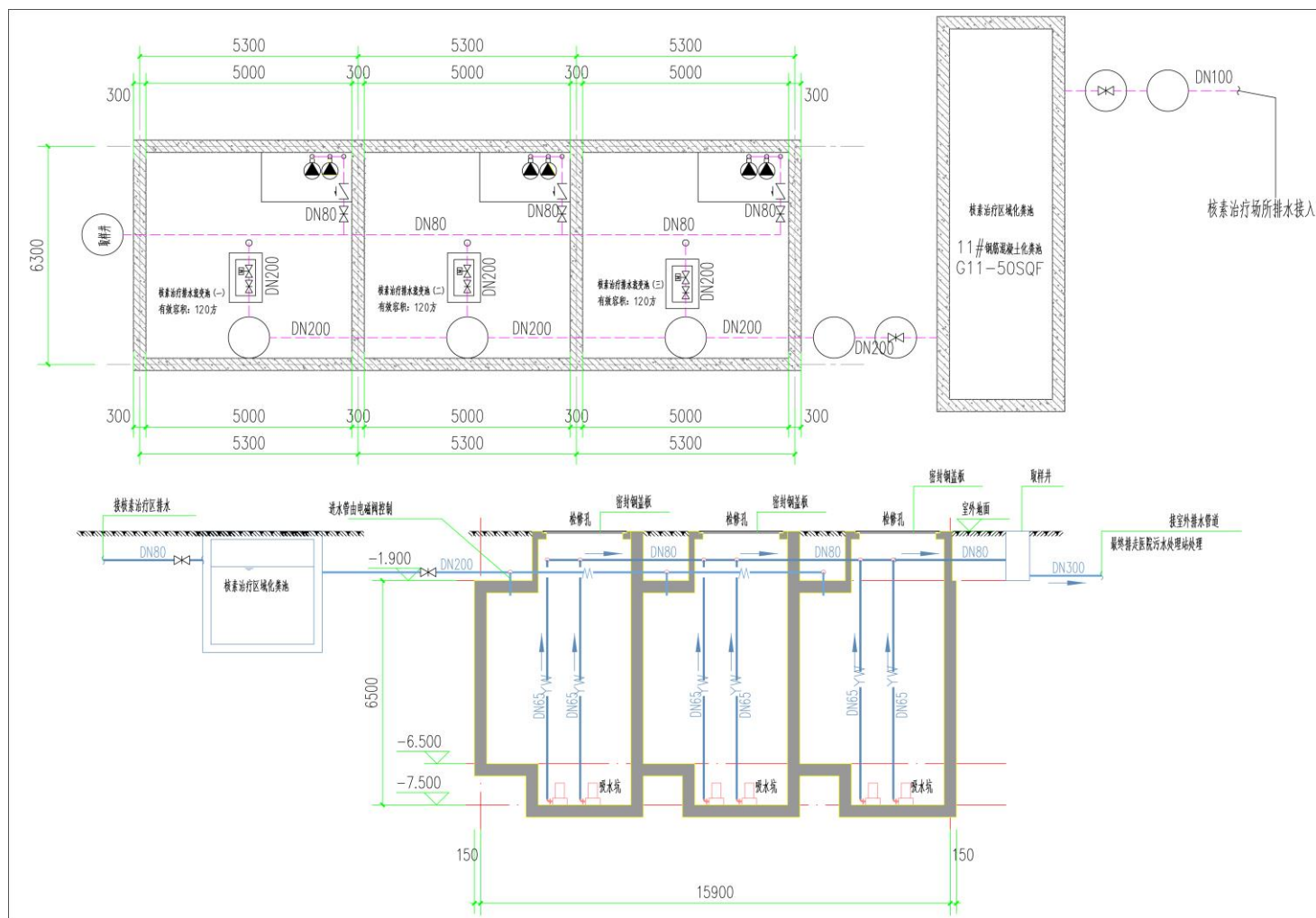


图 10.1-13 核医学科核素治疗区放射废水衰变池平面、剖面图

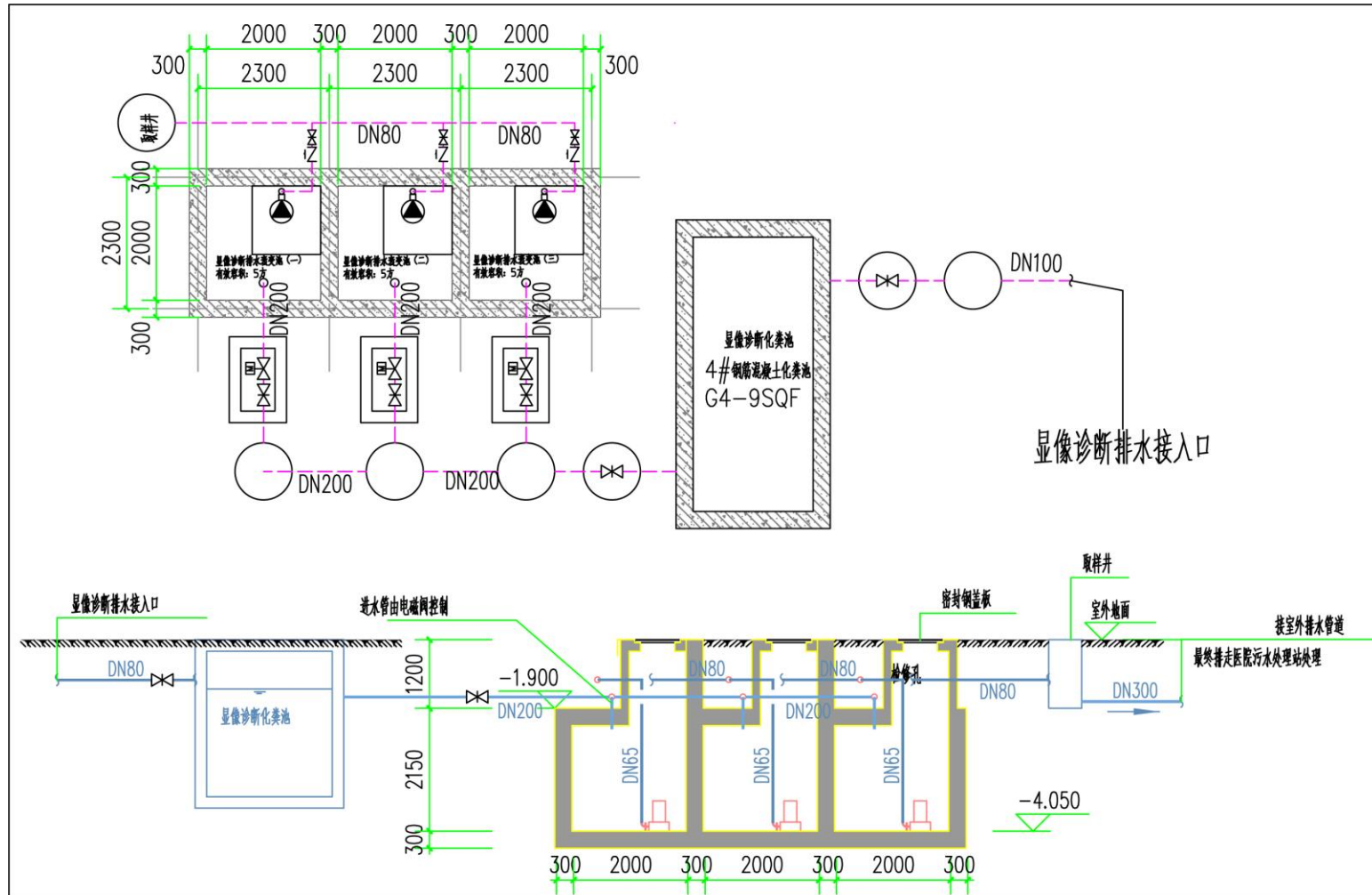
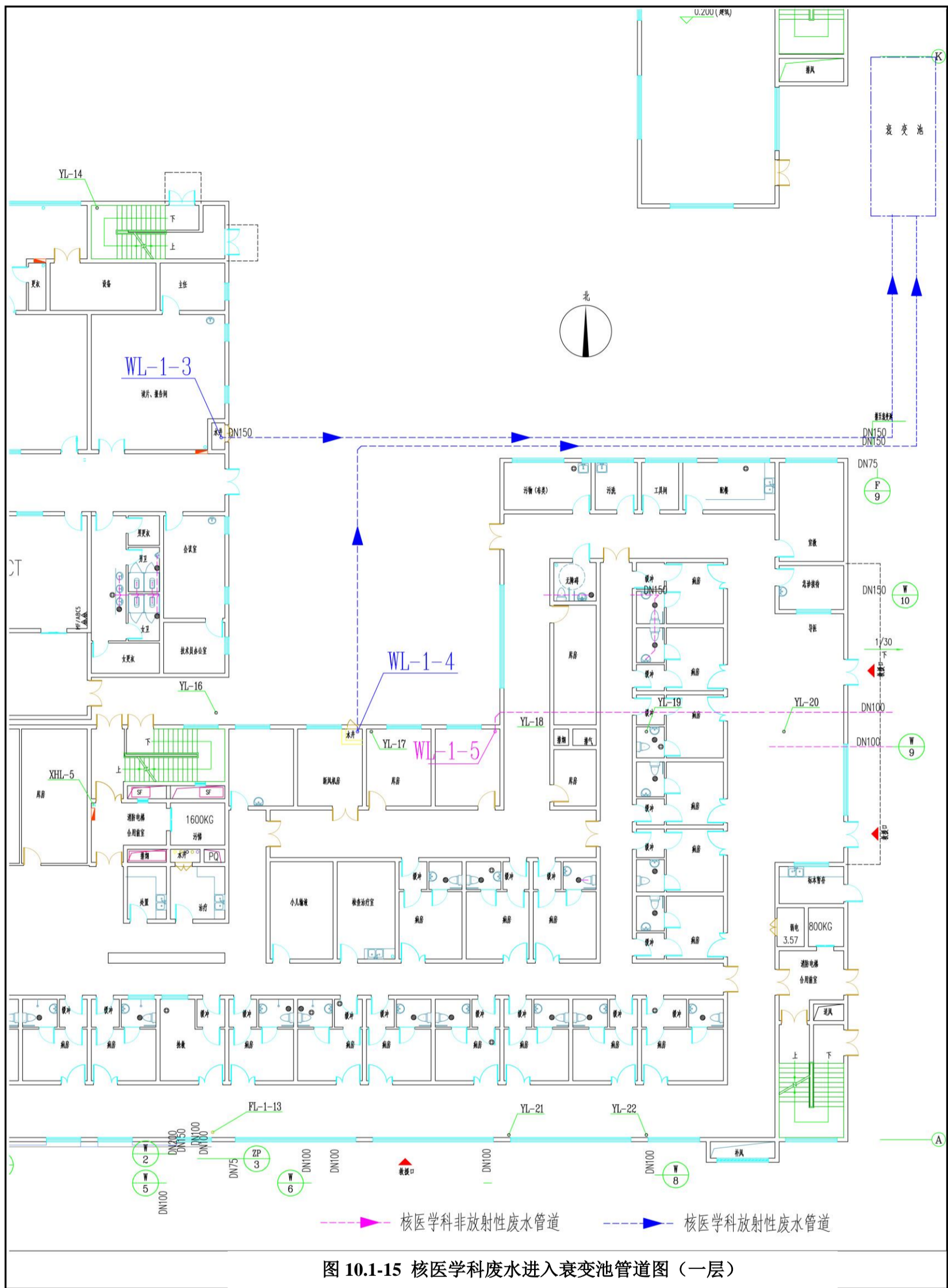
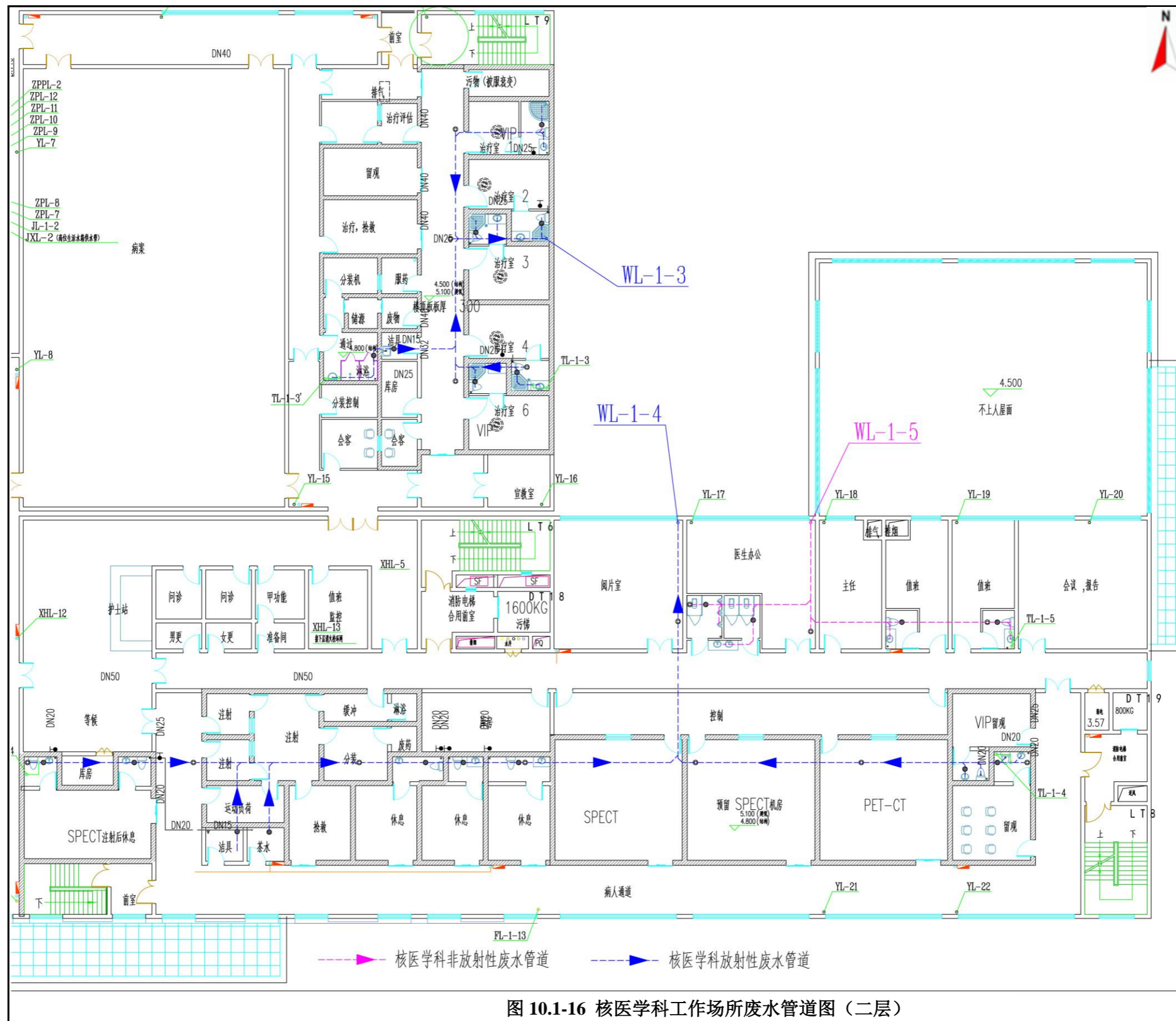


图 10.1-14 核医学科显像诊断区放射废水衰变池平面、剖面图





**表 11 环境影响分析**

本项目所在的二期住院大楼主体工程内容施工期环境影响已在《宁德市妇幼保健院（含儿童医院）、宁德市医院迁建（二期）工程项目环境影响报告书》中进行分析评价，该环境影响报告书已于 2019 年 2 月 3 日通过宁德市生态环境局东侨分局审批（东侨环[2019]2 号）。目前项目用地现状为空地。

**11.1 施工期对环境的影响**

本项目建设阶段与大楼主体工程建设同时进行，本项目建设规模相比主体工程很小，且与主体工程同步施工完成，因此本项目的施工不会加重主体工程施工对环境的影响，也不会延长施工期对环境的影响。

**11.1.1 施工噪声**

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输、混凝土浇注及现场处理等。噪声值一般在 65~80dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，施工时应文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；同时应选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施，施工场所采取消声减震措施，降低影响

**11.1.2 施工扬尘**

本项目扬尘主要是由于散装水泥和建筑材料运输等活动会产生少量扬尘，因此，要合理安排施工时间，加快施工进度，通过缩短施工时间、封闭施工、洒水抑尘等措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

**11.1.3 施工废水**

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水，产生量较少，可依托医院现有污水处理设施进行处理。

**11.1.4 施工固体废物**

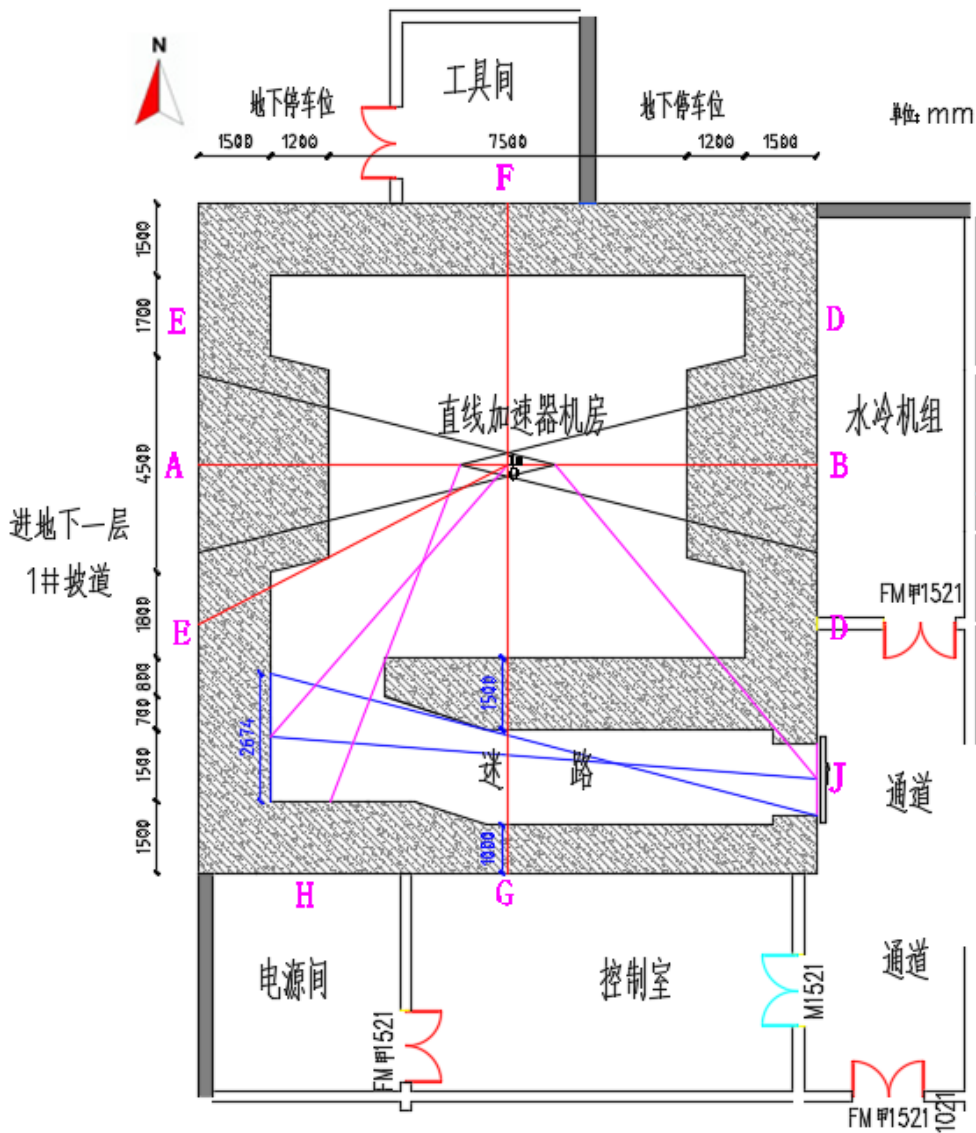
本项目固废主要为：生活垃圾、建筑垃圾、土方石等。生活垃圾置于医院现有垃圾收集箱内，定期由环卫人员送至附近的垃圾中转站。施工中产生的建筑垃圾，委托有资质的渣土运输公司处置。

综上所述，项目施工期环境影响只是一个短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，在采取相应的污染防治措施后，项目施工期影响较小。

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 医用直线加速器辐射影响预测与评价

本项目运行阶段影响评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）标准中的相关计算公式进行理论估算。理论计算时，选取直线加速器机房四面墙壁、顶棚及迷道入口处作为预测点位。预测点位图见图 11.2-1，关注点位置情况一览表见表 11.2-1。



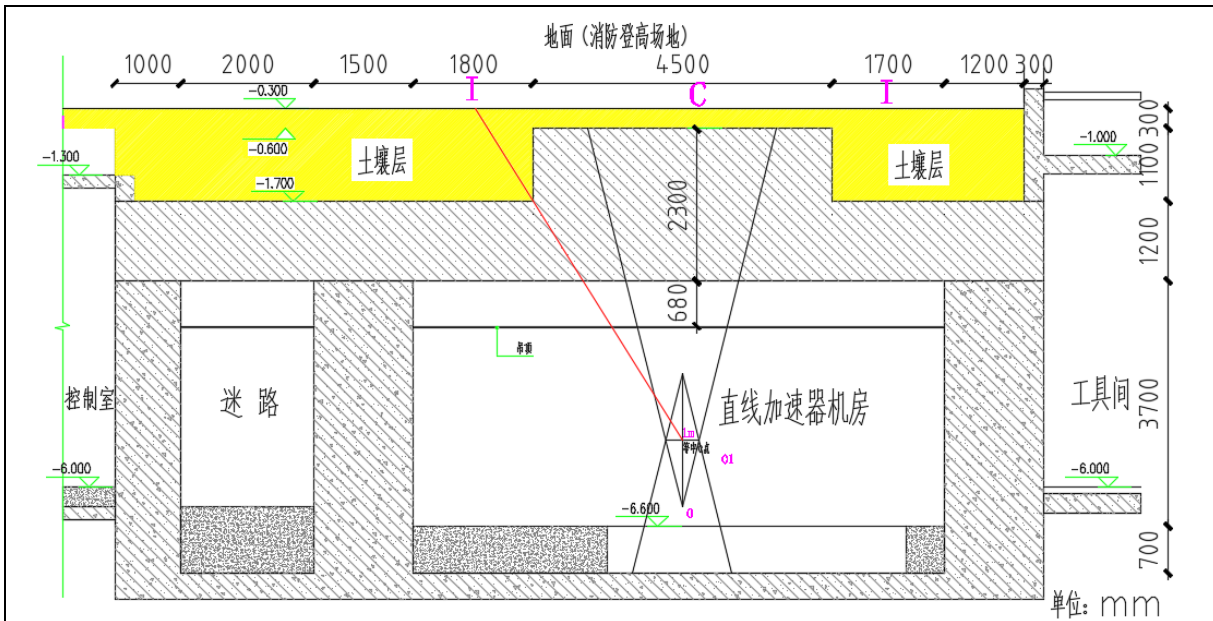


图 11.2-1 直线加速器机房预测点位示意图

表 11.2-1 关注点位置情况一览表

位置	所处位置
西墙主屏蔽（1#坡道）	A点
东墙主屏蔽（水冷机组室）	B点
顶棚主屏蔽（土壤层）	C点
东墙次屏蔽（1#坡道）	D点
西墙次屏蔽（水冷机组室）	E点
北墙侧屏蔽（工具间）	F点
南墙侧屏蔽（控制室）	G点
顶棚次屏蔽（土壤层）	I点
迷路外墙侧屏蔽	H点
防护门	J点

11.2.1.1 理论计算

(1) 有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p=2((r+SAD) \cdot \tan(\theta)+0.3) \dots \dots \dots \text{公式 (1)}$$

式中：

$Y_p$ —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

$\theta$ —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；



$r$ —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”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

直线加速器机房主屏蔽设计宽度计算结果见表 11.2-2:

表 11.2-2 直线加速器机房屏蔽墙宽度计算一览表

各屏蔽墙	$r$ (m)	SAD(m)	$\theta$ (°)	$Y_p$ (m)	实际设计主束中心线距主屏蔽墙边缘设计长度 (m)	是否满足要求
顶棚主屏蔽	4.70	1	14	3.44	4.5	符合
东侧主屏蔽	4.95	1	14	3.57	4.5	符合
西侧主屏蔽	4.95	1	14	3.57	4.5	符合

从表 11.2-2 的预测结果可以看出，加速器治疗室机房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/T201.2-2007）的相关要求。

## (2) 剂量控制要求

### 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人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

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

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

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

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

### ②治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b)两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平  $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$  和最高剂量率  $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ , 按照治疗机房墙外和入口门外关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 加以控制。

b) 除以上 a) 中的条件外, 应考虑下列情况:

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

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

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

### (3) 剂量计算

1) 单一辐射有用线束: 计算公式为:

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

$H$ —周参考剂量控制水平,  $\mu\text{Sv/周}$ ;

$U$ ——关注位置方向照射的使用因子, 主射线方向使用因子为 1/4;

$T$ ——人员在相应关注点驻留的居留因子, 详见表 11.2-3:

表11.2-3 居留因子

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

t——治疗装置周治疗时间，h；预计平均每天接待治疗病人 20 人次，平均每个病人 5 个野，每个野 1.5min，每周工作 5 天，即周照射时间约为 12.5 小时。

代入参数算得：

**表 11.2-3 主屏蔽区墙外剂量率参考控制水平**

关注点	西墙主屏蔽(A 点)	东墙主屏蔽 (B 点)	顶棚主屏蔽(C 点)
周剂量参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	5	5	5
治疗照射时间 t	12.5	12.5	12.5
使用因子 U	1/4	1/4	1/4
居留因子 T	1/16	1/16	1/4
导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	25.6	25.6	6.4
关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	10	10	10
剂量率参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	10	10	10

2) 单一辐射泄漏辐射：计算公式为：

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

$\dot{H}_c$ ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

N——强调治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 N=5

T——人员在相应关注点驻留的居留因子

t——治疗装置周治疗时间，h；

本项目单一泄漏辐射方向墙体为次屏蔽墙、侧屏蔽墙及，代入参数算得：

**表 11.2-4 次屏蔽墙、侧屏蔽墙外剂量率参考控制水平**

关注点	东墙次屏蔽(D 点)	西墙次屏蔽(E 点)	顶棚次屏蔽 (I)	北墙侧屏蔽 (F 点)	南墙侧屏蔽(G 点)	迷路外墙侧屏蔽(H 点)	防护门(J 点)
周剂量参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	5	5	5	5	100	5	5
治疗照射时间 t	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
调强因子 N	5	5	5	5	5	5	5
居留因子 T	1/16	1/16	1/4	1/16	1	1/16	1/4
导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	1.28	1.28	1.28	1.60	1.28	0.32	0.32
关注点的最高剂量率	10	10	10	10	2.5	10	2.5

参考控制水平 $H_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )							
剂量率参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1.28	1.28	1.28	1.60	1.28	0.32	0.32

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，从保守和安全考虑，本项目公众人员的剂量率参考控制水平取较小值。

综上，项目直线加速器机房各点的剂量率控制水平如下：

表 11.2-5 医院直线加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平

序号	位置	考察点	剂量率控制水平( $\mu\text{Sv/h}$ )
1	西墙主屏蔽	A	2.5
2	东墙主屏蔽	B	2.5
3	顶棚主屏蔽	C	2.5
4	东墙次屏蔽	D	1.28
5	西墙次屏蔽	E	1.28
6	顶棚次屏蔽	I	1.28
7	北墙侧屏蔽	F	1.60
8	南墙侧屏蔽	G	1.28
9	迷路外墙侧屏蔽	H	0.32
10	迷道入口处	J	0.32

3) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

①有效屏蔽厚度

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

$$X = X_e \cdot \cos\theta \dots\dots\dots \text{式 (11-4)}$$

其中， $\theta$  为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽物质的厚度与辐射屏蔽透射因子 B 的关系如下：

错误!不能通过编辑域代码创建对象。  $B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{式}$

(11-5)

- TVL<sub>1</sub>——第一什值层厚度，cm；
- TVL——平衡什值层厚度，cm；
- X<sub>e</sub>——物质的有效屏蔽厚度，cm；

(4) 主屏蔽墙和侧屏蔽墙

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外 30cm 处关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{公式 (11-6)}$$

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

$H_0$  ——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 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv/h} \times \text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 24Gy/min，即  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ；

R ——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f ——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 0.1%；

B ——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL<sub>1</sub>、TVL 见标准的附录 B 表 B.1。

相关参数及计算结果见表 11.2-6。

**表 11.2-6 主、侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和结果**

关注点	西墙主屏蔽 (A 点)	东墙主屏蔽 (B 点)	顶棚主屏蔽 (C 点)	北墙侧屏蔽 (F 点)	南墙侧屏蔽 (G 点)
X (cm)	270	270	314	150	250
Xe (cm)	270	270	314	150	250
TVL (cm)	37	37	37	31	31
TVL <sub>1</sub> (cm)	41	41	41	35	35
B	$6.47 \times 10^{-8}$	$6.47 \times 10^{-8}$	$4.18 \times 10^{-9}$	$1.95 \times 10^{-5}$	$1.16 \times 10^{-8}$
R (m)	7.75	7.75	6.3	5.75	8.85
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
f	1	1	1	0.001	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1.551	1.551	0.152	0.850	$2.13 \times 10^{-4}$
剂量率参考控制 水平 H <sub>c</sub> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>1.60</b>	<b>1.28</b>
结果是否满足控 制水平要求	满足	满足	满足	满足	满足

注：顶棚主屏蔽为 2300mm 重晶石混凝土(密度 $\geq 3.0\text{g/cm}^3$ )+300mm 土壤层(密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ )，C 点屏蔽层厚度 X (cm) 是根据重晶石混凝土、土壤层、混凝土的密度换算成混凝土屏蔽的厚度。

**(5) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区**

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

①患者体表的散射辐射

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行剂量计算：

$$\frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400) \cdot B}{R_s^2} \quad \text{式(11-7)}$$

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

$\dot{H}_0$ ——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， $\mu\text{Sv/h} \times \text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 24Gy/min，即  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ；

$R_s$ ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

$\alpha_{ph}$ ——患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.2， $30^\circ$ 时取  $3.18 \times 10^{-3}$ ；

B——辐射屏蔽透射因子，计算公式见式 11-5，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4，取 10MV 时  $30^\circ$ 的值为 28cm；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ ；设备照射野为  $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ；

带入相关参数后，计算结果见表 11.2-7：

表 11.2-7 患者体表的散射辐射致关注点处的剂量率

关注点		东墙次屏蔽（D 点）	西墙次屏蔽（E 点）	顶棚次屏蔽（I 点）
散射 辐射	Xe (cm)	169.1	169.1	304.29
	TVL1 (cm)	28	28	28
	TVL (cm)	28	28	28
	Rs (m)	7.57	7.57	6.098
	$\alpha_{ph}$	$3.18 \times 10^{-3}$	$3.18 \times 10^{-3}$	$3.18 \times 10^{-3}$
	B	$9.14 \times 10^{-7}$	$9.14 \times 10^{-7}$	$1.36 \times 10^{-11}$
	F ( $\text{cm}^2$ )	1600	1600	1600
	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.292	0.292	6.68E-06

注：顶棚次屏蔽为 1200mm 重晶石混凝土（密度  $\geq 3.0\text{g/cm}^3$ ）+1400mm 土壤层（密度  $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ），I 点屏蔽层厚度 X（cm）是根据重晶石混凝土、土壤层、混凝土的密度换算成混凝土屏蔽的厚度。

②泄漏辐射

泄漏辐射计算公式见 (11-6)，带入相关参数后，计算结果见表 11.2-8：

**表 11.2-8 泄漏辐射致关注点处的剂量率**

关注点	东墙次屏蔽 (D 点)	西墙次屏蔽 (E 点)	顶棚次屏蔽 (I 点)
Xe (cm)	162.1	162.1	276.7
TVL (cm)	31	31	31
TVL <sub>1</sub> (cm)	35	35	35
B	$7.94 \times 10^{-6}$	$7.94 \times 10^{-6}$	$1.60 \times 10^{-9}$
R (m)	8.353	8.353	6.979
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$
f	0.001	0.001	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.164	0.164	$4.72 \times 10^{-5}$

注：顶棚次屏蔽 (I 点) 考虑了土壤屏蔽效果。

加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射之和为关注点的总剂量率，计算结果见表 11.2-9：

**表 11.2-9 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区剂量率**

关注点	东墙次屏蔽 (D 点)	西墙次屏蔽 (E 点)	顶棚次屏蔽 (I 点)
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.456	0.456	$5.39 \times 10^{-5}$
$H_c$ (剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	1.28	1.28	1.28
结果是否满足控制水平要求	满足	满足	满足

**(6) 迷道外墙侧屏蔽效果预测**

当加速器向南侧出束时，H 点受到的辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，因此，H 点考虑泄漏辐射，泄漏辐射计算公式见 (11-6)：

**表 11.2-10 泄漏辐射致关注点处的剂量率**

关注点	迷路外墙 H 点
Xe (cm)	160.8
TVL (cm)	31
TVL <sub>1</sub> (cm)	35
B	$8.75 \times 10^{-6}$
R (m)	9.457
f	0.001
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$1.44 \times 10^9$
$\dot{H}$	0.141

迷路外墙处剂量率计算结果见表 11.2-11：

表 11.2-11 迷路外墙剂量率

关注点	迷路外墙 H 点
泄漏辐射 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.141
$H_c$ (剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$ )	0.32
结果是否满足控制水平要求	满足

(7) 加速器 ( $\leq 10\text{MV}$ ) 机房的迷路散射辐射屏蔽的剂量估算

有用线束不向迷路内墙照射, 迷路入口应考虑以下辐射:

入口处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_g$  计算公式如下:

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

$\dot{H}_g$ ——迷道入口处的剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$\dot{H}_0$ ——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,  $\mu\text{Sv/h} \times \text{m}^2/\text{h}$ , 由设备参数可知, X 射线模式下加速器最大输出剂量率为  $24\text{Gy/min}$ , 即  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ;

$\alpha_{ph}$ ——患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子, 其值见标准的附录 B 表 B.2, 通常取  $45^\circ$  散射角的值;

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ ; 设备照射野为  $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ;

$\alpha_2$ ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 其值见标准的附录 B 表 B.6, 通常取入射角为  $45^\circ$ , 散射角为  $0^\circ$ , 使用其  $0.5\text{MeV}$  栏内的值;

$R_1$ ——等中心点至散射墙面的距离, m;

$R_2$ ——迷道散射墙面至入口处的距离, m;

A——散射面积,  $\text{m}^2$ ;  $2.674\text{m} \times 3.4\text{m} = 9.092\text{m}^2$

带入相关参数后, 计算结果见表 11.2-12:

表 11.2-12 散射辐射在迷道入口处的剂量率

位置	$\dot{H}_0$	$\alpha_{ph}$	$\alpha_2$	F	A( $\text{m}^2$ )	$R_1$	$R_2$	$\dot{H}_g(\mu\text{Sv/h})$
迷道入口 口处	$1.44 \times 10^9$	$1.35 \times 10^{-3}$	$22.0 \times 10^{-3}$	1600	9.092	7.559	11.734	197.705

装置头泄漏辐射在迷道入口处的剂量率:  $\dot{H}_{og}$ , 按公式 (11-6) 计算,



表 11.2-13 装置头泄露辐射在迷道入口处的剂量率

	关注点	迷道入口处 (J 点)
泄漏辐射	Xe (cm)	233.4
	TVL (cm)	31
	TVL <sub>1</sub> (cm)	35
	B	3.98×10 <sup>-8</sup>
	R (m)	8.859
	$\dot{H}_0$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	1.44×10 <sup>9</sup>
	f	0.001
	$H_{og}$ (μSv/h)	7.30×10 <sup>-4</sup>

装置头泄漏辐射在迷道入口处的剂量率为 7.30×10<sup>-4</sup>μSv/h，小于防护门控制水平的 1/4 (0.08μSv/h)。

本项目防护门防护采用 20mm 铅板+90mm 厚含硼聚乙烯。

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时，防护门外的辐射剂量率按式 (11-9) 计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots \dots \dots \text{式 (11-9)}$$

代入相关参数，经铅防护门屏蔽后的剂量率  $\dot{H}$ ：

表 11.2-14 防护门外的辐射剂量率

位置	$\dot{H}_g$ (μSv/h)	防护门铅屏蔽 厚 X (cm)	TVL (cm)	$\dot{H}_{og}$ (μSv/h)	$\dot{H}$ (μSv/h)
迷道入口处(J 点)	197.705	2	0.5	7.30×10 <sup>-4</sup>	0.205

由表 11.2-14 可知，防护门外的辐射剂量率 (0.205μSv/h) 小于剂量率控制水平 (0.32μSv/h)，满足要求。

综上所述，医院直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况见下表 11.2-15：

**表 11.2-15 医院直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况统计表**

位置	考察点	剂量率值( $\mu\text{Sv/h}$ )	剂量率控制水平( $\mu\text{Sv/h}$ )	结论
西墙主屏蔽	A	1.551	2.5	满足
东墙主屏蔽	B	1.551	2.5	满足
顶棚主屏蔽	C	0.152	2.5	满足
东墙次屏蔽	D	0.456	1.28	满足
西墙次屏蔽	E	0.456	1.28	满足
顶棚次屏蔽	I	$5.39 \times 10^{-5}$	1.28	满足
北墙侧屏蔽	F	0.850	1.60	满足
南墙侧屏蔽	G	$2.13 \times 10^{-4}$	1.28	满足
迷路外墙侧屏蔽	H	0.141	0.32	满足
迷道入口处	J	0.205	0.32	满足

由表 11.2-15 可知，本项目直线加速器机房墙体及防护门外 30cm 处的辐射剂量率范围值均符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)、《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) 等的相关要求。

**(8) 医用直线加速器机房周围关注点年有效剂量估算**

本评价项目的每台医用直线加速器平均每天病人约 20 人，每周工作 5 天，每年 50 周，平均每个病人 5 个野，每个野 1.5min，每周工作 5 天，即周照射时间约为 12.5 小时，年工作时间为 625h。

**表 11.2-16 医用直线加速器机房周围关注点年有效剂量估算结果一览表**

关注点	对象	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年治疗时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	剂量管理限值 (mSv/a)
A	公众成员	1.551	625	1/16	$6.60 \times 10^{-2}$	0.25
B	公众成员	1.551	625	1/16	$6.60 \times 10^{-2}$	0.25
C	公众成员	0.152	625	1/4	$2.38 \times 10^{-2}$	0.25
D	公众成员	0.456	625	1/16	$1.78 \times 10^{-2}$	0.25
E	公众成员	0.456	625	1/16	$1.78 \times 10^{-2}$	0.25
I	公众成员	$5.39 \times 10^{-5}$	625	1/4	$8.42 \times 10^{-6}$	0.25
F	公众成员	0.850	625	1/16	$3.19 \times 10^{-2}$	0.25
G	职业人员	$2.13 \times 10^{-4}$	625	1	$1.33 \times 10^{-4}$	5
H	公众成员	0.141	625	1/16	$5.51 \times 10^{-3}$	0.25
J	公众成员	0.205	625	1/4	$3.20 \times 10^{-2}$	0.25

由上表可知：辐射工作人员附加年有效剂量不超过 5mSv、公众附加年有效剂量不

超过 0.25mSv, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于“剂量限值”的要求。

由此可见, 本评价项目的正常运行, 对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足相关标准要求。

#### 11.2.1.2 感生放射性对环境的影响分析

医用直线加速器感生放射性包括: 加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。

在加速器运行时, 由于加速器机房有足够的结构屏蔽, 所以由部件产生的感生放射性不会对屏蔽体外的工作人员造成危害。但在停机后, 工作人员进入治疗室, 则可能受到辐射危害。因为感生放射性的衰变较快, 停机后 5~10min 就可减弱到初始值的一半。所以对感生放射性的有效防护措施是等其衰变后工作人员进入加速器机房内。

加速器治疗室内空气活化产生的放射性核素, 大部分半衰期都小于 1min, 长半衰期的核素产生率很低, 因此, 需要考虑的放射性核素只是  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  和  $^{41}\text{Ar}$ 。为了控制气载放射性的浓度, 设置通风系统, 排风速率为每小时换气不少于 4 次。通风系统的排气口安装在建筑物外面, 并要使排出的气载放射性物质对公众的影响低于国家规定的限值。

冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是  $^{15}\text{O}$  和  $^{13}\text{N}$ , 它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s, 只需放置较短的时间, 其活度就可衰减到可忽略的水平。所以正常运行时被活化的水对人体的危害是不重要的, 但在停机后立即检修水系统时, 残余放射性可能对人体造成危害。

加速器废靶定期厂家进行更换, 送至福建省放射性废物库贮存。

#### 11.2.1.3 辐解废气对环境的影响分析

在加速器开机运行时, 产生的 X 射线与空气相互作用可产生少量臭氧和氮氧化物, 主要危害是臭氧, 臭氧的产额比氮氧化物高一个量级, 本报告只考虑臭氧。只要臭氧能够达到标准, 氮氧化物(限值高)也能达标。

根据《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85) 附录 E 提供的臭氧计算公式: 假设治疗期间治疗室内有通风、臭氧无分解, 且在治疗室内均匀分布, 则浓度  $C_0$  为:

$$C_0 = 2.79 \times \frac{Id}{V} \left( 1 - e^{-\frac{v}{V}t} \right) mg \cdot m^{-3} \dots\dots\dots \text{公式 (11-10)}$$

式中:

$I$ —电子束流强度, mA (取 2mA);

$d$ —电子束在空气中的径迹长度, cm (取 100cm);

$t$ —辐照时间, s (取 180s);

$V$ —治疗室体积,  $m^3$  (取  $305m^3$ , 含迷道)。

$v$ —排气速率,  $m^3/s$ ; 本项目加速器机房风机排风速率  $5000m^3/h$  ( $1.38m^3/s$ )。

以上参数带入公式算得, 治疗 3 分钟后, 治疗室内的臭氧浓度为  $1.02mg/m^3$ 。

加速器治疗室内的  $O_3$  产额由下式估算:

$$C = C_0 \times e^{-\frac{v}{V}t} mg \cdot m^{-3} \dots\dots\dots \text{公式 (11-11)}$$

式中:

$t$ —等待时间, s

停止出束后  $t$  时刻的臭氧浓度计算结果见表 11.2-17。

表 11.2-17 停止出束后  $t$  时刻的臭氧浓度

通风时间(等待时间) s	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540
臭氧浓度 $mg/m^3$	1.02	0.78	0.59	0.45	0.34	0.26	0.20	0.15	0.12	0.09

由上表可知, 加速器停机 4.5min 后, 治疗室内的臭氧饱和浓度为  $0.3mg/m^3$ , 因此建议医院医用直线加速器辐射工作人员在停机至少 4.5min 后进入治疗室内。

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

## 11.2.2 后装机辐射影响预测与评价

### 11.2.2.1 理论计算

#### (1) 后装治疗机房外关注点的剂量率控制水平

后装机房位于医院二期项目用地西南角地下一层放疗科的南部, 采用密度为  $2.35g/cm^3$  混凝土浇筑。东侧为迷道, 迷道内、外墙厚均为 0.6m; 南侧、北侧、西侧墙厚为 0.6m; 顶棚厚为 0.6m; 拟安装铅当量 8mmPb 防护门。通风管道等穿墙管道均采

用迷道式设计。

后装机房楼顶为地面消防操作场地，后装机房东侧为控制室，南侧为消防水池，西侧为土壤层，北侧为 1#汽车坡道下方。后装机房设计结构及预测点位分布示意图详见图 11.2-2（阴影部分为治疗源可能活动的范围，对于不同关注点分别以最近距离进行保守预测，预测点取墙体或者防护门外 0.3m 处，顶棚取距离地面高 1m 处）。

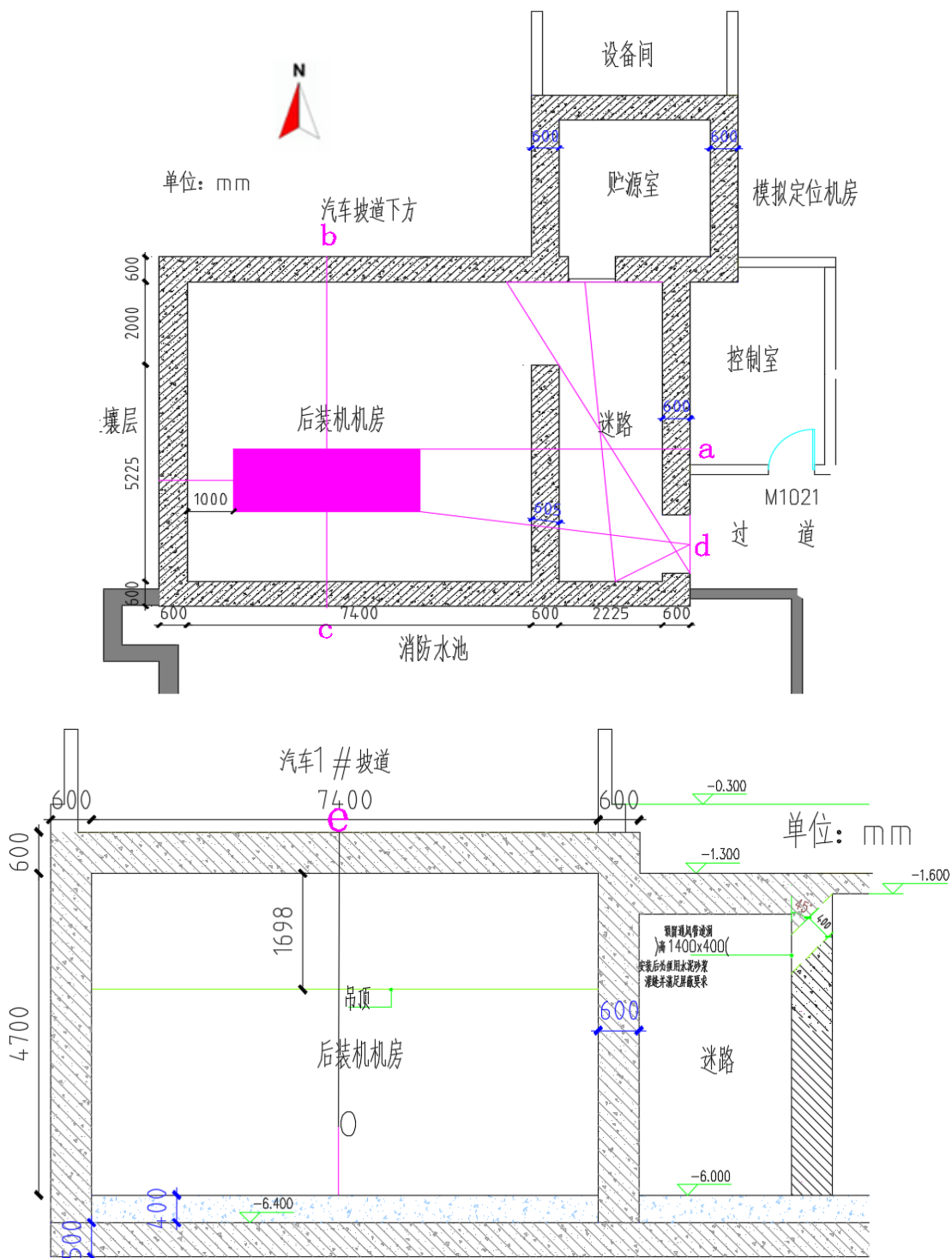


图11.2-2 后装机机房预测点位图

根据《放射治疗机房的屏蔽规范第 3 部分：放射源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中确定治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )的方法：

a)由周剂量参考水平 ( $H_c$ ) 和相应放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子求得各关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )的方法：

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人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

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

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

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

导出剂量率参考控制水平  $H_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 计算公式如下：

$$H_{c,d} = H / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-10)$$

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

$U$ —使用因子，取 1；

$T$ —人员在相应关注点驻留的居留因子，①全居留 ( $T=1$ )：管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区等；②部分居留 ( $1/4: 1/2 \sim 1/5$ )：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室、走廊、雇员休息室、职员休息室等；③偶然居留 ( $1/16: 1/8 \sim 1/40$ )：各治疗室房门、公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室以及病人滞留区域、屋顶、门岗室等。

$t$ —周治疗时间，单位为小时每周 ( $\text{h/周}$ )。根据医院提供的资料，后装机房投入使用后，预计平均每天接待治疗病人约 5 人次，平均每位病人治疗时间约 10 分钟，每周工作 5 天，即周照射时间约为 4.17 小时。

各关注点剂量率参考控制水平计算参数及结果见表 11.2-17。

表 11.2-17 各关注点剂量率参考控制水平计算参数及结果

关注点	与机房的 关系	$H$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	$U$	$T$	$t$ (h)	$H_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$H_{cmax}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
a	东面墙外 (控制室)	100	1	1	4.17	23.98	2.5	2.5
b	北面墙外	5	1	1/16	4.17	19.18	10	10
c	南面墙外	5	1	1/16	4.17	19.18	10	10
d	防护门外	5	1	1/4	4.17	4.80	10	4.8
e	顶棚上方	5	1	1/4	4.17	4.80	2.5	2.5

(2) 放疗室辐射屏蔽分析

该后装机拟装载 1 枚出厂活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的  $^{192}\text{Ir}$  放射源。该治疗机的相关技术参数和  $^{192}\text{Ir}$  放射源的主要辐射特性参数见下表。

表 11.2-18 后装机及放射源技术参数

使用核素	$\gamma$ 射线能量均 值 MeV	空气比释动能率常数 $K\gamma\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	TVL (mm)	距离地面 (mm)
			混凝土	
$^{192}\text{Ir}$	0.37	0.111	152	80

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

根据公式 (11-11) 当  $\gamma$  射线以  $\theta$  角斜射入厚度为  $X$  (mm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度  $X_e$  (mm)：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad \text{公式 (11-11)}$$

式中： $\theta$  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 (11-12) 计算对于给定的屏蔽物质的有效屏蔽厚度  $X_e$  (mm) 相应的屏蔽透射因子  $B$ ：

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1)/\text{TVL}} \quad \text{公式 (11-12)}$$

式中  $\text{TVL}_1(\text{cm})$  和  $\text{TVL}(\text{cm})$  分别为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，具体数值参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： $\gamma$  射线源放射治疗机房》(GBZT201.3-2014) 附录 C 表 C.1。

最后根据公式 (11-13) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Gy}/\text{h}$ )：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{公式 (11-13)}$$

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

R---辐射源到参考计算点的距离，m；

f---对有用线束为 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 (11-14) 计算活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率  $\dot{H}_0$  ( $\mu\text{Gy/h}$ )。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \quad \text{公式 (11-14)}$$

式中：A--为放射源的活度 (MBq)；

$K_\gamma$  --放射源的空气比释动能率常数，单位  $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

各目标点距离机房屏蔽体外表面 30cm；根据放疗机房的设计方案，得出治疗源到各面墙外参考计算点的距离 d，使用公式 (11-13) 计算出放疗机房外各目标点的辐射剂量率水平。计算因子和计算结果见表 11.2-19。

表 11.2-19 预测目标点辐射剂量率的计算因子

关注点	有效屏蔽厚度 $X_e(\text{mm})$	放射源的活度 A (MBq)	放射源的空气比释动能率常数 $K_\gamma$ ( $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ )	射线源到参考点的距离 R (m)	f	TVL1 (mm)	TVL (mm)	剂量率预测值 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )
a	1200	$3.70 \times 10^5$	0.111	6.121	1	152	152	$1.40 \times 10^{-5}$
b	600	$3.70 \times 10^5$	0.111	4.934	1	152	152	0.19
c	600	$3.70 \times 10^5$	0.111	2.59	1	152	152	0.69
d	605	$3.70 \times 10^5$	0.111	6.178	1	152	152	0.11
e	600	$3.70 \times 10^5$	0.111	4.6	1	152	152	0.22

表 11.2-20 预测点辐射剂量率预测结果

目标点位	剂量率预测值 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	最终剂量率参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	结论
a	$1.40 \times 10^{-5}$	$\leq 2.5$	满足
b	0.19	$\leq 10$	满足
c	0.69	$\leq 10$	满足
d	0.11	$\leq 1.2$	满足
e	0.22	$\leq 2.5$	满足

注：d 点最终剂量率参考控制水平取防护门外 1/4 评价。

### (3) 后装机防护门屏蔽分析



对于放疗机房入口（迷道口），主要来自经迷道多次反射的散射辐射。参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZT201.3-2014）中对迷道口散射辐射屏蔽计算方法，计算迷路入口处的散射辐射剂量率  $\dot{H}$ ：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad \text{公式 (11-15)}$$

式中：A：放射源的活度，单位为兆贝可（MBq）；

$K_{\gamma}$ ：放射源的空气比释动能率常数， $\mu\text{Sv}/(\text{h}/\text{MBq})$ ；

$\alpha_w$ ：散射体的散射因子；

$S_w$ ：迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积， $\text{m}^2$ ；

$R_1$ ：辐射源至散射体中心点的距离，m

$R_2$ ：散射体中心点至计算点的距离，m；

表 11.2-21 防护门外剂量预测参数及结果

A (MBq)	$3.70 \times 10^5$
$K_{\gamma}$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	0.111
$\alpha_w$	$3.39 \times 10^2$
$S_w$	13.731
$d_1$ (m)	7.328
$d_2$ (m)	6.72
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	7.88

在没有防护门的情况下，后装机机房门口处的剂量率可达  $7.88 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，经过迷道壁两次散射后，迷道口的散射辐射能量约为  $0.2 \text{MeV}$ ，铅中的 TVL 值为  $5 \text{mm}$ ，而该后装机的防护门设计为  $8 \text{mmPb}$ ，可计算出在防护门的屏蔽后，迷道口的散射剂量率可降至  $0.198 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，与穿过迷道内墙的剂量率叠加可知后装机房防护门外的剂量率约为  $0.308 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

#### (4) 后装机房周围关注点年有效剂量估算

根据医院提供的资料，后装机房投入使用后，预计平均每天接待治疗病人不超过 5 人次，平均每位病人治疗时间约 10 分钟，年运行约 100 天，年治疗时间约为 83.4 小时。

表 11.2-22 后装机房周围关注点年有效剂量估算结果一览表

关注点	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年治疗时间 (t)	居留因子 (T)	年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )	剂量管理限值 ( $\text{mSv/a}$ )
a	$1.40 \times 10^{-5}$	83.4	1	$1.17 \times 10^{-6}$	5
b	0.19	83.4	1/16	$9.90 \times 10^{-4}$	0.25
c	0.69	83.4	1/16	$3.60 \times 10^{-3}$	0.25
d	0.308	83.4	1/4	$6.42 \times 10^{-3}$	0.25
e	0.22	83.4	1/4	$4.59 \times 10^{-3}$	0.25

由预测结果可知，在医院预测的工作负荷情况且在正常工作状态下，后装机房房的屏蔽设计能确保辐射工作人员附加年有效剂量不超过 5mSv、公众附加年有效剂量不超过 0.25mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求。

#### 11.2.2.2 固废

放射源使用到一定年限会产生退役的放射源，一般约半年更换一次，废源由放射源供应厂家负责调换、运输、处置，医院负责日常安全管理。医院应与放射源生产厂家签订放射源更换和退役放射源回收协议。

#### 11.2.2.3 废气

后装机房内的空气受到  $\gamma$  射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。项目后装机房通风换气次数满足每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

### 11.2.3 核医学科辐射影响预测与评价

核医学科辐射工作人员及周边公众所受年附加剂量计算公式如下：

$$H = \frac{A\Gamma}{R^2} \cdot 10^{-\frac{d}{D}} \cdot t \quad (11-16)$$

式中： $H$ —所受附加受剂量，mSv；

$A$ —放射性核素活度，MBq；

$\Gamma$ —放射性核素剂量率常数， $\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ；

$R$ —关注点与放射性核素的距离，m；

$d$ —屏蔽体的实际厚度，mm；

$D$ —十值层厚度，mm；

$t$ —年接触时间，h。

### (1) 放射性核素 $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 影响分析

$^{18}\text{F}$  显像诊断, 年诊断 3000 人次, 每人每次用量为 222MBq,  $^{18}\text{F}$  核素年用量为  $6.66 \times 10^5$  MBq,  $^{18}\text{F}$  每天分装时间约为 60 分钟, 一年工作 250 天, 分装时距离放射源的距离为 0.5m, 每人每次注射时间约为 20 秒, 注射时距离约为 0.3m, 医院拟安排 2 名注射医生对病人进行轮药物注射, 摆位时间约为 0.5 分钟, 摆位时距离约为 1m, 每次扫描时间约为 30 分钟。

分装人员每天分装的  $^{18}\text{F}$  核素最大量为  $15 \times 6\text{mCi} = 3330\text{MBq}$ , 每天分装时间约为 60 分钟, 年工作时间 250 天, 年分装时间为 250 小时; 注射医生每次注射时间为 20 秒, 拟安排 2 名注射护士进行注射, 则年注射时间为  $16.67/2 = 8.33$  小时; 摆位医生每次摆位时间 0.5 分钟, 则年摆位时间为 25 小时。控制室医生每次扫描时间为 30 分钟, 则年扫描时间为 1500 小时。本项目设置 3 间  $^{18}\text{F}$  注射后候诊室, 每间候诊室可容纳 2 人, 每位病人在候诊室内停留时间 45 分钟, 则病人在注射后候诊室内停留的最大时间为  $3000 \times 45 / (2 \times 3 \times 60) = 375$  小时; PET-CT 留观室按同时容纳 3 名病人进行计算, 病人在留观室内停留时间为 30 分钟, 则留观室内停留 3 名病人时间约为  $3000 \times 0.5/3 = 500$  小时。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  显像诊断, 年诊断 6000 人次, 每人每次用量为 555MBq,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  每次分装的时间为 30 分钟, 一年 250 次, 分装时距离放射源的距离为 0.5m, 每位病人摆位时间约为 0.5 分钟, 摆位时距离约为 1m, 每次扫描时间约为 15 分钟。

分装人员每天分装的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素量最大为  $30 \times 15\text{mCi} = 16650\text{MBq}$ , 每天分装时间约为 30 分钟, 一年 250 次, 年分装时间为 125 小时; 注射医生每次注射时间为 20 秒, 年诊治病人数 6000, 拟安排 2 名注射护士进行注射, 则年注射时间为  $33.33/2 = 16.67$  小时; 摆位医生每次摆位时间 0.5 分钟, 则年摆位时间为 50 小时。控制室医生每次扫描时间为 15 分钟, 则年扫描时间为 1500 小时。本项目设置 1 间  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  注射后候诊室, 病人在候诊室内停留时间 15 分钟, 最大存在 15 名病人候诊, 则病人在候诊室时间为  $6000 \times 15 / (15 \times 60) = 100$  小时。SPECT-CT 留观室按同时容纳 6 名病人进行计算, 病人在留观室内停留时间为 30 分钟, 则留观室内停留 6 名病人时间约为  $6000 \times 0.5/6 = 500$  小时。

$^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  应用场所各关注点的剂量预测结果见表 11.2-23。

表 11.2-23  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  工作场所年附加剂量预测参数及结果

预测点位		A (MBq)	R (m)	$\Gamma$ ( $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Mq}^{-1}$ )	t (h)	D (mm)	d (mm)	H (mSv/a)	备注
分装室	分装医生	3330	0.5	$1.43\times 10^{-4}$	250	16.6	50	0.463	$^{18}\text{F}$
		16650	0.5	$1.84\times 10^{-5}$	125	1	50		$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼上	222	4.8	$1.43\times 10^{-4}$	250	176	300	0.01	$^{18}\text{F}$
		555	4.8	$1.84\times 10^{-5}$	125	10	300		$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼下	222	3.4	$1.43\times 10^{-4}$	250	176	300	$1.36\times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
		555	3.4	$1.84\times 10^{-5}$	125	10	300		$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	防护门外	222	2.5	$1.43\times 10^{-4}$	250	16.6	8	0.419	$^{18}\text{F}$
		555	2.5	$1.84\times 10^{-5}$	125	1	8		$^{99\text{m}}\text{Tc}$
$^{18}\text{F}$ 注射室	注射护士	222	0.3	$1.43\times 10^{-4}$	8.33	16.6	6	1.28	$^{18}\text{F}$
	楼上	222	4.8	$1.43\times 10^{-4}$	8.33	176	300	$2.27\times 10^{-4}$	$^{18}\text{F}$
	楼下	222	3.4	$1.43\times 10^{-4}$	8.33	176	300	$4.52\times 10^{-4}$	$^{18}\text{F}$
	墙外	222	1.98	$1.43\times 10^{-4}$	8.33	176	251.9	$2.50\times 10^{-3}$	$^{18}\text{F}$
	防护门外	222	3.47	$1.43\times 10^{-4}$	8.33	16.6	8	$7.24\times 10^{-3}$	$^{18}\text{F}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射室	注射护士	555	0.3	$1.84\times 10^{-5}$	16.67	1	2	$1.89\times 10^{-2}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼上	555	4.8	$1.84\times 10^{-5}$	16.67	10	300	$7.39\times 10^{-33}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼下	555	3.4	$1.84\times 10^{-5}$	16.67	10	300	$1.47\times 10^{-32}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	墙外	555	1.98	$1.84\times 10^{-5}$	16.67	10	251.9	$2.80\times 10^{-27}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	防护门外	555	3.47	$1.84\times 10^{-5}$	16.67	1	3	$1.41\times 10^{-5}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
SPECT 候诊室	墙外	$555\times 15$	4.12	$1.84\times 10^{-5}$	100	10	251.9	$5.83\times 10^{-26}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼上	$555\times 15$	4.8	$1.84\times 10^{-5}$	100	10	300	$6.65\times 10^{-31}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼下	$555\times 15$	3.4	$1.84\times 10^{-5}$	100	10	300	$1.33\times 10^{-30}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	防护门外	$555\times 15$	4.12	$1.84\times 10^{-5}$	100	1	3	$9.02\times 10^{-4}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
SPECT 扫描间	摆位医生	555	1.0	$1.84\times 10^{-5}$	50	1	2	$5.11\times 10^{-3}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼上	555	4.8	$1.84\times 10^{-5}$	$1500\times 1/4$	10	300	$1.66\times 10^{-4}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	楼下	555	3.4	$1.84\times 10^{-5}$	1500	10	300	$1.33\times 10^{-3}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	墙外	555	4.2	$1.84\times 10^{-5}$	1500	10	25.19	$2.63\times 10^{-3}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
	防护门外	555	4.2	$1.84\times 10^{-5}$	1500	1	3	$8.68\times 10^{-4}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$

	观察窗外	555	4.2	$1.84 \times 10^{-5}$	1500	1	8	$8.68 \times 10^{-9}$	$^{99m}\text{Tc}$
SPECT 留观室	楼上	555×6	4.8	$1.84 \times 10^{-5}$	500	10	300	$3.32 \times 10^{-31}$	$^{99m}\text{Tc}$
	楼下	555×6	3.4	$1.84 \times 10^{-5}$	500×1/4	10	300	$2.65 \times 10^{-30}$	$^{99m}\text{Tc}$
	墙外	555×6	2.95	$1.84 \times 10^{-5}$	500	10	251.9	$2.27 \times 10^{-25}$	$^{99m}\text{Tc}$
	防护门外	555×6	2.95	$1.84 \times 10^{-5}$	500	1	3	$3.52 \times 10^{-3}$	$^{99m}\text{Tc}$
PET-CT 候诊室	墙外	222×2	2.55	$0.92 \times 10^{-4}$	375	176	251.9	$8.73 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	楼上	222×2	4.8	$0.92 \times 10^{-4}$	375	176	300	$1.31 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	楼下	222×2	3.4	$0.92 \times 10^{-4}$	375	176	300	$2.62 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	防护门外	222×2	2.55	$0.92 \times 10^{-4}$	375	16.6	8	0.777	$^{18}\text{F}$
PET-CT 扫描间	摆位医生	222×0.75	1.0	$0.92 \times 10^{-4}$	25	16.6	2	0.29	$^{18}\text{F}$
	楼上	222×0.75	4.8	$0.92 \times 10^{-4}$	1500×1/4	176	300	$4.92 \times 10^{-3}$	$^{18}\text{F}$
	楼下	222×0.75	3.4	$0.92 \times 10^{-4}$	1500	176	300	$3.92 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	墙外	222×0.75	4.2	$0.92 \times 10^{-4}$	1500	176	251.9	$4.83 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	防护门外	222×0.75	4.2	$0.92 \times 10^{-4}$	1500	16.6	8	0.429	$^{18}\text{F}$
	观察窗外	222×0.75	4.2	$0.92 \times 10^{-4}$	1500	16.6	8	0.429	$^{18}\text{F}$
PET-CT 留观室	楼上	222×3×0.75	4.8	$0.92 \times 10^{-4}$	500	176	300	$1.97 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	楼下	222×0.75	3.4	$0.92 \times 10^{-4}$	500	176	300	$3.92 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	墙外	222×3×0.75	2.95	$0.92 \times 10^{-4}$	500	176	251.9	$9.78 \times 10^{-2}$	$^{18}\text{F}$
	防护门外	222×3×0.75	2.95	$0.92 \times 10^{-4}$	500	16.6	8	0.87	$^{18}\text{F}$

注：1、 $^{18}\text{F}$ 病人经过注射后候诊室休息后，放射性核素由于代谢减少，本项目按照体内剩余3/4进行理论估算；2、根据AAPM Task Group 108， $^{18}\text{F}$ 注射进入人体后，身体吸收了一些湮灭辐射，因此，自注射后候诊室之后，人体中放射性核素 $^{18}\text{F}$ 放射性核素剂量率常数变为 $0.92 \times 10^{-4} \text{mSv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$ 。

经预测可知：辐射工作人员所受最大附加剂量为1.28mSv/a，公众所受最大附加剂量为 $9.78 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，均低于管理限值（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），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

## （2）放射性核素 $^{131}\text{I}$ 治疗影响分析

医院 $^{131}\text{I}$ 治疗甲亢和甲癌时，药物采取全自动分装仪自动分装。

由医院提供资料可知，甲癌患者人均服药量为 125mCi (4625MBq)，日最大操作人次为 8 人；治疗病人需提前预约，医院根据预约情况将两种病人分批次治疗，甲亢患者人均服药量为 6mCi (222MBq)，日最大操作人次为 8 人。

由于本项目  $^{131}\text{I}$  甲亢和甲癌治疗药物采取全自动分装仪自动分装，因此分装过程可忽略分装阶段对周围环境的影响。病人自取药物服用，医生位于服碘窗口后面进行指导服药，服碘窗口为 10mmPb。 $^{131}\text{I}$  甲亢和甲癌治疗时，工作场所辐射环境影响理论计算主要考虑  $^{131}\text{I}$  药物对指导服药工作人员影响。计算时，取其中具有代表性的甲癌病房（核医学科北侧）进行计算。甲癌普通病房内按照均按照 2 位服用 4625MBq (125mCi) 量的甲癌患者；甲癌 VIP 病房内均按照 1 位服用 4625MBq (125mCi) 量的甲癌患者，服药病人按点源考虑，位于病房中央位置。

医院  $^{131}\text{I}$  甲癌治疗病人约 300 人/年，其中普通病人约 200 人，VIP 病人约 100 人，每人每次病人服药时间约为 10 秒，则年服药时间为 2.22 小时；医院拟设置 5 间甲癌病房（共 8 个床位），其中普通病房 3 间（共 6 个床位），VIP 病房 2 间（共 2 个床位），供甲癌病人居住，按照每位病人住院 7 天计算，则甲癌普通病房病人时间为  $7 \times 24 \times 200 / 3 \times 2 = 5600$  小时，甲癌 VIP 病房病人时间为  $7 \times 24 \times 100 / 2 = 8400$  小时。

医院  $^{131}\text{I}$  甲亢治疗病人约 500 人/年，每人每次病人服药时间约为 10 秒，年治疗病人 500 人，则年服药时间为 1.39 小时。甲亢治疗病人在留观室停留时间约为 30 分钟，甲亢留观室最大停留人数为 5 人，则甲亢留观室最大停留 5 人时间为 50 小时。

治疗抢救室抢救病人约 100 人次/年，每次抢救时间约为 1h，则病人在抢救室最大停留时间约为 100h。

$^{131}\text{I}$  工作场所各关注点的屏蔽符合性分析详见表 11.2-24。

表 11.2-24  $^{131}\text{I}$  工作场所年附加剂量预测参数及结果

预测点位		A (MBq)	R (m)	$\Gamma$ (mSv·h <sup>-1</sup> ·MBq <sup>-1</sup> )	t (h)	D (mm)	d (mm)	H (mSv/a)	备注 (材质)
分药室	指导医生	4625	0.5	$5.22 \times 10^{-5}$	2.22	7.6	50	$5.82 \times 10^{-7}$	铅
		222	0.5	$5.22 \times 10^{-5}$	1.39	7.6	50		铅
服碘室	楼上	4625	4.8	$5.22 \times 10^{-5}$	$2.22 \times 1/4$	100	300	$6.09 \times 10^{-6}$	混凝土
		222	4.8	$5.22 \times 10^{-5}$	$1.39 \times 1/4$	100	300		混凝土
	楼下	4625	3.4	$5.22 \times 10^{-5}$	2.22	100	300	$4.78 \times 10^{-5}$	混凝土
		222	3.4	$5.22 \times 10^{-5}$	1.39	100	300		混凝土
	墙外	4625	1.5	$5.22 \times 10^{-5}$	2.22	100	284	$3.55 \times 10^{-4}$	混凝土
		222	1.5	$5.22 \times 10^{-5}$	1.39	100	284		混凝土

	防护门外	4625	1.5	$5.22 \times 10^{-5}$	2.22	7.6	4	$7.30 \times 10^{-2}$	铅
		222	1.5	$5.22 \times 10^{-5}$	1.39	7.6	4		铅
甲癌普通病房	墙外	9250	3.02	$5.22 \times 10^{-5}$	5600×1/4	100	284	0.107	混凝土
	楼上	9250	4.8	$5.22 \times 10^{-5}$	5600×1/4	100	300	$2.93 \times 10^{-2}$	混凝土
	楼下	9250	3.4	$5.22 \times 10^{-5}$	5600	100	300	0.234	混凝土
	防护门外	9250	3.02	$5.22 \times 10^{-5}$	5600	7.6	14	4.26	铅
甲癌VIP病房	墙外	4625	3.02	$5.22 \times 10^{-5}$	8400×1/4	100	284	$8.04 \times 10^{-2}$	混凝土
	楼上	4625	4.8	$5.22 \times 10^{-5}$	8400×1/4	100	300	$2.20 \times 10^{-2}$	混凝土
	楼下	4625	3.4	$5.22 \times 10^{-5}$	8400	100	300	0.175	混凝土
	防护门外	4625	3.02	$5.22 \times 10^{-5}$	8400	7.6	14	3.20	混凝土
甲亢留观室	墙外	1110	3.37	$5.22 \times 10^{-5}$	50	100	284	$3.69 \times 10^{-4}$	混凝土
	楼上	1110	4.8	$5.22 \times 10^{-5}$	50×1/4	100	300	$3.14 \times 10^{-5}$	混凝土
	楼下	1110	3.4	$5.22 \times 10^{-5}$	50	100	300	$2.51 \times 10^{-4}$	混凝土
	防护门外	1110	3.37	$5.22 \times 10^{-5}$	50	7.6	6	$4.14 \times 10^{-2}$	铅
治疗抢救室	墙外	4625	3.37	$5.22 \times 10^{-5}$	100	100	284	$3.07 \times 10^{-3}$	混凝土
	楼上	4625	4.8	$5.22 \times 10^{-5}$	100×1/4	100	300	$5.24 \times 10^{-4}$	混凝土
	楼下	4625	3.4	$5.22 \times 10^{-5}$	100	100	300	$2.09 \times 10^{-3}$	混凝土
	内侧防护门	4625	3.37	$5.22 \times 10^{-5}$	100	7.6	6	0.345	铅
	外侧防护门	4625	3.37	$5.22 \times 10^{-5}$	100	7.6	14	$3.06 \times 10^{-2}$	铅

注：硫酸钡密度不低于  $3.8\text{g/cm}^3$

经预测可知：核素  $^{131}\text{I}$  工作场所辐射工作人员所受最大附加剂量为  $4.26\text{mSv/a}$ ，公众所受最大附加剂量为  $0.234\text{mSv/a}$ ，均低于管理限值（辐射工作人员年有效剂量不超过  $5\text{mSv}$ ，公众年有效剂量不超过  $0.25\text{mSv}$ ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188 71-2002）中关于“剂量限值”的要求。

### （3）放射性废水影响分析

本项目放射性废水的主要来源是工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液，受检患者冲洗排使用水，以及甲癌治疗的住院病人的生活污水。这些废水通过单独的下水管道连接至专用衰变池，项目共设置 2 座衰变池，其中 PET-CT 和 SPECT-CT 工作场所共用放射性衰变池 1 座，核素治疗工作场所设放射性衰变池 1 座，每座衰变池由 3 个并联的衰变池组成，显像诊断衰变池总有效容积为  $15\text{m}^3$ ，核素治疗场所衰变池总有效容积为

360m<sup>3</sup>。在医院预计的工作负荷且正常工作状态下，衰变池的设计容积能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“放射性废液排放限值”的要求。且衰变池位于二期住院楼外东北侧绿化草坪内，为地理式，衰变池地面均为草坪，人员极少活动，地势开阔，相对周边地形要高，不易积水，位置设置合理。衰变池采用钢混结构，并联式，非动力流动。池壁四周做好防腐防水，且在每个池子的顶部预留检修孔。

放射性废水在排放之前应经过监测低于国家排放管理限值后（总放射性为10Bq/L），排至医院医疗污水管网，经医院污水处理站再行处理，处理达标后流入市政污水管网，放射性核素产生的辐射影响较小。

#### （4）放射性废气影响分析

开放型放射性液态 <sup>131</sup>I、<sup>99m</sup>Tc 和 <sup>18</sup>F 等在分装过程中，自然挥发，松散的表面放射性污染物再悬浮转移至空气中可转变为放射性气体和气溶胶。为了防止工作人员内照射，该核医学科设置 2 间分装室（显像诊断工作场所一个，核素治疗工作场所 1 个），分装室内均设置分装柜，具有独立排风系统，可保证药物分装过程中的负压，且风速将达到 1m/s 以上，分装室内均预留了一个直通屋面的管道，分装柜安装到位后，管道连接至该预留管道，排风口位于所在大楼的楼顶，设有活性炭过滤器，高出屋顶排放。

核医学科设置独立排风系统，显像诊断工作场所设 2 套排风系统，其中注射室、分装室、候诊室、扫描机房、留观室等含放射性物质单独设置 1 套排风系统，问诊室、值班室等不含放射性物质单独设置 1 套；核素治疗工作场所设 2 套排风系统，其中医生淋浴间单独设 1 套，其他区域可能含放射性物质单独设置 1 套。对于过滤器的处理，按国家《放射性污染防治法》的要求，医院定期（约 1 年 1 次）进行更换，更换下来的废弃过滤器暂存于放射性废物间内，经过 10 个半衰期后按医疗垃圾处理。分装及派药后仍应通风一段时间，以降低高活性室内的空气中放射性气体浓度，分装托盘使用后应立即清洁。

#### （5）放射性固废影响分析。

本项目核医学科运行过程中报废的放射性药剂及药瓶由供货商厂家回收。

本项目放射性固废主要包括擦拭的棉球、纱布、一次性垫纸、吸水纸、注射器等带有微量放射性的医疗固体废物，其产生量约为 250kg/a，收集入废物桶内暂



存，铅废物桶由 2cm 厚的铅构成，收集满的的铅废物桶则贮存于废源间内，经过 10 个半衰期后再按照普通医疗废物处理，环境影响较小。

**评价要求：**放射性固体废物收集容器 尽量 采用脚踏式开闭盖，外表面有电离辐射标志。受污染的低放射性的乳胶手套、棉纱 、吸水纸 和抹布等物，应当在装入纸袋后投入放射性废物收集箱中，受污染的破碎玻璃器皿经双层包装后单独收集，单独储存。

#### (6) 放射性药剂贮存及管理

本项目放射性药物使用多少则采购多少，特殊情况下，比如患者违约，药物余留。该部分放射性药物包括需要临时暂存的放射性药物则放置在 2cm 厚铅盒内，然后放置于 50mmPb 的通风柜内贮存，药品和治疗源产生的电离辐射经屏蔽后，对周围环境和公众影响轻微。放射性药剂是一种特殊类型的药物，在核医学日常应用中，必须严格管理。

①在采购放射性药品时，所供应的产品必须有醒目的标签，内容包括：放射性药物名称、总活度、体积、生产日期、有效使用时间及制造厂家；包装要符合辐射防护的规定，容器表面剂量符合规定。

②分装、注射区门上标示醒目的电离辐射警示标志；放射源每次的进出有详细的记录，每月定期清理检查一次，校对所有放射性核素，一旦发现与记录登记不符时，进行查实。

③一旦发生被盗或丢失事故，应立即安排人员采取各种途径尽快寻找，并及时将事故情况上报环境保护主管部门、公安部门。技术人员处理被丢失的裸露的药品时，应配备防护铅衣、铅手套、铅防护眼镜等防护措施和必要的剂量监测设备，并进行表面请污。

④过期的放射性药品在下次进药时，退回药品生产厂家。

## 11.3 事故影响分析

### 11.3.1 事故风险危害识别分析

对宁德市医院的射线装置、放射源和放射性药物使用过程中可能发生的事故分析如下：

#### (1) 射线装置可能发生的辐射事故

本项目射线装置主要直线加速器，可能存在如下风险：

①射线装置在不停机，防护屏蔽又达不到要求情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射；

②在防护屏蔽达到要求、联锁装置或报警系统失效的情况下，公众、辐射工作人员误入正在运行的射线装置机房，造成额外的照射；

③因管理不善，人员未全部撤离机房，射线装置运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射。

#### (2) 放射源可能发生的辐射事故

①后装治疗机在不停机，防护屏蔽又达不到要求情况下，给周围活动人员及工作人员造成额外的照射；

②安全连锁或报警系统发生故障的情况下，辐射工作人员及公众误入正在运行的后装治疗机机房，造成额外的照射；

③因管理不善，人员未全部撤离机房，后装治疗机运行给辐射工作人员及公众造成额外的照射；

④卡源事故（指准直器和源体不能回归零位），造成病人额外照射；

⑤因管理不善，造成放射源丢失、被盗。

#### (3) 核医学诊断及治疗中可能发生的辐射事故

①放射性药品的被盗、丢失与房间火灾事故。

②医疗操作过程中打翻、撒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染。

### 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，放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》，向市、省环境保护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行政部门报告。

#### 2、辐射事故应急措施

辐射事故类别及处理措施详见表 11.3-1：

表 11.3-1 事故类别及处理措施

辐射事故	风险识别	应急措施
医用电子直线加速器	误照事故 超剂量照射	①一旦发现有人员误入机房，工作人员应立即利用最近的紧急止动开关切断设备电源；②误入人员应在最短的时间内撤离治疗室，尽量缩短人员的受照时间。当班人员划出警戒范围，设置明显的电离辐射标志，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环境保护主管部门及省环保部门，发生医疗损伤时上报卫生部门；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。
后装治疗机机房 (Ⅲ类放射源)	误入事故，超剂量照射	①一旦发现有人员误入机房，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治疗室，尽量缩短人员的受照时间。当班人员划出警戒范围，设置明显的电离辐射标志，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环境保护主管部门及省环保部门，发生医疗损伤时上报卫生部门；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。
	卡源事故 超剂量照射	①一旦发现卡源事故，工作人员应立即启动应急按钮，使放射源迅速返回贮源器；②放射源完全卡死情况下，工作人员应疏导误入人员在最短的时间内撤离治疗室，尽量缩短人员的受照时间。当班人员划出警戒范围，设置明显的电离辐射标志，禁止公众人员入内。通知辐射事故应急小组进行处理；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发现上述事故者应由医院辐射事故应急小组上报当地环境保护主管部门及省环保部门，发生医疗损伤时上报卫生部门；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
	被盗丢失	①马上启动应急措施，应立即安排人员使用 X-γ 辐射剂量巡测仪，尽快寻找被丢失的放射性药品盒②及时将事故情况上报环境保护主管部门、公安部门③医护人员处理被丢失的放射源时，应控制与被丢失的放射源近距离接触时间，设置明显的电离辐射标志，禁止公众入内。
放射性药品（放射源）辐射事故	撒漏	马上启动应急措施，立刻停止治疗。迅速用吸水纸吸干撒漏的液体，用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭污染区域，用 表面污染监测仪测量污染区，直到 β 表面污染水平达到（GB18871-2002）的要求；擦拭过程中产生的污染物品及撒漏处受污染的垫子，作为放射性废物存放于废源间的铅废物桶内，达到 10 个半衰期后作为医疗垃圾进行处理。
	被盗丢失	①马上启动应急措施，应立即安排人员使用 X-γ 辐射剂量巡测仪，

		尽快寻找被丢失的放射性药品盒②及时将事故情况上报环境保护主管部门、公安部门③医护人员处理被丢失的放射性药品盒时，应控制与被丢失的放射性药品盒近距离接触时间，设置明显的电离辐射标志，禁止公众入内。
	失火	①马上启动应急措施，立刻停止治疗作业，使用固体灭火剂进行灭火；②将存在放射性药品或废物的场所设为控制区；③将火烧毁的放射性药品及被粘污的物品为放射性废物进行存放，达到 10 个半衰期后作为医疗垃圾进行处理，半衰期较长的应送城市放射性废物间存放。

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以上应急响应流程医院每年组织演练一次。

### 3、事故预防措施

#### (1) 直线加速器、后装机

①在机房安装连锁装置，机房迷道入口设置红外线保护装置，防护门上张贴电离辐射警示标志，机房门口墙上安装工作状态指示灯。机房墙面、治疗床、迷道、控制室、操作台等处安装紧急停机按钮，并机房及迷道设置摄像监视系统，转角处设置固定式报警仪；

②拟为辐射工作人员配置个人剂量计、个人剂量报警仪、铅防护服及辐射监测仪。

#### (2) 核医学科

①两处（显像诊断工作区域、核素治疗区域）非密封放射性物质工作场所分为控制区、监督区，控制区工作场所墙体、天棚、地面、观察窗、防护门均拟施工足够的防护厚度。核医学科工作人员和患者走道分明。

②在控制区入口、机房出入口处张贴醒目的电离辐射警示标志，并附中文警示说

明。

③核医学科设有专用病人卫生间，并设有专用排污管道及衰变池，且衰变池容量能满足放射性废水存放 10 个半衰期的要求。

④在分装室拟安装双联通风橱，在  $^{131}\text{I}$  给药室设置全自动分装仪，且通风口高于主楼楼顶。

⑤为辐射工作人员配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅手套、铅眼镜、个人剂量计、个人剂量报警仪及辐射监测仪器、表面污染监测仪等防护用品。

**表 12 辐射安全管理**

**12.1 辐射安全与环境保护管理机构与人员的设置**

(1) 辐射安全与环境保护管理机构

宁德市医院根据环境保护部令第 3 号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的规定和环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定已设立放射卫生防护管理委员会，并明确组员成员的职责，见附件 3。

放射卫生防护管理委员会成员如下：

组长：王小勇

副组长：薛青 袁涛

成员：陈为国、陈依松、魏鼎泰、刘建雄、林益匡、汪永红、林施峰、陈从其、焦雪峰、蔡智基。

放射卫生防护管理委员会下设办公室，挂靠医务科。

办公室主任：袁涛

联系电话：0593-2292135

主要职责：建立健全各项规章制度和质量保证制度，定期组织召开开会，对放射工作的立项、防护安全、设备的引进以及防护设施的配置等进行论证，提出实施方案与计划，为医院领导决策提供科学依据。

(2) 辐射工作人员配置

医院现有辐射工作人员 85 名（其中援非 1 人，在岗 84 人），其中候琚、郑添秀、雷杜晶培训期间休产假，许舒国培训期在外出差，邢培秋援非不在院内工作，刘中田为 2019 年新进员工，因此以上人员未参加辐射安全与防护培训，其他 79 名辐射工作人员均取得了培训合格证，医院应暂停候琚、郑添秀、雷杜晶、许舒国、刘中田从事辐射工作，尽快安排其参加辐射安全培训并取得培训合格证后上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。

**12.2 辐射安全管理规章制度**

宁德市医院已建立以院领导为第一责任人的放射卫生防护管理委员会，并制定了《宁德市医院关于重新调整放射卫生防护管理委员会的通知》、《宁德市医院放射源安全管理制度》、《宁德市医院辐射事故/事件应急预案》、《核医学科的主要管理制度》、《放疗室放射诊疗防护组织人员及职责》、《放疗室负责人岗位职责》、《放疗物理师岗

位职责》、《宁德市医院放射防护负责人职责与授权制度》、《制模室人员岗位职责》、《核医学科各级人员的岗位职责》、《后装机操作规程》、《直线加速器操作规程》《放射源返回和退役规定》、《放射治疗基本规范》、《核医学科操作规程》、放射诊疗设备的保养维修制度》、《核医学科仪器设备使用和管理制度》等一系列规章制度，基本能满足医院现有核技术应用项目及该项目投入运行后的管理需要，但尚存在一些问题和需进一步明确的内容，医院放射卫生防护管理委员会须牵头对辐射安全相关制度进行系统修订，提高制度可操作性，做到所有辐射工作都有章可循，有制度保障。因此，该环评报告按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年修正版）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第18号令）的要求提出以下建议：

**表 12.2-1 宁德市医院已建立的管理制度**

医院成立的管理制度	可行性分析	是否可行
放射安全防护管理制度	医院制定了《宁德市医院关于重新调整放射卫生防护管理委员会的通知》、《宁德市医院放射源安全管理制度》、《核医学科的主要管理制度》对医院辐射工作人员职责、工作程序和个人防护做出要求	可行
辐射事故应急预案	医院制定《宁德市医院辐射事故/事件应急预案》，规定了发生辐射事故时医院相关人员职责和处理程序，将辐射事故的影响减少到最小。	可行
岗位职责	医院制定的《放疗室放射诊疗防护组织人员及职责》、《放疗室负责人岗位职责》、《放疗物理师岗位职责》、《宁德市医院放射防护负责人职责与授权制度》、《制模室人员岗位职责》、《核医学科各级人员的岗位职责》明确了放疗科工作人员和管理人员在辐射工作中各自的责任	可行
辐射工作人员培训计划	尚未制定	需补充
操作规程	医院制定了《后装机操作规程》、《直线加速器操作规程》《放射源返回和退役规定》、《放射治疗基本规范》、《核医学科操作规程》中规定了辐射工作人员操作射线装置的详细流程，能减少辐射事故的发生。	可行
设备保养维护制度	医院制定了《放射诊疗设备的保养维修制度》、《核医学科仪器设备使用和管理制度》中提出了对机房安全防护设备和射线装置的定期检修和维护要求，能防止因设备损坏造成辐射事故	可行
职业健康体检制度	尚未制定	需补充
个人剂量监测制度	尚未制定	需补充

医院应严格执行辐射安全管理规章制度，并补充《辐射工作人员培训计划》、《职业

健康体检制度》、《个人剂量监测制度》，根据医院的发展，及时对辐射安全管理规章制度进行补充完善，在此基础上医院的辐射安全管理规章制度符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 修正）。

### 12.3 辐射监测

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关标准和规范的要求，医院针对此次核技术应用项目制定了相应的辐射监测计划，包括

（1）每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

（2）辐射工作人员应配备个人剂量计，并定期送检。

医院严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，为辐射工作人员配备个人剂量计，同时应根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计，并进行个人剂量监测（1 次/季度），建立个人剂量档案，并为工作人员保存职业照射记录。

目前医院现有 85 名辐射工作人员均配带了个人剂量计，部分人员由于外出学习和休假未进行个人剂量检测，从宁德市医院 2018 年 6 月~2019 年 6 月的个人剂量计送检结果表明：医院辐射工作人员年累积剂量在 0.09mSv~1.645mSv 范围内，现有射线装置的辐射工作人员所受累积剂量均不会超过项目剂量约束限值，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业人员的剂量限值（20mSv）的要求。

（3）辐射工作人员应定期进行职业健康体检，不得少于每两年一次。

医院现有 85 名辐射工作人员，其中 66 名辐射工作人员具有职业健康体检报告，体检时间为 2018 年 5~12 月，体检结论均为可继续原放射工作；剩余 19 名辐射工作人员无职业健康体检报告（其中 1 名人员（侯珺）援疆；1 名人员（邢培秋）援非，4 名工作人员（雷杜晶、郑添秀、汪海燕、陈青）怀孕或休产假，1 名护士（汤秋平）属于 2018 年由其他科室新转入导管室，1 名新进人员（刘中田），1 名人员在院外规培（尤梦翔），其余 10 人员进行了职业健康体检但检查项目不全，不符合要求）。医院应建立辐射工作人员职业健康制度，并对未体检的工作人员尽快安排体检。

辐射监测计划表见表 12.3-1。



表 12.3-1 日常辐射监测计划

监测场所		监测点位	监测项目	监测频率
医用直线加速器、后装机	工作场所	操作位、机房防护门、四周墙壁等屏蔽体外表面 30cm 处	X-γ 辐射剂量率	每季度 1 次，发现异常时适当增加监测频次
	外环境	辐射工作场所周围的环境，人员流动较多的地方		
	联动装置、视频监控系统、对讲装置、报警装置等辐射防护装置		安全	每天一次
	辐射工作人员		累积剂量	每个季度个人剂量片送检一次
健康体检			两年一次	
核医学科	工作场所	显像诊断工作场所的分装室、注射室、候诊室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、留观室、控制室；核素治疗工作场所的分装室、服药间、留观室、甲癌病房等	X-γ 辐射剂量率	每月一次
	外环境	辐射工作场所周围的环境，人员流动较多的地方	X-γ 辐射剂量率	每年一次
	工作台、设备和墙壁、地面		表面沾污	每次操作使用放射性物质结束后
	辐射工作人员		年累计剂量	每季度送检
			健康体检	两年一次
衰变池排放口		总 β 放射性	放射性废水排放前	

## 12.4 辐射事故应急

宁德市医院已制定宁德市医院辐射事故/事件应急预案。

### 12.4.1 辐射事故应急响应机构的设置

医院已成立放射卫生防护管理委员会，组长为分管院领导，成员主要由放射科、核医学科、设备处和医务部负责人组成。

组长：王小勇

副组长：薛青 袁涛

成员：陈为国、陈依松、魏鼎泰、刘建雄、林益匡、汪永红、林施峰、陈从其、焦雪峰、蔡智基。

放射卫生防护管理委员会下设办公室，挂靠医务科。

办公室主任：袁涛

主要职责：

- (1) 负责组织应急准备工作、调度人员、设备、物质等，开展工作；

- (2) 对放射事故现场进行组织协调，安排救助，指挥放射事故应急救援行动；
- (3) 负责向公安、环保及上级行政主管部门报告放射污染事件应急救援情况；
- (4) 负责恢复本单位正常秩序。

#### 12.4.2 辐射事故应急预案和应急人员的培训演习计划

##### (1) 应急培训

医院开展放射事故应急培训主要以专家授课为主，为提升医务人员的放射安全防护意识，避免放射事故的发生，医院将定期邀请省环保厅、省放射环境监督站专家来院讲课，主要内容包括放射安全基础知识、电离放射医学应用的防护安全、放射事故与/事件应急措施等内容。

##### (2) 演练计划

放射计划领导小组根据需要，每年至少组织一次放射事故应急演练，放射事故应急演练分为专业性演练和综合性演练两种，专业性演练由放射事故应急小组成员参加，综合性演练除了应急事故小组外，各相关科室成员均要求参加。

培训和演练须有事前的方案和程序，事后的总结和报告，必要时可根据演练中发现的问题及时整改。

医院原有核技术利用项目严格执行了应急预案，并针对可能发生的辐射事故采取了相应的辐射防护措施。截止 2019 年 11 月，该院原有核技术利用项目均正常运行，未发生过辐射事故。

在发生辐射事故时，医院应能够立即启动本单位的应急预案，采取应急措施，及时向当地人民政府环境保护主管部门报告，同时向当地人民政府、公安部门和卫生主管部门报告。

#### 12.5“三同时”验收一览表

针对宁德市医院扩建核技术利用项目，提出以下“三同时”验收一览表，具体详见表 12.5-1:

表 12.5-1 “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	核医学科	<b>清污:</b> 放射性核素操作过程中如果出现药品泼洒在地板或操作台可其他物体表面，立即进行标记，并用吸水纸吸取、棉纱擦拭、清洗等处理清洁方式处理。	表面沾污满足 GB18871-2002 附录 B2 要求
		<b>废水:</b> 在住院楼东北角设置两座衰变池，分别收集显像诊断区域和核素治疗区域的放射性废水，每座衰变池由 3 个并联的衰	超过 10 个半衰期接入医院污水

		<p>变池组成。其中显像诊断区域衰变池总有效容积为 15m<sup>3</sup>，核素治疗区域衰变池总有效容积为 360m<sup>3</sup>。经衰变池处理后排入医院污水处理站处理后接入城市污水管网。放射性废水在排放之前应经过监测低于国家排放管理限值后（总放射性为 10Bq/L）</p>	<p>处理站</p>
		<p><b>废气：</b>医院在各注射准备室设置通风柜，放射性药物的分装等均在通风柜内操作，通风橱的顶部连接通风管道，其通风量应能保证在通风橱半开条件下风速不小于 1m/s，能有效防止放射性气溶胶逸出工作室，外排风管口其高度应超出本建筑物屋脊，并且应设置活性炭过滤器。核医学科其他房间则通过空调系统进行通风换气。</p>	<p>减少放射性废气对工作人员的影响</p>
		<p><b>固废：</b>放射性药品瓶、一次性注射器、服用器皿、试管、手套和纱布等放射性废物则储存在储源室及注射准备室内的铅废物桶（20mmPb）中，10 个半衰期后作为一般医疗废物处置。</p>	<p>不会产生二次污染</p>
		<p><b>屏蔽措施：</b>  <b>显像诊断工作区域：</b>分装室、抢救室、运动负荷室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、注射室、注射后候诊室、留观室、室四周墙体均为 37cm 黏土实心砖墙，楼板和地板均为 30cm 的混凝土；PET-CT 机房观察窗、防护门均为 8mmPb 当量，<sup>18</sup>F 注射室、PET-CT 注射后候诊室、PET-CT 留观室防护门均为 8mmPb 当量、注射室注射窗口为 40mmPb 当量； SPECT-CT 机房防护门为 3mmPb 当量、观察窗为 8mmPb 当量；<sup>99m</sup>Tc 注射室防护门为 3mmPb 当量、注射窗口为 8mmPb 当量；SPECT-CT 注射后候诊室、SPECT-CT 留观室防护门均为 3mmPb 当量；运动负荷室防护门为 3mmPb 当量。分装室内通风柜铅当量为 50mmPb，针筒有专用防护盒和防护套，防护铅当量分别为 20mmPb 和 6mmPb。  <b>核素治疗工作区域：</b>服药室、分装室、储源室、抢救室、被服衰变间、治疗评估室、留观室、<sup>18</sup>F 甲癌病房四周墙体为 37cm 黏土实心砖，顶棚、地坪为 30cm 混凝土；服药室防护门为 4mmPb 当量，分装室防护门为 14 mmPb 当量，储源室防护门为 8mmPb 当量，废物间、被服衰变间防护门为 6mmPb 当量，甲癌病房防护门为 8mmPb 当量，留观室防护门为 6mmPb 当量。</p>	<p>瞬时剂量率不超过 2.5μSv/h；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</p>
<p>屏蔽措施</p>	<p>医用直线加速器</p>	<p>①东、西主屏蔽墙为 2.7m 混凝土（密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>），次屏蔽墙为 1.5m 混凝土；南侧为迷道，迷道内外墙分别为 1.5m 和 1.0m 混凝土，北侧屏蔽墙为 1.5m 混凝土；顶棚采用重晶石混凝土浇筑（密度按 3.0g/cm<sup>3</sup> 计），主屏蔽墙为 2.3m 的重晶石混凝土+0.3m 厚的土壤层（密度按 1.6g/cm<sup>3</sup> 计），次屏蔽为 1.2m 厚重晶石混凝土（密度按 3.0g/cm<sup>3</sup> 计）+1.4m 厚的土壤层（密度按 1.6g/cm<sup>3</sup> 计）。                  ②防护门为 20mm 铅当量+90mm 厚含硼聚乙烯。                  ③通风管道采用迷宫式预埋套管穿过屏蔽墙。</p>	<p>瞬时剂量率不超过 2.5μSv/h，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</p>
	<p>后装机</p>	<p>①机房采用密度为 2.35g/cm<sup>3</sup> 混凝土浇筑。四侧墙体屏蔽墙厚均为 0.6m；迷道内墙厚为 0.6m；顶棚屏蔽为 0.6m。                  ②防护门为 8mmPb 当量。</p>	

<p>安全防护措施</p>	<p>医用直线加速器机房</p>	<p>①警示标志：直线加速器机房防护门门外顶部拟设置工作状态指示灯，直线加速器开机使用时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；在防护门门外拟张贴电离辐射警示标识并附中文说明。</p> <p>②联动装置：直线加速器机房拟设置门-灯联动装置、门-机联动装置，只有在防护门关闭状态下且警示灯亮时才可进行照射，设备在出束过程中若防护门打开，设备自动停止出束。</p> <p>③紧急停机装置：直线加速器机房内拟安装紧急停机开关，分别设置于治疗室墙面、迷路墙面及控制室内操作位，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束，安装高度约为 1.2m。</p> <p>④视频监控系统：直线加速器机房内拟安装视频监控系统，便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路内病人及医护人员的情况。</p> <p>⑤对讲装置：直线加速器控制室与治疗室之间拟安装语音对讲装置，便于控制室与机房内人员沟通。</p> <p>⑥报警装置：机拟安装 1 台固定式剂量报警仪，探头安装于迷路口，显示器安装于控制室内，同时拟配备 2 台个人剂量报警仪。剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值，当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值时进行报警。</p> <p>⑦监测装置：医院拟配备 1 台辐射监测仪，用于医院辐射工作场所日常监测。</p> <p>⑧通风系统：机房内设置了送风和排风系统，进风口设置在机房西侧，排风口设置在机房东角，排风引至楼层集中排风井，风量为 5000m<sup>3</sup>/h。</p> <p>⑨人员防护措施：控制室内操作人员采取隔室操作方式，辐射工作人员及机房周边的其他人员通过控制室与各机房之间的墙体、铅门等屏蔽射线。同时为辐射工作人员配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅围裙等辐射防护用品各 1 套。</p>	<p>满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）</p>
	<p>后装机房</p>	<p>①治疗室与准备室、控制室分开设置。②治疗室拟设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次。③治疗室入口采用迷路形式，安装防护门设置门-机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下如开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内置应急开关，按下急停开关能使放射源自动返回贮源器；并设置放射源监测器。④治疗室防护门设置手动开门装置，并设置声、光报警装置。⑤在治疗室和控制室之间设置监视与对讲设施。⑥设备控制台的设置能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。⑦配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。⑧治疗室墙壁及防护门进行有效屏蔽，屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不超过 2.5μSv·h<sup>-1</sup>。⑨在治疗室迷道出、入口设置固定式辐射剂量监测仪并具有报</p>	<p>满足《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ 121-2017）</p>

	<p>警功能，显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p>	
核医学科	<p>①在分装质控室、储源室、注射台、服药间、注射后候诊处、各扫描室机房、留观室、污物间、病人专用卫生间和核医学科出入口等工作场所均设置电离辐射警告标志；注射分装室内铅药品罐、铅废物桶、通风柜表面设置电离辐射标志。</p> <p>②SPECT-CT 机房、PET-CT 机房设置观察窗和对讲装置，受检者出入口防护门上方设置工作指示灯。</p> <p>③各质控分装室设置通风柜。通风柜工作中有足够的风速（不小于 1m/s），排气口高于所在建筑楼屋脊，并设有活性炭等专用过滤装置。</p> <p>④储源室、污物间内设置视频监控系统，并设置门锁，实行双人双锁管理。</p> <p>⑤注射区和服药间均配置移动铅防护屏风、铅注射套、铅注射盒、移动防护注射车、铅废物桶等防护用具。另外，为防止表面污染以及放射性气溶胶由呼吸道进入人体，医院拟为相关人员配备铅防护服、铅防护眼镜、铅围脖、铅橡胶手套、铅橡胶帽子等个人防护用品，拟配置的个人防护用品数量应能够满足相关人员的放射防护需求。</p> <p>⑥在核医学科患者通道和患者离开通道内的多处防护门设置门禁，防止给药后患者进入非放射工作区，以及防止无关人员进入放射性工作区。</p> <p>⑦拟配备热释光个人剂量片（按工作人员配备）、1 台 <math>\beta</math> 表面污染监测仪和 1 台 X-y 剂量监测仪。</p> <p>⑧核医学科设置专用卫生间，给药后的病人使用具有防护标志的专用卫生间，专用卫生间下水道通往衰变池。</p> <p>⑨PET-CT 和 SPECT-CT 工作场所共用放射性衰变池 1 座，由 3 个并联的衰变池组成，容量均为 5m<sup>3</sup>。核素治疗区域工作场所设计了放射性衰变池 1 座，由 3 个并联衰变池组成，容量均为 120m<sup>3</sup>。</p> <p>⑩在通风橱，若有药品不慎滴漏，马上进行擦拭、清洗，进行表面污染测量，直至达到安全水平。</p> <p>⑪医院严格建立完善的放射源管理台账，做到交接账目清楚、账物相符。</p> <p>⑫医院应做好清洁用品的管理工作，清洁用品分区使用，防止污染。</p> <p>⑬放射性药品运输由有资质的放射性药品运输单位负责。本项目外购放射性药品的运输应满足国家标准《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求，确保运输安全。</p> <p>⑭各放射性场所应设置通风设备。项目应由有资质的单位设计施工，设计施工应符合放射卫生防护法规和标准要求，保障周围环境安全。</p>	<p>满足《临床核医学科放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）</p>
个人防护	<p>辐射工作人员参加辐射安全与防护培训取得培训合格证</p>	<p>辐射工作人员均取得培训合格证</p>

		配置表面沾污仪、辐射剂量巡测仪以个人剂量报警仪，以便后装机操作人员进入机房时使用	按要求送检，并确保运行正常
		辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测	按要求佩戴/送检
		配置铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等个人防护用品	按要求配置/佩戴
管理措施	管理机构	已建立以院领导为第一责任人的放射卫生防护管理委员会构架	辐射安全负责人需取得培训合格证
	管理制度	制定《核医学科的主要管理制度》、《放疗室放射诊疗防护组织人员及职责》、《放疗室负责人岗位职责》、《放疗物理师岗位职责》、《宁德市医院放射防护负责人职责与授权制度》、《制模室人员岗位职责》、《核医学科各级人员的岗位职责》、《后装机操作规程》、《直线加速器操作规程》《放射源返回和退役规定》、《放射治疗基本规范》、《核医学科操作规程》、放射诊疗设备的保养维修制度》、《核医学科仪器设备使用和管理制度》等一系列规章制度	根据要求制定

**表 13 结论与建议**

**结论:**

**13.1 产业政策符合性**

为落实国家新医改政策，主动服务基层人民群众，满足人民群众对优质医疗资源迫切需求，宁德市医院拟建二期工程增加使用 1 台直线加速器、1 台后装机及核医学科，核医学部分包括 2 台 SPECT-CT、1 台 PET-CT，使用碘-131 核素用于甲亢、甲癌治疗，使用氟-18、锝-99m 核素用于显像诊断。以上设备均为新购,对照《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 年修正版），项目属于国家鼓励类的全科医疗服务、医疗卫生服务设施建设项目，符合国家产业政策。

**13.2 选址合理性**

宁德市医院迁建（二期）位于宁德市医院东侨院区，东侨院区位于宁德市闽东东路 13 号，院区东侧紧邻尚德路，尚德路以东为东头居民区及在建金禾雅居小区，院区南侧隔闽东大道为空地及华庭小区，西侧隔华庭路为碧城云庭住宅小区，北侧隔天山路为空地，西北角为中心血站。

项目涉及的放疗中心（医用直线加速器、后装机）位于二期拟建住院楼地下一层西侧，楼上为地面，直线加速器机房东侧为水冷机组房，南侧为控制室及电源间，西侧为地下一层汽车 1#坡道，北侧为工具间及车库。后装机房东侧为控制室及设备间，南侧为消防水池，西侧为土壤层，北侧为汽车 1#坡道下方。

该项目涉及的核医学科位于住院楼二层，东侧为楼外三期预留用地，南侧为楼外院区道路，西侧为病案、档案区，北侧为住院楼楼外绿化用地，楼下为 MR、CT 机房及感染科病房，楼上为屋顶花园及 B 超影像中心。为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，均加强了防护，从剂量预测结果可知，该项目周围公众年所受附加剂量满足项目管理限值 0.25mSv 的要求。

核医学科控制区和监督区划分清晰，患者与医务人员通道分开设置，患者与医务人员能做到完全分离，核医学科布局基本合理。。

**13.3 代价利益分析**

宁德市医院扩建核技术利用项目符合所在地区医疗服务需要，有利于提高疾病的诊断正确率和有效治疗方案的提出，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大

节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，各机房均加强了防护，从剂量预测结果可知，该项目周围公众年所受附加剂量能满足项目管理限值 0.25mSv 的要求。

因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

### 13.4 辐射环境质量现状调查分析

监测结果表明：宁德市医院二期工程拟建地块及周围辐射环境现状本底在 174~185nSv/h 范围内（监测因子为 X- $\gamma$  辐射剂量率，辐射权重因子取 1，1nSv/h=1nGy/h 即 170~185nGy/h），根据《中国环境天然放射性水平》中的数据：福建省辐射环境本底范围值为：原野  $\gamma$  剂量率 25.9~334.3nGy/h；室内  $\gamma$  剂量率 70.9~351.7nGy/h，可见，该项目拟建区域及周边辐射背景水平未见异常。

### 13.5 辐射安全与防护措施评价

项目采取的辐射环境管理措施：医院设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并建立完善的规章制度，落实安全、保卫、环保等措施，制定了辐射事故应急预案等。

采取的污染防治措施：各工作场所有满足辐射屏蔽要求的防护墙、防护门、观察窗等；门口设置明显的电离辐射警示标识、照射指示灯，辐射工作人员佩戴个人剂量计等。

从总体上看，项目的辐射环境保护和污染防治措施考虑到了辐射管理、屏蔽防护、安全保卫等各个方面，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的有关要求

### 13.6 辐射环境影响评价

宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目采取的辐射安全和防护措施按此报告要求完善后，能满足标准的屏蔽防护要求。

根据预测结果可知，加速器机房、后装机及核医学科屏蔽设计能确保辐射工作人员附加年有效剂量不超过 5mSv、公众附加年有效剂量不超过 0.25mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

综上，宁德市医院新建医用直线加速器、后装机及核医学科利用项目符合实践正当性原则，已采取和拟采取的辐射安全和防护措施适当，辐射工作人员及周围公众受



到的附加年有效剂量能确保满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，进一步完善辐射安全与防护相关管理制度的前提下，从辐射安全和环境影响的角度而言，宁德市医院医用直线加速器等技术应用项目的建设和运行是可行的。

**建议和承诺：**

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

（2）根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的规定，项目建成并试运行后，按照规定程序自主开展竣工环境保护验收。

（3）加强管理做好相关辐射工作场所铅防护门、电离辐射警告标志、工作状态指示灯、通风柜等各项环保安全设施的维护，按照第 12.2 节完善各项制度，按本报告提出的辐射防护管理要求加强日常管理。

（4）根据年度个人剂量监测报告，核医学科辐射工作人员年接受剂量超过辐射工作人员年照射剂量限值及剂量约束值，应立即调离工作岗位或调休。

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